



GUÍA BÁSICA DE DISEÑO DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) PARA LA CIUDAD DE ALICANTE



CRÉDITOS

INICIATIVA Y COORDINACIÓN. AGUAS MUNICIPALIZADAS DE ALICANTE, E.M.

Elena Perales Vázquez

Responsable Planificación de Recursos Hídricos

José Manuel Lázaró Pérez

Jefe Departamento Oficina Técnica y Planificación

Cayetano Gas López

Responsable de Proyectos y Gestión de Activos

Luis G. Cutillas Lozano

Responsable de Drenaje Urbano

REDACCIÓN Y DISEÑO. GREEN BLUE MANAGEMENT S.L. (Grupo TYP SA)

Miguel Rico Cortés

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Alejandro Jiménez Morcillo

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Sara Perales Momparler

Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos

Fotos de portada: Miguel A. Rico Llorens

Marzo 2026

© Aguas Municipalizadas de Alicante

Reservados todos los derechos

Citar esta publicación como:

Rico Cortés M., Jiménez Morcillo A., Perales Momparler, S. (2026) *Guía básica de diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) para la Ciudad de Alicante.*



ÍNDICE

1. PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS DE LA GUÍA.....	7
2. MARCO REGULATORIO	9
2.1. Marco europeo	9
2.2. Marco estatal.....	11
2.3. Marco autonómico.....	15
2.4. Marco local	16
3. INTRODUCCIÓN AL DRENAJE URBANO SOSTENIBLE	19
3.1. Los desafíos del drenaje urbano	19
3.2. La filosofía del drenaje urbano sostenible.....	21
3.3. Beneficios y obstáculos al uso de SUDS	23
3.4. Principales tipos de SUDS	25
3.5. Elementos auxiliares	36
3.6. Medidas no estructurales	38
4. RECOMENDACIONES DE DISEÑO.....	41
4.1. Las lluvias en Alicante	42
4.2. Control de la cantidad	45
4.3. Control de la calidad	47
4.4. Biodiversidad y uso ciudadano	50
4.5. Principales condicionantes en el diseño	50
4.6. Recomendaciones por tipología urbana	59

4.7. El proceso de dimensionamiento	68
4.8. Ejemplo conceptual de diseño	73
5. LOS SUDS EN ALICANTE: EL PARQUE LA MARJAL.....	79
5.1. Contexto	80
5.2. Características técnicas y funcionales	80
5.3. Funcionamiento hidráulico	81
5.4. Operación	81
5.5. Elementos paisajísticos y recreativos	82
5.6. Aspectos medioambientales	83
5.7. Gestión inteligente	84
5.8. Resultados operativos	84
6. MANTENIMIENTO Y MONITORIZACIÓN	85
6.1. Mantenimiento.....	85
6.2. Monitorización.....	96
7. REFERENCIAS.....	99
7.1. Normativa.....	99
7.2. Manuales y guías de referencia para diseño.....	101
7.3. Otros documentos y enlaces de interés.....	101



m² Museo de Aguas de Alicante

AGUAS DE ALICANTE | 125 ANOS DE SERVICIO | Estamos aquí

ENTRADA GRATUITA — ENTRADA GRATUITA — FREE ENTRY

HIDRAQUA

AYUNTAMIENTO DE ALICANTE



1. PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS DE LA GUÍA



Los **Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)** son un conjunto de técnicas que buscan reproducir los procesos hidrológicos previos al desarrollo urbanístico, empleando para ello elementos de control de la escorrentía integrados estratégicamente en el paisaje urbano. Tras años de desarrollo y buenos resultados en otros países, en la última década los SUDS han experimentado un gran avance en España.

Históricamente el drenaje urbano ha buscado la rápida evacuación de las aguas pluviales fuera del entorno urbano, sin importar su calidad o los impactos que pudieran producirse en la inundabilidad de los terrenos situados aguas abajo. Esta aproximación, combinada con el sellado de los suelos derivado de la expansión de las ciudades, conduce hacia un escenario en el que los volúmenes y caudales de escorrentía a gestionar son cada vez mayores, siendo necesaria una infraestructura más costosa y de mayores dimensiones.

Adicionalmente, el **cambio climático** supone un reto para el drenaje y la planificación urbana. La alteración del régimen pluviométrico está provocando que los episodios extremos de lluvias sean cada vez más intensos y frecuentes. Asimismo, el cambio climático acarrea un aumento de las temperaturas, que se percibe con mayor intensidad en las ciudades, donde el efecto “isla de calor” retiene las altas temperaturas durante gran parte del día.

En definitiva, el drenaje urbano demanda actualmente un **cambio de paradigma** que incorpore soluciones innovadoras que proporcionen un desarrollo urbano sostenible en el tiempo y comprometido con el medio ambiente.

Es en este punto donde emergen los SUDS como un excelente **complemento a la gestión del agua de lluvia** en la ciudad que permite controlar la cantidad y calidad de las escorrentías en el origen de las mismas.



Figura 1. Parque Inundable "La Marjal", Alicante.

Los SUDS pueden reducir los volúmenes totales de escorrentía descargados al medio, al infiltrar o retener parte del agua; o laminar los caudales pico, si se detienen temporalmente las escorrentías. En cuanto a la calidad de las aguas, también pueden producir mejoras muy significativas gracias a la filtración a través de medios granulares o a procesos biológicos como la biorremediación.

Complementariamente, las actuaciones con SUDS buscan tener un enfoque poliédrico, de modo que aporten **beneficios más allá de la gestión del agua**. En este sentido, las actuaciones basadas en infraestructura verde destacan por sus sinergias para la mejora de la biodiversidad urbana, la creación de espacios atractivos para los ciudadanos, la atenuación del efecto isla de calor o la absorción de parte del CO₂ emitido por el tráfico rodado.

Los últimos documentos normativos publicados en España, y la necesidad de desarrollar **Planes Integrales de Gestión del Sistema de Saneamiento** (PIGSS) en las grandes aglomeraciones urbanas, han puesto de manifiesto la necesidad de contar con los SUDS como herramienta para la gestión del agua de lluvia en nuestras ciudades, de forma que se minimice el volumen de agua trasegado por unas redes de saneamiento cada vez más solicitadas, y se evite la contaminación de los medios receptores.

Esta guía nace con el objetivo de introducir los SUDS a los técnicos y agentes implicados en la gestión del ciclo integral del agua en Alicante, así como ajustar los criterios de diseño más habituales para que los SUDS puedan adaptarse a las características climáticas, topográficas o geológicas de esta ciudad.

2. MARCO REGULATORIO



2.1. Marco europeo

La normativa europea vigente en materia de aguas es la **Directiva Marco del Agua (2000/60/CE)**, que establece un marco comunitario de actuación en política de aguas. El objetivo principal de este reglamento es la gestión de la demanda de agua, en calidad y en cantidad, destacando la necesidad de considerarla como un recurso valioso y finito. Este documento se ha ido complementando con la aparición de disposiciones adicionales, en forma de directivas, entre las cuales destacan:

- ▶ **Directiva relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación (2007/60/CE)**, regula los criterios para la evaluación y gestión del riesgo de inundación, a fin de mitigarlo y reducir la vulnerabilidad de las ciudades a estos eventos.
- ▶ **Directiva relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño (2006/7/CE)**, establece las condiciones mínimas exigibles a las aguas donde se permita el baño, y la necesidad de protegerlas de vertidos inadecuados.
- ▶ **Directiva relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro (2006/118/CE)**, que aborda la conservación y protección de las aguas subterráneas.

Por otro lado, la **Directiva 2024/3019 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas**, de reciente publicación, establece el marco jurídico para la recogida, el tratamiento y el vertido de dichas aguas, que pueden

estar formadas por diferentes mezclas de aguas residuales domésticas, escorrentía urbana y aguas residuales no domésticas de otros orígenes.

Esta normativa reconoce que las escorrentías urbanas, al igual que los desbordamientos de las redes unitarias, constituyen una fuente persistente y significativa de contaminación para el medio natural. Asimismo, destaca la intensificación de estos fenómenos en el futuro debido a la actividad urbanizadora y a las alteraciones en el régimen de precipitaciones asociadas al cambio climático.

Para mitigar esta fuente de contaminación, la Directiva establece que **las soluciones deben diseñarse y aplicarse desde una escala local**, considerando las particularidades de cada territorio. En este sentido, encomienda a los Estados miembros la responsabilidad de garantizar el desarrollo de planes integrados de gestión de aguas residuales urbanas a grandes aglomeraciones urbanas, dado que éstas son responsables de una proporción significativa de las emisiones contaminantes al medio ambiente.

«Dichos planes deben incluir medidas para reducir la contaminación provocada por desbordamientos de las aguas de tormenta y, además, abordar la contaminación potencialmente considerable procedente de las escorrentías urbanas recogidas de manera separativa, por ejemplo, la contaminación causada por las primeras lluvias que suceden a largos períodos de sequía en zonas densamente pobladas. Dichos planes deben asimismo incluir medidas para evitar la contaminación en origen y favorecer soluciones basadas en la naturaleza en lugar de

soluciones que requieran el establecimiento de infraestructuras grises. Entre dichas medidas podrían incluirse medidas preventivas de carácter temporal que tengan por objeto evitar la entrada de aguas pluviales no contaminadas en sistemas de colectores o almacenamientos temporales, incluida la retención natural del agua, así como el tratamiento adecuado de las escorrentías y desbordamientos causados por las primeras lluvias y que presentan una elevada carga de contaminantes».

Adicionalmente, se alienta a los Estados miembros a **ampliar las infraestructuras verdes y azules en las zonas urbanas**, priorizando este tipo de soluciones frente a la infraestructura gris, cuyo uso debe reservarse para aquellos casos en los que resulte estrictamente necesario:

«Dada la preferencia por las infraestructuras e inversiones verdes y azules, la construcción de nuevas infraestructuras grises solo debe contemplarse cuando sea absolutamente necesario».

Por último, es importante destacar el **Pacto Verde Europeo**, instaurado por la Comisión Europea en 2019 como parte integral de la Agenda 2030, constituido por un paquete de iniciativas políticas con el propósito de dirigir a la Unión Europea hacia una transición ecológica que logre la neutralidad climática antes de 2050. Este pacto aborda los desafíos relacionados con el clima y el medioambiente, mencionando específicamente la necesidad de combatir la contaminación procedente de escorrentías urbanas, y resalta las Soluciones basadas en la

Naturaleza como medidas de mitigación al cambio climático, proporcionando mayor resiliencia y protección de los ecosistemas.

2.2. Marco estatal

Respecto a la normativa existente en el ámbito nacional, el texto refundido de la **Ley de Aguas (RD 1/2001)** regula el dominio público hidráulico, sin incluir disposiciones respecto a la gestión del agua de lluvia o al drenaje urbano. Textos posteriores han ido complementando esta ley y definiendo el marco estatal del drenaje urbano.

Por otro lado, la primera versión del **Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 849/1986)** ha ido experimentando sucesivas actualizaciones, en forma de Real Decreto, que han buscado actualizar su enfoque y darle cada vez más relevancia a la calidad de las aguas de escorrentía urbana y a las Soluciones basadas en la Naturaleza (SBN).

En primer lugar, el **Real Decreto 903/2010** reguló los procedimientos para una evaluación preliminar del riesgo de inundación causado por ríos o aguas intermitentes en zonas costeras o de transición, dejando todavía sin regular las inundaciones de origen pluvial y el drenaje urbano.

El **Real Decreto 1290/2012** estableció un primer marco normativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas y reflejó algunas de las problemáticas más frecuentes en el drenaje urbano.

Los sistemas unitarios trasiegan por la misma infraestructura las aguas residuales urbanas y las aguas pluviales en tiempo de lluvia, dirigiéndolas de forma combinada hacia la estación depuradora (EDAR). Cuando se

producen lluvias de intensidad importante, puede producirse un problema de capacidad de tratamiento en la depuradora o de capacidad hidráulica en el sistema de colectores, lo que puede llevar a un vertido de agua no tratada al medio receptor a través de los aliviaderos, una problemática conocida como **Descarga de los Sistemas Unitarios (DSU)**. En este texto se abordó por primera vez esta situación, resaltando las consecuencias que suponen para el medio receptor.

De forma específica, en el Artículo 259 ter se determinan los criterios a considerar en las autorizaciones de vertido de sistemas de saneamiento de zonas urbanas en relación con el desbordamiento en episodios de lluvia.

Por otro lado, la implantación del **Real Decreto 638/2016** supuso un gran impulso en la transformación del modelo de gestión del drenaje urbano en España, desde una óptica convencional hacia un enfoque que considere ya los SUDS como una solución habitual y deseable en los desarrollos urbanos. En concreto, en el punto 7 del Artículo 126 ter se establece el siguiente criterio para el diseño de los nuevos desarrollos:

«Las nuevas urbanizaciones, polígonos industriales y desarrollos urbanísticos en general, deberán introducir sistemas de drenaje sostenible, tales como superficies y acabados permeables, de forma que el eventual incremento del riesgo de inundación se mitigue. A tal efecto, el expediente del desarrollo urbanístico deberá incluir un estudio hidrológico-hidráulico que lo justifique».

La reciente publicación del **Real Decreto 665/2023** ha supuesto un gran respaldo legislativo para los SUDS. Desde su preámbulo, el texto

incentiva la utilización de los SUDS, posicionándolos como la primera opción a considerar como estrategia de drenaje.

«[...] con este real decreto se da un notable impulso a la gestión de los sistemas de saneamiento a través del impulso al tratamiento en origen de la escorrentía pluvial, al fomentar el uso de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) (Anexo XI y Orden AAA/2056/2014). Su uso se considera una medida adicional, y logran, entre otras medidas, filtrar e infiltrar al terreno la escorrentía pluvial, reduciendo su volumen y consiguiendo que no se incorpore a la red de alcantarillado».

El texto identifica claramente la problemática que supone la impermeabilización derivada de la acción urbanizadora y sus problemas asociados:

«La actividad urbanizadora es una de las actuaciones antrópicas más impactantes sobre el DPH, puesto que la impermeabilización del terreno y las actividades urbanas, entre otras presiones, tienen un relevante impacto sobre el ciclo hidrológico, de forma que el agua de lluvia en los entornos urbanos que llega al terreno debe protegerse, evitando su contaminación [...]».

En el documento, los SUDS son definidos como:

«[...] elementos superficiales, permeables, preferiblemente vegetados, integrantes de la estructura urbana-hidrológica-paisajística y previos al sistema de saneamiento. Están

destinados a filtrar, retener, transportar, acumular, reutilizar e infiltrar al terreno el agua de lluvia, de forma que no degraden e incluso restauren la calidad del agua que gestionan».

De manera concreta, se pide su inclusión en los nuevos desarrollos, manteniéndose la redacción del punto 7 del Artículo 126 ter, ya incluida en el Real Decreto 638/2016.

En el Artículo 259 quinquies, se detalla la necesidad de elaborar **Planes Integrales de Gestión del Sistema de Saneamiento (PIGSS)** para determinadas aglomeraciones urbanas, un documento donde se deberán definir las medidas necesarias para lograr alcanzar unos objetivos de rendimiento hidráulico en la gestión del agua urbana.

Los PIGSS deberán incluir un análisis del estado actual del sistema de saneamiento y, posteriormente, se deberán marcar unos objetivos indicativos a alcanzar en materia de reducción de vertidos al medio de agua sin tratar. Asimismo, se definirán las medidas que sería necesario ejecutar para lograr estos objetivos. Es en este punto donde se destaca el papel que pueden jugar los SUDS, las Soluciones Basadas en la Naturaleza y las prácticas de urbanización verde para el cumplimiento de los objetivos de desempeño marcados en dicho Plan:

«Medidas preventivas destinadas a evitar la entrada de la escorrentía urbana en los sistemas colectores, incluidas las medidas de fomento de la retención natural del agua o de la recogida de aguas pluviales, y las medidas de aumento de los espacios verdes o de limitación de las superficies impermeables en las aglomeraciones».

«Otras medidas adicionales, [...] priorizando los sistemas urbanos de drenaje sostenible, tales como cubiertas ecológicas, jardines verticales, pavimentos permeables, jardines de lluvia, sumideros filtrantes y canales permeables, favoreciendo así la biodiversidad».

Además de destacar la problemática de los Desbordamientos de los Sistemas Unitarios (DSU), este nuevo texto va un paso más allá y señala la problemática de la calidad de las aguas pluviales, apuntando a que las aguas trasegadas por redes separativas también deben ser convenientemente tratadas antes de su vertido.

«La eliminación progresiva de los vertidos no tratados del agua de escorrentía urbana recogida en sistemas de saneamiento separativo, a menos que pueda demostrarse que dichos vertidos no causan impactos negativos en la calidad de las aguas receptoras».

En resumen, este Real Decreto resalta la importancia de gestionar la calidad y cantidad de las aguas de escorrentía, empleando preferentemente soluciones en origen y priorizando la utilización de SUDS.

Adicionalmente, y para facilitar la aplicación del RD 665/2023 y la redacción de los PIGSS, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha publicado recientemente una serie de recomendaciones para la elaboración de los PIGSS (**Recomendaciones para la elaboración de Planes Integrales de Gestión del Sistema de**

Saneamiento), en forma de guía técnica, con el objetivo de orientar a los titulares de autorizaciones de vertido que deban elaborarlos (Figura 2).



Figura 2. Izquierda: portada de las Recomendaciones para la elaboración de Planes Integrales de Gestión del Sistema de Saneamiento. Derecha: portada del RD665/2023 por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.

Este documento constituye una importante herramienta pionera a nivel nacional, al aportar información acerca del diseño de los SUDS, incluyendo pautas para su modelización, criterios específicos de diseño y otros contenidos relevantes.

El documento incorpora un anexo específico dedicado a los SUDS (**Anexo III. Aspectos técnicos de aplicación de los SUDS para cumplimiento del RDPH**), en el que se proporciona información muy

relevante para acometer su diseño. Además, se proporciona un respaldo legislativo adicional a la aplicación de estas técnicas, destacando su importancia para poder cumplir con los objetivos de los PIGSS:

«Los SUDS formarán parte del sistema de drenaje de los nuevos desarrollos y de las actuaciones de regeneración y modificación urbana, o reurbanización, y se diseñarán para contribuir a la reducción de la producción de la escorrentía, la laminación de los caudales pico, así como a la mejora de la calidad de las escorrentías, aprovechando la multifuncionalidad de los espacios urbanos».

Por otra parte, en dicho Anexo se establecen de forma expresa una serie de objetivos para la gestión de la cantidad de la escorrentía para los nuevos desarrollos, en forma de restricción de vertido fuera del ámbito.

«Así, en los nuevos desarrollos, el sistema en su conjunto bien sea separativo o unitario, debe presentar un volumen de almacenamiento suficiente para limitar los caudales de escorrentía vertidos fuera del ámbito de actuación para las precipitaciones de diseño (cuyos periodos de retorno suelen comprenderse entre los 10 y los 25 años en España, y teniendo en cuenta las proyecciones climáticas más recientes), de modo que no se empeoren aguas abajo las condiciones hidrológicas preexistentes. Así, sin tener en cuenta el caudal de residuales en su caso, el caudal de aguas pluviales pre-operacional deberá ser mayor o igual al caudal de aguas pluviales post-operacional ($Q_{pre} \geq Q_{post}$), debiéndose mantener esta relación con el

tiempo (cambios futuros en las condiciones de urbanización deberán conservar esta premisa). Además, se dará cumplimiento a condicionantes adicionales que pudieran determinar las autoridades competentes en cada caso».

Respecto a la calidad de la escorrentía, el documento propone una metodología para la selección de técnicas SUDS que permite evaluar si el agua gestionada por un SUDS (o en una cadena de éstos) ha recibido un tratamiento adecuado. Esta metodología, conocida como **metodología de los “Índices de Mitigación”**, asigna índices de peligrosidad de contaminación a los usos del suelo más comunes, los cuales deben compararse con los índices de mitigación asociados a cada tipo de SUDS. Además, se indica que los SUDS deberán ser capaces de **tratar y gestionar íntegramente las escorrentías asociadas como mínimo al percentil $P_{d,80\%}$** para considerar que el tratamiento proporcionado es suficiente.

Además, en el Anexo III se resalta la importancia de considerar el diseño de los SUDS desde una perspectiva holística y multidisciplinar, que considere los beneficios más allá de lo estrictamente hidrológico o hidráulico, englobando también la fase de mantenimiento y operación:

«[...]entre las diferentes tipologías de SUDS a emplear, se debe priorizar el uso de aquellos que integren infraestructura verde, debido a los diferentes beneficios ecosistémicos adicionales que aportan: mejora de la biodiversidad, reducción del efecto urbano ‘isla de calor’, creación de espacios de uso ciudadano, etc. Asimismo, se deben primar los más superficiales e integrados en

el entorno, por la facilidad de inspección y detección de fallos, así como los que presenten menores necesidades y mayor facilidad de mantenimiento».

En conclusión, tanto la nueva actualización del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 665/2023) como su posterior guía de aplicación (Recomendaciones para la elaboración de Planes Integrales de Gestión del Sistema de Saneamiento; MITECO, 2025) ponen el foco en los SUDS como una herramienta imprescindible para mejorar la gestión del agua de lluvia en los entornos urbanos.

2.3. Marco autonómico

En cuanto a la legislación autonómica de la Comunitat Valenciana destaca el **Plan de Acción Territorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación de la Comunitat Valenciana (PATRICOVA)**, instrumento de ordenación del territorio basado en el análisis del riesgo de inundación.

Pese a ser un Plan de prevención frente a las inundaciones consecuencia del desbordamiento de cauces o subida del nivel freático, en el *Anexo I. Condiciones de Adecuación de las Edificaciones y la Urbanización* de la Normativa, se establece el periodo de retorno de 15 años como mínimo periodo de retorno de diseño para el dimensionamiento de elementos destinados al drenaje de las aguas pluviales, y se insta a la utilización de SUDS a nivel municipal:

«1. El drenaje de las aguas pluviales en las áreas urbanas de superficie mayor a veinte hectáreas (20 ha) cumplirá las siguientes condiciones:

- a) *Se diseñarán con un nivel de protección de, al menos, quince (15) años de periodo de retorno.*
- b) *[...]*

2. Se fomentará el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en todos los municipios de la Comunitat Valenciana».

Además, entre los objetivos principales del PATRICOVA se incluye la incorporación de *«infraestructura Verde como elemento crucial de la planificación territorial»*, en cuyo diseño *«se fomentará el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible»* (Art 23.9).

Por otro lado, la **Resolución 997/IX** de las Cortes Valencianas sobre la incorporación de medidas de prevención y técnicas relacionadas con el uso de sistemas de drenaje sostenible en el diseño de la infraestructura verde incluida o asociada a los planes de ordenación del territorio, insta al Consell y a todas las entidades locales competentes a incentivar la incorporación de SUDS a los proyectos.

Aunque se trata de un organismo supraautonómico, la **Confederación Hidrográfica del Júcar** (CHJ) también es un ente con jurisdicción en la ciudad de Alicante. En los últimos años la CHJ ha ido actualizando los procedimientos de solicitud de vertido para adaptarlos a los nuevos requisitos del RD 665/2023. En líneas generales, la Confederación incentiva el uso de SUDS para tratar adecuadamente las aguas de escorrentía pluvial antes de su vertido, aportando además una laminación suficiente para que no se modifique el hidrograma del estado pre-urbanizado para un periodo de retorno de 15 años.

2.4. Marco local

La normativa municipal relativa a saneamiento y drenaje en la ciudad de Alicante es la **Ordenanza de vertidos del servicio municipal de alcantarillado**, que regula las condiciones de los vertidos de aguas pluviales y residuales, de naturaleza doméstica o no, susceptibles de ser desagüados a la red municipal de alcantarillado, considerando aguas pluviales a las escorrentías resultantes de cualquier forma de precipitación natural.

Dicha normativa apela al **Reglamento de prestación del servicio municipal de abastecimiento y saneamiento de aguas de Alicante**, el cual tiene por objeto *«determinar las condiciones generales de prestación del servicio, hacer cumplir las disposiciones de la Ordenanza Municipal de Vertidos, así como regular las relaciones entre los particulares usuarios del servicio, la Entidad Gestora y el Ayuntamiento»*.

Como principales características de este Reglamento cabe destacar que, de acuerdo con el punto 3 del Artículo 15, pueden establecerse limitaciones al vertido de agua pluvial a las redes unitarias, emergiendo aquí los SUDS como una solución idónea, alineada con la legislación nacional en estos casos:

«En caso de red de alcantarillado unitario, corresponderá a la Entidad Gestora establecer la posibilidad y limitaciones del caudal de aguas pluviales que se pueda verter a la red municipal, en función de la capacidad disponible en la misma [...]».

Por otro lado, este reglamento incorpora un planteamiento innovador respecto al pretratamiento de los vertidos dentro de las parcelas privadas, dejando la puerta abierta a incluir sistemas de monitorización y seguimiento o soluciones innovadoras a requisito del Ayuntamiento de Alicante.

«[...] se deberá instalar y mantener en perfecto estado de funcionamiento un sistema de tratamiento que adapte las características del vertido a las condiciones establecidas en la Ordenanza Municipal de Vertidos. Dicho sistema deberá incluir los oportunos medios de muestreo, medición y/o control en continuo de los caudales y demás características del vertido. Deberá ubicarse antes de la arqueta general del inmueble».

Considerando entre los sistemas prioritarios de pretratamiento a instalar:

«3) Areneros y tanques de sedimentación, en vertidos con presencia de partículas en suspensión [...]».

7) Cualquier otra medida correctora que, a juicio del Ayuntamiento, sea necesaria para que el vertido cumpla con lo especificado en la Ordenanza Municipal de Vertidos y el presente Reglamento».



Tabla 1. Tabla resumen del marco regulatorio en materia de drenaje urbano en Alicante.

Ámbito	Normativa y enlace	Alcance y características principales
Europeo	Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE)	Marco comunitario de actuación en política de aguas, complementado por varias directivas
	Evaluación y gestión de los riesgos de inundación (Directiva 2007/60/CE)	Regulación de los criterios para la evaluación y gestión del riesgo de inundación, a fin de mitigarlo y reducir la vulnerabilidad de las ciudades a estos eventos.
	Gestión de la calidad de las aguas de baño (Directiva 2006/7/CE)	Establece las condiciones mínimas exigibles a las aguas donde se permita el baño, y la necesidad de protegerlas de vertidos inadecuados.
	Protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro (Directiva 2006/118/CE)	Se establecen las condiciones necesarias para la protección de las masas de agua subterráneas.
	Tratamiento de las aguas residuales urbanas (Directiva 2024/3019)	Reconoce las escorrentías urbanas como una fuente de contaminación, al igual que los desbordamientos de las redes unitarias, y enfatiza la importancia de los desarrollos verdes.
Estatul	Ley de Aguas (RD 1/2001)	Marco legal fundamental en España. No aborda la problemática del drenaje urbano.
	Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 849/1986)	Primera versión del reglamento. Regula las acciones que tienen lugar en la proximidad de los cauces y ríos. Ha sido objeto de sucesivas actualizaciones.
	Modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 903/2010)	Se detallan los procedimientos para considerar el riesgo de inundación ocasionado por ríos, mares o aguas subterráneas.
	Modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 1290/2012)	Se establecen las normas para el tratamiento de las aguas residuales urbanas. Por primera vez se señala la problemática de los Desbordamientos de los Sistemas Unitarios (DSU).
	Modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 638/2016)	Se incluye por primera vez una referencia directa a la necesidad de incluir SUDS en los nuevos desarrollos (Artículo 126 ter).
	Modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 665/2023)	Última modificación vigente del Reglamento, Se incentiva la utilización de SUDS a todos los niveles, aportando información para su diseño. Se señala la necesidad de proporcionar un tratamiento adecuado a todas las aguas previamente a su vertido, incluso a las trasegadas por redes separativas.
	Recomendaciones para la elaboración de PIGSS	Se remarca la importancia de los SUDS para poder cumplir con los objetivos de los Planes Integrales de Gestión del Sistema de Saneamiento, y se proporciona información adicional para su diseño.
Autonómico	PATRICOVA (D 201/2015)	Se condiciona la planificación del territorio al riesgo de inundación asociado. Se marcan los SUDS y la infraestructura verde como importantes ejes dentro de la planificación territorial.
	Resolución 997/IX del Consell	Se insta a las autoridades competentes en el ciclo del agua a favorecer la utilización de SUDS.
Local	Ordenanza de vertidos del servicio municipal de alcantarillado	Se regulan las condiciones que deben cumplir las aguas vertidas a la red de alcantarillado pública.
	Reglamento de prestación del servicio municipal de alcantarillado	Determinar las condiciones de prestación del Servicio y se busca hacer cumplir las disposiciones de la Ordenanza Municipal de Vertidos.



3. INTRODUCCIÓN AL DRENAJE URBANO SOSTENIBLE



3.1. Los desafíos del drenaje urbano

Durante los últimos tiempos, Alicante no ha sido ajena al gran crecimiento poblacional que han experimentado las grandes ciudades en España, duplicando su población en los últimos 50 años (Figura 3). Este crecimiento ha traído consigo una **expansión del suelo urbano** de la ciudad, circunstancia que tiene un fuerte impacto en el ciclo hidrológico.

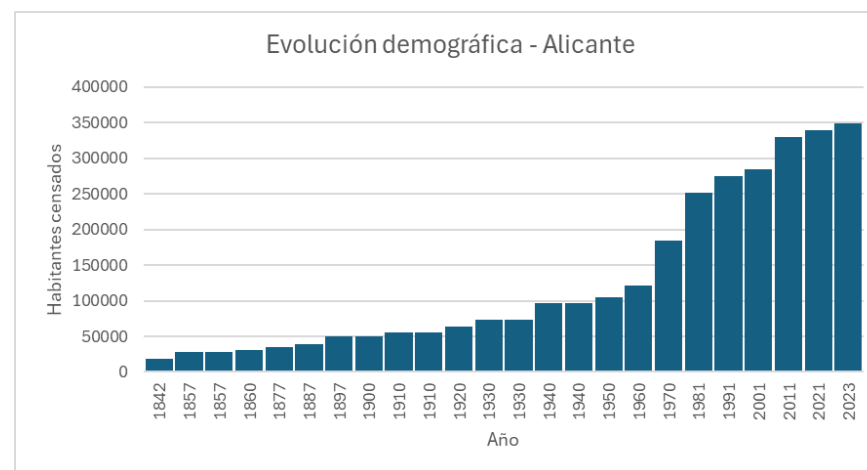


Figura 3. Evolución de la población en Alicante. Fuente: INE.

