GUÍAS DE **ADAPTACIÓN** AL RIESGO DE **INUNDACIÓN:** SISTEMAS **URBANOS** DE **DRENAJE** SOSTENIBLE



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

GUÍAS DE ADAPTACIÓN AL RIESGO DE INUNDACIÓN:

SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE

Octubre 2019

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

Madrid, 2019

Aviso legal: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha en su caso, de la última actualización.

Dirección y coordinación:
D. Francisco Javier Sánchez Martínez[1]
Dª. Mónica Aparicio Martín[1]

Elaboración y redacción:
Dª. Alba Núñez Collado[2]
Dª. Ana Salgado Cámara[2]
D. Daniel Martín Anta[2]
D. Ignacio Prieto Leache[2]
D. Javier Montoya Rodríguez[2]
D. Pablo Ferreiro Gómez[2]
D. Víctor Soler Gómez[2]

[1] Dirección General del Agua. Subdirección General de Gestión Integrada del Dominio Público Hidráulico.
[2] TRAGSATEC. Grupo TRAGSA.

Imagen de portada: Tragsatec.

Las imágenes han sido realizadas por:
Agencia Estatal de Meteorología (AEMET): fig. 32
Atlantis: figs. 18, 41, 42
Ayuntamiento de Paterna: fig. 53
Ballester-Olmos et al. (2015): figs. 59-65
Confederación Hidrográfica del Ebro: fig. 1
El clima urbano (MOPT, 1993): fig. 13
Google maps. Google, Imágenes © 2019 CNES / Airbus, Maxar Technologies: fig. 40
Google maps. Google, Imágenes © 2019 Ajuntament de València, Instituto Cartográfico Valenciano, CNES / Airbus, Maxar Technologies: fig. 43
Google maps. Google, Imágenes © 2019 Maxar Technologies: fig. 46
Google maps. Google, Imágenes © 2019 Institut Cartogràfic de Catalunya, Maxar Technologies: fig. 54
Green Blue Management (GBM): fig. 66
iAgua: figs. 50-52
Instituto Municipal de Urbanismo de Barcelona (IMU): fig. 55
Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO): fig. 3
Perales-Momparler y Soto Fernández (2013): figs. 56-58
Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del Riesgo de Inundación en la Comunitat Valenciana (PATRICOVA): figs. 47-49
Plan de Ordenación del Litoral de Galicia: figs. 67-70
Plan General de Ordenación Urbana de Santander: figs. 71, 72
Tragsa: fig. 29
Tragsatec: figs. 2, 4-12, 14-17, 19-28, 30, 31, 33-39, 44, 45

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

Edita:
© Ministerio para la Transición Ecológica
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones

Diseño y maquetación: Tragsatec. Grupo Tragsa

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:
http//publicacionesoficiales.boe.es/

NIPO: 638-18-030-2

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS 4

ÍNDICE DE TABLAS 5

1. PLANTEAMIENTO DE LA GUÍA 6
   - 1.1 Introducción 6
   - 1.2 Objetivos 7
   - 1.3 Para qué sirve esta guía 8
   - 1.4 Conceptos básicos 8
   - 1.5 Marco de referencia 14

2. PROBLEMÁTICA 20
   - 2.1 Incrementos de escorrentía urbana y del riesgo de inundación 20
   - 2.2 Isla de calor 21
   - 2.3 Concentración de contaminantes 22
   - 2.4 Incremento del gasto 23

3. ESTRATEGIAS PARA LA IMPLANTACIÓN DE SUDS 24
   - 3.1 Detener 24
   - 3.2 Ralentizar 27
   - 3.3 Almacenar 29
   - 3.4 Infiltrar 30

4. TIPOLOGÍAS DE SUDS 32
   - 4.1 Control en origen 32
   - 4.2 Ralentización y conducción 34
   - 4.3 Almacenamiento 36
   - 4.4 Infiltración 38

5. CRITERIOS DE DISEÑO Y MANTENIMIENTO 40
   - 5.1 Principios básicos de diseño 40
   - 5.2 Criterios de diseño en zona inundable 53
   - 5.3 Criterios de mantenimiento 54
   - 5.4 En caso de inundación 58

6. CASOS PRÁCTICOS 62
   - 6.1 Implantación de SUDS en el Parque de Gomeznarro, Madrid 62
   - 6.2 Cubierta vegetal y aljibe en edificio administrativo, Parc Bit. 64
   - 6.3 Depósito de detención en el Parque Apeadero de Paterna, Valencia 64
   - 6.4 Actuaciones urbanas en Barcelona: Zona franca 70
   - 6.5 Actuaciones urbanas en Beanguasil y Xàtiva 73
   - 6.6 Normativa que incluye SUDS 79

7. REFERENCIAS 86
   - Bibliografía 86
   - Direcciones web 92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Inundaciones río Ebro. (2018) . . . 7
Figura 2. Esquema Dominio Público Hidráulico, zona de servidumbre, zona de policía y zona inundable . . . 8
Figura 3. Mapas de peligrosidad y riesgo de inundación según el SNCZI en Alzira (Valencia) . . . 11
Figura 4. Ciclo natural del agua . . . 12
Figura 5. Recorrido del agua por distintos entornos edificados . . . 12
Figura 6. Saneamiento unitario y saneamiento separativo . . . 13
Figura 7. Ciclo urbano artificial del agua . . . 14
Figura 8. Diseños con SUDS. Francia (Ronchamp), Austria (Hallstatt) . . . 15
Figura 9. Relación entre escorrentía e infiltración en función del grado de urbanización . . . 20
Figura 10. Cantidad de escorrentía en función del tiempo y de la cantidad de precipitación . . . 20
Figura 11. Diseños inapropiados (izda.) y correcto (dcha.) frente a escorrentía . . . 21
Figura 12. Termografía urbana. Análisis de temperaturas de diferentes acabados superficiales . . . 22
Figura 13. Incremento de la temperatura-isla de calor- Termografía aérea de Madrid . . . 22
Figura 14. Contaminación agua superficial . . . 23
Figura 15. Esquemas del funcionamiento de la cadena de gestión del agua . . . 24
Figura 16. La cadena de gestión. Ejemplo de superficies permeables. Troia, Portugal . . . 25
Figura 17. Cubierta vegetada. Mallorca . . . 26
Figura 18. Pavimento permeable con pequeño aljibe . . . 26
Figura 19. Alcorques y zonas urbanas con diferentes pavimentos . . . 27
Figura 20. Zanja de infiltración y franjas filtrantes . . . 28
Figura 21. Elementos de ralentización en talud y sistema de drenaje en calles . . . 29
Figura 22. Elementos de almacenamiento en superficie . . . 29
Figura 23. Infiltración en zanja . . . 31
Figura 24. Cubierta vegetada plana extensiva y Cubierta inclinada vegetal . . . 32
Figura 25. Asfalto impermeable y superficie impermeable de hormigón . . . 33
Figura 26. Pavimento permeable por junta y mediante celda. Pavimentos disgregado mulch y vegetal . . . 33
Figura 27. Dren filtrante y Bandas filtrantes . . . 34
Figura 28. Elementos en taludes . . . 36
Figura 29. Balsa de almacenamiento . . . 37
Figura 30. Elementos de infiltración . . . 39
Figura 31. Construcción y mantenimiento de SUDS . . . 40
Figura 32. División geográfica según climatología y variación de la precipitación. Figura desde mapa de torrencialidad, AEMET . . . 41
Figura 33. Pavimentos permeables . . . 43
Figura 34. Zanja filtrante . . . 45
Figura 35. Cuneta permeable (1), cuneta húmeda (2), celdas modulares en cuneta (3), cuneta seca (4) . . . 46
Figura 36. Esquema estanque de detención e infiltración . . . 48
Figura 37. Esquema de depósito de detención e infiltración . . . 49
Figura 38. Parterres inundables . . . 51
Figura 39. Esquema Dominio Público Hidráulico, zona de servidumbre, z. de policía y z. inundable . . . 53
Figura 40. Localización del parque de Gomeznarro . . . 62
Figura 41. Instalación de celdas de drenaje bajo pavimento. Zona de captación deprimida . . . 63
Figura 42. Situación final y detalle sección constructiva transversal . . . 63
Figura 43. Localización del Parc Bit y edificio Complejo Balear de Investigación . . . 64
Figura 44. Complejo balear de investigación, Parc Bit. Cubiertas vegetales, zanja drenante en patio y fachada vegetada . . . 64
Figura 45. Cubiertas vegetales Parc Bit . . . 65

Figura 46. Ámbito del P.G.O.U. de Paterna y Cuenca vertiente del Barranco de la Fuente . . . 65
Figura 47. Riesgo de inundación . . . 66
Figura 48. Área y zanja filtrante . . . 67
Figura 49. Planta y Sección transversal Parque Apeadero. Proyecto y construcción . . . 67
Figura 50. Parque Apeadero (lluvias de sept. 2007). Parque Apeadero después de la tormenta.2007 . . . 68
Figura 51. Estado tras tormenta y estado actual del Parque Apeadero . . . 68
Figura 52. Ámbito de actuación de la primera fase. Rotura y desbordamiento durante las lluvias de 2012. Fuente iAgua . . . 69
Figura 53. Ámbito de la obra de ampliación del sistema de drenaje . . . 70
Figura 54. Intervención en Can Cortada, distrito de Horta-Guinardó y La Marina de Zona Franca, distrito de Sants/Montjüic . . . 71
Figura 55. Esquema de funcionamiento global implantado en Can Cortada . . . 71
Figura 56. Construcción de zonas de detención e infiltración con sub-bases de gran capacidad de acumulación de agua . . . 72
Figura 57. Esquema de los sistemas implantados en la Marina de la Zona Franca . . . 72
Figura 58. Hidrogramas de entrada y salida en uno de los parterres (software WinDes®) . . . 73
Figura 59. Ruta de los SUDS, Benaguasil . . . 75
Figura 60. Fotos y esquemas del Parque Costa de la Ermita en Benaguasil . . . 75
Figura 61. Fotos y esquemas de construcción de aljibe en Centro Polivalente en Benaguasil . . . 76
Figura 62. Construcción y esquemas de funcionamiento del depósito de retención . . . 76
Figura 63. Imagen y esquema de aparcamiento con pavimento drenante de hormigón poroso . . . 76
Figura 64. Construcción de la cubierta y resultado final de la cubierta vegetada . . . 77
Figura 65. Construcción de balsa de detención en isleta de tráfico existente . . . 77
Figura 66. Cuneta vegetada en Ciudad del Deporte. Cuneta vegetada en Ronda Norte. Cubierta vegetada en colegio . . . 78
Figura 67. Ámbito de afección y características pluviométricas . . . 79
Figura 68. Cartografía de la red fluvial y Mapa de pendientes . . . 79
Figura 69. Definición de las zonas de especial protección de los valores naturales . . . 80
Figura 70. Clasificación del suelo . . . 80
Figura 71. PGOU Santander . . . 81
Figura 72. Planos propuesta del sistema de abastecimiento, saneamiento y depuración. PGOU de Santander . . . 82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen normativa de aplicación . . . 17
Tabla 2. Cantidad de escorrentía en función del tiempo y de la cantidad de precipitación. Fuente: Tragsa, GIAE . . . 21
Tabla 3. Pluviometría zonas climáticas. Fuente: Tragsatec. Datos obtenidos de la Guía resumida del clima en España (1971-2000). Plan Estadístico Nacional (2001-2004). Ministerio de Medio Ambiente . . . 40
Tabla 4. Permeabilidad. DB-SE.CTE . . . 41
Tabla 5. Peso estimado cubiertas vegetadas. Fuente: Guía GIAE, Tragsa . . . 42
Tabla 6. Criterios de selección de pavimento. Fuente: Guía GIAE, Tragsa . . . 44
Tabla 7. Criterios de ralentización y conducción. Fuente: Tragsatec . . . 47
Tabla 8. Criterios de almacenamiento de agua . . . 48
Tabla 9. Criterios de diseño para infiltración. Fuente: Tragsatec . . . 52
Tabla 10. Tabla resumen mantenimiento SUDS. Fuente: Tragsatec . . . 57
Tabla 11. Grados de necesidad de mantenimiento. Fuente: Tragsatec . . . 59
Tabla 12. Criterios de diseño. Tabla resumen. Fuente: Tragsatec . . . 60