El sellado del suelo natural, la reducción de la densidad de la vegetación o las afecciones sobre ramblas y torrentes son las principales consecuencias que ha sufrido el territorio alicantino con esta expansión, que a su vez presentan una serie de **impactos sobre la hidrología de las cuencas urbanas**.

En primer lugar, la reducción de la infiltración natural al subsuelo provoca un aumento de los volúmenes de escorrentías generados, a la vez que se disminuye la recarga de los acuíferos o el flujo base en cauces naturales. Además, la urbanización del territorio impacta sobre el tiempo de respuesta de las cuencas urbanas, haciendo que los caudales punta sean más acusados y que se reduzcan los tiempos de concentración, tal y como se aprecia en la Figura 4.

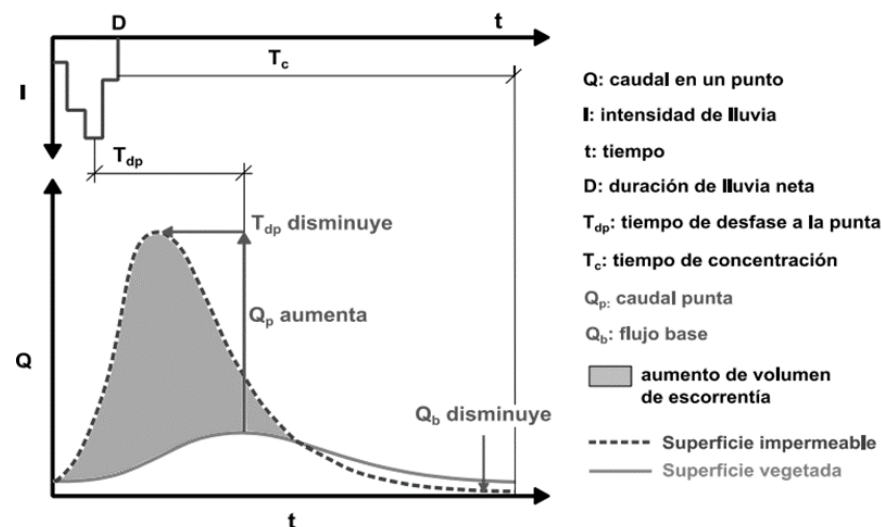


Figura 4. Variación del hidrograma provocados por la impermeabilización de superficies. Fuente: Perales-Momparler y Valls-Benavides (2013).

Este hecho provoca que los sistemas de drenaje convencionales generalmente formados por elementos de captación (imbornales, canaletas o sumideros) que descargan sus aguas a una red (colectores y pozos de registro) que transporta las aguas hacia una estación depuradora o un punto de vertido, **no dispongan de la capacidad**

suficiente para gestionar los caudales durante eventos de lluvia importantes, llegando a desbordar y causando inundaciones.

Hasta la fecha, las prácticas para mitigar este problema han consistido en costosas inversiones para mejorar los sistemas convencionales de drenaje: aumento del diámetro de las tuberías que componen la red de drenaje, construcción de plantas de tratamiento con mayor capacidad, etc. No obstante, la rigidez de estas infraestructuras grises, aparejada al crecimiento continuo y al cambio climático, terminan por anular la eficacia de estas mejoras y producen pérdidas socioeconómicas cada vez mayores.

El **cambio climático** también supone un importante desafío para el drenaje urbano, puesto que acarrea un aumento de la frecuencia y la intensidad de los fenómenos climatológicos extremos. A las lluvias torrenciales frecuentes y las sequías, se les une un aumento generalizado de las temperaturas, que se percibe de forma más intensa en las ciudades, donde el efecto “isla de calor” retiene las altas temperaturas durante gran parte del día.

Por otro lado, con la publicación de la última modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 665/2023), se pone el foco sobre la **calidad de las escorrentías urbanas**, que en la concepción clásica del drenaje urbano han sido consideradas como aguas limpias. Numerosos estudios han puesto de relieve que el agua de lluvia arrastra sustancias contaminantes que se depositan sobre las superficies de las ciudades en los periodos secos, especialmente en las zonas con tráfico rodado. Por ello, el Reglamento emplaza a que todas las aguas vertidas

al medio receptor hayan recibido un tratamiento adecuado, incluyendo aquellas trasegadas por las redes separativas. Mención aparte requieren los Desbordamientos de los Sistemas Unitarios (DSU), que durante los episodios de lluvia intensos pueden provocar el vertido de agua residual sin tratar, constituyendo un grave problema medioambiental.



Figura 5. Arrastre de sedimentos y contaminantes por la escorrentía durante un evento de lluvia.

En definitiva, el drenaje urbano se enfrenta a una serie de retos que requieren llevar a cabo un cambio de tendencia, que apueste por soluciones innovadoras, que permitan un desarrollo sostenible, integral y respetuoso con el medioambiente.

3.2. La filosofía del drenaje urbano sostenible

Como respuesta a los desafíos planteados al drenaje urbano, en las últimas décadas se ha buscado aplicar una metodología innovadora,

focalizada en la **prevención y la gestión descentralizada de la escorrentía desde su origen**, empleando para ello técnicas que repliquen los procesos hidrológicos naturales. Esta filosofía es la que persiguen los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

La Figura 6 representa el ciclo hidrológico natural de una cuenca previa al desarrollo urbano, donde predomina la evapotranspiración, la laminación natural del caudal antes de su descarga al medio receptor y la recarga de acuíferos por infiltración de la escorrentía al terreno.

Cuenca natural

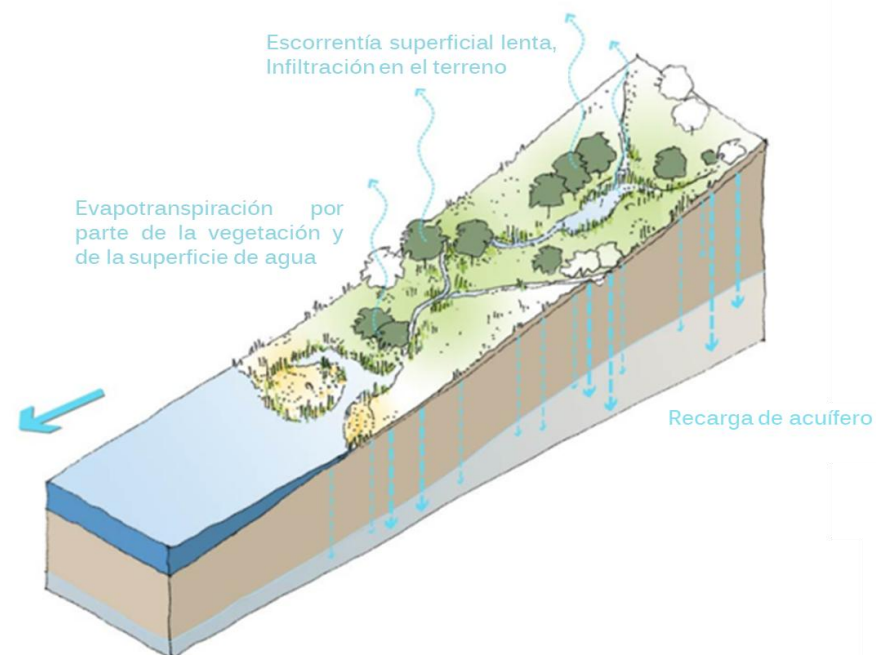


Figura 6. Cuenca natural previa a la urbanización. Fuente: Adaptado de Susdrain.org.

Tal y como se ha descrito anteriormente, la urbanización del territorio implica una serie de modificaciones en los ecosistemas, que se traducen en severas afecciones al ciclo hidrológico, como son el aumento de la escorrentía superficial o la reducción de las recargas a los acuíferos (Figura 7).

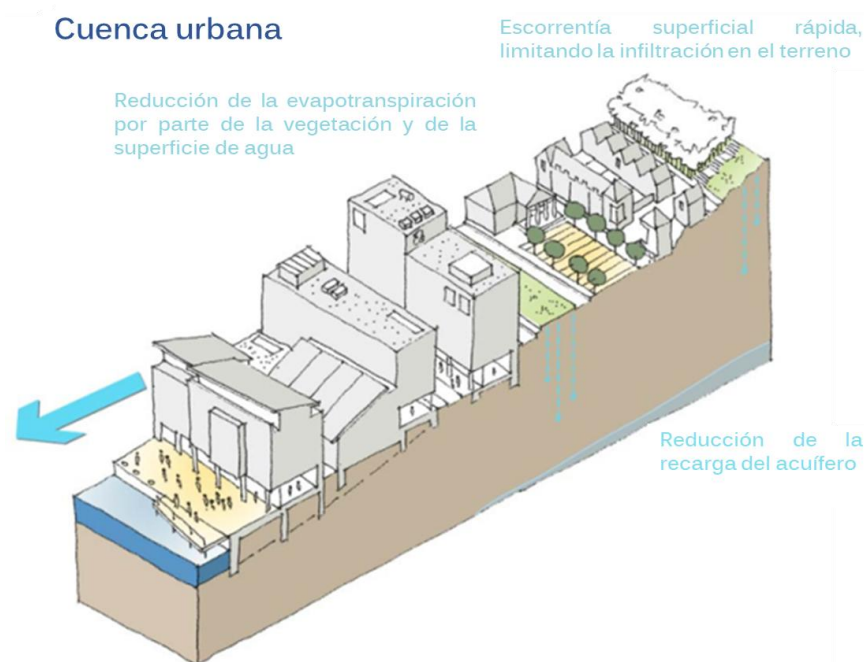


Figura 7. Escorrentía superficial en zona urbanizada. Fuente: Adaptado de Susdrain.org.

Con la finalidad de paliar estas consecuencias, los SUDS buscan **replicar los procesos hidrológicos** que se producían en el estado natural de la cuenca (infiltración, evapotranspiración, filtración, biorremediación), empleando elementos que son fácilmente integrables en la arquitectura

de las ciudades. De este modo, con pequeñas actuaciones descentralizadas, se busca que la respuesta hidrológica de una cuenca urbana sea lo más similar posible a la que existía en el escenario pre-urbanizado (Figura 7).

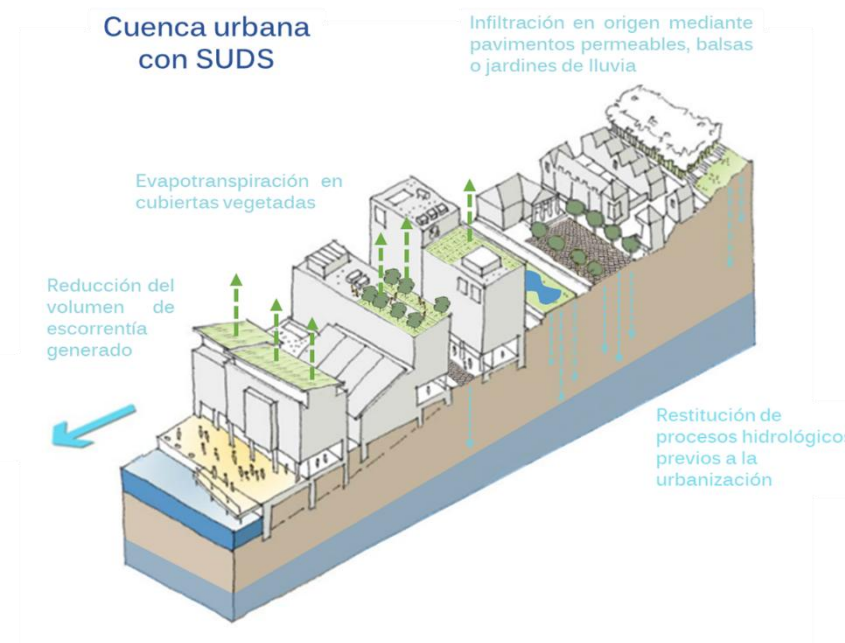


Figura 8. SUDS integrados en una ciudad para buscar restituir el régimen natural. Fuente: Adaptado de Susdrain.org

Los SUDS abarcan un **amplio abanico de técnicas constructivas y buenas prácticas** de gestión y planeamiento, que deben concebirse desde una perspectiva holística y poliédrica, que persigue aportar beneficios más allá de la ganancia hidrológica. Esta metodología fue sintetizada en *The SuDS Manual* (Woods-Ballards et al., 2015) en cuatro

grandes pilares que deben tenerse en cuenta a la hora de considerar una actuación (Figura 9).



Figura 9. Pilares de diseño de los SUDS. Fuente: Adaptado de Woods-Ballards et al 2015.

En relación con la **cantidad de agua** se debe concebir la escorrentía como un recurso y no como un residuo, y buscar la conservación de los sistemas hidrológicos naturales existentes replicando los patrones naturales, asegurando siempre el drenaje eficaz que permita la utilización de las superficies.

El control de la **calidad de agua** está relacionado con la reducción de la concentración de contaminantes en los efluentes vertidos, de modo que se cumpla la legislación vigente y se contribuya a alcanzar el buen estado de las masas de agua receptoras.

La **biodiversidad** constituye el tercer pilar de diseño de SUDS, y hace hincapié en la infraestructura verde asociada a los SUDS, que puede contribuir de manera muy importante a proporcionar hábitats para especies autóctonas e incluso la creación de nuevos ecosistemas autosuficientes.

Por otro lado, los SUDS pueden constituir un atractivo por sí mismos, y pueden crear áreas multifuncionales con gran adaptabilidad, y que puedan ser de utilidad y **uso ciudadano**.

3.3. Beneficios y obstáculos al uso de SUDS

El uso de técnicas de drenaje sostenible presenta importantes beneficios, siendo algunos de ellos inmediatos y otros apreciándose en el transcurso del tiempo. Desde un punto de vista estrictamente hidrológico-hidráulico, los beneficios fundamentales que presenta el uso de SUDS son 3:

- ▶ **Reducción de los volúmenes de escorrentía.** Parte de la escorrentía puede ser infiltrada o evapotranspirada en las zonas verdes, reduciendo el volumen descargado a los sistemas convencionales.
- ▶ **Laminación de los caudales pico.** Los SUDS contribuyen a reducir los caudales pico ya que pueden almacenar agua y descargarla en diferido a un caudal controlado.
- ▶ **Mejora de la calidad.** Los materiales granulares y las plantas contribuyen a mejorar la calidad del agua gracias a la filtración y la fitorremediación.

También cabe destacar que los SUDS suponen una estrategia de adaptación al cambio climático ya que aportan a las ciudades:

- ▶ **Resiliencia frente a inundaciones**, introduciendo soluciones basadas en la naturaleza que reduzcan y laminen los caudales, dejando espacio en los sistemas actuales para posibles incrementos en la intensidad de las precipitaciones.
- ▶ **Resiliencia frente a sequías**, fomentando la infiltración del agua en origen y contribuyendo a recargar los acuíferos, aliviando el estrés hídrico y reduciendo la necesidad de importar agua potable.
- ▶ **Reducción del efecto isla de calor**, aumentando la superficie verde y las masas de agua en la trama urbana que contribuyen a disipar el calor acumulado durante el día.
- ▶ **Disminución de la demanda energética de los edificios**, reduciendo la temperatura del interior y aportando sombra a las fachadas.
- ▶ **Reducción del consumo energético en la gestión del agua urbana**, reduciendo la cantidad de escorrentía que entra a la red de saneamiento, y en consecuencia la demanda energética asociada al bombeo y a la depuración.

Además de los anteriores, en el año 2015 el Departamento de Protección Medioambiental de Nueva York identificó otros potenciales co-beneficios que pueden apreciarse con el tiempo, especialmente si se emplean tipologías de SUDS basadas en infraestructura verde:

- ▶ **Captura y almacenamiento del carbono**. Las plantas contribuyen a la absorción del CO₂ presente en la atmósfera, lo que puede derivar en una mejora de la calidad del aire.
- ▶ **Mejora de la ecología urbana**. Los SUDS tienen el potencial de dar soporte a la biodiversidad y dar sustento a flora y fauna beneficiosas para el entorno urbano.
- ▶ **Calidad de vida**. La creación de nuevas zonas ajardinadas puede aumentar el valor de las propiedades inmobiliarias, reducir la criminalidad y mejorar la salud pública y el estado psicológico de los vecinos.
- ▶ **Trabajos verdes**. Las necesidades de mantenimiento y operación de los SUDS crearán nuevas oportunidades laborales.
- ▶ **Fomento de la infraestructura verde**. La implementación de SUDS implica la creación de nuevas zonas verdes y ajardinadas que se pueden integrar en la red verde urbana.

A pesar de todos estos beneficios, ampliamente contrastados, todavía existen algunos obstáculos a la aplicación de los SUDS, entre los que destacan:

- Falta de conocimiento de las soluciones por parte de los agentes implicados.
- Necesidad de equipos multidisciplinares y mayor coordinación.
- Legislación poco exigente en materia de drenaje urbano.
- Escepticismo acerca del funcionamiento y la fiabilidad.

- Complejidad técnica para la implementación.
- Aceptación y entendimiento por parte de los ciudadanos.
- Limitaciones asociadas a la responsabilidad de gestión o mantenimiento.

En este sentido, la publicación de esta Guía pretende buscar un mayor acercamiento de estas técnicas a los agentes implicados y mostrar las directrices de diseño que deben seguirse para que estos sistemas funcionen correctamente.

3.4. Principales tipos de SUDS

Existen distintos tipos de SUDS, que buscan imitar los procesos hidrológicos naturales cumpliendo con alguna o varias de estas funciones hidrológicas:

- ▶ **Filtración:** proceso en el que se hace circular el agua a través de medios porosos o especies vegetales, de modo que las partículas en suspensión y los contaminantes queden atrapados.
- ▶ **Detención:** almacenamiento temporal de la escorrentía y descarga laminada de esta a la red o punto de vertido, reduciendo de este modo los caudales pico y favoreciendo la sedimentación.
- ▶ **Tratamiento:** procesos físicos y biológicos a través de la vegetación, conocidos como biorremediación, que realizan la descomposición y adsorción de algunos contaminantes presentes en las escorrentías.

- ▶ **Retención:** almacenamiento a medio plazo de la escorrentía para su posterior aprovechamiento en usos no potables compatibles, como el riego o el baldeo.
- ▶ **Infiltración:** proceso por el cual el agua fluye a través del subsuelo en sentido vertical y descendente, favoreciendo la recarga de los acuíferos y reduciéndose el volumen descargado a las redes de drenaje.

Cabe destacar que es habitual que los SUDS no cumplan una única función, sino que, por sus características, puedan realizar dos o más. Incluso, variaciones en la configuración constructiva del sistema pueden hacer que una técnica SUDS se comporte de un modo u otro.

Además de la función, también es habitual realizar una distinción entre medidas estructurales y no estructurales:

- ▶ **Medidas estructurales.** Son aquellas que requieren elementos constructivos para gestionar el agua de lluvia, reducir su contaminación y/o limitar la generación de escorrentía. Además, existen elementos auxiliares y/o complementarios que permiten el correcto funcionamiento de estos SUDS.
- ▶ **Medidas no estructurales.** Son acciones que no precisan de actuación directa sobre los sistemas de drenaje o construcción de infraestructuras. Favorecen la implementación y funcionamiento de SUDS mediante actuaciones legislativas, educativas y de gestión, entre otras.

La Tabla 2 muestra las funciones principal y secundaria de los tipos de los SUDS estructurales más empleados en su configuración más habitual.

Tabla 2. Funciones principal y secundaria de cada tipología de SUDS en su configuración más habitual.

Tipología de SUDS	Función	
	Principal	Secundaria
Cubiertas vegetadas	Retención	Detención
Parterres inundables	Tratamiento	Infiltración
Balsas de infiltración y detención	Detención	Infiltración
Cunetas vegetadas	Tratamiento	Infiltración
Alcorques estructurales	Infiltración	Detención
Pavimentos permeables	Filtración	Infiltración
Drenes filtrantes	Filtración	Detención
Zanjas y pozos de infiltración	Infiltración	Filtración
Humedales artificiales y estanques	Tratamiento	Detención

En las páginas que siguen se presentan, a modo de ficha, las características más relevantes de los principales tipos de SUDS estructurales. Para cada tipo se muestra una descripción, una infografía de su funcionamiento y un breve recopilatorio de los principales criterios de diseño a considerar para su implementación.

Además, se especifica la idoneidad de su instalación en diferentes ambientes urbanos, empleando una clasificación basada en el Plan

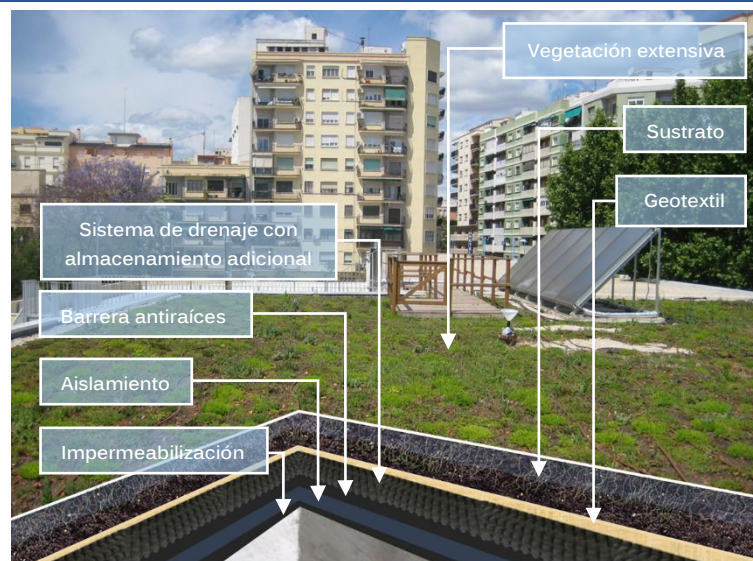
general de Ordenación Urbana, y que agrupa **tipologías urbanas con características similares** desde el punto de vista de la gestión del agua de lluvia, dando lugar a la clasificación de la Tabla 3. De este modo, infraestructuras dotacionales como los equipamientos educativos, sanitarios o deportivos deberán considerarse dentro de la categoría que mejor refleje las características de sus espacios de oportunidad.

Tabla 3. Código de viabilidad de localización de SUDS según las tipologías urbanas de Alicante.

Tipología urbana		Icono	Viabilidad
Edificación	Urbanización densa		Verde: óptimo Amarillo: factible Naranja: desaconsejable Rojo: incompatible
	Edificación abierta		
	Vivienda unifamiliar		
Zona industrial			
Zona comercial			
Suelo público	Red viaria		
	Aparcamientos		
	Parques		



CUBIERTAS VEGETADAS



Las cubiertas vegetadas están compuestas por un conjunto de capas que posibilita la implementación de vegetación sobre parte o la totalidad de la superficie del tejado. El paquete vegetado recibe la lluvia, filtrándola y almacenándola temporalmente en el sustrato y en el sistema de drenaje, donde el agua se emplea como riego pasivo y se posibilita la evapotranspiración. Los excedentes son descargados al nivel inferior a través de bajantes.

Según el espesor de la capa de sustrato y el tipo de vegetación se clasifican en:

- ▶ **Cubierta extensiva:** incluye especies herbáceas o plantas crasas, con espesores de sustrato de 3 a 10 cm. Habitualmente ocupa gran parte de la superficie del tejado y no es transitable.
- ▶ **Cubierta intensiva:** alberga especies arbustivas, incluso arbóreas, con espesores del sustrato superiores a 20 cm. Ocupan solo algunas partes de la cubierta.

CRITERIOS DE DISEÑO

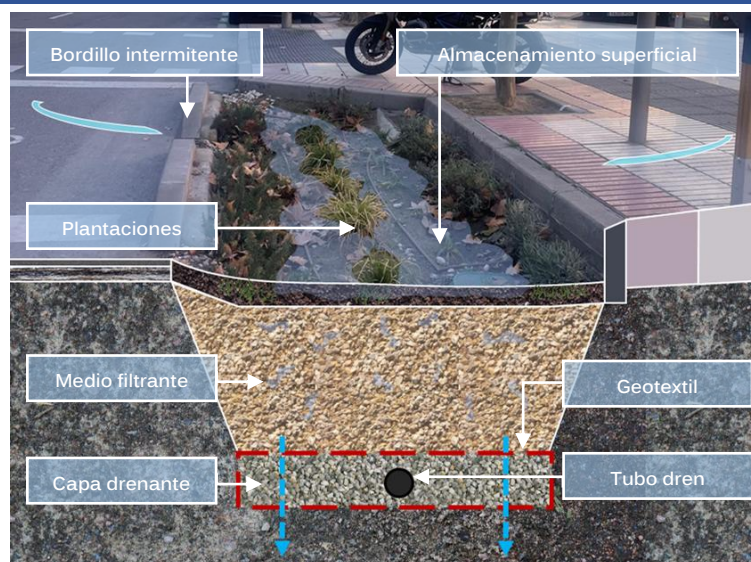
Geometría y concepción	Se recomienda que su extensión cubra entre el 50-80 % de la superficie, dejando un espacio libre disponible para instalaciones y accesos. En cubiertas con inclinaciones inferiores al 5 % se recomienda instalar un sistema de drenaje que evite el encharcamiento; si bien, con pendientes superiores al 25 % se requieren elementos auxiliares que impidan el arrastre y erosión del sustrato. Deberá considerarse la sobrecarga que supone el peso de la cubierta saturada sobre la estructura.
Materiales	El sistema de drenaje puede estar formado por un material ondulado que permita el micro-almacenamiento de escorrentía en su parte superior. El sustrato debe ser permeable y ligero, con un contenido de arcillas y limos inferior al 20 % y un contenido en materia orgánica y nutrientes estricto y controlado para evitar lixiviados.
Entrada/Salida	Los excedentes de escorrentía, cuando se alcance la saturación del sustrato y de la capa de drenaje, se evacuarán mediante sumideros y bajantes, que capten la escorrentía superficial de la cubierta. Deberán incluir rejillas y filtros que minimicen el riesgo de bloqueo.
Vegetación	Deben emplearse especies mediterráneas, de bajas necesidades hídricas, y que se adapten a la climatología de Alicante. Para las cubiertas extensivas se emplearán plantas tipo <i>sédum</i> (<i>album</i> , <i>acre</i> , <i>floriferum</i> , <i>spurium</i> , <i>rupestre</i> , <i>sediform</i> , <i>sexangulare</i> ...).

LOCALIZACIÓN

FUNCIONES

Retención	Al almacenar parte de la escorrentía en la capa de sustrato y drenaje (riego pasivo).
Detención	Al percolar la escorrentía de forma paulatina por el conjunto de capas de la cubierta.

PARTERRES INUNDABLES



Los parterres inundables son zonas vegetadas, deprimidas respecto a las superficies impermeables adyacentes, que reciben, almacenan y tratan la escorrentía procedente de estas zonas aledañas. Las aguas son filtradas a través del sustrato (medio filtrante), que a su vez sirve como soporte para el crecimiento de la vegetación. Además, pueden permitir la infiltración del agua al terreno o el vertido controlado del volumen almacenado.

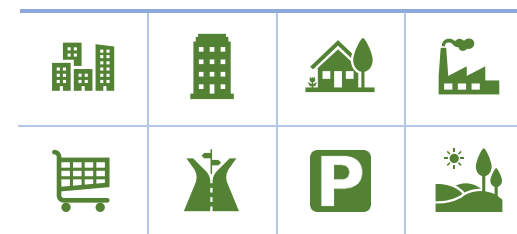
Según la calidad de las aguas que reciben y su capacidad de tratamiento se clasifican en:

- **Jardines de lluvia:** reciben escorrentías con niveles de contaminación bajos (cubiertas, zonas peatonales, etc.) y presentan un medio filtrante de bajo espesor (0,3-0,5 m).
- **Áreas de biorretención:** reciben escorrentías con altos niveles de contaminación (zonas con tráfico rodado) y el espesor del medio filtrante es más elevado para aumentar la capacidad de tratamiento (0,8-1,0 m).

CRITERIOS DE DISEÑO

Geometría y concepción	La base del parterre deberá ser plana en la medida de lo posible, y se recomiendan profundidades inferiores a 30 cm para parterres de poca superficie. Si existe una pendiente longitudinal significativa, es posible incorporar represas. Se recomiendan anchos superiores a 60 cm, y pendientes laterales que no excedan la proporción 1V:3H.
Materiales	El medio filtrante deberá estar formado por una mezcla de tierra vegetal cribada y arena lavada de río, a una proporción 70-30. Deberá ser una mezcla estable y con una permeabilidad comprendida entre 100 y 300 mm/h. La capa drenante estará conformada por áridos de granulometrías intermedias y libres de finos, y se separará del medio filtrante mediante un geotextil con una permeabilidad y resistencia al punzonamiento adecuadas. Puede incluirse una tubería ranurada para facilitar el vaciado.
Entrada/Salida	Las entradas puntuales de escorrentía se deberán proteger para evitar la erosión del medio filtrante y se deberán instalar elementos de rebose que permitan el vaciado del parterre durante eventos torrenciales. Se podrá considerar la infiltración como vía principal de desagüe cuando la permeabilidad del terreno sea superior a 10^{-6} m/s, y se asegure el vaciado en un máximo de 48 horas.
Vegetación	Deben emplearse especies mediterráneas, de bajas necesidades hídricas, de hoja perenne, y capaces de resistir condiciones extremas de inundación y sequía. Se recomienda poblar el parterre con una gran densidad de plantaciones (6-10 plantas/m ²).

LOCALIZACIÓN



FUNCIONES

Tratamiento	Al retener sedimentos y contaminantes en el medio filtrante.
Infiltración	Al posibilitar la infiltración al subsuelo del agua tratada.

BALSAS DE INFILTRACIÓN Y DETENCIÓN



Las balsas son depresiones en el terreno, generalmente vegetadas, que permanecen secas en los periodos en los que no hay lluvias. Generan un volumen de almacenamiento superficial para la escorrentía, que facilita la sedimentación de los sólidos arrastrados por el agua.

Según la forma de evacuación del agua almacenada se clasifican en:

- ▶ **Balsas de infiltración:** situadas sobre terrenos permeables, el vaciado de la balsa se realiza por infiltración al terreno.
- ▶ **Balsas de detención:** evacúan la escorrentía de forma controlada a una caudal laminado mediante un desagüe. Se sitúan en terrenos con una baja permeabilidad.

Las balsas deben diseñarse para que se vacíen en un plazo máximo de 48 horas, evitando la proliferación de mosquitos o malos olores, y pudiendo albergar otros usos en tiempo seco.

CRITERIOS DE DISEÑO

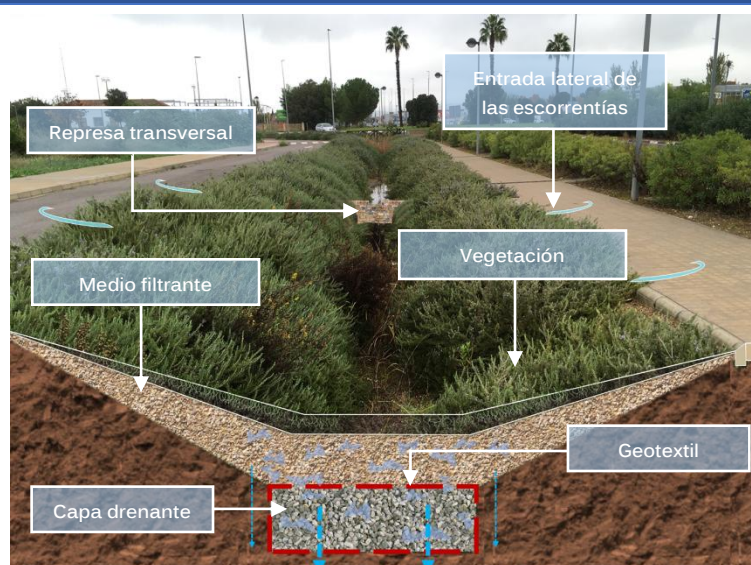
Geometría y concepción	La balsa debe ser accesible, y contar con pendientes laterales que no excedan la proporción 1V:3H. La profundidad de la balsa suele ser superior a 50 cm, y se recomienda dejar cierto resguardo respecto a su nivel máximo de llenado. La base de las balsas de infiltración debe ser plana, mientras que las de las balsas de detención debe tener cierta pendiente hacia la tubería de desagüe. Se recomienda incluir una zona de sedimentación preferente, donde se concentre la mayoría de los sólidos arrastrados por la escorrentía y se facilite el mantenimiento.
Materiales	En el caso de las balsas de infiltración, se recomienda incluir una capa de 30 cm de medio filtrante en la base, formado por tierra vegetal cribada y arena lavada de río, en una proporción 70-30.
Entrada/Salida	Las entradas puntuales de escorrentía deberán protegerse mediante escolleras para evitar la erosión de la base de la balsa. Además, se deberán instalar elementos de rebose que permitan el vaciado de la balsa durante eventos torrenciales, cuando se supere su nivel máximo de diseño. Se podrá considerar la infiltración como vía principal de desagüe cuando la permeabilidad del terreno sea superior a 10^{-6} m/s, y se asegure el vaciado en un máximo de 48 horas. En el caso de las balsas de detención, la tubería de vaciado deberá estar debidamente protegida frente a obstrucciones.
Vegetación	Deben emplearse especies mediterráneas, de bajas necesidades hídricas, de hoja perenne, y capaces de resistir condiciones extremas de inundación y sequía.

LOCALIZACIÓN

FUNCIONES

Infiltración	Al permitir la infiltración al subsuelo de una parte de la escorrentía recibida.
Detención	Al posibilitar la descarga laminada a la red de drenaje.

CUNETAS VEGETADAS



Las cunetas vegetadas son canales abiertos de poca profundidad, habitualmente de sección trapezoidal, que van recubiertos de vegetación y reciben las escorrentías de zonas impermeables adyacentes. La entrada de las escorrentías a las cunetas se suele hacer de forma repartida por los taludes laterales, y su pendiente longitudinal debe ser suave para favorecer velocidades bajas y minimizar la erosión.

Su principal función es el transporte y el tratamiento de las escorrentías recibidas a través de la filtración, pudiendo permitir también su infiltración al subsuelo si las condiciones geotécnicas del terreno lo permiten.

Para favorecer los procesos de sedimentación e infiltración, es posible instalar represas transversales que propicien un reparto del agua más homogéneo y el aprovechamiento de toda la longitud de la cuneta.

CRITERIOS DE DISEÑO

Geometría y concepción	Se recomienda adoptar secciones trapezoidales, por su facilidad de construcción y mantenimiento, y emplear taludes laterales tendidos (1V:3H o 1V:4H), que minimicen la erosión de los mismos. Las pendientes longitudinales deben ser inferiores al 5 %, y se recomienda la instalación de represas transversales cuando sean superiores al 3 %. Si la pendiente es inferior al 1 %, y no es posible la infiltración al terreno, se sugiere la instalación de una capa drenante con un tubo ranurado.
Materiales	Las represas pueden construirse con pequeños muros de gaviones, lomos de tierras o traviesas de madera. Deberá protegerse con escollera la sección inmediatamente aguas abajo para evitar la erosión. Se recomienda la colocación de una capa de 30 cm de medio filtrante en la base, formado por tierra vegetal cribada y arena lavada de río, en una proporción 70-30. En caso de ser necesario, bajo el medio filtrante se podrá incluir una capa drenante conformada por áridos libres de finos.
Entrada/Salida	La entrada de agua debe efectuarse por los laterales, del modo más distribuido posible, y protegiendo las entradas puntuales de la erosión mediante escolleras. Se podrá considerar la infiltración como vía principal de desagüe cuando la permeabilidad del terreno sea superior a 10^{-6} m/s, y se asegure el vaciado en un máximo de 48 horas. En cualquier caso, se deberán disponer sistemas de alivio para eventos torrenciales que superen la capacidad nominal de la cuneta.
Vegetación	Deben emplearse especies mediterráneas, de bajas necesidades hídricas, de hoja perenne, y capaces de resistir condiciones extremas de inundación y sequía.

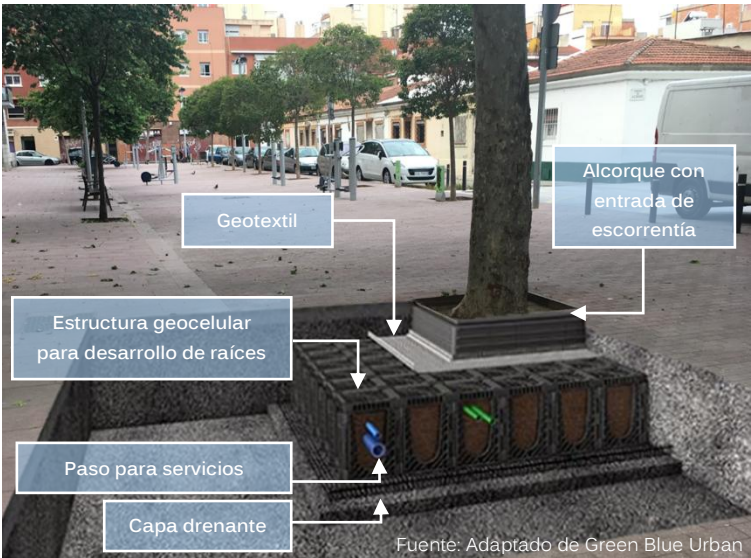
LOCALIZACIÓN

FUNCIONES

Tratamiento	Al filtrar los contaminantes durante el flujo longitudinal.
Infiltración	Al permitir la infiltración al subsuelo de una parte de la escorrentía recibida.



ALCORQUES ESTRUCTURALES



Los alcorques estructurales son sistemas formados por un suelo estructurado que proporciona un volumen para el desarrollo de las raíces de los árboles. Este sistema evita la compactación del suelo, y presenta capacidad portante suficiente para permitir el tránsito sobre él. También, pueden permitir el almacenamiento temporal de las escorrentías, facilitando la gestión del agua de lluvia en cuencas urbanas consolidadas.

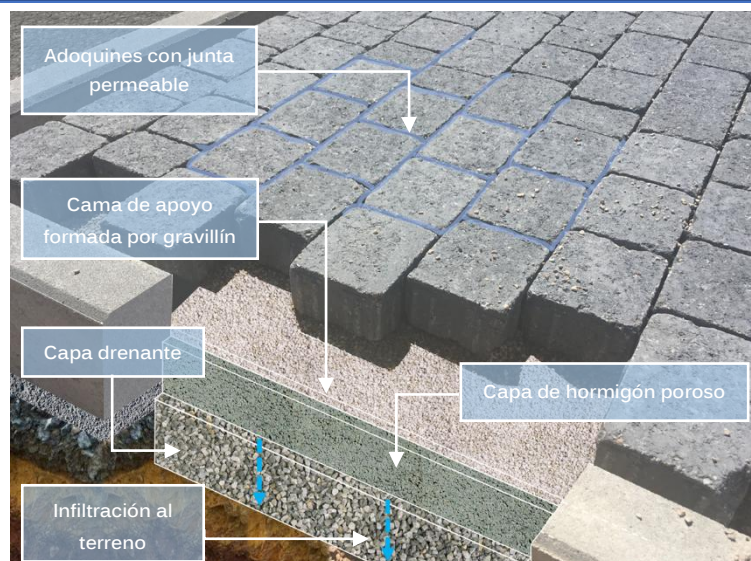
Según el tipo de estructura portante se clasifican en:

- ▶ **Alcorques con material granular:** compuestos por una mezcla de tierra vegetal y material granular, que evita la compactación y distribuye las cargas.
- ▶ **Alcorques con geoceldas de polipropileno:** incluyen una estructura reticular portante, rellena de sustrato vegetal, que favorece el desarrollo de las raíces.

CRITERIOS DE DISEÑO	
Geometría y concepción	El volumen de suelo disponible debe ser suficiente para propiciar el correcto desarrollo de las raíces, teniendo en cuenta los requisitos de cada especie. Si se considera necesario, se puede disponer de un almacenamiento superficial en la zona no-transitable alrededor del tronco. En alineaciones de arbolado, es posible emplear pavimentos permeables entre los alcorques, de forma que el agua captada pueda percolar hacia los sustratos. Se recomienda incluir un pozo de ventilación e inspección que permita verificar la lámina de agua existente.
Materiales	En el caso de alcorques con geoceldas de polipropileno, las celdas deben tener una capacidad portante suficiente para las cargas asociadas, y deberán instalarse con los elementos auxiliares (geotextiles, registros, puntos de aireación...) recomendados por el proveedor.
Entrada/Salida	Se podrá considerar la infiltración como vía principal de desagüe cuando la permeabilidad del terreno sea superior a 10^{-6} m/s, y se asegure el vaciado en un máximo de 48 horas. Asimismo, se recomienda la instalación de una capa drenante que evite el encharcamiento prolongado de las raíces.
Vegetación	La especie arbórea seleccionada deberá tener una demanda hídrica importante y una buena capacidad de absorción de contaminantes. Se recomiendan especies de follaje denso, crecimiento rápido y ramificación vertical.

LOCALIZACIÓN			
FUNCIONES			
Infiltración		Al permitir la infiltración al subsuelo de una parte de la escorrentía recibida.	
Detención		Al ralentizar la entrada de escorrentías en la red de drenaje.	

PAVIMENTOS PERMEABLES



Los pavimentos permeables permiten la percolación de la escorrentía hacia capas subsuperficiales, a la vez que permiten el paso de personas y vehículos sobre ellos. El agua se almacena temporalmente bajo el pavimento pudiendo ser infiltrada o descargada a la red de forma controlada. El flujo de la escorrentía a través de las capas granulares que conforman la sección favorece la retención de contaminantes y la mejora de la calidad del agua.

Según el tipo de acabado de la superficie se clasifican en:

- **Pavimentos porosos:** la superficie está totalmente cubierta por un material poroso (hormigón, asfalto o similar) que permite la filtración de la escorrentía.
- **Pavimentos permeables por junta:** están compuestos por elementos impermeables, como adoquines, cuya geometría o instalación facilita el paso del agua a través de juntas.

CRITERIOS DE DISEÑO

Geometría y concepción	La tipología del firme y sus capas asociadas deben estar diseñadas atendiendo a las cargas esperables. Se recomienda que la cuenca vertiente al pavimento permeable no exceda la relación impermeable:permeable 2:1, y se debe evitar que cuencas con áreas sin pavimentar drenen hacia el pavimento, ya que pueden arrastrar una cantidad significativa de sedimentos.
Materiales	La permeabilidad inicial de la superficie del pavimento en su conjunto debe ser de al menos 4.500 mm/h, y en el diseño se aplicará un factor reductor de 10 para considerar la colmatación a largo plazo. En el caso de emplear adoquines, estos deberán ser autoblocantes, con separadores incluidos en la propia pieza y la junta deberá tener una apertura no superior a 1 cm, que deberá ir rellena con gravillín (3/6 mm). La capa drenante estará formada por áridos de granulometrías intermedias y libres de finos, y en zonas con pendientes elevadas puede compartimentarse el almacenamiento subsuperficial para optimizar el volumen gestionado. Opcionalmente, es posible la incorporación de un geotextil de absorción de hidrocarburos que mejore el tratamiento proporcionado por los materiales granulares.
Entrada/Salida	La entrada de escorrentía se efectuará por la propia superficie del pavimento, y para la salida se podrá considerar la infiltración como vía principal de desagüe cuando la permeabilidad sea superior a 10^{-6} m/s, y se asegure el vaciado completo de la subbase en un máximo de 48 horas. Cuando la permeabilidad no sea suficiente la capa drenante podrá contar con una tubería ranurada que posibilite el vaciado de la escorrentía tratada y laminada.

LOCALIZACIÓN

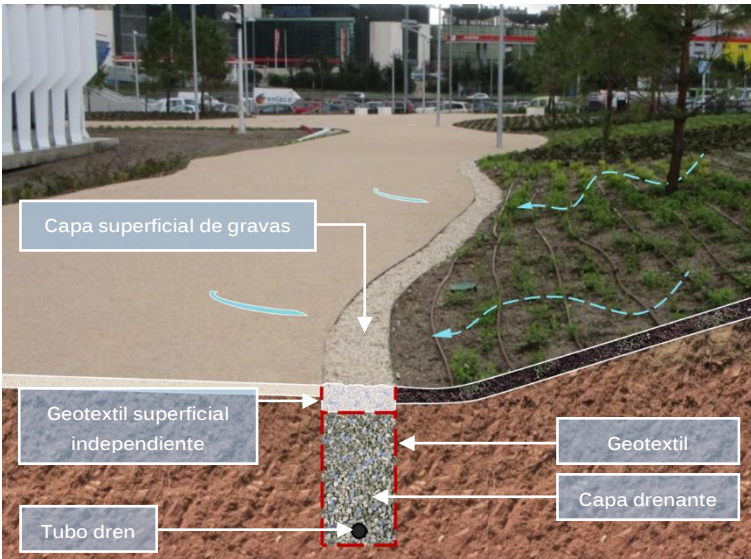


FUNCIONES

Filtración	Al retener contaminantes en las capas granulares del pavimento.
Infiltración	Al permitir la infiltración al subsuelo de una parte de la escorrentía recibida.



DRENES FILTRANTES



Los drenes filtrantes son zanjas de poca profundidad, rellenas de material poroso (habitualmente gravas), que permiten el transporte longitudinal de las escorrentías a la vez que proporcionan tratamiento a las aguas.

La entrada de la escorrentía suele producirse lateralmente desde la superficie, y suelen incluir un conducto drenante en su base para facilitar el transporte y distribución de las escorrentías a largo de toda su longitud.

El flujo a través del medio poroso favorece la retención de los sólidos suspendidos y contaminantes arrastrados por la escorrentía.

Pueden emplearse como elemento de conexión entre otras técnicas SUDS o como un elemento de captación e intercepción de escorrentía.

CRITERIOS DE DISEÑO

Geometría y concepción	Suelen presentar una geometría lineal y son instalados en paralelo a la superficie a drenar. Habitualmente presentan profundidades entre 50 y 150 cm y es recomendable instalarlos en zonas con pendientes longitudinales inferiores al 5 %. Es posible incluir una pequeña depresión superficial de 2-5 cm que favorezca la captación de las escorrentías. Es importante que se incluya un geotextil superficial independiente, que abarque los primeros 15-20 cm de material granular, donde se concentrará gran parte de los sedimentos capturados y se facilitará el mantenimiento.
Materiales	El material de relleno debe permitir la percolación del agua y la eliminación de contaminantes, sin favorecer el bloqueo del sistema por colmatación. Para el relleno, es habitual emplear gravas libres de finos, con un índice de huecos superior al 30 %, que pueden incluir un almacenamiento complementario bajo las mismas formado por celdas reticulares de polipropileno. Deben emplearse geotextiles con una permeabilidad y una resistencia al punzonamiento adecuadas para la aplicación requerida.
Entrada/Salida	La entrada de la escorrentía se realiza por los laterales, que pueden incluir bordillos discontinuos. El conducto drenante se instalará en la base de la zanja, tendrá un diámetro suficiente para los caudales trasegados, ocupando su recorrido total o únicamente el tramo final.

LOCALIZACIÓN

FUNCIONES

Filtración	Al retener contaminantes en las capas granulares que conforman el dren.
Detención	Al ralentizar la entrada de escorrentías en la red de drenaje.

ZANJAS Y POZOS DE INFILTRACIÓN



Se trata de sistemas de drenaje que permiten la captación, filtración y almacenamiento temporal de la escorrentía, para su posterior infiltración al terreno. El volumen de almacenamiento se logra gracias a un material de relleno con un alto porcentaje de huecos.

Según su geometría, se clasifican en:

- **Zanjas:** presentan una geometría lineal, poco profunda, y suelen ir recubiertas de vegetación, grava o arena.
- **Pozos:** son perforaciones verticales de mayor profundidad que pueden ir revestidas (excavación reforzada por ladrillo panal o anillos de hormigón perforados) o sin revestir (excavación rellena de material drenante).

CRITERIOS DE DISEÑO

Geometría y concepción	La profundidad de las zanjas suele ser menor a 150 cm, y se recomienda que su pendiente longitudinal sea inferior al 3 %. En caso de que la pendiente sea mayor, es posible instalar represas intermedias que optimicen el almacenamiento. Es importante que se incluya un geotextil superficial independiente, que abarque los primeros 15-20 cm de material granular, donde se concentrará gran parte de los sedimentos capturados y se facilitará el mantenimiento. Los pozos suelen presentar diámetros entre 1 y 3 metros, y en el caso de los pozos revestidos pueden alcanzar profundidades importantes, permitiendo la infiltración en estratos permeables que se encuentren a mayor profundidad.
Materiales	El almacenamiento temporal puede conseguirse mediante gravas de granulometrías intermedias libres de finos (30 % de índice de huecos) o con celdas reticulares de polipropileno. En las zanjas, es posible también instalar un tubo dren que facilite la distribución longitudinal de la escorrentía. Deben emplearse geotextiles con una permeabilidad y una resistencia al punzonamiento adecuadas para la aplicación requerida.
Entrada/Salida	La entrada de escorrentía se debe de hacer de forma controlada, incluyendo elementos disipadores de energía si se requiere. Debe incluirse un sistema de alivio a la red para eventos torrenciales. Por su naturaleza, la evacuación se realiza por infiltración, por lo que se requiere la permeabilidad sea superior a 10^{-6} m/s, y se asegure el vaciado completo del almacenamiento en un máximo de 48 horas.

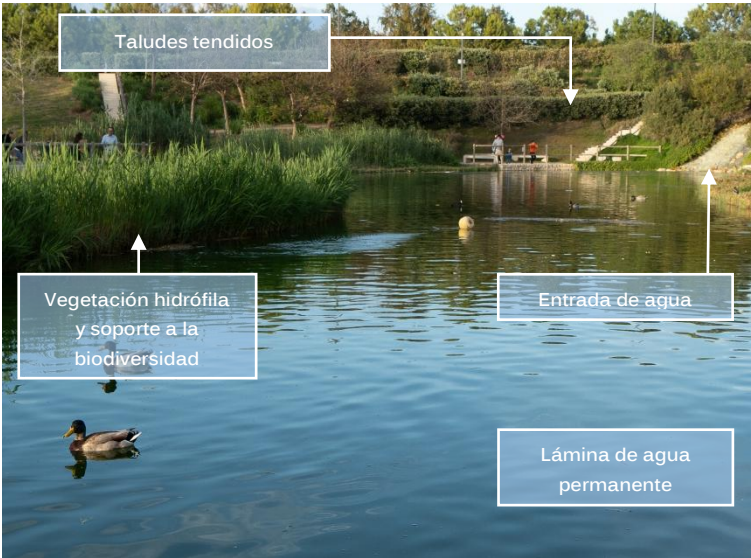
LOCALIZACIÓN

FUNCIONES

Infiltración	Al permitir la infiltración al subsuelo de una parte de la escorrentía recibida.
Filtración	Al retener contaminantes en las capas granulares que conforman la zanja o el pozo.



HUMEDALES ARTIFICIALES Y ESTANQUES



Son masas de agua artificiales, creadas para mejorar la calidad de las escorrentías y reducir su volumen. Están formados por una lámina de agua permanente, que sirve de soporte para la biodiversidad, y de un volumen variable que proporciona almacenamiento temporal de las escorrentías. Son técnicas que requieren de un gran espacio, y presentan vegetación acuática y perimetral para fomentar la biorremediación.

Según su función predominante se clasifican en:

- **Humedales artificiales:** persiguen la mejora de la calidad de las aguas recibidas fomentando los procesos biológicos y la fitorremediación.
- **Estanques:** están orientadas a laminar grandes volúmenes de agua, sin hacer tanto énfasis en el tratamiento.

CRITERIOS DE DISEÑO	
Geometría y concepción	Deben implementarse en zonas llanas, estables y preferentemente impermeables. Pueden ser depresiones naturales, pero nunca masas de agua preexistentes. En caso de que el terreno sea permeable se recomienda la colocación de una geomembrana. Se recomienda que la lámina de agua permanente presente un calado mínimo de 120 cm, y en vasos con profundidades superiores a 150 cm puede ser necesario un sistema de recirculación. Son preferibles las geometrías alargadas, que dilaten los tiempos de residencia del agua, y se aconseja la inclusión de una zona de sedimentación preferente en los puntos de entrada de agua. Deberá darse relevancia al uso público y recreacional de la instalación y señalizarla debidamente.
Materiales	En las zonas inundables deberá emplearse mobiliario urbano compatible con la inundación ocasional, de forma que se minimicen las acciones correctivas tras un evento significativo.
Entrada/Salida	La entrada de escorrentía puede producirse desde los laterales, que incluirán elementos de protección frente a la erosión. La salida del agua se controlará mediante válvulas de vórtice o conductos de pequeño diámetro, debidamente protegidos frente a las obstrucciones. Se recomienda la inclusión de un aliviadero de emergencia para eventos torrenciales.
Vegetación	Por lo general se propondrán plantas hidrófilas, con una gran capacidad de biodepuración y tolerancia a la variación de niveles de agua.

LOCALIZACIÓN			
FUNCIONES			
Tratamiento	Al favorecer la fitorremediación y la retención de contaminantes		
Detención	Al ralentizar la entrada de escorrentías en la red de drenaje.		

3.5. Elementos auxiliares

Complementariamente a los diversos tipos de SUDS, existen otros elementos que resultan indispensables para el correcto funcionamiento de los sistemas:

- **Elementos de entrada de escorrentía.** Son estructuras que permiten el ingreso de la escorrentía en los SUDS, proporcionando conectividad hidráulica entre estos y las áreas impermeables adyacentes, de modo que se optimiza el volumen de agua gestionado por estas técnicas. Pueden ser discontinuidades en los bordillos (Figura 10), canaletas, imbornales...



Figura 10. Bordillo intermitente. Entrada hacia área de biorretención en Pamplona (España).

- **Elementos de vertido o rebose controlado.** Son estructuras que permiten el desagüe y vaciado controlado de los SUDS. Se distinguen dos grandes tipos: los elementos de desagüe controlado, que posibilitan la descarga progresiva del agua a la red; y los rebosaderos o aliviaderos (Figura 11), que permiten evacuar el exceso de escorrentía durante un episodio torrencial, cuando ésta alcanza un determinado nivel.



Figura 11. Elementos de rebose superficial interconectando SUDS en el Parque Ferial de Fuenlabrada.

Para propiciar el desagüe controlado, es común emplear dispositivos limitadores del caudal de salida entre los que destacan las válvulas

vórtice, que se basan en principios hidrodinámicos para limitar el caudal vertido, o los orificios de diámetro reducido.

- **Dispositivos compactos de tratamiento.** Son elementos instalados en pozos de registro que contribuyen a la eliminación de los contaminantes arrastrados por la escorrentía, mejorando la calidad del efluente. Los más habituales son los separadores hidrodinámicos (Figura 12), que se apoyan en el flujo rotatorio para separar los sólidos suspendidos (que suelen llevar adheridos gran parte de los hidrocarburos presentes en el agua) de la fracción líquida.

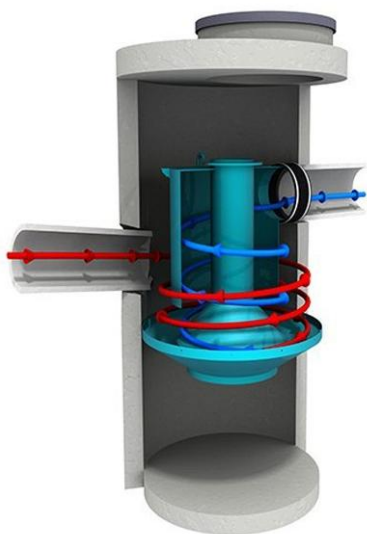


Figura 12. Flujo rotatorio a través de un separador hidrodinámico. Fuente: Drenatura.

Generalmente, los dispositivos compactos de tratamiento son aptos en localizaciones donde se dispone de espacio limitado, y donde no resulta

viable la implementación de SUDS u otras Soluciones basadas en la Naturaleza, que deben constituir **siempre la opción preferente**.

- **Aljibes.** Los aljibes son estructuras que permiten captar y almacenar la escorrentía generada en las cubiertas u otras superficies altas para su posterior aprovechamiento en usos no potables compatibles, como son el riego o el baldeo. Los aljibes pueden ubicarse en el exterior de los edificios, canalizando el agua hasta éstos a través de bajantes; o pueden situarse dentro de los propios edificios o ser subterráneos.



Figura 13. Aljibe semienterrado en el Centre Social de Benaguasil (Valencia).

En general constituyen una medida muy útil que cumple con un doble objetivo: por un lado, evitan que las aguas procedentes de las

cubiertas, que suponen una superficie muy importante de las ciudades y que presentan unos niveles de contaminación bajos, acaben directamente en la red de saneamiento; y por otro, contribuyen a reducir la demanda de agua para usos que serían compatibles con agua no potable.

- **Cajas reticulares de polipropileno.** Las cajas reticulares son estructuras plásticas modulares, con una gran capacidad portante, que permiten conformar volúmenes de almacenamiento subterráneos con un índice de huecos muy elevado (entorno al 95 %). Constituyen un complemento muy interesante para algunas tipologías de SUDS como los parterres inundables o las balsas de infiltración, permitiendo aumentar el volumen de agua gestionado por el SUDS.



Figura 14. Cajas reticulares de polipropileno con un alto índice de huecos.

Para asegurar la resiliencia de estas estructuras en el medio y largo plazo, **es imprescindible asegurar que la esorrentía que llegue al volumen creado mediante las cajas haya sido filtrada previamente**, preferentemente por algún SUDS, dado que el acceso para limpieza en el interior es muy limitado.

3.6. Medidas no estructurales

Las medidas no estructurales son aquellas que, sin requerir de una actuación constructiva propiamente dicha, contribuyen a gestionar el agua de lluvia de un modo más sostenible. Se trata, por lo general, de medidas divulgativas e informativas, que buscan modificar el comportamiento de las personas implicadas en el ciclo del agua, desde los ciudadanos hasta los técnicos municipales.

En primer lugar, existen las llamadas **medidas educativas** que pueden ir dirigidas a la población general o a un sector con una función concreta en el ciclo del agua (técnicos municipales, servicios de mantenimiento, empresas explotadoras, contratistas, etc.). Su principal misión es dar a conocer al público la filosofía del drenaje sostenible o las características de una actuación en concreto, de modo que se fomenten los comportamientos cívicos y se eviten acciones que podrían perjudicar el funcionamiento del sistema. Pueden consistir en acciones formativas regladas (talleres o cursos) (Figura 15), campañas publicitarias (son habituales, por ejemplo, las campañas de ahorro de agua o de evitar el vertido de toallitas higiénicas al inodoro) o carteles explicativos del funcionamiento de una actuación con SUDS (Figura 16).



Figura 15. Taller dirigido a técnicos y profesionales.

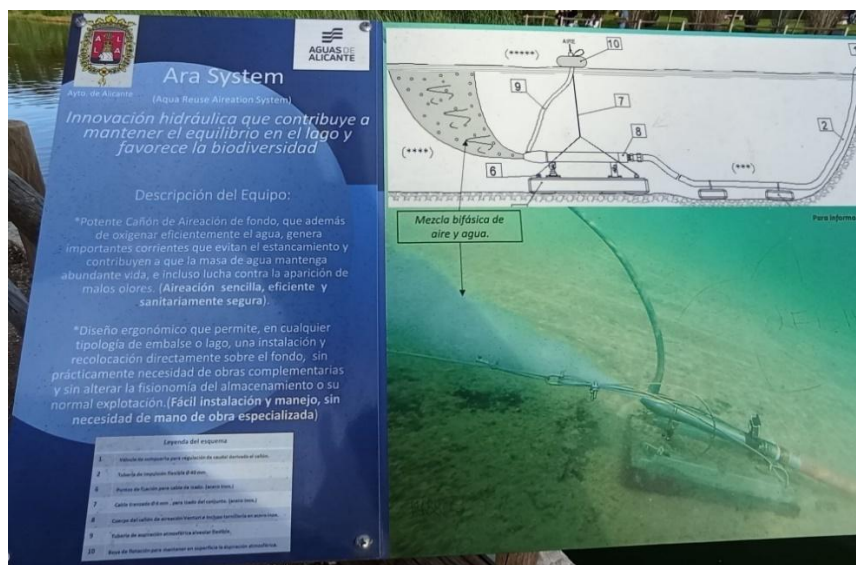


Figura 16. Panel explicativo sobre el funcionamiento de un aireador en el parque La Marjal.

Por otro lado, una **planificación urbana adecuada** o el desarrollo de un **marco legislativo** que favorezca la utilización de SUDS, puede tener un gran impacto en la gestión del agua de lluvia urbana. En este sentido, en la ciudad de Alicante ya se están poniendo en marcha iniciativas y acciones para favorecer este cambio de paradigma en el drenaje urbano. Por ejemplo, la publicación de la presente guía supone un respaldo a la aplicación de los SUDS a nivel local, tanto en actuaciones de regeneración urbana como en actuaciones de nueva planta.