1. PLANTEAMIENTO DE LA GUÍA

1.1 Introducción

Objeto y necesidad de la guía

El fenómeno natural que ha generado los daños personales y materiales más graves en España son las inundaciones. Existen un gran número de referencias históricas de estas catástrofes que se han dado, con menor o mayor medida, en la práctica totalidad del territorio nacional. Según el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) y la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (DGPCyE), cada año se registran una media de 10 episodios graves de inundación en España. Por su parte, el Ministerio para la Transición Ecológica (MAPAMA) estima que alrededor de 3 millones de españoles viven en zonas de alto riesgo de inundación.

Las inundaciones son fenómenos de origen natural cuyo impacto se puede mitigar considerablemente si se siguen las medidas adecuadas. Es necesario aprender de cada evento y estar preparados para el siguiente, aplicando medidas de reducción del riesgo para minimizar al máximo posible los daños provocados por el agua.

La Directiva de Inundaciones, *Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea, de 23 de octubre de 2007, relativa a la "Evaluación y la gestión de los riesgos de inundación", y su trasposición al ordenamiento jurídico español a través del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio*, tienen ese objetivo.

La herramienta clave de la Directiva son los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación, en adelante PGRI, cuyo desarrollo actualmente se encuentra en su primer ciclo (desde su aprobación por el Real Decreto 18/2016 y el Real Decreto 20/2016 en las cuencas intercomunitarias, hasta su primera actualización el 22 de diciembre de 2021).

Dentro de las actuaciones incluidas en el "Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático en España" (Plan PIMA Adapta) se encuentra la implantación de dichos PGRI en materias coordinadas con la adaptación al cambio climático, estableciendo las metodologías, herramientas y análisis necesarios.

Los objetivos generales de los PGRIs son:

- Incrementar la percepción del riesgo de inundación y de las estrategias de autoprotección en la población, los agentes sociales y económicos.
- Mejorar la coordinación administrativa entre todos los actores involucrados en la gestión del riesgo.
- Mejorar el conocimiento para la adecuada gestión del riesgo de inundación.
- Mejorar la capacidad predictiva ante situaciones de avenida e inundaciones.
- Contribuir a mejorar la ordenación del territorio y la gestión de la exposición en las zonas inundables.
- Conseguir una reducción, en la medida de lo posible, del riesgo a través de la disminución de la peligrosidad para la salud humana, las actividades económicas, el patrimonio cultural y el medio ambiente en las zonas inundables.
- Mejorar la resiliencia y disminuir la vulnerabilidad de los elementos ubicados en las zonas inundables.
- Contribuir a la mejora o al mantenimiento del buen estado de las masas de agua a través de la mejora de sus condiciones hidromorfológicas.

Los PGRIs establecen, como una de las medidas a ejecutar, la adaptación de "elementos situados en las zonas inundables para reducir las consecuencias adversas en episodios de inundaciones en viviendas, edificios públicos, redes, etc.". En este contexto se plantea la elaboración de un conjunto de guías de adaptación de dichos elementos, entre las que se incluye esta "GUÍA DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE".

Por otro lado, el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH), en su artículo 126 ter. 7, establece que: "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."

En esta Guía se profundiza y detalla lo establecido en este artículo sobre Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), proporcionando una visión amplia de las tipologías, criterios de diseño y su utilización.

Desarrollo del documento

El presente documento, redactado con fecha de diciembre de 2017, se desarrolla conforme al siguiente esquema:

En el PRIMER BLOQUE se ofrece al lector una visión general de la guía y de los conceptos esenciales, que serán la base para la comprensión de los siguientes bloques temáticos.

En el SEGUNDO BLOQUE se enuncian y definen las problemáticas derivadas de la impermeabilización del suelo y de la concepción lineal del ciclo urbano del agua.

El TERCER BLOQUE aborda la estrategia a seguir para solucionar el problema. Se analiza la cadena de gestión del agua adecuada para no incrementar el riesgo de inundación y mitigar sus consecuencias.

En el CUARTO BLOQUE se definen los elementos de drenaje urbano sostenible y se plantean los métodos más apropiados para solucionar o prevenir los distintos problemas.

El QUINTO BLOQUE se centra en los criterios de diseño y de mantenimiento de los elementos de drenaje sostenible para que su funcionamiento sea eficaz.

Por último, en el SEXTO BLOQUE se detallan tres casos prácticos en los que se han puesto en práctica las medidas anteriormente comentadas.

1.2. Objetivos

El objetivo de esta guía es profundizar en las causas y consecuencias de las inundaciones a nivel urbano y concienciar a la sociedad sobre la necesidad de actuar para prevenirlas y mitigar sus consecuencias. Pretende servir como una herramienta que aporte soluciones y pautas de actuación preventivas en el ámbito del drenaje urbano.

Como objetivos parciales se establecen:

1. Concienciar a la sociedad, a las entidades públicas correspondientes y a los técnicos implicados en el diseño y planificación, de la influencia del urbanismo en la prevención de inundaciones.
2. Identificar y recordar las problemáticas del ciclo urbano del agua y sus consecuencias en las inundaciones urbanas.
3. Explicar la estrategia a seguir para reducir el riesgo de inundación, o mitigar sus efectos en caso de que se produzcan.
4. Definir las tipologías de sistemas urbanos de drenaje sostenible que se pueden utilizar para prevenir las inundaciones. Explicar cuando utilizar cada uno de los elementos, y los criterios de diseño y de mantenimiento.
5. Explicar cómo actuar a nivel urbano después de una inundación, e informar de los sistemas de indemnizaciones, ayudas económicas, subvenciones y otras medidas de recuperación.



Figura 1. Inundaciones río Ebro. (2018).

1.3. Para qué sirve esta guía

Esta guía se ha elaborado como herramienta de orientación, especialmente destinada a los arquitectos, urbanistas, ingenieros y diseñadores, pero también a las entidades públicas encargadas de la urbanización del territorio y ayuntamientos, así como a las urbanizaciones, agrupaciones vecinales, comunidades y a los habitantes de entornos urbanos en general.

Se trata de una guía descriptiva de las posibles medidas a adoptar para conseguir una mejor gestión de las aguas pluviales de las ciudades, atendiendo a la climatología y entorno del lugar, sin pretender ser un manual técnico de diseño o construcción. Se centra en la prevención de las inundaciones en zonas urbanas mediante el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

Esta guía hace referencia tanto a las posibles inundaciones en zonas cercanas a los cauces fluviales, definidas como "zonas inundables" (periodo de retorno de 500 años), como a las zonas que no se ven afectadas por los cauces fluviales, pero que pueden sufrir inundaciones pluviales debido a lluvias intensas.

Este documento es aplicable a los proyectos de urbanización, sin interferir en soluciones estructurales como encauzamientos de río o diques de protección costera, y sin profundizar en la protección de edificios existentes en zonas inundables, aspectos que se detallan en otros manuales pertenecientes al conjunto de guías para la prevención del riesgo de inundaciones.

Incluye tres casos de buenas prácticas que pueden servir como referencia para la elaboración de nuevos proyectos urbanos de drenaje sostenible, y que permiten comparar los sistemas habituales de drenaje y los SUDS.

1.4. Conceptos básicos

Los conceptos fundamentales para comprender el resto de apartados de esta guía son: la definición de inundación pluvial, determinar y conocer el riesgo de inundación, diferenciar el ciclo urbano del agua y la influencia del urbanismo en el mismo, y clasificar las inundaciones en ámbito urbano.

¿Qué es una inundación? Tipologías.

Una inundación es la ocupación por el agua de zonas que habitualmente están libres de ésta a consecuencia de lluvias torrenciales, desbordamiento de ríos o ramblas, deshielo, subida de las mareas por encima del nivel habitual, ascenso del nivel freático, embates de mar, etc.

Existen dos grandes tipos de inundaciones: continentales, en las que aguas dulces anegan el territorio; y costeras, en las que las aguas del mar son las responsables de la inundación.

Dentro de las **inundaciones continentales** se diferencia entre las inundaciones fluviales y las pluviales. Las primeras son causadas por el desbordamiento de los cauces de ríos o arroyos, mientras que las segundas se

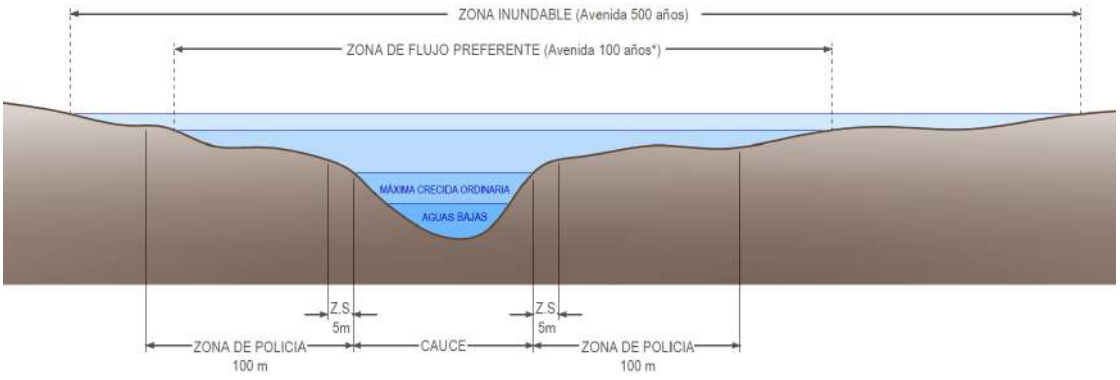


Figura 2. Esquema Dominio Público Hidráulico, zona de servidumbre, zona de policía y zona inundable.

originan por la escorrentía generada por las precipitaciones "in situ". En ambos casos, la causa principal son las lluvias. En las ciudades y zonas urbanas podemos distinguir cuatro tipologías de inundación: las inundaciones fluviales, el anegamiento por lluvias o inundaciones pluviales, las inundaciones costeras, y las inundaciones puntuales por fallo de una canalización subterránea.

En las **inundaciones fluviales** el agua de lluvia se concentra en los cauces, aumentando el caudal de los ríos y arroyos. Cuando el volumen de agua supera la capacidad del cauce se produce un desbordamiento, generándose nuevas corrientes de agua en las llanuras de inundación que habitualmente están libres de agua. Cuando el cauce está próximo a alguna población y sufre un desbordamiento, se produce una inundación urbana. La corriente discurre por las calles de mayor pendiente y menor cota altimétrica, y se acumula en las zonas bajas.

El aumento del caudal puede darse por distintos motivos: precipitaciones intensas, gran cantidad de deshielo en poco tiempo debido a un aumento brusco de las temperaturas, y, menos probable, por el fallo de un dique o presa.

Según el artículo 14 del RDPH, "*se considera zona inundable los terrenos que puedan resultar inundados por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo período estadístico de retorno sea de 500 años, atendiendo a estudios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, así como de series de avenidas históricas y documentos o evidencias históricas de las mismas en los lagos, lagunas, embalses, ríos o arroyos. […]Estas zonas se declararán en los lagos, lagunas, embalses, ríos o arroyos.*" El RDPH, en su artículo 6, define además la zona de servidumbre (franja de 5 metros a cada lado del cauce) y las zonas de policía (franja de 100 metros a cada lado del cauce).

Las **inundaciones pluviales** se producen directamente por efecto acumulativo de precipitación. La incapacidad del terreno para drenar grandes cantidades de agua, y el elevado grado de impermeabilización del suelo, terminan provocando la inundación. Este tipo de eventos son más comunes en zonas urbanas, donde la modificación del terreno para desarrollar la actividad humana es muy superior al de las zonas rurales, agropecuarias o naturales. Cuando se producen precipitaciones intensas, la utilización de pavimentos impermeables y canalizaciones directas de la escorrentía propician la creación de grandes avenidas de agua que provocan el colapso de la red general de evacuación y el estancamiento del agua en la superficie. El correcto funcionamiento del sistema de drenaje urbano es clave para evitar que se produzcan este tipo de inundaciones.

En cuanto a las **inundaciones costeras**, las principales causas son el aumento del nivel del mar junto con los fuertes oleajes durante los temporales. Las ciudades costeras con poco relieve presentan mayor riesgo de sufrir este tipo de inundaciones si no se toman las medidas oportunas.

También se pueden producir **inundaciones urbanas** por fallo de presas o diques cercanos, o por rotura de **canalizaciones** y conducciones subterráneas. En el primer caso, las características son similares a las de las inundaciones fluviales, pero con consecuencias más graves debido al elevado caudal que llega en breve lapso de tiempo. En el segundo caso se trata de una inundación localizada que puede llegar a provocar daños significativos.

Riesgo de inundación

Se define el riesgo de inundación como la posibilidad que tiene determinada zona de que se produzcan daños a personas, bienes o servicios como consecuencia de una inundación.

Las inundaciones en ámbitos urbanos son las que más probabilidad tienen de afectar a las vidas humanas, ya que es donde se concentra una mayor densidad de personas. Además, pueden ocasionar importantes desperfectos en gran número de edificios y construcciones: el riesgo de inundación de un edificio aumenta cuando la zona urbana en la que se encuentra queda anegada. En este tipo de inundaciones se producen daños en el mobiliario urbano (bancos, luminarias, señalética, árboles, etc.), en pavimentos y alcantarillado, y en todo aquello que se encuentre en la vía pública como vehículos, terrazas, etc.

PELIGROSIDAD	Probabilidad de que ocurra una inundación en un intervalo de tiempo determinado. Se evalúa la frecuencia, la intensidad y la magnitud de la inundación.
x	
EXPOSICIÓN	Conjunto de personas o elementos expuestos a una posible inundación en una zona y periodo de tiempo determinado. A nivel urbano, hablaremos de la exposición de pueblos, ciudades o zonas urbanizadas.
x	
VULNERABILIDAD	Condiciones y características de las zonas urbanas expuestas a la inundación. Depende de las condiciones ambientales, sociales, y económicas de las personas y edificios de la zona urbanizada.
=	
RIESGO	Daños potenciales que pueden sufrir las personas, los bienes, los edificios, los equipamientos y servicios, etc. debido a una inundación.

El nivel de riesgo depende de tres variables: La peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad. Teniendo en cuenta estos conceptos, se puede dar el caso de que una inundación afecte a una gran extensión en una zona con alta probabilidad de inundación (Peligrosidad muy alta), pero que no afecte a ninguna zona urbana ni industrial ni de especial interés medioambiental (Vulnerabilidad muy baja) y por lo tanto el riesgo sea bajo o nulo. Por el contrario, puede ocurrir que una zona con un índice de peligrosidad muy bajo tenga un alto riesgo debido a que incluye una ciudad con mucha población.

Algunas de las características importantes a la hora de evaluar el riesgo de inundación de una zona urbana son:

Frecuencia o periodo de retorno: probabilidad de que ocurra una determinada inundación en un lugar concreto. Se mide mediante el periodo de retorno, que es el tiempo promedio entre sucesos de la misma magnitud. Habitualmente, se clasifican las zonas inundables en áreas con periodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años.

La inversa del periodo de retorno es la probabilidad anual media de que se supere el valor de lluvia o de caudal que generaría una inundación concreta en una zona determinada. Para un periodo de retorno de 10, 50 y 100 años, la probabilidad anual de que ocurra una inundación es del 10%, 2%, y 1% respectivamente.

Magnitud de la inundación: Es la dimensión y la importancia de la inundación. Depende de la extensión de la zona inundada, de la altura y de la velocidad que alcanza el agua. También interviene en la magnitud el tiempo de permanencia y la cantidad de sólidos transportados.

Velocidad del agua: Las velocidades elevadas de escorrentía pueden arrancar elementos urbanos como bancos, luminarias, arbolado etc. y arrastrar los vehículos situados en la vía pública. Además del coste económico de estos desperfectos, el arrastre de vehículos y elementos urbanos aumenta el riesgo de las personas a sufrir accidentes. La velocidad del agua es mayor en zonas urbanas con grandes desniveles de terreno, y en inundaciones fluviales o debidas al fallo de diques o presas.

Tiempo de permanencia: Cuanto mayor sea la duración de la inundación mayor será el daño y las consecuencias: los elementos urbanos sufrirán un mayor deterioro, y la probabilidad de que el agua entre en los edificios será mucho más elevada.

Cómo conocer el riesgo de inundación de una zona urbana

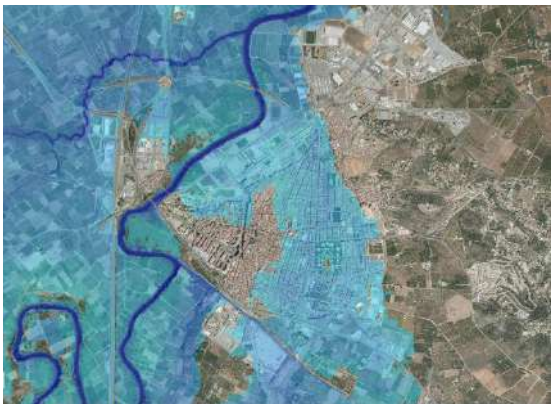
Para poder evaluar el riesgo de inundación de una zona urbana es necesario conocer los datos anteriormente citados. Para ello, el Ministerio para la Transición Ecológica (MAPAMA) ha realizado un exhaustivo estudio y trabajo de recogida y depuración de datos, que finalmente desembocan en la elaboración de informes y mapas de zonas inundables. Esta información está disponible en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas inundables (SNCZI) del MAPAMA.

Se puede acceder a esta información a través de los visores cartográficos de las páginas web del SNCZI, y de los organismos de cuenca como confederaciones y agencias de agua. (https://sig.mapama.gob.es/snczi/).

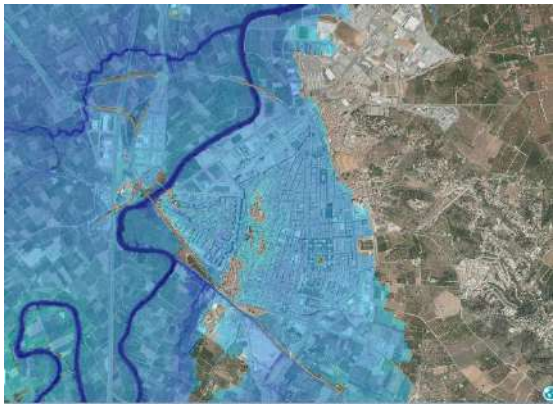
Además, cada una de las confederaciones hidrográficas dispone de mapas propios que ofrecen datos de permeabilidad del suelo, pluviometría, topografía, riesgo de inundación etc.



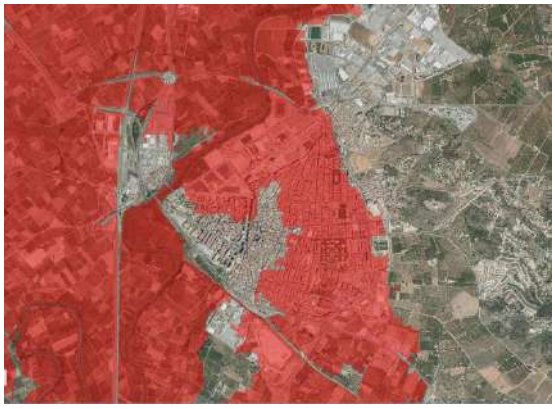
Mapa peligrosidad inundación fluvial T= 10 años. Profundidad máxima 1,5 m



Mapa de peligrosidad por inundación fluvial T= 100 años. Profundidad máxima 2,5 m



Peligrosidad por inundación fluvial T= 500 años. Profundidad máxima 6,5 m.



Mapa de riesgo de inundación fluvial T= 100 años.

Figura 3. Mapas de peligrosidad y riesgo de inundación según el SNCZI en Alzira (Valencia).

La cartografía de zonas inundables, disponible en el SNCZI, considera dos tipos de inundaciones: inundaciones fluviales debidas al desbordamiento de cauces, e inundaciones costeras. Las inundaciones pluviales no están contempladas de forma independiente, si bien en algunos casos la zona inundable es el resultado de la combinación de inundación fluvial + pluvial.

Para valorar el riesgo de inundación pluvial en una zona urbanizada deberemos recurrir además a los mapas y visores de climatología proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), a los mapas de permeabilidad del terreno, que se pueden consultar en la web del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), y a los datos de altimetría, pendientes y topografía que se pueden obtener en el visor del SNCZI.