Adicionalmente, existen algunas **buenas prácticas aplicables a los parques, jardines y zonas públicas** (tanto de nueva concepción, como existentes) que pueden contribuir a mejorar el funcionamiento del saneamiento en Alicante. En general, las zonas ajardinadas deberán ser **cóncavas**, de forma que las eventuales escorrentías que se generen queden temporalmente detenidas en la superficie facilitando su absorción por parte de las plantaciones y su gestión en origen. Con esta práctica, además de reducir el volumen descargado a la red de drenaje fomentando la gestión en origen, se evitará la entrada de sedimentos procedentes de las zonas vegetadas en la red. También, en la medida de lo posible deberá buscarse que las **zonas ajardinadas se encuentren en una cota topográficamente inferior respecto a las superficies impermeables** adyacentes, de modo que las escorrentías tengan posibilidad de fluir superficialmente y gestionarse en las zonas verdes. En este sentido, también deberán eliminarse las posibles barreras al flujo (bordillos, encintados, etc.) que impidan el paso del agua hacia las zonas ajardinadas.

La elaboración del **Plan Integral de Gestión del Sistema de Saneamiento (PIGSS)** también puede suponer un impulso adicional a la planificación del drenaje urbano en Alicante. En el Plan se podrán identificar qué zonas de la ciudad presentan una mayor necesidad de implementar SUDS, y definir objetivos y volúmenes concretos de gestión.

En la actualidad, las **certificaciones de sostenibilidad** que se otorgan a edificios y desarrollos también están suponiendo un gran impulso a la utilización de SUDS. Estas certificaciones otorgan una serie de puntos en distintas categorías en función del grado de compromiso ambiental que se ha considerado. En materia de drenaje sostenible, las certificaciones más habituales en España (LEED, BREAM, VERDE, DGN...) otorgan puntos por la utilización de sistemas de captación y reutilización de agua de lluvia y por el empleo de SUDS que permitan reducir los volúmenes y caudales vertidos fuera del ámbito.

La **digitalización del ciclo integral del agua** que se está llevando a cabo en la presente década es también un factor importante a considerar. La monitorización y seguimiento de los distintos elementos que componen los sistemas de drenaje permiten optimizar los procesos, mejorar el mantenimiento y reducir al máximo los consumos de agua. Un ejemplo muy sencillo es el caso del riego de SUDS basados en infraestructura verde, donde la utilización de sensores de humedad del suelo que condicionen el riego puede generar importantes ahorros en el riego. Además, toda esta información recopilada puede ser empleada por **algoritmos de apoyo a la toma de decisiones**, de forma que se pueda facilitar la incorporación de SUDS y contribuir a su mejor diseño y localización atendiendo a análisis multicriterio.

El **establecimiento de indicadores**, y la monitorización y seguimiento de parámetros que permitan evaluarlos, constituye una importante herramienta para cuantificar el desempeño de las medidas aplicadas. En este sentido, es de gran utilidad incorporar a los diseños con SUDS sistemas y sensores de monitorización, que permitan evaluar el éxito de su implementación, y que pueden permitir retroalimentar el proceso de diseño y refinar los protocolos establecidos para adaptarlos a las condiciones particulares de Alicante.

Por último, es fundamental disponer de los medios tecnológicos, económicos y humanos para llevar a cabo un **adecuado mantenimiento** de las medidas estructurales, garantizando de este modo el éxito de la inversión y el buen funcionamiento en el largo plazo. En este sentido debe hacerse hincapié en que llevar a cabo un mantenimiento preventivo, basado en la inspección y reparación temprana puede suponer un ahorro respecto a la adopción de políticas reactivas, focalizadas en realizar reparaciones más costosas cuando los problemas de funcionamiento son ya muy evidentes. Dada la importancia que supone el mantenimiento en el caso de los SUDS, en el Capítulo 6 se desarrollan con mayor detalle las principales tareas requeridas por cada tipología de SUDS.



4. RECOMENDACIONES DE DISEÑO



La incorporación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible a los proyectos puede suponer un desafío para los proyectistas y agentes que no estén familiarizados con estas técnicas, dado que su diseño debe acometerse desde una óptica multidisciplinar y holística. En el capítulo que sigue se abordan las principales recomendaciones que deben seguirse para el diseño de SUDS en Alicante, considerando las características particulares de esta ciudad.

En primer lugar, cabe destacar que la ciudad de Alicante presenta **ambientes urbanos muy diversos**, que pueden dar lugar a que las técnicas que resulten recomendables en una determinada zona, no lo sean en otros puntos de la trama urbana. Esta circunstancia obliga a realizar un análisis a una escala más reducida, contemplando las distintas tipologías urbanas que se encuentran en la ciudad.

En cualquier caso, el diseño de SUDS debe acometerse atendiendo al objetivo principal de su implementación, basado en los principios sobre los que se fundamenta la gestión sostenible de las aguas pluviales: crear un sistema de drenaje resiliente para el medio urbano, que optimice la **cantidad** de escorrentía a gestionar y mejore su **calidad**, potencie la **biodiversidad** del entorno mediante infraestructura verde y refuerce la idea de integración paisajística y multifuncionalidad de las actuaciones urbanísticas, proporcionando con todo ello espacios más amigables y atractivos para el **uso ciudadano**.

En proyectos de nueva implantación, el diseño de los sistemas de drenaje debe contemplar, desde las fases iniciales, el modo de realizar una gestión sostenible del agua pluvial, adecuando la distribución de los

usos del suelo, fomentando las zonas permeables y vegetadas e identificando las zonas de flujo y los puntos de acumulación o de infiltración al medio, entre otros aspectos.

Por otro lado, en proyectos de regeneración urbana, el diseño de SUDS debe abordarse con el objetivo de garantizar su adaptación al entorno, aliviando y mejorando el funcionamiento de los sistemas de drenaje existentes mediante la disminución de superficies impermeables, la reducción de volumen de escorrentía, la laminación del caudal que entra en el sistema y la mejora de calidad de la escorrentía que alcanza el medio receptor.

4.1. Las lluvias en Alicante

4.1.1. Área de estudio

La provincia de Alicante se sitúa en un contexto climático mediterráneo y presenta regiones subhúmedas (en el tercio septentrional) y semiáridas o áridas (en el resto del territorio). La compleja y accidentada orografía provincial, junto con el grado de exposición marítima, condicionan la distribución de las precipitaciones, dando lugar a dos áreas climáticas principales: el sector septentrional, con precipitaciones que pueden superar los 1.000 mm/año en años excepcionales, y el sector centro-meridional, con valores medios de precipitación inferiores a 300 mm/año.

Por tanto, la caracterización climática de la provincia de Alicante se define por un régimen pluviométrico de **escasa cantidad anual**, con períodos recurrentes de sequía intercalados con **episodios de lluvias torrenciales**, y un **régimen extremo de precipitaciones típico del**

Mediterráneo Oriental. Es importante resaltar que el litoral sur de la provincia, desde la ciudad de Alicante hasta su límite meridional, se encuentra expuesta a temporales intensos de levante, con vientos marítimos vinculados a episodios de lluvia torrencial en la región. Estas dos circunstancias son clave para desarrollar una planificación adecuada de los recursos hídricos, así como para evaluar los riesgos derivados de estos regímenes climáticos.

En este contexto, la ciudad de Alicante sufre con frecuencia lluvias intensas que provocan inundaciones, destacando los eventos ocurridos el 20 de octubre de 1982 y el 30 de septiembre de 1997 (Figura 17). Además, incluso en casos de lluvias no extremas, se producen a menudo problemas puntuales de capacidad y desbordamientos en la red de drenaje urbano, con impacto directo sobre el medio urbano o los medios receptores, debido a las altas intensidades horarias y sub-horarias registradas.



Figura 17. Riadas históricas en la ciudad de Alicante. Izquierda: 20 de octubre de 1982 | Fuente: Asociación Cultural Alicante Vivo. Derecha: 30 de septiembre de 1997 | Fuente: AMAEM.

El estudio de la serie pluviométrica histórica revela que, en los últimos 30 años, se ha producido una **disminución considerable de las precipitaciones de intensidad moderada**, mientras que las de intensidad fuerte, muy fuerte o torrencial han experimentado un aumento evidente, lo que sugiere posibles tendencias en la evolución de las precipitaciones en la ciudad a corto plazo. En términos de frecuencia de lluvias, el promedio anual de días con precipitación ha disminuido un 26 % en los últimos 30 años, respecto a la serie histórica (84 años). Además, la precipitación media anual se ha reducido a 285 mm, valor por debajo del umbral establecido para un clima árido.

4.1.2. Análisis estadístico de las precipitaciones en Alicante (1939-2023): curvas IDF

El dimensionamiento hidrológico e hidráulico se fundamenta en la relación matemática que relaciona la intensidad de la lluvia, su duración y la frecuencia de ocurrencia, que constituye la metodología más empleada para definir tormentas de diseño, conocida como curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).

En este caso, dado que Aguas de Alicante dispone de datos 10-minutales reales de precipitación en la serie 1939-2023, se ha empleado un doble ajuste de distribución de extremos, empleando la función de distribución de Wakeby para su construcción en lluvias de baja duración debido a su gran flexibilidad, lo que permite dar mayor relevancia a los eventos de lluvia extremos, asociados a duraciones cortas y periodos de retornos elevados, y mediante Gumbel en duraciones largas, menos cuantiosas en la serie histórica debido a propia climatología

mediterránea en la que abundan los eventos de corta frente a los de larga duración.

De este modo, se han obtenido las curvas IDF de la ciudad de Alicante para distintos periodos de retorno y duraciones de aguacero (Tabla 4), a partir de los registros de precipitaciones históricas (1939-2023).

Tabla 4. Curvas IDF para la ciudad de Alicante. Fuente: AMAEM.

d (min)	Intensidad (mm/h)								
	T1	T2	T5	T10	T15	T25	T50	T75	T100
10	56,4	68,5	91,3	109,2	119,8	133,2	151,4	162,0	169,5
20	43,2	52,5	73,1	90,5	101,2	115,5	135,7	148,1	157,1
30	32,2	41,5	59,5	75,7	86,3	100,7	122,4	136,3	146,7
60	18,2	25,0	37,4	49,7	58,3	71,9	92,4	107,4	119,4
120	9,9	14,7	23,4	32,6	39,4	49,8	68,0	81,5	92,5
240	7,9	9,5	10,6	15,0	18,5	24,3	36,0	45,9	54,8
360	6,1	7,4	9,4	10,2	12,9	17,3	26,0	33,2	39,6
600	4,5	5,4	6,9	8,3	9,2	10,5	12,7	14,1	15,2
720	4,0	4,8	6,1	7,4	8,2	9,4	11,3	12,6	13,6
1.440	2,6	3,1	4,0	4,8	5,4	6,1	7,4	8,2	8,9

4.1.3. Análisis estadístico de las precipitaciones en Alicante (1990-2023): cálculo de percentiles volumétricos de precipitación

En el diseño y dimensionamiento de ciertas infraestructuras asociadas al drenaje urbano, como los SUDS, además de los parámetros vinculados a eventos excepcionales (extremos), se emplean parámetros de diseño basados en percentiles volumétricos, representativos de las **precipitaciones ordinarias o frecuentes**.

El objetivo de utilizar estos valores es garantizar que el sistema de drenaje urbano dimensionado (SUDS, NbS, etc.) gestione íntegramente los eventos frecuentes y parcialmente los sucesos extremos, en lo relativo a disminución de escorrentía, tratamiento, etc. Por tanto, se calculan cuantiles, que definen umbrales de precipitación acumulada (Tabla 5), de modo que el porcentaje de los días lluviosos no excedan dicho valor. Por ejemplo, el cuantil $P_{d,80\%}$ define un volumen de lluvia tal que el 80 % de los días en los que se registran precipitaciones, la acumulación es igual o inferior a ese valor.

Tabla 5. Percentiles volumétricos de diseño para la ciudad de Alicante. Fuente: AMAEM.

Percentil	Volumen de precipitación promedio (mm)
$P_{d,60\%}$	5,8
$P_{d,75\%}$	8,0
$P_{d,80\%}$	11,8
$P_{d,90\%}$	17,7
$P_{d,95\%}$	25,0
$P_{d,98\%}$	30,2

4.1.4. Análisis de los escenarios futuros del cambio climático en Alicante

La determinación de las intensidades de precipitación mediante métodos estadísticos basados en datos históricos implica que, al incorporar una variable adicional como el Cambio Climático, las relaciones entre la intensidad, la duración y periodo de retorno de la lluvia pueden no reflejar con exactitud las **condiciones futuras de**

precipitación en la ciudad. Esto implica que las infraestructuras dimensionadas actualmente podrían no ser eficaces en el corto o medio plazo.

Para minimizar este efecto, se ha realizado un análisis a escala local sobre las posibles repercusiones del cambio climático en las principales variables hidrometeorológicas, con un enfoque particular en la precipitación, en la ciudad de Alicante.

Para realizar proyecciones a futuro que permitan regionalizar las consecuencias de los diferentes escenarios de cambio climático posibles, se ha colaborado con la empresa de servicios climáticos *Predictia*. Esta ha realizado proyecciones hasta el año 2100, a través de su herramienta *Climadjust*, con dos modelos: CMIP-6 (5 simulaciones) y Eurocordex (51 simulaciones). Además, se han considerado 3 escenarios de Cambio Climático: un escenario optimista con reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (SSP1-2.6 o RCP2.6), un escenario continuista en el que las emisiones continúan con los niveles actuales (SSP2-4.5 o RCP4.5) y un escenario pesimista en el que las emisiones se incrementan respecto al nivel actual (SSP5-8.5 o RCP8.5).

Con todo ello, se han obtenido **factores de cambio climático** para las diferentes duraciones de aguacero y los periodos de retorno asociados, que reflejan la variación en la intensidad de precipitación proyectada hasta el año 2100 para los 3 escenarios de Cambio Climático. En el escenario optimista (SSP1-2.6) el factor de mayoración resultante es 1 en todos los casos (para todas las duraciones y periodos de retorno), mientras que para los escenarios SSP5-8.5 y SSP2-4.5, es necesario

aplicar los factores de mayoración que figuran en la Tabla 6 y en la Tabla 7 de forma respectiva.

Tabla 6. Factor multiplicador de la intensidad para el escenario SSP5-8.5 para la ciudad de Alicante. Fuente: AMAEM.

Intervalo de duración (min)	Factor de cambio climático					
	T2	T5	T10	T25	T50	T75
0 – 10	1,00	1,00	1,05	1,30	1,50	1,60
11 – 20	1,00	1,00	1,05	1,30	1,50	1,60
21 – 30	1,00	1,00	1,05	1,30	1,40	1,45
31 – 60	1,00	1,15	1,20	1,30	1,35	1,35
61 – 120	1,00	1,20	1,25	1,30	1,20	1,25
≥ 121	1,15	1,60	1,65	1,50	1,30	1,40

Tabla 7. Factor multiplicador de la intensidad para el escenario SSP2-4.5 para la ciudad de Alicante. Fuente: AMAEM.

Intervalo de duración (min)	Factor de cambio climático					
	T2	T5	T10	T25	T50	T75
0 – 10	1,00	1,00	1,00	1,20	1,40	1,50
11 – 20	1,00	1,00	1,00	1,20	1,30	1,50
21 – 30	1,00	1,00	1,00	1,20	1,30	1,40
31 – 60	1,00	1,15	1,10	1,20	1,30	1,30
61 – 120	1,00	1,20	1,20	1,20	1,20	1,30
≥ 121	1,15	1,60	1,50	1,30	1,20	1,30

4.2. Control de la cantidad

Uno de los objetivos principales de la incorporación de SUDS a los diseños es la gestión de la cantidad de la escorrentía, tanto en volumen como en caudal. En este sentido, la magnitud de las lluvias puede determinar el comportamiento y objetivos de los SUDS, pudiéndose establecer distintos niveles de servicio según las intensidades del episodio:

- ▶ Para **lluvias ordinarias o frecuentes**, el diseño de los SUDS buscará la gestión y tratamiento íntegros de la escorrentía generada, asegurando una adecuada reducción de los caudales y volúmenes vertidos.
- ▶ Para **lluvias extremas**, se contemplará el rebose de una parte de la escorrentía a la red de saneamiento o al medio receptor, habiéndose gestionado y tratado los primeros milímetros de precipitación, y produciendo una reducción efectiva de los volúmenes descargados.

Siguiendo las pautas *del Reglamento del Dominio Público Hidráulico* (RD 665/2023) y de su guía de aplicación (*Recomendaciones para la elaboración de Planes Integrales de Gestión del Sistema de Saneamiento*; MITECO, 2025), es posible considerar que los eventos frecuentes son correctamente tratados por los SUDS si estos presentan **capacidad suficiente para gestionar íntegramente las escorrentías asociadas al percentil $P_{d,80\%}$** (también denominado V_{80} en otras guías y documentos).

No obstante, en aquellas zonas donde exista una **problemática aguda**, o se disponga del espacio necesario para implementar SUDS de mayor capacidad, es recomendable ampliar el volumen gestionado de forma que se pueda compensar la posible falta de disponibilidad de espacio en otras zonas de la ciudad. En el apartado 4.6 se realiza un análisis de los potenciales espacios de oportunidad disponibles en las distintas tipologías urbanas de Alicante estableciendo criterios volumétricos, más o menos exigentes, en función del potencial de la zona.

Cabe mencionar que todos los SUDS deberán disponer de un **sistema de rebose** a la red de saneamiento o al medio receptor, de forma que cuando se vea superada su capacidad nominal, las aguas excedentes puedan entrar en la red sin causar inundación descontrolada. En este sentido, los sistemas de rebose y elementos auxiliares deberán estar dimensionados para trasegar las escorrentías asociadas a lluvias de hasta **periodo de retorno T=15 años**, de acuerdo con las indicaciones del PATRICOVA para prevención del riesgo de inundación pluvial.

En las **pequeñas actuaciones de regeneración urbana u otras pequeñas obras de reurbanización**, es posible emplear directamente los percentiles volumétricos para obtener el volumen de gestión necesario en los SUDS, de un modo sencillo y directo.

En cambio, en los **nuevos desarrollos urbanísticos**, o en aquellas **grandes actuaciones que impliquen una superficie drenada superior a 1 ha**, se buscará que los SUDS presenten un volumen de gestión suficiente para asegurar que no se está empeorando la situación hidrológica preexistente, de forma que se pueda aumentar la

vulnerabilidad de otras zonas situadas aguas abajo. Este concepto se denomina **invariabilidad hidrológica**.

De esta forma, y siguiendo las indicaciones del *Anexo III. Aspectos técnicos de aplicación de los SUDS para el cumplimiento del RDPH* (incluido en el documento *Recomendaciones para la elaboración de Planes Integrales de Gestión del Sistema de Saneamiento*; MITECO, 2025), en este tipo de proyectos de mayor envergadura **deberá evaluarse el caudal máximo que se generaba en la situación pre-urbanizada**, y verificar que en el estado post-urbanizado (denominado en adelante urbanizado) no se supera este caudal para el periodo de retorno de diseño, establecido en T=15 años de acuerdo con las indicaciones del PATRICOVA.

Además, para asegurar la resiliencia del sistema en el largo plazo, en el estado urbanizado también se tendrá en cuenta la posible **influencia del cambio climático** (CC). De esta forma, deberá verificarse el cumplimiento de la siguiente relación:

$$Q_{urbanizado,T15+CC} \leq Q_{pre-urbanizado,T15}$$

Adicionalmente, en los casos en los que el vertido se realice a pequeñas ramblas naturales, se deberá verificar que para lluvias frecuentes (habitualmente marcadas por el periodo de retorno T=2 años), se cumple también la relación anterior, y no se empeora el escenario natural.

Para realizar estas comprobaciones más complejas es habitual recurrir a **herramientas de modelización hidrológico-hidráulica avanzada** (EPA SWMM, InfoDrainage, Infoworks, IBER, etc.) que permiten la

modelación combinada de sistemas que incluyen SUDS y elementos de drenaje convencional (Figura 18). El análisis del comportamiento del sistema sometido a lluvias de distintas duraciones e intensidades permitirá verificar el cumplimiento de los criterios de diseño anteriores.

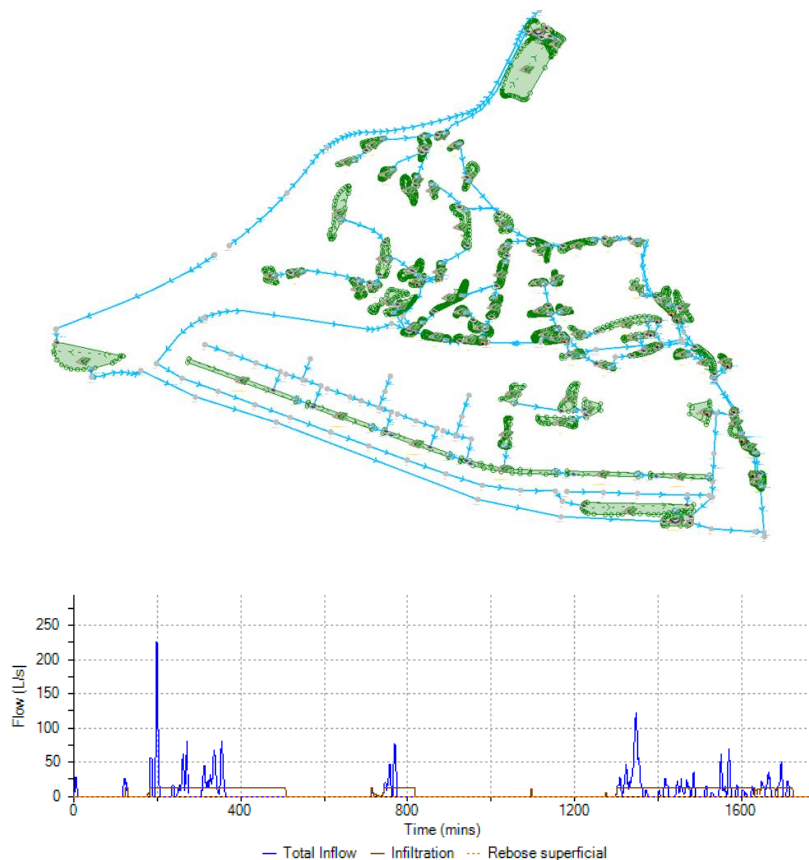


Figura 18. Arriba: planta general de un modelo hidrológico-hidráulico, que combina SUDS y redes de colectores, implementado en el software InfoDrainage. Abajo: ejemplos de resultados para un evento pluviométrico simulado en InfoDrainage.

4.3. Control de la calidad

La escorrentía procedente de áreas urbanas puede contener una **carga contaminante significativa**, originaria del arrastre de sedimentos, residuos sólidos y demás contaminantes acumulados en la superficie de los viales. Este fenómeno es más acusado en los primeros milímetros de precipitación, especialmente tras periodos secos, en lo que se denomina primer lavado o *first flush*.

Para asegurar un tratamiento adecuado de las escorrentías se debe **seleccionar el tipo de SUDS más conveniente** atendiendo a la peligrosidad contaminantes probables en la cuenca asociada. Además, se debe garantizar que el SUDS presente una **capacidad de tratamiento suficiente para tratar íntegramente las lluvias frecuentes**.

De acuerdo con el RD 665/2023 y lo dispuesto en el Anexo III. Aspectos técnicos de aplicación de los SUDS para el cumplimiento del RDPH (incluido en el documento *Recomendaciones para la elaboración de Planes Integrales de Gestión del Sistema de Saneamiento*; MITECO, 2025), este volumen de tratamiento quedará garantizado si los SUDS presentan capacidad para **gestionar íntegramente las escorrentías asociadas al percentil de precipitación $P_{d,80\%}$** . Para eventos mayores, podrá existir una parte del volumen que sea vertido al siguiente elemento de la red sin haber sido tratado por el SUDS.

Por otro lado, también de acuerdo con estos documentos, la elección de los tipos de SUDS debe realizarse atendiendo a la metodología de los Índices de Mitigación, desarrollada originalmente por Bryan Ellis en 2012, y expuesta en *"The SuDS Manual"* (Woods-Ballards *et al.*, 2015).

Esta metodología define índices de peligrosidad de contaminación para cada uso del suelo e índices de mitigación para cada tipo de SUDS. De este modo, el tipo de SUDS seleccionado proporciona un tratamiento suficiente a la escorrentía si se cumple la siguiente relación:

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Índice de mitigación del SUDS} \\ \hline \text{(para cada tipo de contaminante)} \\ \hline \end{array} \geq \begin{array}{|c|} \hline \text{Índice de peligrosidad de contaminación} \\ \hline \text{(para cada tipo de contaminante)} \\ \hline \end{array}$$

En caso de no cumplirse este criterio con una única técnica SUDS, es posible diseñar una cadena de SUDS que mejore la capacidad de mitigación global del sistema. En este supuesto, la capacidad de mitigación del segundo SUDS (y siguientes) se limita a la mitad para reflejar que la mayor parte de la contaminación se retiene en el primero de estos, reduciendo la eficacia de tratamiento de este segundo SUDS:

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Índice de mitigación de la cadena de SUDS} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Índice de mitigación del SUDS 1} \\ \hline \end{array} + \sum_{i=2}^{i=n} 0,5 \cdot \begin{array}{|c|} \hline \text{Índice de mitigación del SUDS i} \\ \hline \end{array}$$

A continuación, la Tabla 8 muestra los índices de mitigación propuestos para cada técnica SUDS y la Tabla 9 presenta los índices de peligrosidad para los usos del suelo más comunes.

Tabla 8. Índices de mitigación para los tipos de SUDS contemplados. Fuente: Anexo III. Aspectos técnicos de aplicación de los SUDS para el cumplimiento del RDPH (MITECO, 2025).

Tipo de SUDS	Sólidos Suspendidos Totales	Metales pesados	Hidrocarburos
Cubiertas vegetadas	0,4	0,4	0,4
Parterres inundables: Jardín de lluvia	0,6	0,5	0,6
Parterres inundables: Área de biorretención	0,8	0,8	0,8
Balsas de detención	0,5	0,5	0,6
Balsas de infiltración (*)	0,6	0,5	0,6
Cunetas vegetadas	0,5	0,6	0,6
Alcorques estructurales	0,6	0,5	0,6
Pavimentos permeables	0,7	0,6	0,7
Drenes filtrantes	0,5**	0,4	0,4
Zanjas y pozos de infiltración	0,5**	0,4	0,4
Humedales artificiales y estanques	0,8	0,8	0,8

*Considerando una capa de vegetación densa sobre un sustrato de 300 mm de profundidad. En caso de no disponer de vegetación, el rendimiento se reduce a 0,4-0,3-0,3, respectivamente.

**Considerando la existencia de una capa cercana a la superficie de geotextil o elemento de filtro adecuado.



Tabla 9. Índices de peligrosidad de contaminación según el uso del suelo en zonas urbanizadas. Fuente: Anexo III. Aspectos técnicos de aplicación de los SUDS para el cumplimiento del RDPH (MITECO, 2025).

Uso del suelo	Nivel riesgo de contaminación	Sólidos Suspendidos Totales	Metales pesados	Hidrocarburos
Tejados o cubiertas en zonas residenciales o industriales con una atmósfera limpia sin revestimientos de metal.	Bajo	0,2	0,2	0,05
Tejados o cubiertas en una atmósfera contaminada (Industrial y Terciario).	Medio	0,3	0,2 - 0,8	0,05
Pistas deportivas y otras zonas impermeables de uso lúdico.	Bajo	0,5	0,4	0,4
Garajes o zonas impermeables asociadas a edificaciones unifamiliares.				
Plazas o zonas de ocio.				
Zonas de aparcamiento y espacios comunes en zonas residenciales de menos de 50 viviendas.				
Zonas de aparcamiento de coches no residenciales con cambios poco frecuentes (p. ej. escuelas u oficinas).				
Calles de un solo carril (IMD < 300 v/d).				
Zonas residenciales de planta baja + primera.				
Zonas comerciales pequeñas.				
Aparcamientos residenciales y comerciales de menos de 50 vehículos.				
Pistas o carreteras con tráfico muy débil (IMD < 300 v/d).				
Calles con un carril por sentido (IMD < 2.000 v/d).	Medio	0,7	0,6	0,7
Zonas residenciales hasta 5 plantas.				
Zonas comerciales medianas.				
Aparcamientos residenciales y comerciales de menos de 200 vehículos.				
Carretera convencional o periurbana de calzada única (IMD < 15.000 v/d).				
Zonas industriales sin contaminantes peligrosos.				
Aeródromos de baja intensidad de tráfico.				
Áreas agropecuarias sin uso de sustancias contaminantes.				
Calles con dos, o más, carriles por sentido (IMD > 2.000 v/d).				
Zona residencial en altura a partir de 5 plantas.	Alto	0,8	0,8	0,9*
Grandes zonas comerciales.				
Aparcamientos residenciales y comerciales de más de 200 vehículos.				
Autovías o circunvalaciones urbanas de doble calzada (IMD > 15.000 v/d).				
Zonas peatonales o industriales de alta densidad de tráfico.				
Zonas de estacionamiento de alta renovación.				
Aeródromos con alta intensidad de tráfico.				
Áreas industriales de acopio que manejen sustancias contaminantes.				
Áreas vinculadas a EDARS o de tratamiento de RSU.				
Áreas de actividad agropecuaria con uso de sustancias contaminantes.				

*En entorno urbano con actividad residencial/comercial, se podrá considerar un valor de 0,8.

Aunque los SUDS constituyen la opción preferente para el tratamiento de las aguas pluviales, en ocasiones condicionantes específicos de los proyectos pueden dificultar su implementación. En estos escenarios los dispositivos compactos de tratamiento (como los separadores hidrodinámicos) emergen como una **herramienta alternativa para tratar las escorrentías**, siempre que su utilización esté por la administración competente.

En este sentido, el fabricante del dispositivo deberá justificar de forma acreditada la capacidad de remediación del equipo para cada tipo de contaminante, de forma que pueda seguir siendo de aplicación la metodología de los Índices de Mitigación. Además, el **caudal de tratamiento del dispositivo deberá ser suficiente** para tratar íntegramente las lluvias más habituales en la ciudad.

4.4. Biodiversidad y uso ciudadano

Uno de los principios conceptuales del diseño de SUDS es crear un sistema de drenaje que sea capaz de **integrarse eficientemente en el paisaje urbano, proporcionando espacios multifuncionales, más atractivos y amigables para los ciudadanos y el ecosistema**.