Ciclo natural del agua

El ciclo natural del agua, o ciclo hidrológico, es el proceso de circulación del agua (en sus diferentes estados: líquido, sólido y gaseoso) a través de los distintos espacios que componen la hidrosfera: océanos, mares, ríos, lagos y acuíferos. Incluye cuatro etapas:

La **evaporación**: el agua se evapora de la superficie oceánica y de los lagos, subiendo a la atmósfera en forma de vapor. La **condensación**: El vapor de agua se condensa debido a la diferencia de temperatura, formando las nubes. Las **precipitaciones**: Las gotas que conforman las nubes terminan precipitándose sobre la superficie terrestre. El **transporte** e **infiltración**: Cuando el agua llega a la superficie, una parte discurre a través de la topografía formando la escorrentía, mientras que otra parte se infiltra en el terreno.

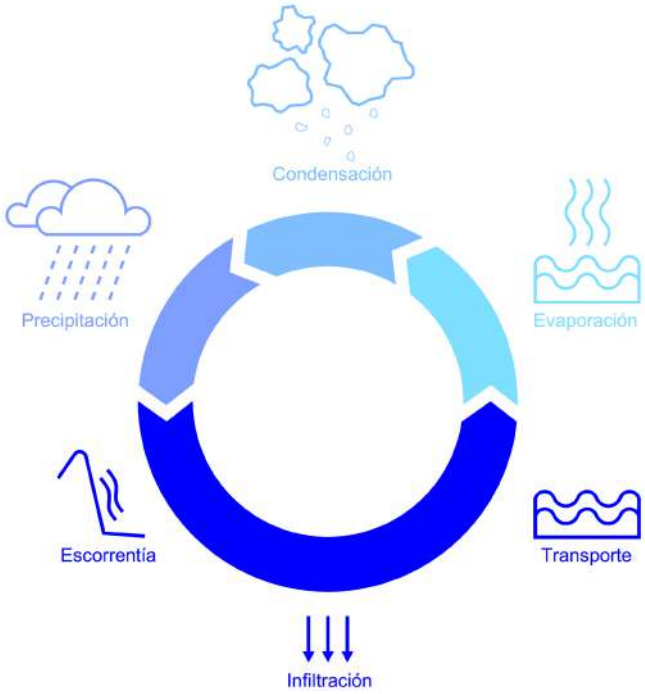


Figura 4. Ciclo natural del agua.

Influencia del urbanismo

La urbanización y las edificaciones de los núcleos urbanos y su entorno alteran considerablemente el ciclo natural del agua en todas sus etapas:

- **Evaporación y condensación:** La edificación incrementa la temperatura y modifica las corrientes de viento. Esto afecta a la evaporación y condensación de las partículas de agua.
- **Contaminación:** Las precipitaciones atraviesan una nube de polución, por lo que llegan a la superficie con cierto grado de contaminación. En la superficie, la escorrentía urbana arrastra la suciedad y contaminación acumulada en el pavimento urbano.
- **Escorrentía:** Se modifica la topografía y se emplean canalizaciones para transportar el agua de manera rápida y directa, perdiendo los desagües y canalizaciones naturales.
- **Infiltración:** La impermeabilización de la superficie disminuye su capacidad de infiltración.

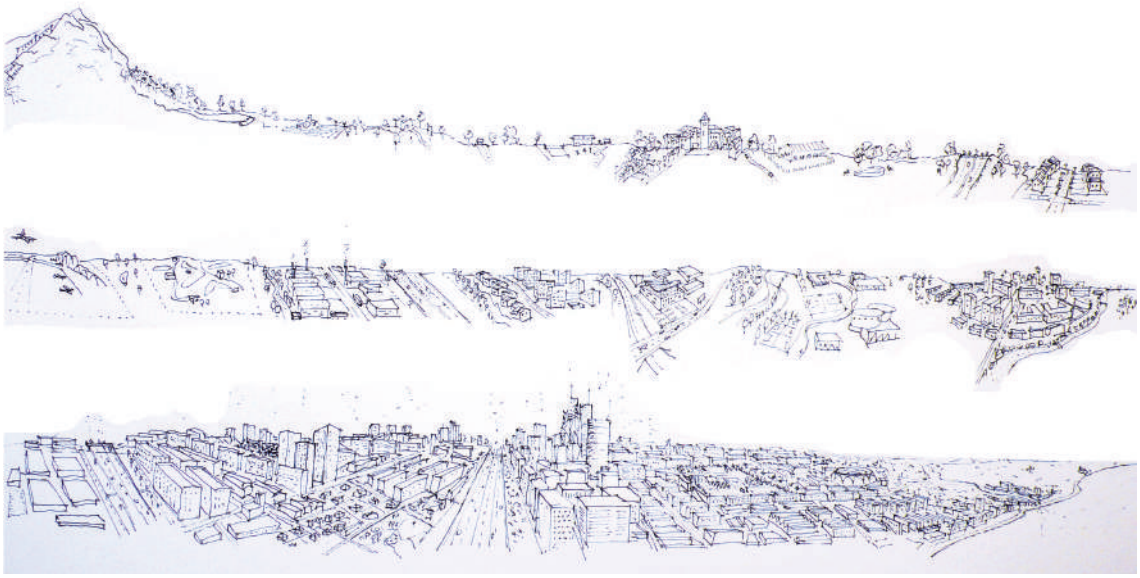


Figura 5. Recorrido del agua por distintos entornos edificados.

El ciclo urbano del agua difiere mucho del ciclo natural que tendría sin la transformación urbana. Esta modificación provoca que el riesgo de inundación aumente, la difusión de la contaminación sea mayor, y que los acuíferos subterráneos sufran una pérdida cualitativa y cuantitativa importante. Influye también en el aumento de las temperaturas, en la calidad del aire y en la alteración de las corrientes de viento, por lo que afecta también a las etapas de evaporación, condensación y precipitación del ciclo hidrológico.

La legislación actual sobre la Ley del Suelo (a nivel estatal), los Planes de Ordenación Territoriales (a nivel regional) y los Planes Generales de Ordenación Urbana (a nivel municipal) se encargan de marcar las pautas a seguir para adaptarse a las características de cada lugar y minimizar las consecuencias negativas de la urbanización del territorio.

Para respetar el ciclo preexistente del agua es fundamental ajustar la planificación urbanística a las características propias de cada lugar: adaptarse a la topografía, al tipo de terreno y a los elementos naturales preexistentes. El recorrido del agua por los entornos edificados plantea multitud de situaciones diferentes. Cada zona necesita una solución y una planificación concreta acorde a la topografía, la tipología y permeabilidad del terreno, los cauces y los flujos de agua existentes.

El sistema de drenaje forma parte de la planificación urbana del territorio, y es un aspecto clave para controlar la calidad del aire, del agua y del suelo, además de prevenir las inundaciones.

Para poder actuar sobre el ciclo urbano del agua es necesario conocer cómo funciona la red de saneamiento de las poblaciones: El sistema de saneamiento urbano evacúa tanto las aguas pluviales (aguas de lluvia que se precipitan sobre las cubiertas de los edificios y sobre el pavimento urbano) como las aguas residuales (aguas que han sido utilizadas en los aparatos sanitarios de los edificios).

Existen dos tipologías predominantes de sistemas de saneamiento: las redes unitarias y las redes separativas. La red de saneamiento unitaria dispone de una única canalización para transportar tanto las aguas pluviales como las residuales. La red de saneamiento separativa consta de dos canalizaciones diferenciadas: una para las aguas pluviales de cubiertas y calles, y otra para las aguas residuales de los edificios.

Tradicionalmente se ha utilizado un sistema de saneamiento unitario. En los edificios de nueva planta y en las nuevas zonas urbanas la red de saneamiento que se instala debe ser separativa (atendiendo a la normativa vigente: Código Técnico de la Edificación (CTE), y Planes Generales de Ordenación Urbana (PGOU)). No obstante, en gran parte del territorio español se sigue utilizando el sistema unitario existente.

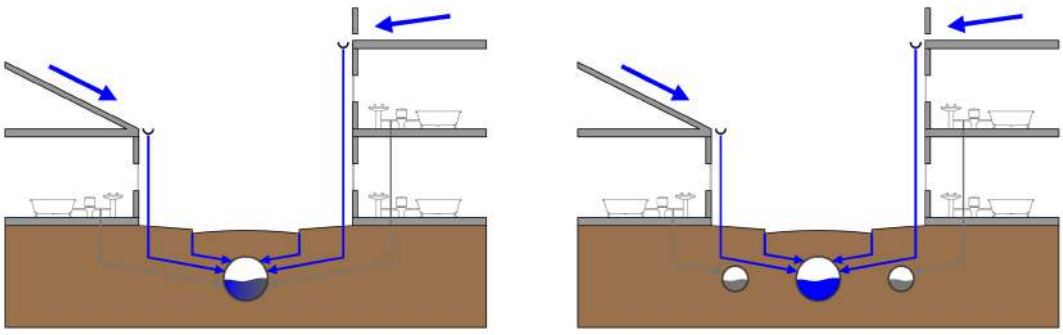


Figura 6. Saneamiento unitario y saneamiento separativo.

Excepto en las zonas de parques y jardines donde generalmente el agua de lluvia se infiltra, el sistema de drenaje urbano habitual se basa en recoger la escorrentía y transportar el agua directamente a la red general de saneamiento (junto con las aguas residuales). A través de estas canalizaciones, se transporta el agua hasta una Estación Depuradora de Aguas Residuales (E.D.A.R.) donde se trata para su posterior vertido o reutilización.

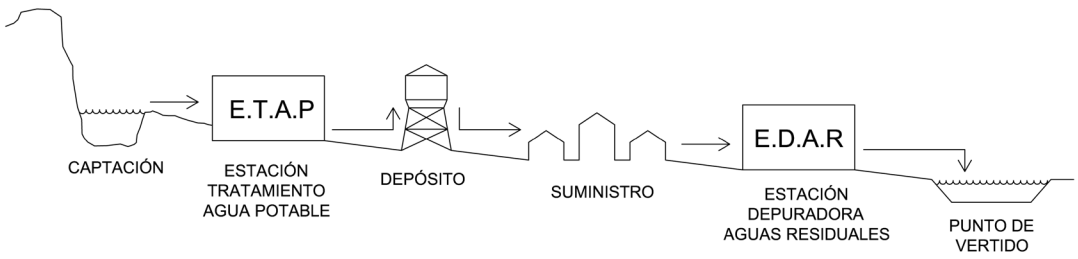


Figura 7. Ciclo urbano artificial del agua.

Este modelo implica:

- Un aumento considerable del caudal de la red de saneamiento. En épocas de intensas precipitaciones el sistema general pueda llegar a colapsar provocando inundaciones.
- Que en episodios de inundaciones puedan aflorar las aguas residuales, contaminando la superficie urbana y afectando a la salubridad e higiene de la zona.
- No aprovechar el agua de lluvia en su lugar de origen para operaciones de riego o baldeo.
- La contaminación del agua de lluvia en contacto con aguas residuales en estaciones depuradoras (EDAR), que provoca el incremento del coste energético y económico de las EDAR, así como su disfunción por variación de la calidad del agua recibida.
- Que no se aproveche la capacidad de infiltración y absorción del terreno para las aguas pluviales.

En las zonas con red de saneamiento unitaria, la implantación de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) puede solucionar parte de las consecuencias anteriormente citadas. Con los SUDS se consigue disminuir la cantidad de agua que llega a la red general y su caudal punta. Para ello, se debe actuar en todas las fases del recorrido del agua: captación, recorrido y transporte, almacenamiento e infiltración.

En los edificios de nueva planta y en las nuevas zonas urbanas ya se utilizan redes de saneamiento separativas. Con esto se reduce la contaminación de las aguas pluviales, permitiendo su reutilización, aunque no se evita el riesgo de inundación. El sistema habitual de drenaje y los suelos impermeables continúan provocando el colapso de la red general cuando se producen lluvias intensas.

Para conseguir un correcto ciclo del agua y reducir las inundaciones, se recomienda diseñar el planeamiento urbano siguiendo los criterios de un urbanismo sostenible, incorporando los SUDS desde el inicio y atendiendo al comportamiento previo y al territorio.

1.5. Marco de referencia

Normativa de aplicación

Esta guía se desarrolla en el marco del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH), que en su artículo 126 ter. 7 establece la obligatoriedad de utilizar SUDS en los nuevos desarrollos urbanísticos.



Figura 8. Diseños con SUDS. Francia (Ronchamp), Austria (Hallstatt).

La preocupación de la sociedad por el riesgo de inundación y por sus consecuencias ha desembocado en la creación de una legislación al respecto, tanto a nivel europeo como estatal y autonómico. Para la implantación de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) se deben seguir, además de los textos normativos que hacen referencia al riesgo de inundación, todas las normas urbanísticas a nivel estatal, supramunicipal y local.

Las principales leyes y textos normativos de aplicación son:

En el **ámbito europeo**:

- *Directiva 2000/60/CE, 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.*
- *Directiva 2007/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.*

En el **ámbito estatal**:

- Ley de Aguas: *Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas.*
- Ley de Costas: *RD 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de la Ley de Costa y Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y modificación de la Ley 22/1988, de Costas.*
- Reglamento de Dominio Público Hidráulico: *RD 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico que se desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas y sus modificaciones: RD 606/2003, de 23 de mayo; RD 9/2008, de 11 de enero; RD 1290/2012, de 7 de septiembre y RD 638/2016, de 9 de diciembre.*
- Evaluación y gestión de riesgos de inundación: *RD 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación.*
- Plan Hidrológico Nacional: *Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional y sus modificaciones: RD-Ley 2/2004, de 18 de junio y Ley 11/2005, de 22 de junio.*
- Vertidos: *Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas y Orden AAA/2056/2014, de 27 de octubre, por la que se aprueban los modelos oficiales de solicitud de autorización y de declaración de vertido.*
- Protección civil: *Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil, además de los correspondientes resoluciones: Resolución de 2 de agosto de 2011, por la que se aprueba el Plan Estatal de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones y Resolución de 31 de enero de 1995, de la Secretaría de Estado de Interior por la que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones.*

- Ley del suelo: *Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana y Real Decreto 2159/1978, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Planeamiento para el desarrollo y aplicación de la Ley sobre Régimen del Suelo y Ordenación Urbana.*

En el **ámbito autonómico o regional**:

- Planes hidrológicos y planes de gestión del riesgo de inundación de las demarcaciones: *RD 701/2015, de 17 de julio y RD 1/2016 y RD 11/2016, de 8 de enero, por los que se aprueban los distintos planes hidrológicos de las demarcaciones y RD 18/2016, RD 19/2016, RD 20/2016, RD 21/2016, de 15 de enero, y RD 159/2016 de 15 de abril, por el que se aprueban los planes de gestión del riesgo de inundación de las demarcaciones.*
- Protección civil: Los planes especiales de protección civil ante el riesgo de inundaciones elaborados por las comunidades autónomas y homologados por la Comisión Nacional de Protección Civil se pueden consultar en la web de protección civil: http://www.proteccioncivil.es/riesgos/inundaciones/planes.
- Planes de Ordenación del Territorio de ámbito supramunicipal.
- Planes Generales de Ordenación Urbana (P.G.O.U.) de cada municipio o mancomunidades o, en su defecto, normas subsidiarias de ordenación urbana.
- Planes Parciales, Planes de Reforma Interior (P.R.I) y Planes Especiales de Reforma Interior (P.E.P.R.I) de los distintos municipios.
- Normativas y ordenanzas municipales en materia de urbanismo y gestión del agua.

Ejemplos normativos que incluyen SUDS

Para promover la utilización de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) es fundamental que existan normativas que hagan referencia a estos sistemas. El desconocimiento y la falta de legislación hacen que la implantación de estas técnicas de drenaje en las ciudades sea todavía escasa.

Es necesario introducir los SUDS en todos los niveles de la normativa urbanística:

- Plan Territorial (comunidades autónomas y confederaciones hidrográficas)
- Plan General de Ordenación Urbana (Término municipal)
- Ordenanzas municipales (Localidad)

Nivel territorial

Algunas comunidades autónomas han desarrollado ya normativas, manuales, e instrucciones técnicas que hacen referencia a los SUDS:

- Instrucciones Técnicas para Obras Hidráulicas en Galicia, elaboradas por la "Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Infraestructuras", junto con "Aguas de Galicia". Estas instrucciones, aunque no son de obligado cumplimiento, ofrecen una visión detallada de cómo abordar una legislación sobre SUDS. En el apartado I "diseño de redes" del segundo volumen se detalla un capítulo sobre Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible (SAN-1/4). Su finalidad es determinar dónde es necesario el uso de Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible, y definir estas técnicas. Adicionalmente, en el capítulo "SAN-2/2 Diseño de depósitos en sistemas unitarios", se detallan los elementos principales que componen los depósitos, y sus criterios de mantenimiento y limpieza.
- Plan de Acción Territorial sobre prevención del riesgo de inundación en la Comunidad Valenciana, Patricova, en su anexo I establece las condiciones de adecuación de las edificaciones y urbanización, con mención expresa al fomento de SUDS.

Ámbito	Concepto / Temática	Normativa
Europeo Espesor del sustrato	Política de aguas	Directiva 2000/60/CE, 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
	Evaluación y gestión de los riesgos de inundación	Directiva 2007/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación
Estatal	Ley de aguas	Ley de Aguas: Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas.
	Ley de costas	Ley de Costas: RD 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de la Ley de Costa y Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y modificación de la Ley 22/1988, de Costas.
	Reglamento de Dominio Público Hidráulico	Reglamento de Dominio Público Hidráulico: *RD 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico que se desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas y sus modificaciones: RD 606/2003, de 23 de mayo; RD 9/2008, de 11 de enero; RD 1290/2012, de 7 de septiembre y RD 638/2016, de 9 de diciembre.* *y sus modificaciones: RD 606/2003, de 23 de mayo; RD 9/2008, de 11 de enero, RD 1290/2012, de 7 de septiembre y RD 638/2016, de 9 de diciembre.*
	Evaluación y gestión de riesgos de inundación	RD 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación.
	Plan Hidrológico Nacional	Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional y sus modificaciones: RD-Ley 2/2004, de 18 de junio y Ley 11/2005, de 22 de junio.
	Vertidos	Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, *por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas y Orden AAA/2056/2014, de 27 de octubre, por la que se aprueban los modelos oficiales de solicitud de autorización y de declaración de vertido*
	Protección civil	Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil
		Resolución de 2 de agosto de 2011, por la que se aprueba el Plan Estatal de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones
		Resolución de 31 de enero de 1995, de la Secretaría de Estado de Interior por la que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones.
	Ley del suelo	Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana y Real Decreto 2159/1978, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Planeamiento para el desarrollo y aplicación de la Ley sobre Régimen del Suelo y Ordenación Urbana.
Autonómico / Regional	Planes hidrológicos y planes de gestión del riesgo de inundación	RD 701/2015, de 17 de julio y RD 1/2016 y RD 11/2016, de 8 de enero, por los que se aprueban los distintos planes hidrológicos de las demarcaciones
		RD 18/2016, RD 19/2016, RD 20/2016, RD 21/2016 de 15 de enero
		RD 159/2016 de 15 de abril, por el que se aprueban los planes de gestión del riesgo de inundación de las demarcaciones
	Protección civil	http://www.proteccioncivil.es/riesgos/inundaciones/planes
	Normativa urbanística	Planes de Ordenación del Territorio de ámbito supramunicipal
		Planes Generales de Ordenación Urbana (P.G.O.U.) de cada municipio o mancomunidad; o en su defecto, normas subsidiarias correspondientes
		Planes Parciales, Planes de Reforma Interior (P.R.I) y Planes Especiales de Reforma Interior (P.E.P.R.I) de los distintos municipios
		Ordenanzas municipales en materia de urbanismo y gestión del agua

Tabla 1. Resumen normativa de aplicación.

El otro organismo capaz de articular una normativa de obligado cumplimiento referente a los SUDS a nivel territorial son las Confederaciones Hidrográficas a través de sus planes hidrológicos. Algunos de los que hacen referencia a los SUDS son los siguientes:

- Confederación Hidrográfica del Cantábrico: Plan hidrológico parte española de la DH del cantábrico Oriental (2015 – 2021) y Plan hidrológico de la DH del Cantábrico Occidental (2015-2021). Los artículos que hacen referencia a los sistemas urbanos de drenaje sostenible son el artículo 11 Planes dependientes: Sequías e inundaciones, en el apartado 11.2.5, donde se establece el programa de medidas mediante SUDS para evitar las inundaciones; el artículo 44 Drenaje en las nuevas áreas a urbanizar y de las vías de comunicación del "Capítulo VII Protección del dominio público hidráulico y dominio público marítimo-terrestre y calidad de las aguas", y el artículo 54 Autorizaciones de vertido al dominio público hidráulico.
- Confederación Hidrográfica del Duero: Plan hidrológico parte española de la DH del Duero (2015 – 2021). En el capítulo VII: "Medidas de protección de las masas de agua", el artículo 33.3 Vertidos de aguas pluviales hace referencia a la utilización de SUDS.
- Normativa del Plan hidrológico de demarcación hidrográfica de Galicia-Costa (2015-2021). En el capítulo VII: "Protección contra las inundaciones", el artículo 37 Criterios para el diseño del drenaje en las nuevas áreas a urbanizar y el artículo 44 Medidas para la utilización del dominio público hidráulico especifican la necesidad de utilizar SUDS en los nuevos desarrollos urbanísticos.
- Normativa del Plan hidrológico insular de El Hierro. En el Capítulo 4 "Ordenación y protección del dominio público hidráulico y del dominio público marítimo-terrestre", el Artículo 93 Criterios de drenaje en las nuevas áreas a urbanizar y de las vías de comunicación (ND) se hace referencia a la implantación de SUDS en las nuevas urbanizaciones.
- Normativa del Plan hidrológico del Miño-Sil establece que los planes de las CCAA e instrumentos de planeamiento urbanístico deberán analizar las condiciones de drenaje superficial del territorio, tanto de las aguas caídas en su ámbito de actuación como de las cuencas vertientes que le afecten (art. 49, riesgo de inundación y planificación territorial y urbanística).