En consecuencia, en el planeamiento de cualquier estrategia de drenaje mediante la implementación de SUDS, se debe considerar el uso preferente de aquellos **sistemas con infraestructura verde** entre sus componentes, que presenten la capacidad de incorporarse e integrarse correctamente en el paisaje urbano, favoreciendo la mejora de hábitats y potenciando los ecosistemas.

Adicionalmente, se debe priorizar la selección de SUDS que permitan crear espacios multifuncionales, dedicados íntegramente a la gestión de aguas pluviales durante eventos de lluvia, pero con una utilidad ciudadana el resto del tiempo, incrementando las oportunidades de participación, educación y recreo.

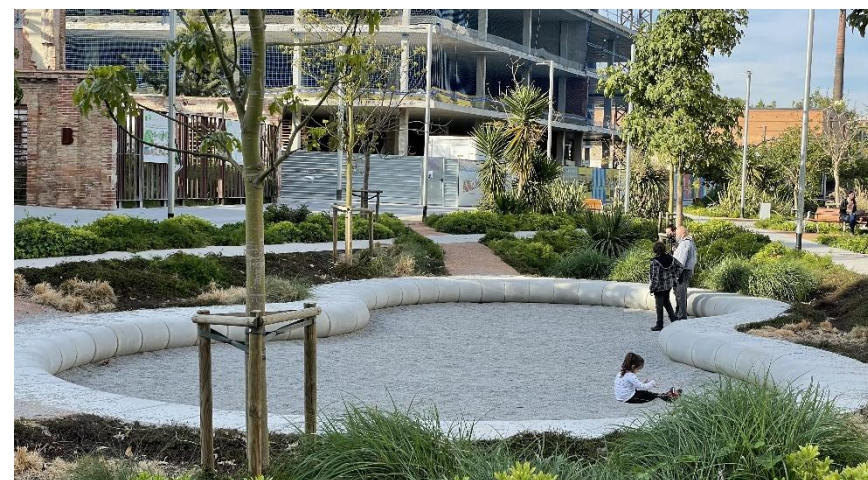


Figura 19. Balsa de infiltración que sirve como área de recreo y zona de juego infantil en tiempo seco (Barcelona).

4.5. Principales condicionantes en el diseño

El diseño de SUDS debe adecuarse a los condicionantes del medio físico y urbano, a fin de adaptar estos sistemas al entorno para alcanzar su total **integración en el paisaje urbano**. Algunos de los principales factores a considerar en el diseño de SUDS son la topografía, la geología y geotecnia, la hidrología e hidrogeología o las características de la infraestructura o medio receptor.



4.5.1. Topografía

La topografía supone un elemento esencial para identificar los patrones naturales del drenaje, cuencas vertientes y puntos bajos en las zonas de actuación. **El relieve en Alicante es muy variado** (Figura 20), y combina zonas con pendientes muy considerables en las faldas del Benacantil, el Monte Tossal o la Serra Grossa, con avenidas eminentemente llanas y con problemas de evacuación de pluviales, paralelas a la línea de costa.

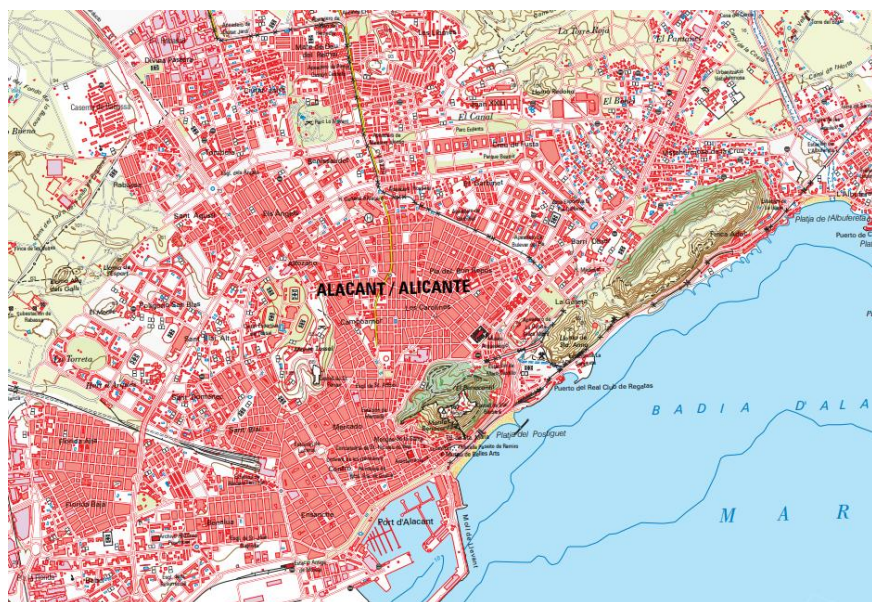


Figura 20. Detalle de la topografía del casco urbano de Alicante. Fuente: IGN MTN25 Vectorial Hoja 0872-3.

En este sentido, siempre es recomendable la realización de un levantamiento topográfico del ámbito, que permita generar un Modelo Digital de Elevaciones (DEM) de precisión, donde sea posible **identificar**

debidamente las cuencas drenantes. En su defecto, se podría recurrir a las bases cartográficas y Modelos Digitales del Terreno (MDT) disponibles en el *Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica* (CNIG).

Generalmente, los SUDS deben implantarse en zonas con pendientes suaves, que proporcionen bajas velocidades de escorrentía, favoreciendo los procesos de detención e infiltración del agua y la optimización de volúmenes de almacenamiento. Adicionalmente, velocidades reducidas y tiempos de retención altos facilitan los mecanismos de fitorremediación y de filtración. En aquellas zonas de la ciudad con grandes pendientes puede ser necesario el **uso de represas que faciliten el reparto longitudinal** del agua en el SUDS, y hacer especial énfasis en el empleo de elementos **disipadores de energía** que eviten la erosión de los sustratos.



Figura 21. Caz encachado para disipación de energía y control de la erosión en una entrada puntal a un jardín de lluvia (Parque Ferial de Fuenlabrada).

4.5.2. Geología y Geotecnia

El estudio de la geología y la geotecnia permite **caracterizar los materiales que conforman el terreno natural** a distintas profundidades y evaluar la idoneidad de las distintas técnicas SUDS. La **permeabilidad de los distintos estratos o la profundidad del nivel freático** son algunas de las variables que pueden condicionar la elección de una técnica SUDS u otra.

A partir de la Base Cartográfica Geológica de la Comunitat Valenciana, creada en el marco de colaboración entre el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el Institut Cartogràfic Valencià (ICV), es posible llevar a cabo una identificación general de las entidades geológicas presentes en la ciudad.

Tal y como se muestra en la Figura 23, el municipio de Alicante se sitúa sobre distintas unidades litológicas (UL). Concretamente, su núcleo urbano se sitúa mayoritariamente sobre abanicos aluviales recientes y conos de deyección (UL 38). Estas zonas de la ciudad pueden presentar una **composición de materiales geológicos muy variada**, consistentes en depósitos sedimentarios de los arrastres producidos en las distintas ramblas.

Por otro lado, destacan las Calcarenitias y Margas (UL 26) presentes en el Cabo de la Huerta, Sierra de San Julián (Serra Grossa) y Playa de San Juan (La Condomina); o la Costra Calcárea (UL 29) presente en Rabasa o en el barrio de Carolinas Bajas. De nuevo, se trata de materiales de propiedades variables, siendo la concentración en arcillas o el grado de

cementación de las costras, factores clave para determinar la permeabilidad de los materiales.

Para ampliar la información geológico-geotécnica, y conocer con más detalle la composición de los materiales, también es posible **consultar estudios geotécnicos realizados** en otros proyectos próximos al ámbito objeto de la actuación. En este sentido, el Visor de Cartografía del ICV permite consultar los estudios realizados en proyectos de competencia autonómica, y descargar las fichas de los sondeos.

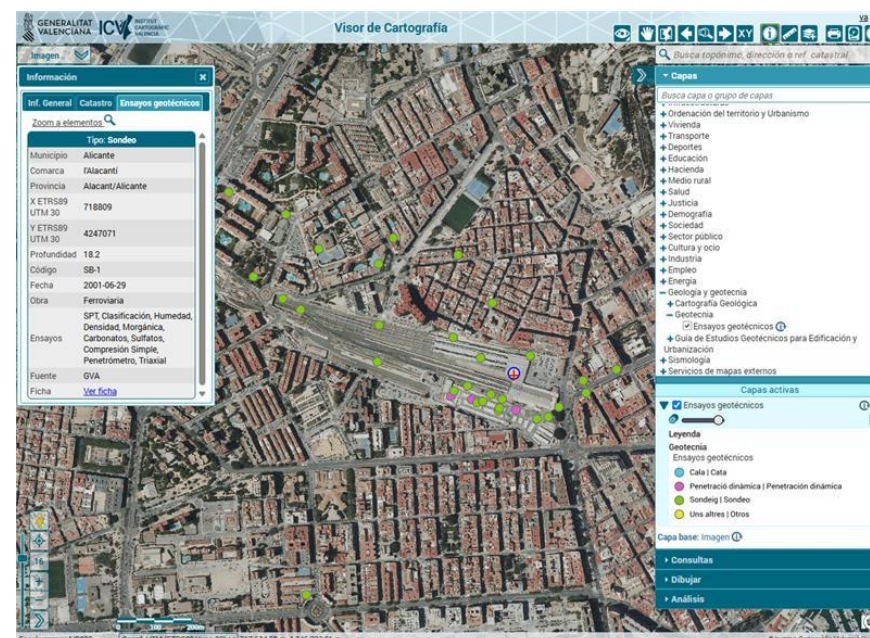


Figura 22. Imagen del Visor de cartografía del ICV donde se pueden consultar estudios geológico-geotécnicos previos.

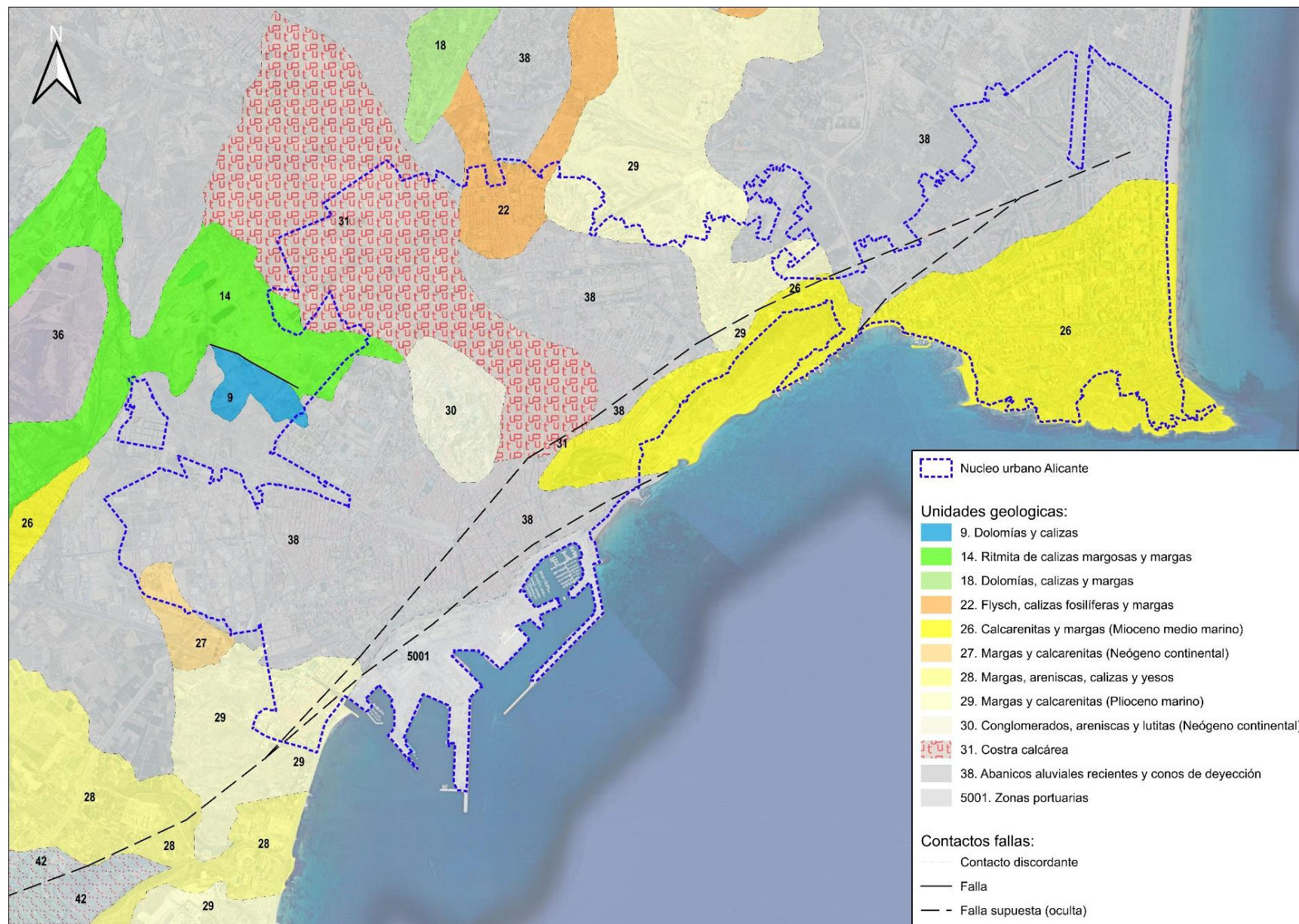


Figura 23. Mapa geológico local del municipio de Alicante. Fuente: ICV.

A partir de la caracterización y la identificación de los materiales presentes, es posible realizar una primera estimación de la permeabilidad del terreno. Esta aproximación debe realizarse con cautela, ya que es común que exista una importante heterogeneidad espacial en este parámetro, por lo que solo se recomienda su empleo a nivel de anteproyectos o estudios de viabilidad.

La siguiente tabla muestra los rangos más habituales de la permeabilidad asociadas a distintos materiales, según el Código Técnico de la Edificación. Por lo general, los materiales limosos y arcillosos suelen presentar permeabilidades más bajas, mientras que las gravas limpias permiten un paso rápido de las aguas hacia los acuíferos subterráneos.

Tabla 10. Valores orientativos de la permeabilidad. Fuente: Código Técnico de la Edificación (2019).

Tipo de Suelo	Permeabilidad (m/s)
Grava limpia	$> 10^{-2}$
Arena limpia y mezcla de grava y arena limpia	$10^{-2} - 10^{-5}$
Arena fina, limo, mezclas de arenas, limos y arcillas	$10^{-5} - 10^{-9}$
Arcilla	$< 10^{-9}$

Como norma general, para considerar la infiltración como principal vía de desagüe de un SUDS la **permeabilidad del terreno debe ser mayor a 10^{-6} m/s** y la distancia del nivel freático desde la base del SUDS mayor a 1 m.

Dada la amplia incertidumbre existente, incluso para las primeras fases de los proyectos se recomienda tomar un factor de seguridad de 10, de forma que la permeabilidad inicial (k_{inicial}) queda definida por la siguiente expresión:

$$k_{\text{inicial}} = \frac{k_{\text{Tabla 10}}}{10}$$

Por otro lado, para la realización de proyectos ejecutivos o la definición completa de la estrategia de drenaje es muy recomendable la **realización de ensayos de permeabilidad in situ**, que permitan una estimación de la permeabilidad en base a los materiales realmente presentes. Estos ensayos deberán llevarse a cabo por una **empresa geotécnica debidamente certificada**.

En este sentido, los ensayos de permeabilidad en zanja son los que mejor reproducen las condiciones que se darán en los SUDS, de modo que se recomienda aplicar el **ensayo de permeabilidad en zanja (BRE Digest 365 Soakaway Design)**. Resumidamente, el ensayo consiste en excavar una zanja prismática de unas dimensiones conocidas, llenarla de agua y medir los tiempos de descenso del nivel de agua en la zanja, a partir de los cuales se puede estimar el valor de la permeabilidad del terreno en esa localización.

El ensayo debe realizarse 3 veces en cada zanja excavada, preferentemente en el mismo día o, en su defecto, en días consecutivos, tomándose como resultado final el valor mínimo de los 3 ensayos.



1° Excavación de una zanja prismática de dimensiones conocidas.



2° Llenado de la zanja.



3° Medida de la evolución del calado en la zanja.



4° Vaciado completo de la zanja y nuevo llenado hasta completar 3 ensayos.

Figura 24. Ejecución de ensayos de permeabilidad según la metodología británica BRE 365.

El valor de la permeabilidad del terreno en cada ensayo se estima a partir de los tiempos de descenso medidos y la siguiente expresión:

$$k = \frac{V_{P75-25}}{a_{P50} \cdot t_{P75-25}}$$

Donde:

- ▶ k : Permeabilidad del terreno ensayado (m/s).
- ▶ V_{P75-25} : Volumen de almacenamiento entre el 75 % y el 25 % de la profundidad de excavación (m³).
- ▶ a_{P50} : Superficie mojada del 50 % de la profundidad de la excavación que se llena de agua, incluyendo el agua de base (m²).
- ▶ t_{P75-25} : Tiempo de vaciado entre el 75 % al 25 % de la profundidad de la excavación que se llena de agua (s).

A partir de los tres resultados obtenidos en cada localización se definirá como permeabilidad característica del punto de estudio **el menor valor de los tres obtenidos**.

Como criterio adicional de seguridad, es habitual aplicar un factor minorador a la permeabilidad obtenida en los ensayos de campo, que reproduzca la paulatina pérdida de permeabilidad del terreno en el largo plazo debido a la acumulación y deposición de sedimentos. En este sentido, es común aplicar un factor de seguridad de 1,5, de forma que la permeabilidad de cálculo minorada viene dada por la siguiente expresión:

$$k_{proyecto} = \frac{k_{ensayo}}{FS}$$

Donde:

- ▶ $k_{proyecto}$: valor de la permeabilidad a emplear en los cálculos (en m/s).
- ▶ k_{ensayo} : valor de la permeabilidad derivado de los ensayos realizados *in situ* (en m/s).
- ▶ FS : factor de seguridad a emplear. Habitualmente 1,5 (adimensional).

Finalmente, es fundamental **identificar la presencia de suelos contaminados** en el área de estudio, puesto que fomentar la infiltración en su caso podría provocar la contaminación de los acuíferos, pudiendo requerir la retirada de los suelos contaminados o el empleo de otras tipologías SUDS que no favorezcan la infiltración.

4.5.3. Infraestructura o medio receptor

El medio receptor de los vertidos de las aguas pluviales es otro aspecto fundamental a considerar en la definición de la estrategia de drenaje para cualquier actuación. Este punto **rige las condiciones de vertido**, influyendo en los requisitos de laminación de caudal, reducción de volúmenes o tratamiento de la escorrentía.

Generalmente, el diseño de SUDS deberá ajustarse en la medida de lo posible a la siguiente jerarquía de gestión de pluviales:

1. Aprovechamiento en usos compatibles.
2. Infiltración al terreno.
3. Descarga controlada a cauce público.
4. Descarga controlada a red de pluviales municipal.
5. Descarga controlada a red unitaria municipal.

De este modo, el **aprovechamiento** de agua pluvial para usos no potables (riego, baldeo, etc.) debe prevalecer en el diseño de las estrategias de drenaje y la selección de SUDS a implementar. Asimismo, siempre que sea posible, deben priorizarse los SUDS que permitan la **infiltración** de la escorrentía al terreno, favoreciendo la recarga de los acuíferos. Tanto el aprovechamiento de pluviales como la infiltración en origen contribuyen a la **reducción de volúmenes de escorrentía** vertidos a la red de saneamiento existente, uno de los principales objetivos del drenaje sostenible.

En caso de que la infiltración en origen o el aprovechamiento no fuesen posibles, se debe considerar, como siguiente opción preferible, el vertido directo de la escorrentía al **cauce público natural** más cercano, de manera controlada y con la calidad del agua adecuada.

En el supuesto de que no exista un cauce natural próximo a la zona de actuación, se debe optar por una descarga controlada a la **red de saneamiento municipal**, que en Alicante es mayoritariamente unitaria. A fin de reducir el volumen de escorrentía gestionado por las **redes de saneamiento unitarias**, en los emplazamientos donde la permeabilidad del terreno permita la **infiltración de las escorrentías en origen**, esta debe ser la opción preferente y deberá potenciarse para reducir el volumen trasogado y que finalmente alcanza la depuradora.

En las zonas de la ciudad con **redes de saneamiento separativas**, debe primarse el **correcto tratamiento de las escorrentías** mediante tipos de SUDS adecuados, pasando el control del volumen vertido a un plano secundario.



4.5.4. Hidrología e inundabilidad

Los SUDS deben diseñarse considerando diferentes factores relacionados con la hidrología: cuencas drenantes, puntos de vertido, nivel freático, zonas con riesgo de inundación, etc. En consecuencia, **es necesario realizar un estudio hidrológico pormenorizado** para identificar los procesos hidrológicos naturales presentes en el área de actuación, con el objetivo de reproducir el régimen natural, mediante la implantación de SUDS, tras la intervención.

Primeramente, se deben determinar las **cuencas drenantes** dentro del ámbito del proyecto, incluyendo las zonas adyacentes que vierten sus aguas hacia el ámbito de actuación. Las cuencas pueden definirse a partir del estudio topográfico, considerando las pendientes de las superficies y los obstáculos al flujo. Asimismo, es importante caracterizar el tipo de suelo, que proporcionará información preliminar acerca del grado de impermeabilidad del terreno, y el uso del mismo.

Por otro lado, se deben identificar los **puntos de vertido**, específicamente en lugares donde existan medios receptores vulnerables, a fin de garantizar los requisitos de calidad y cantidad exigidos por el organismo regulador.

Además, se debe considerar el **riesgo de inundación** en aquellos emplazamientos donde sea relevante. Para ello, se recomienda consultar el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) y el Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del Riesgo de Inundación en la Comunitat Valenciana (PATRICOVA).

En caso de que exista riesgo de inundación, el diseño de los SUDS debe abordarse teniendo en consideración los efectos asociados a este fenómeno, tales como la reducción del volumen de almacenamiento del sistema, la presencia de un nivel freático superficial o posibles problemas de erosión derivados del flujo superficial. Según PATRICOVA, **el núcleo urbano de Alicante presenta diferentes niveles de peligrosidad** de inundación (Figura 25):

- ▶ Nivel 1: frecuencia alta (25 años) y calado alto (superior a 0,8 m). Asociado al cauce del Barranc de Les Ovelles y del Barranc del Juncaret. En la desembocadura de este último se observa una peligrosidad de inundación geomorfológica por derrame sobre sus márgenes.
- ▶ Nivel 4: frecuencia media (100 años) y calado bajo (inferior a 0,8 m). Identificado en el barrio Playa de San Juan.
- ▶ Nivel 6: Frecuencia baja (500 años) y calado bajo (inferior a 0,8 m). En la desembocadura del Barranc de Les Ovelles, sobre sus márgenes.
- ▶ Geomorfológica: vaguadas y barrancos de fondo plano. en los antiguos cauces naturales de la rambla de Canicia (actual Rambla Méndez Núñez y Calle San Vicente), el barranco de Bonhivern y el barranco del canal ferroviario.

Tanto PATRICOVA como SNCZI se basan en estudios hidrodinámicos fluviales y marinos, de modo que puede ser necesario realizar un **estudio de inundación pluvial en el ámbito de actuación**, a fin de identificar la peligrosidad y el riesgo de inundación de origen pluvial.

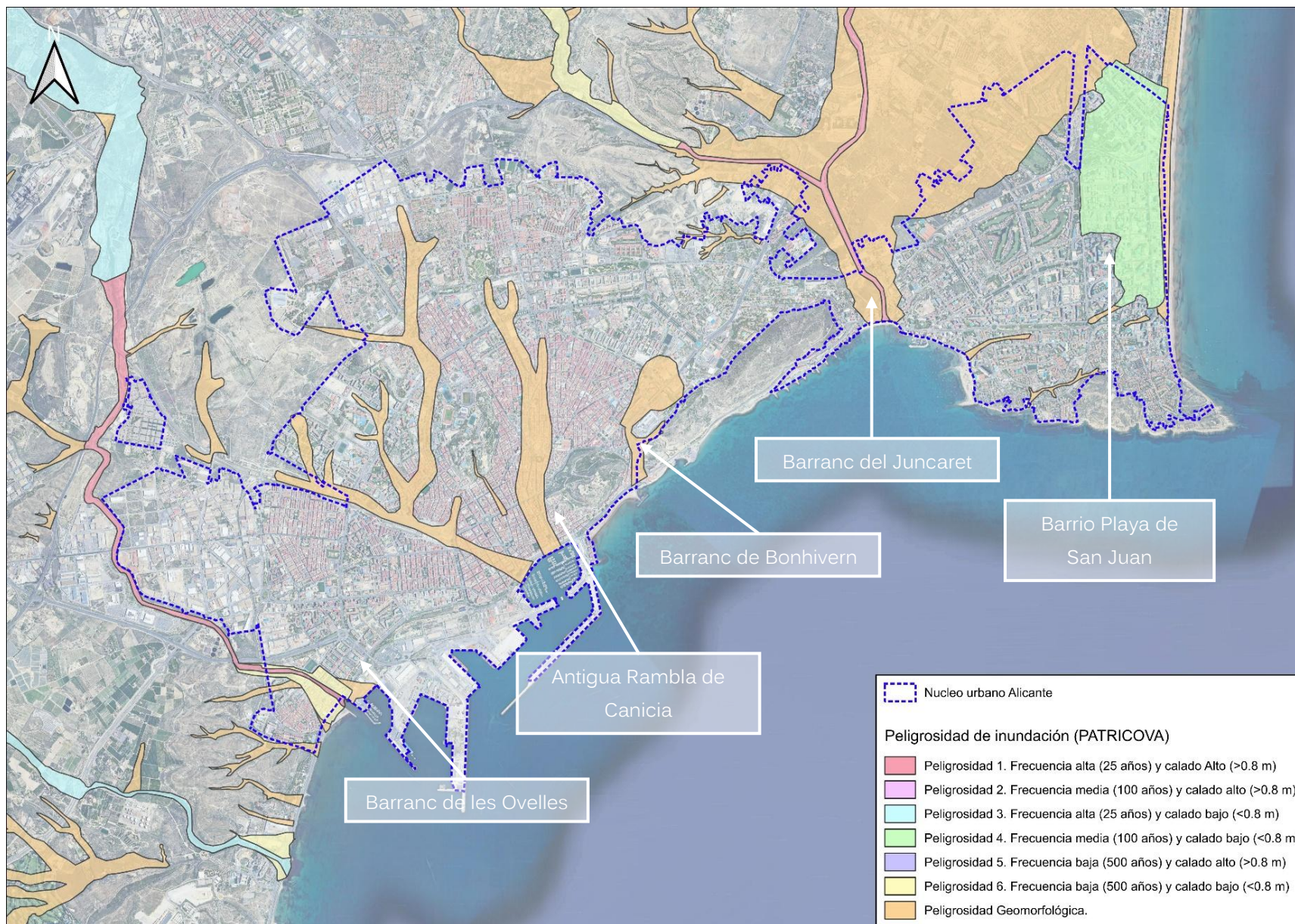


Figura 25. Peligrosidad de inundación para la ciudad de Alicante. Fuente: PATRICOVA.



4.6. Recomendaciones por tipología urbana

Las tipologías urbanas de Alicante son diversas y ofrecen distintos espacios de oportunidad para la implementación de SUDS. Por ello, es importante que los criterios de diseño reconozcan esta diversidad y estén alineados con las limitaciones y oportunidades propias de cada espacio. Las siguientes páginas analizan las características de las distintas tipologías urbanas, identificando sus potenciales oportunidades y criterios de diseño para la inclusión de SUDS.

La **Tabla 11 resume los criterios de diseño propuestos en materia de control de la cantidad y calidad** para tipologías urbanas con características similares desde el punto de vista de la gestión del agua de lluvia. En resumen, se apuesta por gestionar las escorrentías asociadas a la $P_{d,80\%}$ como umbral mínimo de diseño (de acuerdo con lo dispuesto en el RD 665/2023), incrementando la exigencia en los Parques (hasta un percentil $P_{d,95\%}$) donde es más probable encontrar mejores espacios de oportunidad que incrementen los volúmenes de gestión.

En los nuevos desarrollos o grandes actuaciones se buscará la **invariabilidad hidrológica**, persiguiendo limitar las escorrentías vertidas fuera del ámbito para el periodo de retorno de diseño ($T=15$ años) y considerando además los efectos del cambio climático ($Q_{\text{urbanizado},T15+CC}$), a un caudal inferior al que se producía antes de la urbanización ($Q_{\text{pre-urbanizado},T15}$). **Este criterio se intensifica en los parques**, limitando la descarga a un 75 % del caudal pre-urbanizado para poder compensar zonas de la ciudad donde no sea posible alcanzar este umbral.

Tabla 11. Resumen de los criterios de diseño propuesto para las distintas tipologías urbanas.

Tipología urbana		Nuevos desarrollos o grandes actuaciones (Superficie > 1 ha)	Pequeñas actuaciones
Edificación	Urbanización densa	Gestión en origen de las escorrentías asociadas a la $P_{d,95\%}$ (25 mm).	Gestión en origen de las escorrentías asociadas a la $P_{d,80\%}$ (12 mm).
	Edificación abierta	<u>Control de la cantidad:</u> $Q_{\text{urbanizado},T15+CC} < Q_{\text{pre-urbanizado},T15}$	
	Vivienda unifamiliar		
Zona industrial		<u>Control de la calidad:</u>	
Zona comercial		Implementación de redes separativas en el ámbito y tratamiento de las escorrentías, mediante tipologías de SUDS con capacidad de tratamiento suficiente, hasta un volumen mínimo del $P_{d,80\%}$ (12 mm).	
Suelo público	Red viaria	<u>Control de la cantidad:</u> $Q_{\text{urbanizado},T15+CC} < Q_{\text{pre-urbanizado},T15} \cdot 0,75$ <u>Control de la calidad:</u> Implementación de redes separativas en el ámbito y tratamiento de las escorrentías, mediante tipologías de SUDS con capacidad de tratamiento suficiente, hasta un volumen mínimo del $P_{d,95\%}$ (25 mm).	Gestión en origen de las escorrentías asociadas a la $P_{d,95\%}$ (25 mm).
	Aparcamientos		
	Parques		

URBANIZACIÓN DENSA

Características

Zonas céntricas, con alto grado de impermeabilización, carencia de zonas verdes y superficie mayoritariamente edificada (centro urbano, casco histórico). Por lo general, son zonas con gran pendiente.

Limitaciones

Escaso espacio disponible, con posible afección a servicios existentes, restricciones arquitectónicas y arqueológicas. Presencia abundante de cimentaciones y sótanos.

Objetivos

→ Reducción del volumen de escorrentía y laminación de caudales pico vertidos a la red de saneamiento existente, generalmente unitaria.

Recomendaciones estratégicas

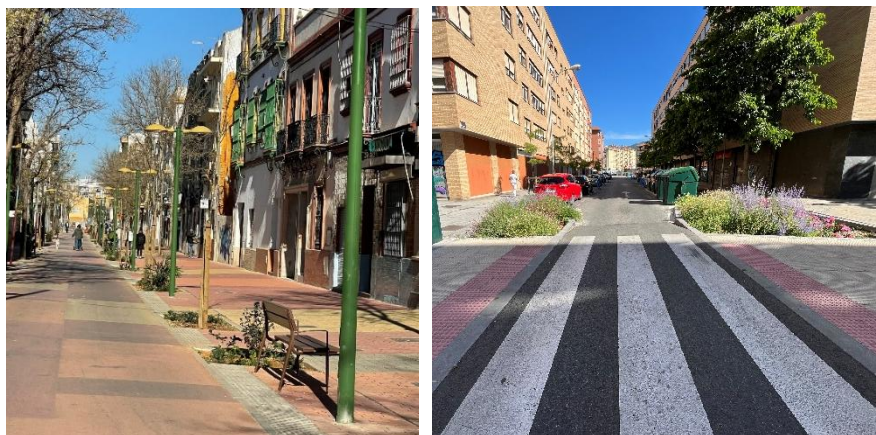
Emplear soluciones de poca ocupación en planta y profundidad reducida, como pavimentos permeables, parterres inundables o alcorques estructurales.

ESCENARIO ACTUAL



Fuente: Google Earth

ESCENARIO OBJETIVO



CRITERIOS DE DISEÑO Y RECOMENDACIONES

Control de la cantidad

Para nuevos desarrollos/grandes actuaciones:

Gestionar las escorrentías asociadas a la $P_{d,95\%}$ (25 mm).

(Dadas las características de esta tipología urbana, muy consolidada y con espacios de oportunidad reducidos, se considera complejo conseguir la invariabilidad hidráulica).

Para pequeñas actuaciones:

Gestionar las escorrentías asociadas a la $P_{d,80\%}$ (12 mm).

Control de la calidad

Emplear SUDS con capacidad para tratar las escorrentías asociadas a la $P_{d,80\%}$ (12 mm).

Biodiversidad y Uso ciudadano

Emplear SUDS preferentemente basados en Infraestructura Verde para generar espacios favorables para la biodiversidad y combatir el efecto Isla de Calor.

EDIFICACIÓN ABIERTA

Características

Áreas residenciales y/o dotacionales amplias, con espacios abiertos comunes, de acceso público o privado, y zonas verdes.

Limitaciones

Usos del suelo, presencia de servicios existentes, cimentaciones y sótanos.

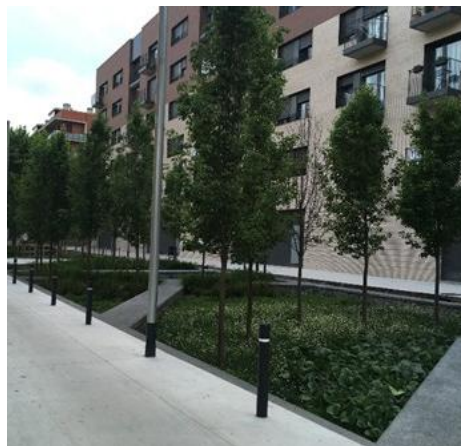
Objetivos

- Reducción del volumen de escorrentía y laminación de caudales pico vertidos a la red de drenaje existente.
- Aprovechamiento de pluviales para usos no potables (riego, baldeo, etc.).
- Desconexión de bajantes de la red de saneamiento.

Recomendaciones estratégicas

Incorporar parterres inundables en espacios sin un uso definido y buscar la gestión de las escorrentías de las zonas aledañas. Emplear soluciones de baja ocupación, como alcorques estructurales o pavimentos permeables.

ESCENARIO OBJETIVO



ESCENARIO ACTUAL



CRITERIOS DE DISEÑO Y RECOMENDACIONES

Control de la cantidad	Para nuevos desarrollos/grandes actuaciones: Restringir el caudal vertido al estado pre-urbanizado para el periodo de retorno de diseño. $Q_{urbanizado,T15+CC} \leq Q_{pre-urbanizado,T15}$
	Para pequeñas actuaciones: Gestionar las escorrentías asociadas a la $P_{d,80\%}$ (12 mm).
Control de la calidad	Emplear SUDS con capacidad para tratar las escorrentías asociadas a la $P_{d,80\%}$ (12 mm).
Biodiversidad y Uso ciudadano	Emplear los espacios públicos intersticiales entre edificios para crear zonas de biodiversidad con gran cobertura arbórea, que constituyan un atractivo para los vecinos.

VIVIENDA UNIFAMILIAR

Características

Zonas residenciales con amplias parcelas independientes (espacios abiertos comunes, de acceso público o privado), ubicadas en la periferia generalmente.

Limitaciones

Usos del suelo, servicios existentes y presencia de calles secundarias con poco espacio.

Objetivos

- Reducción del volumen de escorrentía y laminación de caudales pico.
- Aprovechamiento de pluviales para usos no potables (riego, baldeo, etc.).
- Desconexión de bajantes de la red de saneamiento.

Recomendaciones estratégicas

Incentivar la instalación de aljibes para recogida y aprovechamiento de aguas pluviales en el ámbito privado.

ESCENARIO ACTUAL



Fuente: Google Earth

ESCENARIO OBJETIVO



CRITERIOS DE DISEÑO Y RECOMENDACIONES

Control de la cantidad

Para nuevos desarrollos/grandes actuaciones:

Restringir el caudal vertido al estado pre-urbanizado para el periodo de retorno de diseño.

$$Q_{urbanizado,T15+CC} \leq Q_{pre-urbanizado,T15}$$

Para pequeñas actuaciones:

Gestionar las escorrentías asociadas a la $P_{d,80\%}$ (12 mm).

Control de la calidad

Emplear SUDS con capacidad para tratar las escorrentías asociadas a la $P_{d,80\%}$ (12 mm).

Biodiversidad y Uso ciudadano

Potenciar el arbolado y el ajardinamiento para proporcionar sombras a los peatones en los trayectos a pie y reducir el efecto Isla de Calor.

Emplear carriles bici con superficies permeables.



ZONA INDUSTRIAL

Características

Áreas con grandes espacios abiertos, naves industriales, aparcamientos y vías amplias.

Limitaciones

Altas cargas verticales transmitidas al terreno debidas al tráfico pesado. Espacio para maniobra de vehículos.

Objetivos

- Tratamiento de la escorrentía potencialmente contaminada.
- Reducción del volumen de escorrentía y laminación de caudales pico.

Recomendaciones estratégicas

Separación entre escorrentía procedente de superficies de tránsito y de superficies de cubierta. Emplear SUDS con gran capacidad remediadora para superficies con tráfico rodado, como pavimentos permeables o áreas de biorretención.

ESCENARIO ACTUAL



Fuente: Google Earth

ESCENARIO OBJETIVO



CRITERIOS DE DISEÑO Y RECOMENDACIONES

Control de la cantidad	<u>Para nuevos desarrollos/grandes actuaciones:</u> Restringir el caudal vertido al estado pre-urbanizado para el periodo de retorno de diseño. $Q_{\text{urbanizado}, T15 \cdot CC} \leq Q_{\text{pre-urbanizado}, T15}$
	<u>Para pequeñas actuaciones:</u> Gestionar las escorrentías asociadas a la $P_{d,80\%}$ (12 mm).
Control de la calidad	Emplear SUDS con capacidad para tratar las escorrentías asociadas a la $P_{d,80\%}$ (12 mm).
Biodiversidad y Uso ciudadano	Utilizar depresiones vegetadas, que puedan albergar usos recreativos en tiempo seco, y puedan constituir un refugio climático para los usuarios del espacio industrial. Potenciar el arbolado para proporcionar sombra.

ZONA COMERCIAL

Características

Espacios periféricos extensos, constituidos por grandes edificios comerciales y áreas recreativas, con amplias superficies de cubiertas y de aparcamientos.

Limitaciones

Intenso tránsito vehicular y peatonal, con altas cargas de servicio por tráfico pesado.

Objetivos

- Reducción del volumen de escorrentía y laminación de caudales pico.
- Aprovechamiento de pluviales para usos no potables (riegos, baldeo, etc.).
- Tratamiento de la escorrentía potencialmente contaminada.

Recomendaciones estratégicas

Incorporar soluciones que aporten valor recreativo y estético (cubiertas vegetadas, parterres inundables, pavimentos permeables), con gran capacidad remediadora para superficies con tráfico rodado.

ESCENARIO ACTUAL



Fuente: Google Earth

ESCENARIO OBJETIVO



CRITERIOS DE DISEÑO Y RECOMENDACIONES

Control de la cantidad

Para nuevos desarrollos/grandes actuaciones:

Restringir el caudal vertido al estado pre-urbanizado para el periodo de retorno de diseño.

$$Q_{\text{urbanizado}, T15+CC} \leq Q_{\text{pre-urbanizado}, T15}$$

Para pequeñas actuaciones:

Gestionar las escorrentías asociadas a la $P_{d,80\%}$ (12 mm).

Control de la calidad

Emplear SUDS con capacidad para tratar las escorrentías asociadas a la $P_{d,80\%}$ (12 mm).

Biodiversidad y Uso ciudadano

Utilizar depresiones vegetadas, que puedan albergar usos recreativos en tiempo seco, y puedan constituir un refugio climático para los usuarios de la zona comercial. Potenciar el arbolado para proporcionar sombra.

RED VIARIA

Características

Superficies altamente impermeables, tanto en aceras como en la vía.

Limitaciones

Espacios limitados por el servicio vial y presencia de servicios.

Objetivos

- Reducción del volumen de escorrentía y laminación de caudales pico vertidos a la red existente.
- Tratamiento de la escorrentía potencialmente contaminada.

Recomendaciones estratégicas

Aprovechar espacios no transitados (orejas en cruces de calles, interiores de rotondas, medianas, etc.) para la incorporación de SUDS con buena capacidad remediadora, como las áreas de biorretención o los pavimentos permeables. Potenciar las medianas y rotondas deprimidas para que actúen como sumideros.

ESCENARIO ACTUAL



ESCENARIO OBJETIVO



CRITERIOS DE DISEÑO Y RECOMENDACIONES

Control de la cantidad	Para nuevos desarrollos/grandes actuaciones: Restringir el caudal vertido al estado pre-urbanizado para el periodo de retorno de diseño. $Q_{urbanizado,T15+CC} \leq Q_{pre-urbanizado,T15}$
	Para pequeñas actuaciones: Gestionar las escorrentías asociadas a la $P_{d,80\%}$ (12 mm).
Control de la calidad	Emplear SUDS con capacidad para tratar las escorrentías asociadas a la $P_{d,80\%}$ (12 mm).
Biodiversidad y Uso ciudadano	Potenciar barreras vegetales que mejoren la seguridad vial para peatones y ciclistas. En grandes avenidas, emplear vegetación de mayor porte que suponga una barrera visual y acústica.

APARCAMIENTOS

Características

Grandes superficies impermeables, que proporcionan aparcamiento (al aire libre) a zonas comerciales y/o recreativas.

Limitaciones

Capacidad de servicio y espacio limitado. Debe mantenerse la maniobrabilidad de los vehículos.

Objetivos

- Reducción del volumen de escorrentía y laminación de caudales pico.
- Tratamiento de la escorrentía potencialmente contaminada.

Recomendaciones estratégicas

Emplear soluciones que eviten la pérdida de plazas, aprovechando espacios muertos y zonas de división entre áreas de aparcamiento, de rodadura y de acceso peatonal: parterres inundables, pavimento permeable, zanjas de infiltración, etc.

ESCENARIO ACTUAL



Fuente: Google Earth

ESCENARIO OBJETIVO



CRITERIOS DE DISEÑO Y RECOMENDACIONES

Control de la cantidad

Para nuevos desarrollos/grandes actuaciones:

Restringir el caudal vertido al estado pre-urbanizado para el periodo de retorno de diseño.

$$Q_{urbanizado,T15+CC} \leq Q_{pre-urbanizado,T15}$$

Para pequeñas actuaciones:

Gestionar las escorrentías asociadas a la $P_{d,80\%}$ (12 mm).

Control de la calidad

Emplear SUDS con capacidad para tratar las escorrentías asociadas a la $P_{d,80\%}$ (12 mm).

Biodiversidad y Uso ciudadano

Potenciar la Infraestructura Verde de gran porte para proporcionar sombra.

Emplear barreras vegetadas para distribuir las plazas de aparcamiento y aumentar la seguridad vial.

PARQUES

Características

Áreas recreativas permeables, con diversa vegetación. Se incluyen zonas verdes, plazas y parques infantiles. Bulevares interiores en grandes avenidas.

Limitaciones

Mantener funcionalidad de los distintos espacios.

Objetivos

- Reducción del volumen de escorrentía y laminación de caudales pico.
- Aprovechamiento de pluviales para usos no potables (riegos, baldeo, etc.)
- Gestión a nivel de cuenca.

Recomendaciones estratégicas

Soluciones que aporten valor recreativo y estético, priorizando técnicas superficiales, como balsas de detención e infiltración, parterres inundables, humedales artificiales, etc. Reducir en la medida de lo posible las superficies impermeables y aplicar buenas prácticas de jardinería. Fomentar las zonas vegetadas deprimidas respecto a las superficies impermeables contiguas.

ESCENARIO OBJETIVO



ESCENARIO ACTUAL



Fuente: Google Earth

CRITERIOS DE DISEÑO Y RECOMENDACIONES

Control de la cantidad	Para nuevos desarrollos/grandes actuaciones: Restringir el caudal vertido al estado pre-urbanizado para el periodo de retorno de diseño. $Q_{urbanizado, T15+CC} \leq Q_{pre-urbanizado, T15} \cdot 0,75$
	Para pequeñas actuaciones: Gestionar las escorrentías asociadas a la $P_{d,95\%}$ (25 mm).
Control de la calidad	Emplear SUDS con capacidad para tratar las escorrentías asociadas a la $P_{d,95\%}$ (25 mm).
Biodiversidad y Uso ciudadano	Diseñar cuencos vegetados deprimidos que puedan albergar usos recreativos en tiempo seco, como pistas deportivas. Emplear paneles explicativos de los SUDS para resaltar la importancia del drenaje urbano.

4.7. El proceso de dimensionamiento

Una vez definidos los objetivos de diseño y analizadas las características del entorno, se procede a establecer la **estrategia de drenaje** y a dimensionar los SUDS propuestos.

De forma resumida, el dimensionamiento de estos sistemas puede abordarse siguiendo los pasos contenidos en la siguiente figura:

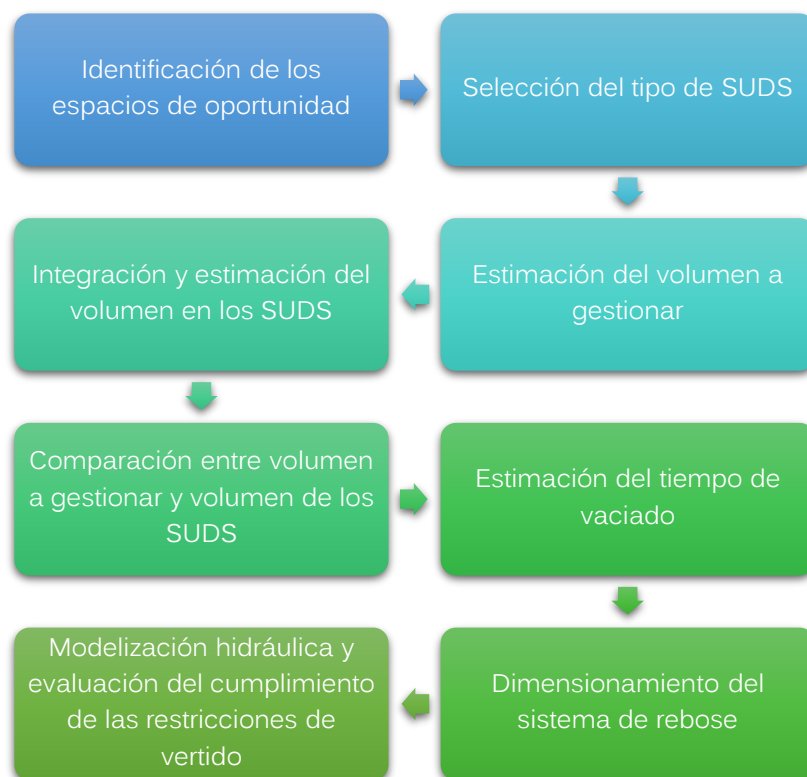


Figura 26. Fases principales del dimensionamiento de SUDS.

4.7.1. Identificación de espacios de oportunidad

En primer lugar, es necesario realizar un **análisis de los espacios disponibles para la implantación de SUDS**, puesto que cada área presenta condiciones físicas, funcionales y ambientales específicas que determinan las posibilidades de diseño e instalación de estos sistemas.

Factores como la topografía, el uso del suelo, la disponibilidad de espacio libre, la infraestructura y servicios existente y las restricciones urbanísticas condicionan la viabilidad y el tipo de soluciones que pueden aplicarse en cada caso.

Este análisis inicial es fundamental para garantizar una **integración óptima de los sistemas en el entorno urbano**, y la definición de una estrategia de drenaje que permita cumplir con todos los objetivos del diseño.

4.7.2. Selección del tipo de SUDS

Además de las características del espacio de oportunidad, y la potencial facilidad para la integración paisajística y arquitectónica del SUDS, en la elección del tipo de SUDS se deberá tener en cuenta **la peligrosidad de la cuenca vertiente y la capacidad de tratamiento** de los destinos tipos.

Para ello, se deberá emplear la Metodología de los Índices de Mitigación, desarrollada en el apartado 4.3 del presente documento, que relaciona los usos del suelo de la cuenca vertiente con los potenciales contaminantes, a la vez que se establece una capacidad remediadora para cada tipo de SUDS.

4.7.3. Estimación del volumen a gestionar

El siguiente paso en el diseño será determinar el volumen de escorrentía generada en la cuenca drenante, y que debe gestionarse en el SUDS. Para ello se emplearán percentiles volumétricos de precipitación y se aplicará la siguiente fórmula:

$$V_{nec} = \frac{P_{d,x} \cdot A_{imp}}{1.000}$$

Donde:

- ▶ V_{nec} : volumen de almacenamiento necesario en el SUDS (m³).
- ▶ $P_{d,x}$: percentil volumétrico de diseño (mm).
- ▶ A_{imp} : área impermeable equivalente de la cuenca drenante (m²).

El área impermeable equivalente de la cuenca drenante puede obtenerse a través de la siguiente expresión:

$$A_{imp} = \sum_{i=1}^{i=n} A_i \cdot C_i$$

Donde:

- ▶ A_i : área a drenar de cada tipo de superficie existente en la cuenca drenante (m²).
- ▶ C_i : coeficiente de escorrentía superficial de cada tipo de superficie existente en la cuenca drenante (adimensional).



En aquellos casos en los que no se disponga de coeficientes de escorrentía más específicos, se propone emplear los de la Tabla 12, en base a las referencias normativas y a la bibliografía existente.

Tabla 12. Valores teóricos del coeficiente de escorrentía.

Superficie	C
Cubiertas y tejados	1,00
Viales y aceras	0,95
Pavimentos permeables	0,70
Zonas verdes y jardines	0,30

4.7.4. Integración y estimación del volumen en los SUDS

A partir del volumen de escorrentía a gestionar, se dimensionarán los SUDS para asegurar que puedan contener, como mínimo, dicho volumen. El volumen de gestión de un SUDS dependerá de los materiales que lo conformen, y puede estimarse mediante la siguiente expresión:

$$V_{SUDS} = A_{SUDS} \cdot h_{SUDS} \cdot n$$

Donde:

- ▶ V_{SUDS} : volumen de almacenamiento del SUDS (m³).
- ▶ A_{SUDS} : área del SUDS (m²).
- ▶ h_{SUDS} : altura de la capa de almacenamiento del SUDS (m).
- ▶ n : porosidad de la capa de almacenamiento del SUDS (adimensional).

La porosidad varía según el material del que esté compuesta la capa de almacenamiento del SUDS. Como referencia, pueden utilizarse los valores teóricos indicados en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores de porosidad para materiales drenantes. Fuente: The SuDS Manual (2015).

Superficie	Porosidad (%)	n
Almacenamiento libre	100	1,00
Sistema con geoceldas	90-95	0,90-0,95
Grava uniforme	30-40	0,30-0,40
Grava o arena graduada	20-30	0,20-0,30

4.7.5. Comparación del volumen a gestionar y el volumen de los SUDS

Tras estimar el volumen de escorrentía a gestionar y el volumen del SUDS, se deberá verificar que este último dispone de la suficiente capacidad, cumpliéndose la siguiente relación:

$$V_{SUDS} \geq V_{nec}$$

En el caso de que esta condición no se cumpla, se deberán **ajustar las dimensiones del SUDS para aumentar su volumen** hasta lograr cumplir con esta condición, siguiendo un proceso iterativo.

4.7.6. Tiempo de vaciado

Tras verificar que el SUDS presenta la capacidad necesaria para gestionar la escorrentía generada, se deberá evaluar su tiempo de vaciado.

Como normal general, se debe asegurar el **vaciado completo del SUDS en un plazo máximo de 48 horas**, para evitar la proliferación de mosquitos y/o generación de malos olores, y tener disponibilidad del volumen de gestión para eventos sucesivos. Excepcionalmente este tiempo máximo se podría aumentar hasta las 72 horas en el caso de almacenamientos subterráneos, si esta circunstancia queda debidamente justificada.

Infiltración

En caso de que el mecanismo de vaciado del SUDS sea por infiltración, y considerando que esta puede producirse tanto por la base como por los laterales del SUDS, el tiempo de vaciado puede estimarse a través de la siguiente fórmula, extraída de The SuDS Manual:

$$t_v = 2 \cdot \frac{n \cdot A_b}{k \cdot P} \cdot \log_e \left(\frac{h_{max} + \frac{A_b}{P}}{\frac{h_{max}}{2} + \frac{A_b}{P}} \right)$$

Donde:

- ▶ t_v : tiempo de vaciado del SUDS (h).
- ▶ n : porosidad de la capa de almacenamiento del SUDS (adimensional).
- ▶ A_b : área de la base de infiltración del SUDS (m²).
- ▶ k : coeficiente de permeabilidad del terreno (m/h).
- ▶ P : perímetro de la base de infiltración del SUDS (m).
- ▶ h_{max} : altura máxima de columna de agua desde la base de la infiltración (m).

Vaciado por conducto

En caso de que el vaciado del sistema se produzca a través de un conducto, el tiempo de vaciado podrá estimarse empleando la ecuación de desagüe por orificio:

$$t_v = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{9,81} \cdot \left(\frac{A_s^2}{(A_o \cdot C_d)^2} \right) - 1}$$

Donde:

- ▶ t_v : tiempo de vaciado del SUDS (h).
- ▶ h : distancia desde la superficie de la lámina de agua hasta el centro del orificio (m).
- ▶ A_s : área en planta de la toma de almacenamiento del SUDS (m²).
- ▶ A_o : área de la sección transversal interna del orificio (m²).
- ▶ C_d : coeficiente de descarga (m). Es habitual emplear un coeficiente de 0,60.

4.7.7. Dimensionamiento rebose

Los SUDS están dimensionados para gestionar las lluvias ordinarias, y por tanto es habitual que su capacidad se vea excedida en eventos torrenciales o muy persistentes. Por ello, los SUDS **siempre deberán disponer de aliviaderos o rebosaderos**, que capten las aguas cuando se supera su capacidad nominal y las conduzcan de forma segura hasta el siguiente elemento de gestión o al punto de vertido.

El sistema de rebose deberá disponer de una **capacidad mínima para trasegar los caudales asociados al periodo de retorno de 15 años**,



considerando los efectos del cambio climático. El caudal pico de diseño se puede calcular mediante el Método Racional dado por la siguiente expresión:

$$Q = C \cdot i \cdot A$$

Donde:

- ▶ Q : caudal (m³/s).
- ▶ C : coeficiente de escorrentía superficial (adimensional). A falta de valores específicos emplear los de la Tabla 12.
- ▶ i : intensidad de la lluvia de diseño (m/s).
- ▶ A : área de la cuenca (m²).

A continuación, deberá comprobarse que la estructura de rebose presenta capacidad suficiente para desaguar este caudal, estimándose su capacidad mediante la siguiente expresión:

$$Q = C_v \cdot b \cdot H^{3/2}$$

Donde:

- ▶ Q : caudal (m³/s).
- ▶ C_v : coeficiente de vertido (m). Según la bibliografía existente, los valores comunes son:
 - Vertederos de pared delgada ($e < 0,67 \cdot H$): $C_v=1,70-1,90$.
 - Vertederos de pared gruesa ($e > 0,67 \cdot H$): $C_v=1,50-1,70$.
- ▶ b : ancho del vertedero (m).
- ▶ H : sobreelevación sobre el umbral de vertido (m).

4.7.8. Modelización hidrológico-hidráulica

El proceso de dimensionamiento descrito permite realizar una primera estimación del volumen necesario en el SUDS, pero **generalmente se requerirá del desarrollo de un modelo hidrológico-hidráulico de detalle** que permita comprobar el funcionamiento del sistema propuesto cuando se ve sometido a las distintas lluvias de proyecto.

Estos modelos permiten verificar el desempeño no solo de los SUDS, sino también de los elementos auxiliares que componen el sistema como las estructuras de rebose, las tuberías o los elementos de entrada de escorrentía.

De forma general, los modelos permiten extraer múltiples resultados, que suelen incluir los niveles de agua, volúmenes almacenados, caudales de entrada y rebose, porcentajes de llenado o velocidades en todos los elementos que componen el sistema, pudiéndose evaluar estas variables bajo un amplio rango de lluvias de diseño.

4.7.9. Evaluación del cumplimiento de las restricciones de vertido

A partir de los resultados de los modelos hidrológico-hidráulicos, será posible comprobar que se satisfacen las **restricciones de vertido globales de la actuación** para los eventos de diseño marcados.

En caso de no cumplirse, se inicia un **proceso iterativo** en el que se deberán ajustar los volúmenes de almacenamiento o las condiciones del elemento de control hasta poder cumplir con la restricción sin que ello cause inundación.

4.7.10. Plan de Mantenimiento

Con el objetivo de garantizar el correcto funcionamiento de los SUDS a largo plazo, es fundamental **contemplar las futuras acciones de mantenimiento** desde las fases más tempranas del proyecto.

Para ello, en el diseño de la infraestructura se deberán considerar las futuras tareas, y asegurar que estas son viables y eficientes de acometer, facilitando los accesos, creando zonas de sedimentación preferente o empleando especies vegetales de bajo mantenimiento, y, en general, teniendo un enfoque del diseño que englobe toda la vida útil de la infraestructura.

En este sentido es buena práctica, ya desde la fase de proyecto, elaborar un Plan de Mantenimiento, que incluya un **listado de las futuras acciones de mantenimiento necesarias y su periodicidad**, con el objetivo de identificar potenciales acciones y modificaciones en el proyecto que las puedan facilitar.

4.8. Ejemplo conceptual de diseño

A continuación, se expone de forma conceptual el proceso de dimensionamiento de un SUDS, en un área específica de la ciudad de Alicante, identificada como un potencial espacio de oportunidad.

4.8.1. Antecedentes

La calle Arpón, ubicada en el Cabo de las Huertas (Alicante), recibe una gran cantidad de escorrentía superficial durante los episodios de lluvia, procedente de las calles adyacentes. La red de saneamiento existente en esta calle es unitaria y, por lo general, no cuenta con la suficiente capacidad de captación y transporte para gestionar dichos aportes.

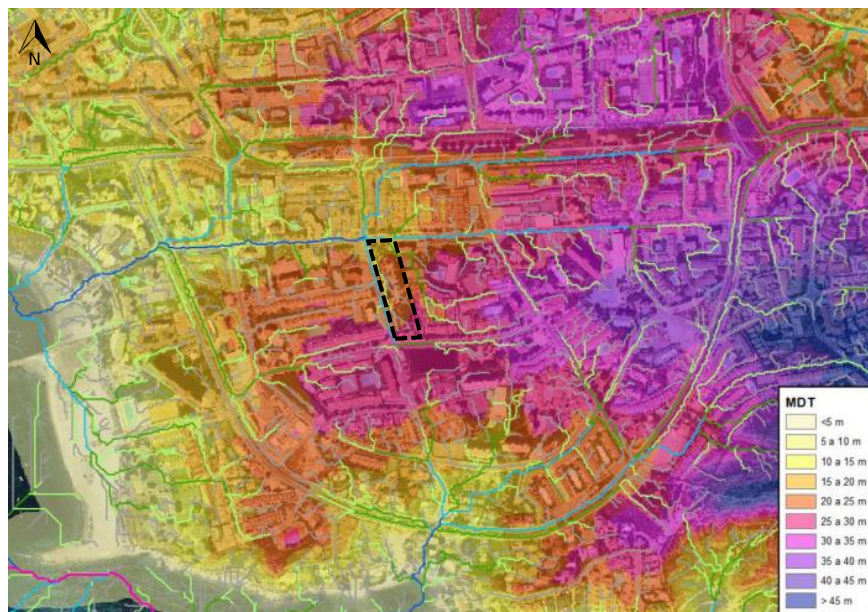


Figura 27. Flujos superficiales en el entorno de la Calle Arpón (Alicante).



4.8.2. Datos de partida

La zona verde municipal delimitada por las calles Arpón, Las Redes y Palangre (destacada en negro en la Figura 27) supone un espacio de oportunidad para implementar SUDS destinados a captar y gestionar las escorrentías circulantes por las calles aledañas (Las Redes y Palangre).