Nivel de Plan General de Ordenación Urbana (PGOU)

El modelo urbano queda definido por los planes de ordenación urbanísticos y normas subsidiarias, que determinan la morfología y composición urbana. Algunos ejemplos de planes urbanísticos que recogen SUDS en su ordenamiento son:

- PGOU de la ciudad de Santander. En el Capítulo 6 "Condiciones Ambientales", dentro del Título 4 "Condiciones Generales de la Edificación" existe un artículo íntegramente dedicado a los sistemas urbanos de drenaje sostenible. Además se hace referencia a los SUDS en las disposiciones adicionales séptima y octava.
- PGOU de Ferreiras, en Menorca. En el apartado "Objetivos y criterios de ordenación" del documento Memoria de Gestión del PGOU especifica que se han de incorporar al Plan Parcial medidas encaminadas a la ejecución de obras de canalización con capacidad suficiente y alternativa para la gestión de las aguas pluviales como estanques de laminación y SUDS.
- PGOU de Tudela. En el capítulo 6.6.7 Infraestructuras básicas establece que uno de los objetivos para conseguir mejorar la sostenibilidad ambiental es la gestión sostenible del agua de lluvia mediante SUDS. Hace referencia a la utilización de pavimentos filtrantes y vegetados, a la instalación de depósitos de reutilización, al filtrado del agua mediante SUDS, y a los beneficios medioambientales frente a los drenajes tradicionales (disminución del caudal de la escorrentía y su carga contaminante, laminación de las puntas de caudal vertido a cauce, utilización del agua de lluvia etc.)

Nivel de Ordenanzas Municipales

Varias ciudades son ya las que incluyen en sus ordenanzas municipales u otros documentos oficiales referencias a los SUDS. Algunas de ellas son:

- Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid (2006)
- Ordenanza de Saneamiento del Ayuntamiento de Valencia (2016)
- Ordenanza del Medio Urbano Sostenible en el término municipal de Rivas Vaciamadrid, Madrid (2014)
- Ordenanza Municipal sobre el Ahorro de Agua en Eskoriatza, Guipúzcoa (2009)
- Documento adaptado. Estudio de eficacia del Plan General de Ordenación Urbana de Mundaka, (2013).

Además, existen manuales desarrollados por la administración pública para la elaboración de normativa referente a SUDS:

Uno de ellos es la "Guía para el desarrollo de Normativa Local en la Lucha Contra el Cambio Climático", redactada por la Red Española de Ciudades por el Clima, que forma parte de la Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP), en colaboración con el Ministerio para la Transición Ecológica. En el capítulo 5 se hace referencia a la gestión sostenible del agua y a cómo realizar una ordenanza tipo de uso y gestión sostenible del agua en la que incorporar los SUDS.

El gobierno vasco, junto con la asociación de municipios vascos y la Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, han elaborado el "Manual para la redacción de planeamiento urbanístico con criterios de sostenibilidad". En esta guía se definen los ámbitos de actuación para un planeamiento urbano sostenible, y los instrumentos y procesos para la elaboración de normativas referentes a este campo en el que se incluyen los SUDS.

También en Cataluña se ha elaborado un documento para la elaboración de planeamientos urbanísticos con criterios medioambientales: "Estudi de criteris ambientals per a la redacció del planejament urbanístic" redactado por el Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya en colaboración con la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

2. PROBLEMÁTICA

El alto nivel de impermeabilización y el sistema de drenaje habitual de las ciudades aumentan la probabilidad de inundación. Cuando se producen lluvias intensas, el agua discurre rápidamente por el pavimento impermeable y por los sistemas estancos de transporte, llegando a colapsar la red general de saneamiento y provocando la acumulación del agua de lluvia en la superficie.

En los periodos secos, el suelo sufre una fuerte erosión, se acumulan residuos sólidos, partículas de arcillas, y se deposita la contaminación atmosférica y superficial en el pavimento. Con las primeras lluvias, todos estos residuos son arrastrados por la escorrentía urbana, obstruyendo los sumideros y los conductos de saneamiento, y propiciando las inundaciones.

Además, la urbanización del territorio provoca la desnaturalización y pérdida del ciclo del agua en las ciudades, favoreciendo las inundaciones.

Los problemas más importantes asociados al actual sistema de drenaje urbano del agua son:

- Incremento de la escorrentía urbana y del riesgo de inundación.
- Aumento del efecto isla calor.
- Propagación de la contaminación.
- Incremento del gasto.

2.1 Incrementos de escorrentía urbana y del riesgo de inundación

La escorrentía es la cantidad de agua que discurre por una superficie, y varía en función del tipo de acabado (porosidad, permeabilidad, rugosidad etc.).

La impermeabilización de los entornos urbanos provoca que la cantidad de agua infiltrada al terreno sea significativamente menor, y por lo tanto la cantidad de agua que discurre por la superficie aumente.

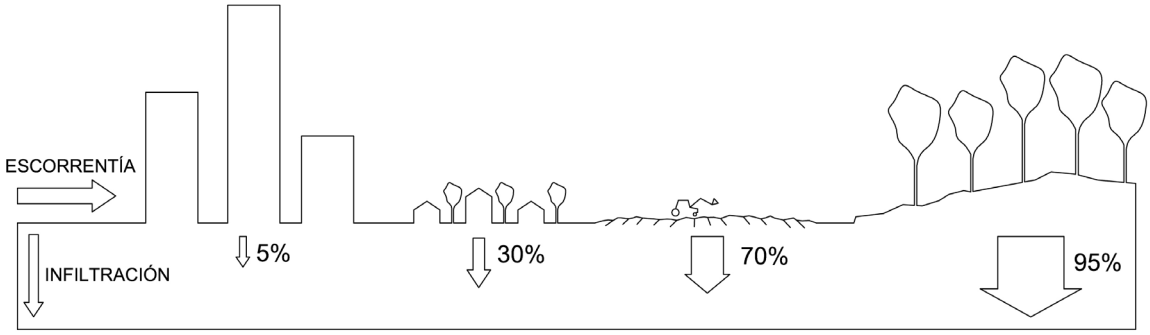


Figura 9. Relación entre escorrentía e infiltración en función del grado de urbanización.

Los pavimentos impermeables provocan una rápida concentración del agua precipitada, generando encharcamientos y estancamientos del agua en la superficie urbana, y produciendo avenidas de agua que desembocan rápidamente en la red general. Con precipitaciones intensas, el incremento de la escorrentía urbana satura las redes de alcantarillado, provocando inundaciones. Además, transporta más cantidad de contaminantes y a mayor distancia, con lo que su impacto aumenta.

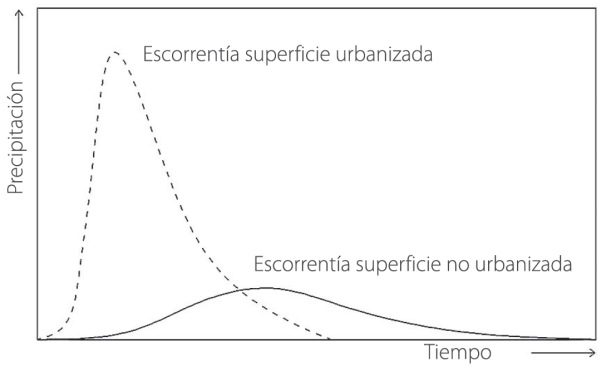


Figura 10. Cantidad de escorrentía en función del tiempo y de la cantidad de precipitación.

El grado de urbanización y de impermeabilización del suelo está directamente relacionado con la capacidad de infiltración y el aumento de la escorrentía urbana. En las superficies muy urbanizadas de las ciudades, la escorrentía es significativamente mayor que en las zonas rurales poco edificadas.

CANTIDAD ESTIMADA DE AGUA DE ESCORRENTÍA Y DE INFILTRACIÓN SEGÚN GRADO DE URBANIZACIÓN				
	Ciudad densamente urbanizada	Residencial urbanización media	Zona rural o agropecuaria	Entorno natural
Escorrentía	95%	70%	30%	5%
Infiltración	5%	30%	70%	95%

Tabla 2. Cantidad de escorrentía en función del tiempo y de la cantidad de precipitación. Fuente: Tragsa, GIAE.

Además de las grandes inundaciones urbanas que ocurren cuando hay precipitaciones muy intensas o desbordamientos fluviales, existen zonas urbanas puntuales que, debido a la impermeabilización del terreno, sufren un anegamiento sistemático incluso con lluvias débiles.

Algunos casos son los siguientes:

- Sótanos y plantas bajas situados en la parte inferior de una ladera muy impermeable.
- Acumulaciones puntuales que impiden el paso peatonal.
- Inundación de los pasos inferiores, donde se combinan los dos casos anteriores: acumulaciones puntuales que impiden el tránsito por incapacidad de absorción del sumidero.
- Plazas con pavimentos muy poco permeables y con irregularidades en el terreno.
- Encharcamientos junto a zonas de sumideros que están taponados por la suciedad o a su máxima capacidad.

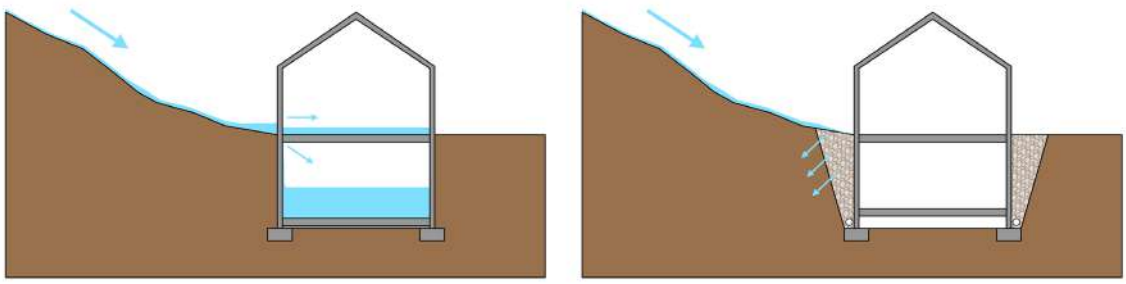


Figura 11. Diseños inapropiados (izda.) y correcto (dcha.) frente a escorrentía.

2.2. Isla de calor

El urbanismo actual de las ciudades contribuye a aumentar el efecto isla calor. Existen varios factores relacionados con el sistema de gestión del agua de lluvia actual que lo potencian:

Los pavimentos bituminosos o de hormigón, usados habitualmente en las ciudades, retienen gran parte del calor y lo disipan lentamente a lo largo del día y de la noche. Además, las ciudades tienen una mayor superficie de absorción del calor debido a la envolvente de la edificación.

Las zonas vegetadas contribuyen a mitigar este efecto mediante la evapotranspiración. Sin embargo, la actuación más habitual en las poblaciones ha sido eliminar capa vegetal original preexistente, sin reemplazarla. La actividad industrial, las emisiones de los vehículos, y los sistemas de refrigeración domésticos y comerciales también contribuyen al aumento de la temperatura en la ciudad.

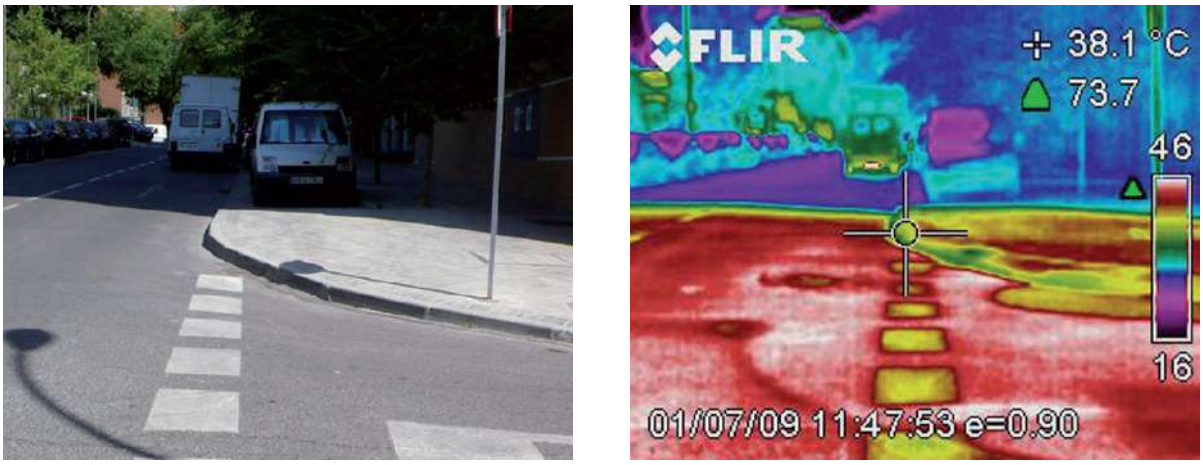


Figura 12. Termografía urbana. Análisis de temperaturas de diferentes acabados superficiales.

Con estas características urbanas actuales, se llega a incrementar la temperatura ambiental entre 4 y 7 °C, contribuyendo a modificar los flujos de viento y las precipitaciones, y propiciando la aceleración del cambio climático.

La utilización de sistemas de drenaje sostenible, como fachadas y cubiertas vegetales, o pavimentos vegetales y permeables, contribuye favorablemente a la disminución del efecto isla de calor y a la disminución de la demanda energética de climatización.

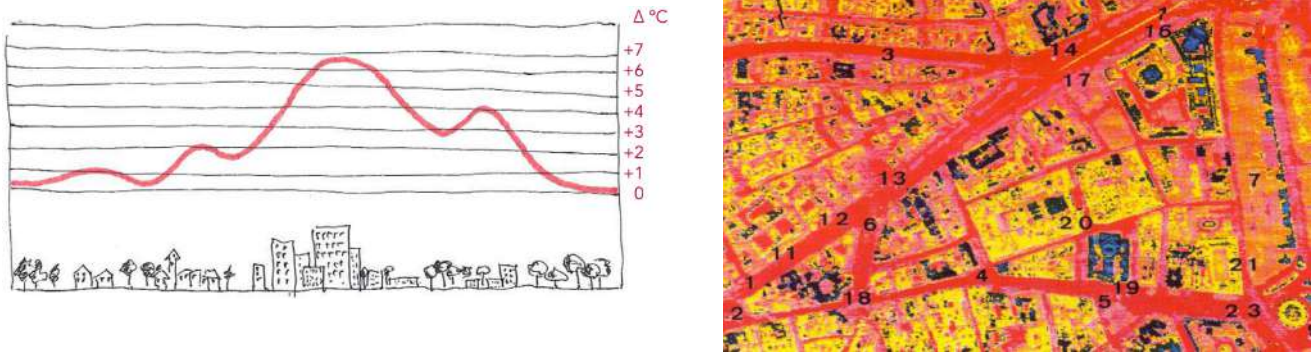


Figura 13. Incremento de la temperatura-isla de calor- Termografía aérea de Madrid.

2.3. Concentración de contaminantes

Los procesos industriales, las instalaciones de los edificios (calderas, climatizadoras), los vehículos a motor, etc. provocan un aumento de la contaminación en las ciudades. El estancamiento de las partículas contaminantes en la atmósfera, en situaciones anticiclónicas y en combinación con planeamientos urbanos que no facilitan su dispersión, provoca, además de problemas de respiración y niveles perniciosos de calidad del aire, el almacenamiento de contaminantes en el suelo durante periodos secos.

Cuando se producen las precipitaciones, estas absorben la contaminación atmosférica en forma de lluvia ácida. Además, estas lluvias arrastran la contaminación superficial, los residuos sólidos y sedimentos, afectando a los acuíferos y contribuyendo a propagar y extender la contaminación. Éste fenómeno, conocido como contaminación difusa, actúa de modo lento y progresivo sobre grandes áreas a través de la acción de múltiples focos.

Si el sistema de recogida es unitario se produce además el vertido directo de pluviales contaminadas sin tratamiento previo.

Algunos de los efectos que provoca la concentración de contaminantes son:

- La acidificación del suelo: El dióxido de azufre, el óxido de nitrógeno y el amoníaco que proceden de centrales térmicas de combustibles fósiles, de los motores de los coches y de calefacción y de las plantas industriales, reaccionan con el oxígeno atmosférico y se disuelven en el agua de lluvia produciendo "lluvia ácida".
- La alteración de los acuíferos: Los residuos contaminantes se acumulan e infiltran en el terreno hasta llegar a los acuíferos, contaminándolos y contribuyendo a propagar la polución.
- El exceso de ozono troposférico: En periodos de insolación elevada, el óxido de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles (CVO) reaccionan químicamente dando lugar a la formación de ozono troposférico, un gas fuertemente oxidante y venenoso que afecta a las cosechas, a la vegetación y a las personas.
- - La eutrofización: La deposición de nitrógeno procedente de las emisiones de óxidos de nitrógeno y amoníaco conduce a un excesivo nivel de nutrientes causando el declive de la biodiversidad.



Figura 14. Contaminación agua superficial.

2.4. Incremento del gasto

Además de las consecuencias negativas para el medioambiente y para la salud de las personas, los sistemas habituales de drenaje generan un importante incremento del gasto a largo plazo:

- Con el sistema actual las ciudades son más propensas a sufrir inundaciones provocadas por la concentración puntual de la escorrentía. Estas inundaciones generan gastos importantes por desperfectos en infraestructuras y edificaciones.
- Además de las pérdidas materiales, las inundaciones implican la movilización de los servicios de emergencias y la construcción de los dispositivos correspondientes para afrontar las avenidas de agua, lo cual supone un desembolso económico adicional.
- El elevado grado de contaminación y la gran cantidad de agua que llega a las depuradoras hace que estas tengan que trabajar por encima de sus posibilidades, suponiendo un incremento de la necesidad energética, y necesitando más labores de mantenimiento y reparación. Esto se traduce en un importante aumento del coste de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) e incluso la necesidad de nuevas infraestructuras, como tanques de tormenta, para acoger temporalmente el agua que no puede ser tratada.
- Las acumulaciones de agua en tanques de tormenta implican también un gasto energético por bombeo.
- El efecto isla de calor tiene como consecuencia una mayor demanda energética para climatización de los edificios.

De forma directa o indirecta, la gestión del agua de lluvia repercute en el gasto del municipio y sus habitantes.

3. ESTRATEGIAS PARA LA IMPLANTACIÓN DE SUDS

Los sistemas habituales de gestión del agua de lluvia que se utilizan actualmente se basan en transportar el agua directamente desde el punto de origen (cubiertas y pavimentos) hasta la red general de manera directa, minimizando el recorrido del agua, desaprovechando la capacidad de infiltración del terreno y evitando la posibilidad de reutilización en origen. Con este sistema, cuando hay lluvias importantes o cuando la climatología es propicia a las lluvias torrenciales, las canalizaciones suelen colapsar porque no están dimensionadas para esos volúmenes, provocando inundaciones en las ciudades y alteraciones en los cursos fluviales.

El tratamiento de descontaminación de las aguas, en estos casos, se realiza en depuradoras situadas al final del recorrido del agua, sin sistemas previos de tratamiento pasivo o retención. Esto motiva que las depuradoras vean superada su capacidad máxima de tratamiento en episodios de fuertes lluvias.

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) son una herramienta preventiva de gestión del agua de lluvia que contribuye a minimizar los efectos de las inundaciones. Su estrategia se basa en dos objetivos principales: reducir la cantidad de agua que llega al punto final de vertido, y mejorar la calidad del agua que se vierte al medio natural.

El carácter preventivo de los SUDS se combina con la capacidad de aprovechamiento del agua de lluvia para labores de riego y baldeo, y con su utilización como elemento paisajístico y para la mejora medioambiental del entorno.

La estrategia para conseguir una adecuada gestión del agua de lluvia consiste en actuar en cada uno de los tramos de su recorrido, desde el inicio, cuando la lluvia llega a la superficie, hasta el final, cuando es vertida a la red general de saneamiento o es infiltrada en el terreno, pasando por el recorrido y transporte.

Este recorrido se conoce como tren o cadena de gestión, y considera el ciclo del agua de forma global: en primer lugar se debe DETENER el agua en su lugar de origen, en segundo lugar RALENTIZAR su recorrido a través del terreno urbanizado disminuyendo así la escorrentía, el tercer paso consiste en ALMACENAR la cantidad de agua sobrante, y por último INFILTRAR este agua al terreno o reutilizarla.

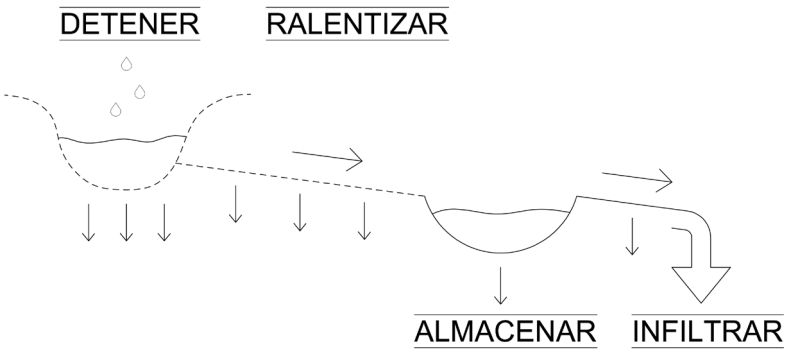


Figura 15. Esquemas del funcionamiento de la cadena de gestión del agua.

Es necesario abordar la problemática del drenaje urbano desde el concepto de cadena de gestión, es decir, de manera integral y en el orden expuesto. Siguiendo esta estrategia conseguimos que el ciclo urbano del agua se asemeje lo máximo posible al ciclo natural.