A priori, la zona incluye algunas zonas acabadas en tierra sin un uso definido (Figura 28), que podrían permitir la inclusión de SUDS que no solamente supongan una mejora en la gestión de la escorrentía propia y de la zona, sino que también permitan mejorar el **atractivo y el potencial paisajístico de este espacio**.



Figura 28. Estado actual de la zona verde sita en la Calle Arpón (Alicante).

La Tabla 14 recoge otros datos de partida considerados para la realización del ejemplo:

Tabla 14. Datos de partida del ejemplo conceptual.

Datos de partida		
Condicionantes	Topografía	Pendiente media $\approx 4,0$ %.
	Geología y Geotecnia	Se identifican materiales permeables y se ejecuta un ensayo de permeabilidad arrojando un coeficiente de $3 \cdot 10^{-6}$ m/s.
	Nivel freático	> 2,0 m de profundidad.
	Tipo de proyecto	Regeneración urbana
	Tipología urbana	Edificación abierta
Cuenca drenante	Uso del suelo	Vial y área urbana Zona verde
	Superficie viales y aceras	32.100 m ² .
	Superficie zona verde	9.030 m ² .

4.8.3. Selección del tipo de SUDS

En base a la información disponible, se priorizará el **uso de SUDS basados en infraestructura verde**, que son los que pueden tener una mejor integración paisajística en la actuación. En este sentido, a priori, los parterres inundables aparecen como una opción que puede cumplir con los propósitos del diseño en cuanto a mejora del drenaje, y presentar una ganancia paisajística para la regeneración del espacio.

Aplicando la metodología de los índices de Mitigación descrita en el apartado 4.3, se estima que la cuenca vertiente presentará una **peligrosidad media**, asociada a viales de baja intensidad y de un carril por sentido.

Tabla 15. Índices de peligrosidad para la cuenca vertiente. SST: Sólidos Suspendedos Totales; MP: Metales Pesados y HC: Hidrocarburos.

Uso del suelo	Peligrosidad	SST	MP	HC
Calles con un carril por sentido (IMD < 2.000 v/d)	Medio	0,7	0,6	0,7

Para asegurar que los SUDS dispuestos traten correctamente las escorrentías generadas, el tipo de SUDS seleccionado deberá presentar unos Índices de Mitigación superiores a la peligrosidad de la cuenca.

La siguiente tabla muestra los índices de mitigación para las dos tipologías de parterres inundables, jardines de lluvia y áreas de biorretención, de donde es posible concluir que **se requerirá de parterres inundables tipo área de biorretención** para poder gestionar debidamente las escorrentías.

Tabla 16. Índices de mitigación para los dos tipos de SUDS contemplados.

Tipo de SUDS	Sólidos Suspendedos Totales	Metales pesados	Hidrocarburos
Parterres inundables: Jardín de lluvia	0,6	0,5	0,6
Parterres inundables: Área de biorretención	0,8	0,8	0,8

4.8.4. Volumen de escorrentía a gestionar

A continuación, se determina el volumen de escorrentía a gestionar, a partir del percentil volumétrico y del área impermeable mediante la siguiente expresión:

$$V_{nec} = \frac{P_{d,x\%} \cdot A_{imp}}{1.000}$$

Dado que se trata de un proyecto de regeneración urbana que gestiona una cuenca procedente de la tipología urbana edificación abierta, **se tomará el percentil $P_{d,80\%}$ (12 mm) como umbral mínimo de diseño.**

En este caso, para el cálculo del área impermeable, se aplica un coeficiente de escorrentía de 0,95 para el viario y de 0,3 para la zona verde obteniéndose el siguiente resultado:

$$A_{imp} = \sum_{i=1}^{i=n} A_i \cdot C_i = (0,95 \cdot 32.100) + (0,3 \cdot 9.030) = 33.204 \text{ m}^2$$

A partir de la $P_{d,80\%}$ (12 mm) y de la cuenca vertiente, se determina que se debe gestionar un volumen de escorrentía aproximado de 398 m^3 .

$$V_{nec} = \frac{12 \cdot 33.204}{1.000} = 398 \text{ m}^3$$

4.8.5. Integración y estimación del volumen de almacenamiento

Una vez conocido el volumen de gestión necesario se procede a la **integración de la solución** en el ámbito. A priori, se propone que el volumen requerido quede repartido en 3 parterres inundables (AB 1, AB 2 y AB 3), tipo área de biorretención, que quedarán integrados en la

jardinería existente. Para **fomentar el reparto de las aguas** entre los parterres, estos quedarán unidos mediante una cuneta vegetada también integrada en la propuesta paisajística. El parterre situado en el extremo norte (AB 3) contará con un **sistema de rebose a la red de saneamiento.**



Figura 29. Distribución de los SUDS en la zona de actuación.

A partir de la superficie ocupada por los parterres y su depresión superficial, se realiza una estimación del volumen que pueden alojar. El volumen de almacenamiento se obtiene del producto de su área (A_{SUDS}), la profundidad disponible para almacenar agua (h_{SUDS}) y la porosidad (n).

$$V_{SUDS} = A_{SUDS} \cdot h_{SUDS} \cdot n$$

Tal y como se ha descrito en el apartado 3.4, los parterres inundables tipo área de biorretención se componen de una depresión superficial que capta y proporciona un almacenamiento temporal a las escorrentías, mientras estas percolan a través de un medio filtrante, formado por una mezcla de tierra vegetal y arena lavada de río, donde quedan retenidos los contaminantes. Además, pueden incluir una capa de almacenamiento subsuperficial, formada a base de gravas envueltas en geotextil, tal y como se muestra en la siguiente Figura:

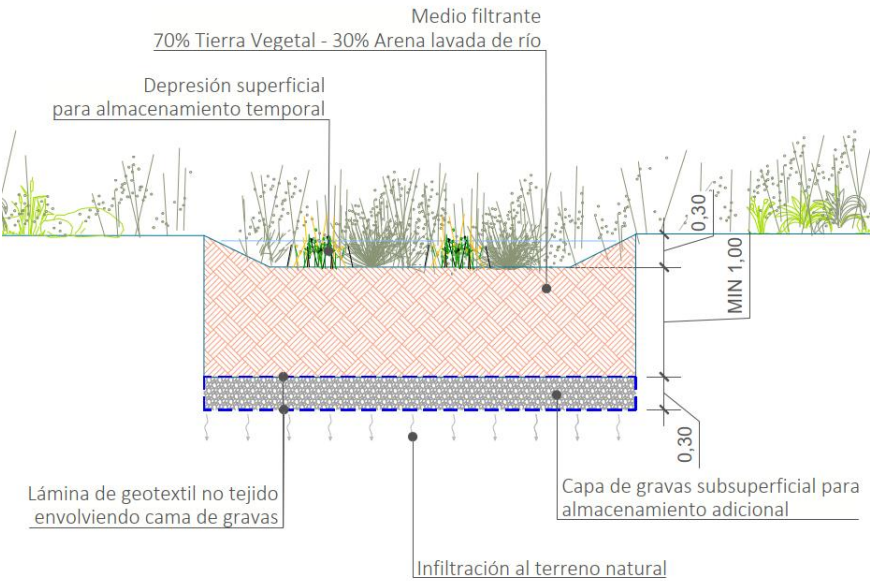


Figura 30. Ejemplo de sección constructiva para un parterre inundable tipo área de biorretención.

A efectos de dimensionamiento se considerará que las áreas de biorretención una depresión superficial promedio de 30 cm, y una

porosidad superficial de 1, obteniéndose los resultados que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 17. Volúmenes de gestión contenidos en los SUDS.

SUDS ref.	Superficie (m²)	Profundidad almacenamiento (m)	Volumen SUDS (m³)
AB 1	382	0,3	114,6
AB2 2	818	0,3	245,4
AB 3	196	0,3	58,8
TOTAL	1.396	-	419

En este caso, los 419 m³ de almacenamiento superficial de los SUDS propuestos son superiores al requerimiento de gestión, por lo que se considera que **el diseño presenta una capacidad suficiente**.

Por otro lado, cabe destacar que, aunque los parterres inundables pueden contar con un almacenamiento subsuperficial a base de gravas que presente un volumen significativo (Figura 30), es buena práctica realizar el predimensionamiento contando solo con el almacenamiento superficial, de forma que se trate de una estimación más resiliente.

4.8.6. Tiempo de vaciado

El tiempo de vaciado de las áreas de biorretención se calcula a partir de la porosidad de la capa de almacenamiento (n), la permeabilidad del terreno (k), la altura máxima de la columna de agua (h_{max}), el área (A_b) y el perímetro (P) de la base de infiltración:

$$t_{vaciado} = 2 \cdot \frac{n \cdot A_b}{k \cdot P} \cdot \log_e \left(\frac{h_{max} + \frac{A_b}{P}}{\frac{h_{max}}{2} + \frac{A_b}{P}} \right)$$

Se debe comprobar que el tiempo de vaciado total de cada parterre sea inferior a 48 horas para evitar la generación de malos olores y/o la proliferación de mosquitos. De acuerdo con los datos de partida de la Tabla 14, se tomará una permeabilidad de $3 \cdot 10^{-6}$ m/s proveniente de los ensayos, sobre la que se aplicará un factor de seguridad adicional de 1,5.

$$k_{diseño} = \frac{k_{terreno}}{FS} = \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 3600}{1,50} = 0,0072 \text{ m/h}$$

A partir de esta permeabilidad de diseño, se estiman los tiempos de vaciado de cada área de biorretención, **obteniéndose valores inferiores a 48 horas en todos los casos**, cumpliéndose de este modo con la recomendación:

Tabla 18. Tiempos de vaciado para las balsas de detención e infiltración.

SUDS ref.	n	k (m/h)	A _b (m ²)	P (m)	t _{vaciado} (h)
AB 1	1	0,0072	382	135,4	38,6
AB 2	1	0,0072	818	111,6	40,4
AB 3	1	0,0072	196	67,4	38,7

4.8.7. Próximos pasos y comprobaciones adicionales

El procedimiento simplificado expuesto permite realizar una primera aproximación al diseño y comprobar su viabilidad. No obstante, quedan pendientes algunas acciones de mayor detalle, imprescindibles para

asegurar el buen funcionamiento de la infraestructura. Entre ellas destacan las siguientes:

- **Captación de las escorrentías.** Deberá verificarse que las escorrentías de las cuencas vertientes pueden ser captadas y acceden a los SUDS proyectados de forma ordenada. Para ello puede ser necesaria la inclusión de elementos auxiliares, como canaletas o imbornales, u otros SUDS destinados a la captación.
- **Rebose a la red de saneamiento.** Es imprescindible definir una estructura de rebose en el área de biorretención situada en el extremo norte de la zona, de forma que cuando se exceda la capacidad del encadenado de SUDS, las aguas puedan ser descargadas a la red de forma ordenada, sin causar inundación para el periodo de retorno de diseño (T=15 años).
- **Modelización hidrológico-hidráulica.** Se recomienda la elaboración de un modelo hidrológico-hidráulico de detalle, que permita evaluar los volúmenes almacenados en cada parterre, así como los caudales y volúmenes que serían vertidos a la red en distintos escenarios de diseño. En caso de querer reducir todavía más el volumen vertido a la red, podría considerarse el aumento del volumen de gestión en los SUDS.
- **Plan de Mantenimiento.** A partir de las tipologías de SUDS propuestas, se sugiere estudiar las acciones de mantenimiento necesarias y realizar las modificaciones necesarias para facilitar estas tareas.



5. LOS SUDS EN ALICANTE: EL PARQUE LA MARJAL



El Parque urbano inundable 'La Marjal' en Alicante representa una **innovadora solución de ingeniería** que combina funciones hidráulicas, sociales y medioambientales. Inaugurado en marzo de 2015, este proyecto surgió de la colaboración entre el Ayuntamiento de Alicante y Aguas de Alicante para resolver los problemas históricos de inundaciones en el barrio Playa de San Juan, a la vez que se generaba una nueva zona verde para disfrute de la ciudadanía.

El Parque actúa como un sistema de gestión de aguas pluviales altamente eficiente, siendo capaz de **retener hasta 45.000 m³ de agua pluvial** y, posteriormente, derivarla a la red de drenaje o a la depuradora. Este proyecto ha supuesto una solución innovadora, totalmente diferente a las tradicionales (depósitos cerrados, canales de evacuación al mar, etc.), **solucionando un gran problema de inundaciones** en una de las zonas urbanas de Playa de San Juan. El concepto esencial del proyecto está basado en el funcionamiento regulador de los marjales, sistemas extendidos por todo el litoral mediterráneo y, específicamente, en la Playa de San Juan previa transformación agrícola y urbana.



Figura 31. Planta del parque urbano inundable La Marjal, Alicante. Fuente: Aguas de Alicante.

5.1. Contexto

La partida de la Condomina (o Playa de San Juan) es una llanura de terreno de aluvión, adaptada para el uso agrícola desde la antigüedad. Toda su superficie, incluyendo los barrancos naturales, fueron rellenados y aterrazados para su aprovechamiento como tierra de cultivo.

Posteriormente, se procedió a la conversión de los terrenos en un nuevo suelo urbano destinado a la edificación residencial turística, con un elevado porcentaje de viviendas de segunda residencia. En la zona más próxima al litoral se desarrollaron dos importantes infraestructuras, la carretera de la costa y el paseo marítimo, concretadas ambas en una rasante que dejó los terrenos interiores ligeramente deprimidos.



Figura 32. Desarrollo urbano de Playa de San Juan, Alicante. Fuente: Aguas de Alicante.

Durante el intenso proceso de urbanización iniciado en 1960 hasta la actualidad, se han realizado diversas obras para mejorar la capacidad de drenaje de la zona, entre las que destacan el encauzamiento de los barrancos de Juncaret y Orgegia, con motivo de las obras antirriadas ejecutadas entre los años 1998 y 2000, y la instalación de grandes colectores en las avenidas Oviedo, Países Escandinavos y Holanda.

Sin embargo, en episodios de lluvia de fuerte intensidad, la capacidad de alguno de dichos colectores es insuficiente temporalmente para evacuar todo el caudal acumulado en los puntos bajos, produciéndose inundaciones en algunas áreas urbanas. Una de estas zonas de riesgo se sitúa en la parte baja de la Avda. del Pintor Pérez Gil, donde se han registrado varios episodios de inundación durante lluvias de intensidad moderada o fuerte. Estos eventos han provocado el corte del tráfico vehicular de dicha avenida, debido al elevado nivel de las aguas de escorrentía en la calzada, así como la entrada ocasional de agua en los aparcamientos subterráneos de las urbanizaciones "Hoyo 1" y "Palo Alto".

5.2. Características técnicas y funcionales

- **Capacidad de retención:** 45.000 m³. Diseño para un periodo de retorno de 50 años.
- **Sistema de captación:** canales longitudinales en el punto bajo de la Avenida Pintor Pérez Gil. El sistema de captación está formado por 40 m de canales rectangulares de 0,5 m de ancho y de altura variable entre 0,90 y 1,40 m, situados junto a los bordillos de las aceras de la avenida. Los canales están revestidos con rejillas de fundición longitudinales, con capacidad de carga de tráfico. Para facilitar la

entrada del agua se modificó el perfil transversal de las dos calzadas de la avenida, incrementando la pendiente hasta un 2%.

- ▶ **Sistema de entrada al parque:** conducción de 304 m de longitud. De esta, 130 m cuentan con un diámetro de 1.800 mm, mientras que los restantes 174 m mantienen un diámetro de 2.000 mm, atravesando mediante una hinca de 55 m bajo los colectores existentes y la línea de tranvía en la Avda. Fotógrafo Francisco Cano.



Figura 33. Conducción de entrada al parque La Marjal, Alicante. Fuente: Aguas de Alicante.

- ▶ **Caudal máximo de derivación:** 7,5 m³/s.
- ▶ **Sistema de vaciado dual:** el agua puede bombearse desde la estación anexa al parque hacia la depuradora, para su uso posterior como agua de riego, o, si su calidad es adecuada, puede descargarse directamente al mar a través de un colector de salida de 1.200 mm de diámetro, que conecta la cámara de vaciado con el colector existente en la Avda. Oviedo.



5.3. Funcionamiento hidráulico

El parque funciona como un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible que **reproduce el comportamiento de los humedales naturales**. En episodios de lluvia intensa, el agua primero circula por la red de pluviales existente y, al saturarse esta, el excedente se desvía al parque a través de un sistema de captación que incluye canales longitudinales junto a los bordillos de la Avda. Pintor Pérez Gil.

El sistema está diseñado para gestionar lluvias con una intensidad máxima de 120,2 mm/h y una duración de 2 horas, con un llenado gradual y controlado para minimizar el riesgo para los usuarios.

5.4. Operación

En tiempo seco el parque funciona como cualquier zona verde de la ciudad, centrándose la gestión en el mantenimiento de la lámina ornamental de agua existente. Dicho mantenimiento consiste en asegurar, por un lado, la calidad del agua almacenada y, por otro, el correcto funcionamiento de los sistemas auxiliares asociados a dicha lámina (sistema de bombeo y recirculación, aireadores de fondo, control de niveles, etc.). Las tareas y labores de mantenimiento programado se pueden agrupar en:

- ▶ Mantenimiento equipos electromecánicos.
- ▶ Mantenimiento del telemando e instrumentación.
- ▶ Control analítico del agua almacenada.
- ▶ Limpieza de la lámina ornamental permanente.
- ▶ Cumplimiento del plan de control analítico.

Durante episodios de lluvia, el parque de La Marjal actúa como depósito anti-inundación, almacenando el agua de lluvia que, hasta su construcción, se acumulaba y provocaba problemas de inundaciones en la Avda. Pintor Pérez Gil y adyacentes.

Al respecto, se ha redactado el "Protocolo de coordinación de actuaciones ante la entrada en funcionamiento del parque inundable La Marjal", en el cual se definen las tareas y funciones a realizar por parte del Ayuntamiento y Aguas de Alicante durante episodios de lluvia.

En este sentido, **se dispone de información suministrada por los sistemas de información meteorológica y los sensores integrados** en el sistema de telemando instalados en el entorno del parque (limnímetros y pluviómetros).

Desde el inicio del llenado del parque inundable hasta la finalización de su vaciado, las tareas principales a realizar son:

- ▶ Enviar los mensajes de aviso correspondientes a los servicios municipales y a los usuarios que pudieran estar utilizando las instalaciones del parque, en este último caso mediante un sistema de alarmas sonoras.
- ▶ Controlar y coordinar las distintas fases de llenado y vaciado del parque. En estas fases y en función de las características del agua almacenada, ésta se puede conducir directamente al mar, a través de la red de colectores existentes en la zona, o derivar hacia la EDAR Monte Orgegia para su depuración y posterior reutilización.

5.5. Elementos paisajísticos y recreativos

El parque cuenta con diversos elementos que refuerzan su funcionalidad y atractivo. Entre ellos, destacan dos **estanques ornamentales de agua regenerada**, equipados con un sistema de recirculación que garantiza la calidad del agua, complementados con una cascada que aporta un valor estético y ambiental.

Además, el parque dispone de un **mirador ubicado en una colina**, desde donde se puede disfrutar de vistas panorámicas del entorno. Para facilitar la movilidad, se ha incorporado una pasarela peatonal que cruza sobre las vías del tranvía, integrando el parque con el tejido urbano circundante.

Las extensas áreas verdes, implementadas con **vegetación autóctona**, proporcionan un espacio natural para el descanso y la conexión con el entorno local. Finalmente, las zonas de recreo y esparcimiento ofrecen espacios dedicados al ocio, completando así un espacio integral para la ciudadanía y el medioambiente.



Figura 34. Mirador sobre el estanque del parque La Marjal, Alicante. Fuente: Aguas de Alicante.

5.6. Aspectos medioambientales

El Parque mimetiza el comportamiento y el ecosistema de los humedales y bosques de ribera. El estanque se rodea con una orla perimetral de vegetación, formada por una variada **mezcla de especies acuáticas y palustres** presentes en las islas interiores preparadas para la nidificación de las aves, adoptando la apariencia de un paisaje de marjal natural.

La zona inundable del parque cuenta con diversas plantaciones de especies arbóreas de ribera. Específicamente, en la parte más alta se ha buscado recrear un paisaje mediterráneo utilizando especies vegetales autóctonas.



Figura 35. Vistas del parque La Marjal desde el mirador de la colina. Fuente: Aguas de Alicante.

El valor ecológico del Parque La Marjal se puede medir por el rápido y exitoso asentamiento de múltiples especies de aves, que ya se han convertido en lugares habituales de cría de forma natural para ánades, garcetas, cigüeñuelas, etc. Cabe destacar por su singularidad, la

aparición de ejemplares de martín pescador, que no se avistaban en Alicante desde hace décadas.

De este modo, el parque ha logrado recrear un ecosistema natural que incluye:

- ▶ Vegetación acuática y palustre.
- ▶ Especies arbóreas de ribera.
- ▶ Flora mediterránea autóctona.
- ▶ Hábitat para diversas especies de aves (ánades, garcetas, cigüeñuelas, martín pescador, etc.).
- ▶ Nidales para golondrinas y cajas para murciélagos.
- ▶ Control natural de mosquitos mediante peces larvívoros.



Figura 36. Aves observadas en el parque La Marjal, Alicante. Fuente: Aguas de Alicante.

5.7. Gestión inteligente

El parque dispone de un sistema avanzado de control, que incluye:

- ▶ Limnímetros y sondas de ultrasonido, que permiten conocer la lámina de agua y el volumen de agua almacenada en el parque.
- ▶ Bombas de recirculación que oxigenan el agua mediante dos cascadas, garantizando la calidad del agua regenerada.
- ▶ Sistema de telemando.
- ▶ Sistemas de alerta para evacuación, con avisos luminosos y acústicos.
- ▶ Cámaras de control para la visión del parque y del colector de entrada.
- ▶ Software especializado para gestión y coordinación.

5.8. Resultados operativos

El proyecto representa un **ejemplo exitoso de infraestructura verde urbana** que combina la gestión sostenible del agua pluvial con la creación de espacios públicos de calidad. Su éxito ha demostrado la viabilidad de alternativas sostenibles a las soluciones tradicionales de drenaje urbano, estableciendo un precedente para futuros desarrollos urbanos que busquen integrar la gestión del agua con la mejora del entorno urbano y la promoción de la biodiversidad.

Desde su inauguración hasta la actualidad, el parque ha demostrado su eficacia al **almacenar un total de 62.580 m³ de agua**, destacando episodios significativos como el de agosto de 2019, con un volumen almacenado de 22.000 m³, y el de marzo de 2017, con 15.500 m³.

Asimismo, el parque ha contribuido exitosamente a la **prevención de inundaciones** en múltiples ocasiones, consolidándose como una infraestructura clave para la gestión sostenible del agua en la zona.

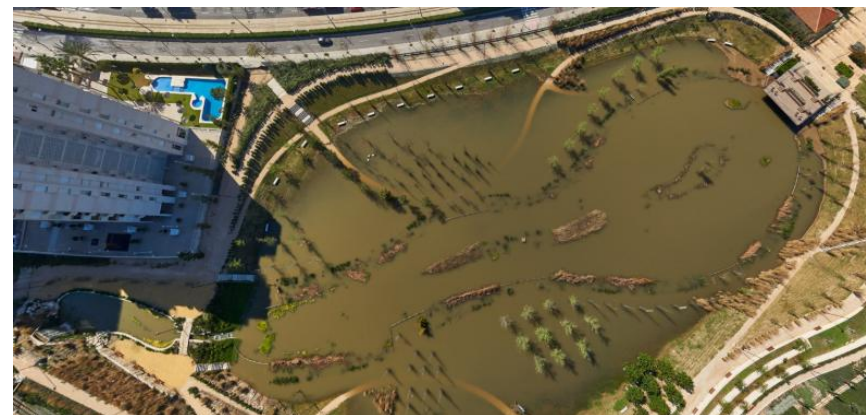


Figura 37. Inundación del parque La Marjal tras el episodio de agosto de 2019. Fuente: Aguas de Alicante.



Figura 38. Estado del parque La Marjal tras el episodio de agosto de 2019. Fuente: Aguas de Alicante.



6. MANTENIMIENTO Y MONITORIZACIÓN



6.1. Mantenimiento

El mantenimiento de los **Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible** es un **aspecto fundamental** para garantizar una implementación viable en las ciudades, y resiliente en el medio y largo plazo. Para asegurar su correcto funcionamiento, los SUDS requieren de acciones y tareas sencillas y recurrentes, que permiten evitar problemas de mayor envergadura.

Es importante que desde las **fases más tempranas** del proyecto se tengan en cuenta estas actividades y, además de facilitar su realización mediante un correcto diseño, se delimiten las futuras responsabilidades y obligaciones de los distintos agentes intervinientes.

Existen numerosos estudios que demuestran que una **política activa de mantenimiento**, basada en la inspección y actuación frecuente, combinada con un correcto diseño, puede reducir el impacto económico en comparación con políticas reactivas basadas exclusivamente en la reparación de los elementos cuando ya se ha producido un problema severo

Los proyectos que incluyan SUDS deberán incorporar un primer borrador de **Plan de Mantenimiento**, que indique de forma clara las tareas necesarias en los distintos tipos de SUDS que se incluyan, así como la metodología para llevarlas a cabo, su periodicidad orientativa, el responsable de realizar las tareas y los medios necesarios. Este Plan de Mantenimiento debe concebirse como un documento vivo, que pueda evolucionar y retroalimentarse de las experiencias que arroje cada SUDS

en concreto, pudiendo incluirse nuevas tareas o modificarse la periodicidad según las necesidades.

El planteamiento de las tareas de mantenimiento debe establecerse en función de diversos factores, como las condiciones de uso del SUDS y las características particulares del emplazamiento. Al respecto, las tareas de mantenimiento de SUDS se clasifican generalmente en tres grupos:

- ▶ **Mantenimiento preventivo:** incluye actividades periódicas que se consideran necesarias con una periodicidad teórica, entre las que se encuentran las inspecciones regulares, las labores de limpieza o el control de la vegetación.
- ▶ **Mantenimiento ocasional:** abarca tareas que seguramente sean necesarias, si bien, se desconoce el momento de realizarlas, como el reemplazo de vegetación o la eliminación de sedimentos acumulados, entre otros.
- ▶ **Mantenimiento correctivo:** comprende aquellas tareas requeridas para corregir desperfectos asociados al sistema o alguno de sus elementos. Un ejemplo de éstas son la nivelación de superficie y/o taludes por arrastre de material debido a fuertes lluvias, reparaciones estructurales por deterioro o reemplazo de elementos dañados, entre otras. Generalmente, estas tareas se detectan a través de inspecciones técnicas o por reportes de incidencias.

A continuación, se especifican las actividades de mantenimiento más habituales para cada tipo de SUDS recogido en la presente Guía, precisando el indicador de alerta temprana, la actividad a desarrollar y la

periodicidad teórica. Esta información debe tratarse como un punto de partida y deberá matizarse y modificarse según las características particulares de cada intervención. Además, en las tablas se definen algunas recomendaciones de diseño asociadas al mantenimiento, a fin de ilustrar algunos condicionantes del proyecto que pueden repercutir de forma directa en facilitar el mantenimiento.

También es importante tener en cuenta que la frecuencia de estas tareas puede variar a lo largo de la vida útil de la infraestructura. Por ejemplo, el riego puede ser más frecuente en los primeros años o durante los meses de verano; o los taludes pueden experimentar más erosión mientras las plantaciones no están bien arraigadas (Figura 39).



Figura 39. Izquierda: arrastre de sedimentos por erosión en taludes de reciente plantación. Derecha: riego frecuente durante los meses posteriores a la plantación. (Parque Ferial de Fuenlabrada).

CUBIERTAS VEGETADAS

Elemento	Indicador	Actividad	Tipo	Periodicidad
Entrada/Salida	Encharcamiento prolongado después de un evento de lluvia.	Revisión de las bajantes y los elementos de entrada/salida de la cubierta.	Preventivo	Trimestral
Vegetación	Crecimiento irregular de la vegetación.	Mantenimiento general de las plantaciones, incluyendo poda y recogida de los desechos generados (ramas, hojas, etc.).	Preventivo	Mensual
	Presencia de vegetación invasora.	Eliminación de la vegetación no deseada.	Preventivo	Trimestral
	Sequedad excesiva en el sustrato y la vegetación.	Riego (especialmente los 2 primeros años para el arraigo de plantaciones), a fin de mantener una densidad de vegetación adecuada, en función de las especies.	Preventivo	A demanda
	Aparición de plantas muertas y zonas despobladas.	Resiembra, cobertura de los huecos despoblados y sustitución de marras.	Ocasional	Anual
Superficie	Acumulación de sedimentos y desechos.	Limpieza general y barrido.	Preventivo	Trimestral
	Encharcamiento prolongado después de un evento de lluvia.	Verificación de la evacuación del agua superficial en menos de 24 horas.	Preventivo	A demanda
		Reacondicionamiento de superficies para favorecer la percolación.	Correctivo	A demanda
	Goteos al interior de la edificación.	Reparación de infiltraciones indeseadas en el interior de la edificación.	Correctivo	A demanda
Otros	Encharcamiento prolongado después de un evento de lluvia.	Inspección general tras grandes eventos de lluvia en busca de daños estructurales, goteras, obstrucción de bajantes, etc.	Preventivo	A demanda
	Goteos al interior de la edificación.	Inspección del edificio en busca de goteras o filtraciones no deseadas.	Preventivo	Anual

Elemento	Recomendaciones de diseño para el mantenimiento
Entrada/Salida	Minimizar el riesgo de bloqueo de los elementos de salida, incluyendo rejillas o capas de gravas filtrantes.
Vegetación	Instalar especies autóctonas, resistentes a periodos húmedos y secos, y lo más autosuficientes posible. Opcionalmente, se puede incluir un sistema de riego.
Superficie	Cubrir entre el 50 y el 80 % de la superficie, dejando un remanente para instalaciones y accesos.
	Incluir un sistema de drenaje que evite el encharcamiento en cubiertas con inclinaciones inferiores al 5 %.
	Diseñar e instalar correctamente el sistema de impermeabilización, a fin de evitar infiltraciones no deseadas y posibles goteras o daños en la estructura de la cubierta.
	Incluir un sistema antiraíces para evitar crecimientos no controlados que puedan afectar la integridad de la estructura de la cubierta.
Otros	Garantizar la accesibilidad a la cubierta con el objetivo de facilitar las labores de mantenimiento.



Figura 40. Cubierta vegetada en el Centro de Multiusos, Benaguasil.

PARTERRES INUNDABLES

Elemento	Indicador	Actividad	Tipo	Periodicidad
Entrada/Salida	Acumulación de sólidos.	Inspección de los elementos de entrada/salida y el aliviadero en busca de obstrucciones por exceso de sedimentos y, en su caso, limpieza.	Preventivo	Mensual
Vegetación	Crecimiento irregular de la vegetación.	Mantenimiento general de las plantaciones y recogida de los desechos generados (ramas, hojas, etc.).	Preventivo	Mensual
	Presencia de vegetación invasora.	Eliminación de vegetación no deseada.	Preventivo	Trimestral
	Sequedad excesiva en el sustrato y la vegetación.	Riego (especialmente los 2 primeros años para el arraigo de plantaciones), a fin de mantener una densidad de vegetación adecuada, en función de las especies.	Preventivo	A demanda
	Aparición de plantas muertas y zonas despobladas.	Resiembra y cobertura de huecos despoblados.	Ocasional	Anual
Superficie	Acumulación de sedimentos y desechos.	Limpieza general y barrido del parterre.	Preventivo	Trimestral
	Encharcamiento prolongado después de un evento de lluvia.	Ensayo de permeabilidad para comprobar el nivel de colmatación del medio filtrante.	Preventivo	Bienal
		Reacondicionamiento de superficies de infiltración.	Correctivo	A demanda
Otros	Eventos extraordinarios de lluvia.	Inspección, tras lluvias intensas, en busca de daños estructurales (necesidad de escarificación o reemplazo de los primeros 20 cm) y zonas erosionadas.	Ocasional	A demanda

Elemento	Recomendaciones de diseño para el mantenimiento
Entrada/Salida	Realizar la entrada de agua al parterre mediante bordillos intermitentes (minimizan la erosión e impiden la entrada de tráfico rodado).
	Incluir gravas u otros materiales en las entradas para evitar la erosión.
	Instalar un área de vegetación densa en la entrada que sirva de pretratamiento y disipación de energía.
	Incluir estructuras de rebose que permitan la descarga controlada a la red durante eventos extremos.
Vegetación	Implantar especies resistentes a condiciones extremas de inundación y sequía, preferentemente de hoja perenne.
	Instalar un sistema de riego para suplir necesidades en periodos de sequías.
Otros	Efectuar pendientes laterales 3H:1V para evitar la erosión. En pendientes superiores, incluir disipadores de energía.
	Para la capa de transición, emplear capas con granulometrías intermedias que ejerzan de filtro o geotextiles con características apropiadas, de modo que se impida su colmatación o rotura.



Figura 41. Parterre inundable (área de biorretención) en C/ Carmen Baroja, Pamplona.



BALSAS DE DETENCIÓN E INFILTRACIÓN

Elemento	Indicador	Actividad	Tipo	Periodicidad
Entrada/Salida	Acumulación de sólidos.	Inspección de los elementos de entrada/salida y el aliviadero en busca de obstrucciones por exceso de sedimentos y, en su caso, limpieza.	Preventivo	Mensual
	Pérdida de la capacidad hidráulica.	Limpieza de imbornales y canaletas; retirada de residuos arrastrados por lluvias.	Ocasional	Trienal
Vegetación	Presencia de vegetación invasora.	Corte y retirada de vegetación no deseada.	Preventivo	Mensual
	Sequedad excesiva en el sustrato y la vegetación.	Riego de vegetación perimetral.	Preventivo	Semanal (verano)
Superficie	Pérdida de la capacidad hidráulica.	Reacondicionamiento de superficies de infiltración.	Correctivo	A demanda
Otros	Eventos extraordinarios de lluvias.	Inspección de taludes y, en su caso, reparación de zonas erosionadas.	Preventivo	Mensual
	Mal estado general de la estructura.	Revegetación de los taludes y reparación del elemento de disipación.	Ocasional	A demanda
	Pérdida de la capacidad hidráulica.	Mediciones topográficas en diques para determinar asentamientos diferenciales o corrimientos que puedan darse como consecuencia de arrastres de lluvias.	Preventivo	A demanda
		Nivelación de la base de la balsa y reajuste de los niveles definidos en el diseño.	Correctivo	A demanda
	Presencia de plagas en la zona.	Control de focos de infección, tareas de desinsectación y desratización.	Correctivo	A demanda

Elemento	Recomendaciones de diseño para el mantenimiento
Entrada/Salida	Incluir elementos de disipación de energía en la entrada de agua para impedir la erosión.
	Considerar un pretratamiento que reduzca el mantenimiento y mejore la capacidad de eliminar contaminantes.
	Para balsas de detención, emplear válvulas de vórtice en la salida en caso de que el conducto requerido para la laminación sea pequeño y genere riesgo de obstrucción.
	Instalar una rejilla que evite la entrada sólidos gruesos que puedan obturar el conducto.
Vegetación	Instalar especies adaptadas a las condiciones de encharcamiento, preferiblemente autóctonas.
	Incluir plantaciones en los taludes de la balsa para mejorar el pretratamiento y evitar erosión.
Superficie	Dividir la geometría de la balsa en dos vasos para concentrar la sedimentación en uno de ellos.
Otros	Garantizar la accesibilidad para facilitar las labores de mantenimiento.



Figura 42. Balsa de detención e infiltración en Can Cortada, Barcelona.

CUNETAS VEGETADAS

Elemento	Indicador	Actividad	Tipo	Periodicidad
Entrada/Salida	Obstrucción de las entradas o desbordamiento.	Inspección y retirada de sedimentos en las entradas de agua y elementos de rebose.	Preventivo	Mensual
Vegetación	Crecimiento irregular de la vegetación.	Mantenimiento general de las plantaciones (riego, poda, etc.) y recogida de los desechos generados (ramas, hojas, etc.). Especial énfasis en la poda para mantener la altura de diseño, que puede condicionar la capacidad hidráulica.	Preventivo	Mensual
	Presencia de vegetación invasora.	Eliminación de vegetación no deseada.	Preventivo	Trimestral
	Sequedad excesiva en el sustrato y la vegetación.	Riego (especialmente los 2 primeros años para el arraigo de plantaciones), a fin de mantener una densidad de vegetación adecuada, en función de las especies.	Preventivo	A demanda
	Aparición de plantas muertas y zonas despobladas.	Resiembra y sustitución de marras para cobertura completa de vegetación.	Ocasional	Anual
Superficie	Encharcamientos localizados.	Identificación y eliminación de encharcamientos, zonas compactadas o erosionadas.	Preventivo	Mensual
	Acumulación de sólidos en la superficie.	Limpieza general de la superficie de la cuneta (deshechos y sedimentos).	Preventivo	Mensual
	Pérdida de la capacidad hidráulica.	Reperfilado y nivelación de las irregularidades de superficie y restauración de la topografía de diseño.	Correctivo	A demanda
	Encharcamiento prolongado después de un evento de lluvia.	Reacondicionamiento de superficies de infiltración.	Correctivo	A demanda

Elemento	Recomendaciones de diseño para el mantenimiento
Entrada/Salida	Efectuar la entrada de agua por los laterales y del modo más distribuido posible.
	Disponer estructuras de rebose que faciliten el drenaje de la estructura para eventos extremos.
Vegetación	Incluir especies adaptada al clima local y con capacidad de soportar encharcamiento y altas densidades de plantación; preferiblemente autóctona.
Superficie	Efectuar de la cuneta con sección trapezoidal, para optimizar su funcionamiento y facilitar labores de mantenimiento.
	Instalar represas intermedias, perpendiculares al flujo, que disminuyan el riesgo de erosión Para pendientes longitudinales de más del 3 %.
	Efectuar las pendientes de talud de 1V:3H o más tendidas, para facilitar el acceso y mantenimiento.
	Instalar disipadores de energía, tanto en la base como en los laterales de la cuneta.



Figura 43. Cuneta vegetada en Anillo Mediterráneo, Tarragona.

ALCORQUES ESTRUCTURALES

Elemento	Indicador	Actividad	Tipo	Periodicidad
Entrada/Salida	Acumulación de sólidos.	Inspección de los elementos de entrada/salida y el aliviadero en busca de obstrucciones por exceso de sedimentos y, en su caso, limpieza.	Preventivo	Mensual
	Pérdida de la capacidad hidráulica.	Limpieza de imbornales y canaletas; retirada de residuos arrastrados por lluvias.	Ocasional	Trienal
Vegetación	Presencia de vegetación invasora.	Eliminación de vegetación no deseada.	Preventivo	Trimestral
	Crecimiento irregular del follaje.	Mantenimiento general del árbol, incluyendo poda y recogida de los desechos generados.	Preventivo	Semestral
	Falta de estabilidad, pérdida de hojas o presencia abundante de insectos.	Verificación de la salud del árbol. Plantear medidas correctoras si procede.	Preventivo	Anual
	Sequedad excesiva en el sustrato y en la vegetación.	Riego, especialmente los 2 primeros años, adaptado a las necesidades de las especies.	Preventivo	A demanda
Superficie	Acumulación de sólidos.	Retirada de desechos y limpieza general de la superficie del alcorque.	Preventivo	Mensual
	Pérdida de la capacidad hidráulica.	Sustitución del suelo vegetal si se produce una pérdida de permeabilidad por colmatación y el drenaje no se garantiza en 48 horas.	Correctivo	A demanda
	Levantamiento del acerado.	Limpieza del pavimento del alcorque y reparación de grietas que pudiesen afectar al firme.	Correctivo	A demanda
Otros	Eventos extraordinarios de lluvias.	Inspección técnica en busca de daños en las estructuras de entrada/salida y elementos de protección del árbol y el alcorque. Reparación en su caso.	Correctivo	A demanda

Elemento	Recomendaciones de diseño para el mantenimiento
Entrada/Salida	Instalar un aliviadero para facilitar la salida de agua en los casos en que se exceda la capacidad de diseño.
Vegetación	Implantar especies de follaje denso y que soporten condiciones de estrés por sequía y encharcamiento.
Superficie	Incluir un pozo de ventilación e inspección, que permita monitorizar la lámina de agua.
Otros	Evitar la compactación y permitir el desarrollo correcto de las raíces, considerando los requisitos de cada especie.



Figura 44. Alcorques estructurales en el barrio de Les Roquetes, Barcelona.

PAVIMENTOS PERMEABLES

Elemento	Indicador	Actividad	Tipo	Periodicidad
Superficie	Acumulación de sólidos en la superficie.	Barrido en seco y aspiración (el barrido debe extenderse también a la cuenca vertiente). Retirada de hojas, sedimentos y limpieza general de la superficie del pavimento.	Preventivo	Trimestral
	Encharcamiento y pérdida de permeabilidad/Aparición de hierbas no deseadas.	Inspección de las juntas en busca de evidencias de colmatación o vegetación no deseada.	Preventivo	Semestral
	Encharcamiento o falta de capacidad hidráulica.	Reemplazo del material de las juntas para recuperar sus propiedades originales.	Ocasional	A demanda
		Rehabilitación de capa superficial y subbase; succión de sedimentos para resolver problemas de colmatación.	Ocasional	A demanda
	Aparición de grietas o desperfectos.	Reparación de grietas u otros desperfectos superficiales que comprometan la seguridad de paso sobre el pavimento.	Correctivo	A demanda
Otros	Acumulación de sedimentos provenientes de zonas anexas.	Restitución de los niveles de las tierras adyacentes que se hayan podido elevar sobre el nivel del pavimento	Correctivo	A demanda

Elemento	Recomendaciones de diseño para el mantenimiento
Entrada/Salida	Evitar su instalación en zonas próximas a cuencas vertientes sin pavimentar o con áreas vegetadas que puedan aportar finos o sedimentos que causen la colmatación del pavimento.
	Instalar geotextiles que eviten la migración de gravillín de las capas superiores a las inferiores.
Superficie	Evitar su instalación en zonas con presencia de tráfico pesado, a fin de prevenir el daño o colapso de la estructura.
Otros	Prestar atención a la presencia de arbolado de hoja caduca y flor de pequeño tamaño que pueda obstruir la superficie del pavimento.
	Generalmente, la relación superficie impermeable / permeable no debe exceder 2:1.



Figura 45. Pavimento permeable por junta en Parque de Esplai, Bétera.



DRENES FILTRANTES

Elemento	Indicador	Actividad	Tipo	Periodicidad
Entrada/Salida	Acumulación de sólidos en la entrada.	Retirada de desechos y limpieza general de la superficie, la zona de pretratamiento, y los elementos de entrada/salida de los drenes.	Preventivo	Mensual
	Encharcamiento o pérdida de la capacidad hidráulica.	Inspección del geotextil y del área de infiltración con objeto de detectar zonas colmatadas.	Preventivo	Anual
Superficie	Acumulación de sólidos y desechos.	Limpieza de residuos de la superficie de las gravas.	Preventivo	Mensual
	Encharcamiento o falta de capacidad hidráulica.	Retirada y sustitución de los primeros 20 cm de gravas y del geotextil superficial.	Ocasional	Decenal/ A demanda
		Reemplazo de parte de la grava cuando exista alguna evidencia de colmatación.	Ocasional	A demanda
	Encharcamiento prolongado después de un evento de lluvia.	Reacondicionamiento de superficies de infiltración.	Correctivo	A demanda
Otros	Erosión localizada.	Reparación de la superficie de los drenes y mejora de la protección en los puntos de entrada de agua.	Correctivo	A demanda
	Encharcamiento o falta de capacidad hidráulica.	Verificar que la evacuación del agua se produce en menos de 48 horas.	Preventivo	Anual/ A demanda

Elemento	Recomendaciones de diseño para el mantenimiento
Entrada/Salida	Incluir una estructura de disipación de energía en la entrada, cuando se disponga de entradas puntuales provenientes de bajantes/conductos.
	Instalar una tubería perforada inferior para evitar desbordamientos o encharcamientos prolongados. Asimismo, se puede incluir una tubería perforada superior que actúe como rebose.
Superficie	El material de relleno debe permitir la percolación del agua y la eliminación de contaminantes.
	Incluir una capa superficial de gravas sobre un geotextil, que permita la retención de sólidos y contaminantes, para facilitar las labores de mantenimiento.
Otros	Considerar la instalación de bolardos o bordillos que protejan las zanjas cuando éstas se encuentran próximas a zonas de viario.



Figura 46. Dren filtrante en la nueva sede del BBVA, Madrid.

ZANJAS Y POZOS DE INFILTRACIÓN

Elemento	Indicador	Actividad	Tipo	Periodicidad
Entrada/Salida	Obstrucción de las entradas, aparición de charcos o desbordamiento.	Inspección y limpieza de elementos de entrada/salida del agua.	Preventivo	Mensual
	Encharcamiento o falta de capacidad hidráulica.	Inspección del geotextil y del área de infiltración con objeto de detectar zonas colmatadas.	Preventivo	Anual
Superficie	Acumulación de sólidos y desechos.	Limpieza de residuos de la superficie de gravas	Preventivo	Mensual
	Encharcamiento o falta de capacidad hidráulica.	Inspección de la superficie de infiltración en busca de sedimentación excesiva o zonas colmatadas. Limpieza en su caso.	Preventivo	Trimestral
		Comprobación de vaciado de la zanja o pozo en menos 48 horas.	Preventivo	Anual
		Retirada y sustitución de los primeros 20 cm de gravas y del geotextil superficial.	Ocasional	Decenal/ A demanda
		Reemplazo de parte de la grava cuando exista alguna evidencia de colmatación.	Ocasional	A demanda
	Encharcamiento prolongado después de un evento de lluvia.	Reacondicionamiento de superficies de infiltración.	Correctivo	A demanda
	Erosión localizada.	Reparación de la superficie de las zanjass y mejora de la protección en los puntos de entrada de agua.	Correctivo	A demanda

Elemento	Recomendaciones de diseño para el mantenimiento
Entrada/Salida	Definir la entrada de esorrentía al sistema de un modo controlado. En caso de prever un flujo abundante, incluir elementos de disipación de energía.
	Para pozos de infiltración, incluir una rejilla que impida la entrada de elementos gruesos y sedimentos al sistema.
	Incluir una franja de vegetación previa, que sirva como pretratamiento.
Superficie	Para zanjass de infiltración, efectuar un ancho mínimo de 0,30 m, a fin de facilitar las labores de mantenimiento. En el caso de pozos de infiltración, efectuar un diámetro de 1 a 3 m.
	Incluir un bordillo perimetral para proteger la estructura.

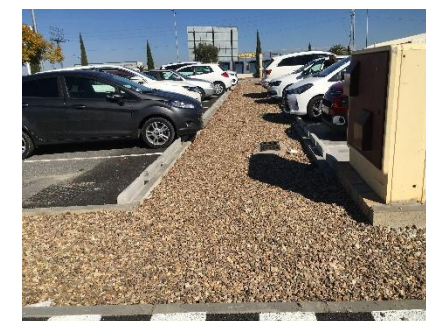


Figura 47. Zanja drenante en aparcamiento, Alcalá de Guadaira.



HUMEDALES ARTIFICIALES Y ESTANQUES

Elemento	Indicador	Actividad	Tipo	Periodicidad
Entrada/Salida	Obstrucción de las entradas o desbordamiento.	Retirada de sedimentos acumulados en los elementos de entrada y rebose.	Preventivo	Mensual/ Semestral
Vegetación	Aparición de vegetación no deseada.	Eliminación de la vegetación no deseada.	Preventivo	Mensual
	Vegetación en mal estado.	Cuidado de las plantas acuáticas y de la vegetación de los márgenes.	Preventivo	Anual
	Pérdida de vegetación y biodiversidad.	Reposición de la vegetación, valorando modificar las especies.	Ocasional	Trienal/ A demanda
Superficie	Presencia de sólidos superficiales.	Retirada de hojas, residuos y restos flotantes.	Preventivo	Mensual
	Pérdida de la capacidad hidráulica.	Eliminación de sedimentos del fondo si el volumen se reduce más de un 20%.	Correctivo	A demanda
Otros	Pérdida de la capacidad hidráulica y de la estabilidad.	Corrección del fondo y los laterales de la balsa por erosión.	Ocasional	Bianual (Inicio/fin invierno)
	Presencia de plagas y/o aumento de la turbidez.	Aireación en caso de eutrofización.	Ocasional	Trienal/ A demanda
	Anormalidad en el funcionamiento de la estructura.	Análisis de la calidad de la lámina de agua permanente.	Preventivo	Mensual/ Tras fuertes lluvias
		Reposición de posibles elementos dañados.	Correctivo	A demanda

Elemento	Recomendaciones de diseño para el mantenimiento
Entrada/Salida	Definir la entrada de agua por los laterales, con disipadores de energía (evitar erosión), o mediante un conducto.
	Para los taludes de entrada en estanques, realizar una pendiente 3H:1V, pudiendo incluir escolleras y plantas.
	Efectuar la salida del agua controladamente, mediante conductos de pequeño diámetro o una válvula de vórtice.
	Deben incluirse elementos de rebose a la red para los eventos de magnitud superior al de diseño.
Vegetación	Implantar especies acuáticas, idealmente flotantes, resistentes a condiciones de encharcamiento permanente.
Superficie	Crear cámaras, con profundidad máxima de 60 cm, que faciliten la capacidad de tratamiento y el mantenimiento.
	Establecer una ratio mínima longitud-ancho de 3:1, pudiendo crear diferentes vasos o cámaras conectados a través de bermas o taludes.
Otros	Ubicar en zonas llanas, estables e impermeables.
	Señalizar correctamente, prohibiendo el baño e indicando las zonas de agua temporal y permanente.
	Incluir una cámara de pretratamiento en la entrada del sistema, que facilite el mantenimiento.



Figura 48. Estanque artificial en el Anillo Mediterráneo, Tarragona.

6.2. Monitorización

La monitorización de los SUDS es el proceso mediante el cual se realizan **mediciones de parámetros que permiten evaluar su funcionamiento y desempeño**. Se trata de un proceso esencial en el desarrollo de líneas de investigación y seguimiento de infraestructuras, y que tiene por objeto confirmar la efectividad de dichos sistemas, aprender de las experiencias realizadas y asentar el cambio de paradigma del drenaje urbano.

6.2.1. Objetivos de la monitorización

Por lo general, en lo relativo a los SUDS, es habitual medir parámetros de **calidad y cantidad de las escorrentías**, con el objetivo de cuantificar su potencial en estas dos vertientes:

- ▶ **Cantidad.** Se busca evaluar la capacidad de los SUDS para reducir los volúmenes vertidos y laminar los caudales picos. Habitualmente se miden los calados en el SUDS y el caudal y volumen rebosado.
- ▶ **Calidad.** Se pretende cuantificar la capacidad de tratamiento de los SUDS y su grado de retención de contaminantes. Generalmente, se cuantifican parámetros físicos (turbidez, sólidos suspendidos, etc.), químicos (sulfatos, cloruros, metales pesados, etc.) y biológicos (coliformes, *Legionella ssp*, etc.).

En función de la frecuencia de registro de datos, se distinguen dos tipos de mediciones:

- ▶ **Directas.** Obtención automática de datos a través de sondas o sensores, que se transfieren a una central para su almacenamiento y procesamiento.
- ▶ **Indirectas.** Obtención de datos mediante el análisis en laboratorio de las muestras recogidas durante las lluvias, que corresponden a valores puntuales de un instante determinado.

Es habitual que los parámetros de calidad se midan de forma indirecta, mediante ensayos posteriores de laboratorio, tras la recogida de las muestras. La recogida de muestras debe efectuarse de modo manual y su traslado al laboratorio debe realizarse a la mayor brevedad, dentro de las 24 horas posteriores al evento de lluvia para que la muestra no se vea alterada.

En cuanto a los parámetros de cantidad de escorrentía, estos suelen medirse en tiempo real gracias a sensores de nivel, pudiéndose deducir a partir de esta medición tanto los caudales como los volúmenes vertidos.

También es importante prestar atención a las variables meteorológicas como la temperatura o la precipitación, de forma que se puedan correlacionar con las mediciones relativas a la cantidad y la calidad.

6.2.2. Equipos de monitorización

La configuración y los equipos necesarios para realizar una monitorización es variable y dependerá de los tipos de SUDS instalados o de la disponibilidad de espacio en las arquetas de control.

De forma general, a continuación, se listan los elementos más comunes de un sistema de monitorización:

- ▶ **Tomamuestras automático.** Se trata de un dispositivo que recoge y almacena las muestras de agua para análisis posterior en laboratorio, pudiendo ser programado o activado de forma remota.
- ▶ **Sensores de nivel.** Su objetivo es medir el nivel de la lámina de agua en el SUDS o en el elemento de rebose, de forma que se pueda deducir el caudal vertido. Pueden ser hidrostáticos (sumergidos) o ultrasónicos (Figura 49).
- ▶ **Vertedero triangular de pared delgada.** Se trata de un elemento auxiliar que facilita la medición de los caudales circulantes (Figura 49).
- ▶ **Registrador de datos y controlador.** Registra (y transmite, en su caso) los datos procedentes de los sensores.

Dependiendo de las características del sistema, todos los elementos pueden disponerse en una única arqueta de monitorización, o contar con una arqueta seca auxiliar próxima, donde pueden ubicarse los tomamuestras, registradores de datos. Además, aunque los equipos suelen presentar un consumo energético bajo, **se recomienda contar con una fuente de alimentación** adecuada para los mismos.

A fin de complementar y validar los datos registrados, se recomienda instalar una **estación meteorológica** en el entorno, que registre, como mínimo, los siguientes parámetros: lluvia diaria acumulada, intensidad de

precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa.

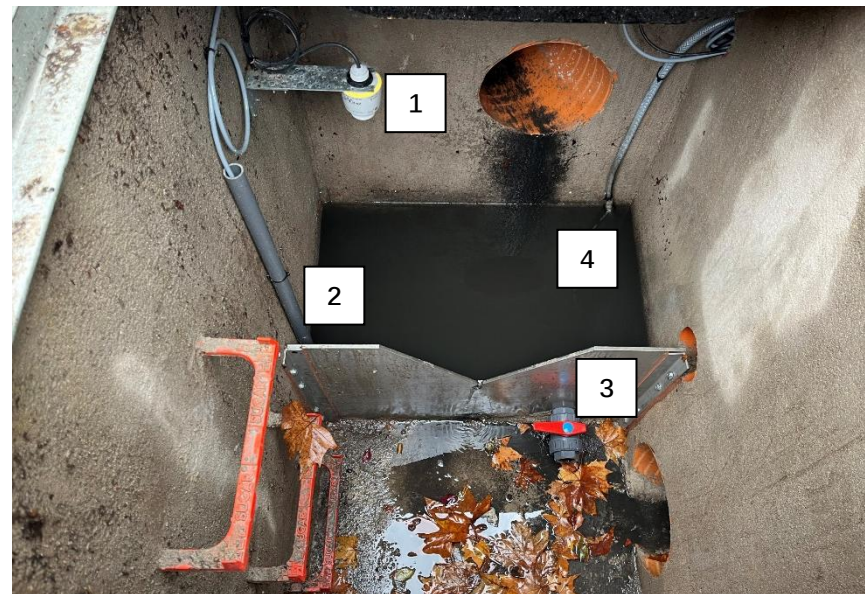


Figura 49. Interior de una arqueta de monitorización: 1- sensor de nivel por radar; 2- sonda hidrostática; 3- vertedero triangular; 4- poceta para toma de muestras conectada a tomamuestras automático.

Es importante destacar que los equipos de monitorización también requerirán de unas **acciones de mantenimiento específicas** destinadas a preservar su buen funcionamiento y fiabilidad de las mediciones.



7. REFERENCIAS



7.1. Normativa

[Directiva \(UE\) 2000/60](#) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de la Unión Europea L 327, 22 de diciembre de 2000.

[Directiva \(UE\) 2006/7](#) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de febrero de 2006 relativa a la gestión de la calidad de aguas de baño y por la que se deroga la Directiva 76/160/CEE. Diario Oficial de la Unión Europea L 64 del 4 de marzo de 2006

[Directiva \(UE\) 2006/118](#) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006 relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro. Diario Oficial de la Unión Europea L 372 del 27 de diciembre de 2006.

[Directiva \(UE\) 2007/60](#) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. Diario Oficial de la Unión Europea L 288 del 6 de noviembre de 2007.

[Directiva \(UE\) 2024/3019](#) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de noviembre de 2024, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, (versión refundida).

Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones (2019). El [Pacto Verde Europeo](#).

[Real Decreto Legislativo 1/2001](#), de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. Boletín Oficial del Estado 24 de julio de 2001, núm. 176.

[Real Decreto 849/1986](#), de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, núm. 103.

[Real Decreto 903/2010](#), de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación. Boletín Oficial del Estado 15 de diciembre de 2010, núm. 171.

[Real Decreto 1290/2012](#), de 7 de septiembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, y el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo de Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Boletín Oficial del Estado 20 de septiembre de 2012, núm. 227.

[Real Decreto 638/2016](#), de 9 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el Reglamento de Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, y otros reglamentos en materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales. Boletín Oficial del Estado 29 de diciembre de 2016, núm. 314.

[Real Decreto 665/2023](#), de 18 de julio, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por Real Decreto 849/1986, de 11 de abril; el Reglamento de la Administración Pública del Agua, aprobado por Real Decreto 927/1988, de 29 de julio; y el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. Boletín Oficial del Estado 31 de agosto de 2023, núm. 208.

[DECRETO 201/2015](#), de 29 de octubre, del Consell, por el que se aprueba el Plan de acción territorial sobre prevención del riesgo de inundación en la Comunitat Valenciana. DOGV núm. 7649 del 03 de noviembre de 2015.

[Resolución 997/IX](#), sobre la incorporación de medidas de prevención y técnicas relacionadas con el uso de sistemas de drenaje sostenible en el diseño de la infraestructura verde incluida o asociada a los planes de ordenación del territorio, aprobada por la Comisión de Obras Públicas, Infraestructuras y Transportes en la reunión del 30 de mayo de 2017. BOC núm. 189 del 16 de junio de 2017.

[Ordenanza](#), del 27 de marzo de 2009, de Vertidos del Servicio Municipal de Alcantarillado. BOP de Alicante núm. 97 del 20 de mayo de 2009.

[Reglamento](#), del 27 de marzo de 2009, de Prestación del Servicio Municipal de Alcantarillado. BOP de Alicante núm. 97 del 26 de mayo de 2009.



7.2. Manuales y guías de referencia para diseño

[Sustainable Drainage, Cambridge Design and Adoption Guide](#). Environment and Planning; Cambridge City Council; The Guildhall; Cambridge, 2009.

[Guidelines for the Design and Construction of Stormwater Management Systems](#). New York City Environmental Protection, 2012.

[Green Streets Design Manual](#). City of Philadelphia, 2014.

[The SuDS Manual](#). CIRIA, 2015.

[Stormwater Management Requirements and Design Guidelines \(SMRs\)](#). City of San Francisco, 2016.

[Stormwater Control Measure Credit Document](#). North Carolina Environmental Quality, 2018.

[Low Impact Development Approaches Handbook](#). Clean Water Services, 2021.

[Guía Básica de Diseño de sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y Otros Espacios Libres Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad](#). Ayuntamiento de Madrid, 2018.

[Guías de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenible](#). MITECO, 2019.

[Guía básica de diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para el término municipal de Castelló de la Plana](#). Ayuntamiento de Castelló de la Plana, 2019.

[Guia tècnica per al disseny de Sistemes de Drenatge Urbà Sostenible SUDS](#). Ajuntament de Barcelona, 2020.

[Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València](#). Ajuntament de València, 2021.

[Recomendaciones básicas. Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible \(SUDS\) en Navarra](#). NILSA, 2023.

[Guía básica de diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible \(SUDS\) para el término municipal de Azuqueca de Henares](#). Ayuntamiento de Azuqueca De Henares, 2023.

[Guía básica de diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible \(SUDS\) en el Término Municipal de Murcia](#). EMUASA, 2023.

[Recomendaciones para la elaboración de Planes Integrales de Gestión del Sistema de Saneamiento – Reglamento del Dominio Público Hidráulico – R.D. 849/1986 – R.D. 665/2023](#). MITECO, 2025.

7.3. Otros documentos y enlaces de interés

[Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction](#). EEA Report N.º 01/2021.

[Interactive Atlas](#). IPCC Working Group I, 2024.

[Agua y ciudad. Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenible](#). CONAMA, 2018.

[Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España](#). CEDEX, 2021.

[Visor de Escenarios de Cambio Climático](#). AddapteCCa, 2024.

[Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables](#)v. MITECO.

[Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible \(SUDS\)](#). MITECO.

Página web [RedSUDS](#).