3.1. Detener

El primer paso de la estrategia consiste en interceptar y detener el agua en su lugar de origen, es decir, cuando llega a la superficie urbanizada. La finalidad es evitar la escorrentía descontrolada a lo largo de la superficie urbana. Además, se consigue reducir la cantidad de agua que pasa al siguiente elemento de la cadena de gestión, ya que se favorece la evaporación y la absorción de parte del agua a través del terreno y de la vegetación. Esta primera actuación es clave para reducir el caudal pico de agua vertida a la red y que este vertido se

produzca de manera más gradual. La disminución del caudal a tratar hace más eficientes los siguientes sistemas de drenaje, y supone un ahorro económico considerable.

Las primeras superficies receptoras del agua de lluvia son la envolvente de los edificios y los pavimentos y elementos urbanos de las calles, plazas, parques, caminos etc., elementos todos ellos repartidos de manera dispersa por la zona urbana. Habitualmente se trata de superficies muy impermeabilizadas, no diseñadas para la detención o almacenamiento, y que impiden la infiltración del agua.



Figura 16. La cadena de gestión. Ejemplo de superficies permeables. Troia, Portugal.

La detención de las aguas en su lugar de origen contribuye a controlar la propagación de la contaminación existente. En primer lugar, en muchos casos llega a la superficie un agua ya contaminada: las precipitaciones atraviesan una nube de polución aérea producida por las ciudades y zonas industriales. Además, estos residuos se depositan en la superficie durante periodos de sequía, añadiéndose a la suciedad que se genera directamente sobre el pavimento urbano. Cuando se producen las primeras precipitaciones, estos residuos son arrastrados a lo largo del recorrido del agua afectando a los acuíferos. Los elementos de origen (envolventes y pavimentos) deben ser capaces de detener esta agua para fíltrala y realizar una depuración inicial.

En caso de entornos muy poco urbanizados o donde la contaminación es mínima, el agua que llega a la superficie puede ser directamente infiltrada al terreno, o almacenada para su posterior uso. En estos casos, el papel de los elementos de detención es controlar el caudal de agua de escorrentía, para que la infiltración o vertido a la red se produzca de manera gradual.

El agua de lluvia puede ser detenida en la envolvente de los edificios, el pavimento y los elementos urbanos:

Detención del agua en la envolvente de los edificios:

El principal elemento receptor de agua de lluvia son las cubiertas de los edificios. Las cubiertas planas vegetadas son capaces de almacenar grandes cantidades de agua de dos modos: en el propio sustrato vegetal, o en un aljibe situado en la propia cubierta debajo del terreno. Este espacio de detención y almacenamiento se puede materializar mediante distintos sistemas constructivos, siendo los más habituales el empleo de cajas de materiales plásticos y los plots regulables.

El agua que se almacena en el sustrato es absorbida por las plantas y devuelta a la atmósfera mediante evapotranspiración. En las temporadas cálidas, dependiendo de la tipología de las especies utilizadas y del espesor del estrato, la cubierta vegetada puede llegar a retener entre el 70 y el 90% de las precipitaciones que recibe. En invierno puede llegar a retener entre un 25 y un 40%.

Por otra parte, el agua almacenada en el aljibe de cubierta se puede reutilizar como riego adicional en caso de que fuese necesario o para jardines cercanos. También existe la posibilidad de incorporarla a la instalación de la vivienda como aguas grises o como protección contra incendios.

El periódico baldeo de calles resulta eficaz para evitar la acumulación de sedimentos y la concentración de contaminantes. El agua acumulada en cubiertas puede utilizarse con este fin. Con esto se consigue reducir de manera considerable el caudal pico de vertido a la red general, retardar su vertido y mejorar la calidad de agua.



Figura 17. Cubierta vegetada. Mallorca.

Las cubiertas vegetadas inclinadas, aunque en menor medida, también contribuyen a la detención del agua en su lugar de origen. Aunque en estos casos no se puede disponer un gran aljibe en cubierta, la retención en el sustrato vegetal se produce de igual manera que en las cubiertas planas. Se pueden acompañar de un depósito externo enterrado para almacenar el agua sobrante y permitir su reutilización.

Detención del agua en los pavimentos y elementos urbanos:

En las zonas urbanizadas existen grandes extensiones de pavimentos y elementos urbanos que reciben directamente el agua de lluvia. El diseño de estos elementos permite aprovechar controlar, detener y minimizar la escorrentía.



Figura 18. Pavimento permeable con pequeño aljibe.

Los pavimentos impermeables incrementan la escorrentía superficial creando encharcamientos e inundaciones. En cambio, los pavimentos permeables permiten que el agua discurra a través suyo, infiltrándola al terreno o almacenándola y deteniéndola en capas inferiores. Con estos pavimentos se consigue retener durante un tiempo el transporte de agua a la red general. Además, siempre que el grado de contaminación de las aguas y las características del entorno lo permitan, con este sistema se puede infiltrar el agua en el terreno en el mismo punto de origen, contribuyendo así a disminuir la cantidad de agua a evacuar.

Si el pavimento utilizado es vegetal, el funcionamiento es similar al de las cubiertas: el agua que se almacena en el sustrato es absorbida por las plantas y devuelta a la atmósfera mediante evapotranspiración, reteniendo entre el 70% y 90% de las precipitaciones en verano, y entre el 25% y 40% en invierno. Además, se puede colocar un elemento de almacenamiento (celdas plásticas, grava) bajo el pavimento o sustrato, deteniendo y almacenando así más cantidad de agua. Esta agua se puede reutilizar, infiltrar de manera lenta y gradual al terreno, o verter a la red de evacuación general.

El resto de elementos urbanos que componen las calles, plazas y parques de las ciudades también pueden ser aprovechados para detener el agua de escorrentía, evitando así el flujo libre del agua y mejorando el funcionamiento del sistema de drenaje. Algunos de los elementos urbanos susceptibles de ser aprovechados como elemento de detención en origen son los siguientes:

Alcorques: El agua de las zonas próximas se detiene en este punto, para pasar a una posterior infiltración o conducción ralentizada hasta el siguiente punto de la cadena de drenaje.

Medianas: Las medianas deprimidas son capaces de detener la escorrentía que circula a lo largo de las calles de las zonas urbanizadas.

Rotondas: Se pueden aprovechar para detener el agua proveniente de las calles y áreas contiguas.

Todos estos elementos deben diseñarse con pavimentos permeables. Siempre que sea posible conviene incorporar vegetación en estos elementos optimizando así la capacidad de detención de flujo de agua gracias a la absorción por parte de las plantas, y reduciendo la cantidad final de agua a evacuar y facilitando la depuración natural. En todo caso, si la calidad del agua lo permite, conviene trasladar la escorrentía de las zonas impermeables a todos estos puntos permeables.



Figura 19. Alcorques y zonas urbanas con diferentes pavimentos.

3.2. Ralentizar

Una vez detenido el flujo descontrolado de agua proveniente de las precipitaciones, el siguiente paso es conseguir que la conducción de esta agua de escorrentía hasta el punto final del recorrido sea lo más lento posible. La finalidad principal de ralentizar el flujo de agua es controlar el caudal punta que llega al punto de vertido, infiltración o almacenamiento, de manera que llegue de forma escalonada y gradual. Con esto se consigue evitar la posible colmatación de los sistemas que componen la cadena de drenaje, que derivaría en un peor funcionamiento del sistema y en un incremento económico considerable.

Se trata de una estrategia que actúa a lo largo del recorrido de la escorrentía, de manera que la geomorfología del terreno afectará notablemente a su comportamiento. El relieve, la permeabilidad, la vegetación y la capacidad de detención y almacenaje condicionan considerablemente a la velocidad del agua a lo largo de su recorrido. Cuando actuamos en un entorno natural para convertirlo en una superficie urbanizada, modificamos y desnaturalizamos estos aspectos de la morfología del terreno.

Existen distintos sistemas para conseguir la ralentización de la escorrentía. La elección para conseguir una mayor eficiencia depende de factores como la climatología, la cantidad de agua prevista, la permeabilidad del terreno y la posibilidad de infiltración. Podemos distinguir los sistemas de ralentización en superficiales o subsuperficiales.

Los sistemas superficiales de ralentización se basan en reducir la velocidad de la escorrentía mediante filtros naturales tales como franjas y áreas de vegetación o de grava. Estos sistemas, además de ralentizar el flujo de agua consiguen filtrarlo, eliminando así partículas sólidas y aceites.

Los sistemas subsuperficiales se sitúan a una profundidad de entre 1 y 3 metros bajo el terreno, y se suelen realizar mediante zanjas en el terreno rellenas de material drenante. Existen distintas tipologías, según se combinen los elementos de infiltración, tuberías, láminas geotextiles e impermeabilización. En estos sistemas, las gravas de relleno drenan y filtran el agua que se va a conducir.



Figura 20. Zanja de infiltración y franjas filtrantes.

Además de reducir la velocidad de la escorrentía, los sistemas de ralentización consiguen filtrar el agua, contribuyendo a su descontaminación de forma pasiva. Si la calidad del agua es suficiente, algunos elementos de ralentización también pueden permitir la infiltración de las aguas que conducen. De esta manera, se ralentiza aún más el flujo de agua, se disminuye notablemente el caudal que llega al punto final, y se recupera el ciclo natural del agua. Si el terreno es muy permeable, la infiltración puede ser completa, no siendo necesario conducir el agua a un punto final ya que antes se infiltrará toda en el terreno.

Existen algunos elementos donde la ralentización de la escorrentía requiere medidas especialmente diseñadas para cada caso. Esto es lo que sucede por ejemplo en los taludes, carreteras y calles. Las elevadas pendientes de los taludes aumentan considerablemente la velocidad de escorrentía. Para solucionar este problema, se pueden realizar drenes intermedios filtrantes, zanjas de infiltración en el cuerpo o en la base del talud, franjas de infiltración etc. En los taludes urbanos una de las medidas más utilizadas consiste en incorporar vegetación en el talud de manera que ralentiza y filtra el agua de escorrentía.

El caso de las carreteras y caminos la característica principal que los define es su linealidad y longitud. El agua se conduce a los bordes de la vía, y se transporta mediante cunetas. La materialización de la cuneta es clave para conseguir la ralentización de la escorrentía. Las cunetas poco permeables de hormigón actúan como un canal que conduce rápidamente el agua hasta el punto final. Las cunetas vegetadas y las rellenas de gravas consiguen disminuir su velocidad, a la vez que permiten la filtración e infiltración de las aguas.

Las calles también son elementos lineales, en este caso urbanos, en los que se pueden crear grandes avenidas de agua si no se realiza un drenaje adecuado. En las calles se deben aprovechar los elementos urbanos como medianas y alcorques para la captación, depuración e infiltración del agua, y conducirla a un tubo drenante enterrado situado a lo largo de la calle.

Algunas de las acciones que contribuyen a un mejor diseño de las calles son: Inclinar las pendientes hacia la zona de recogida de agua, incorporar sistemas de drenaje perimetral en torno a los elementos urbanos de

recogida, utilizar pavimentos permeables en las aceras y en la calzada para que el agua pueda llegar directamente al tubo drenante, incluir zonas de infiltración en algunos de los elementos de captación y filtrado como alcorques y medianas, o añadir zonas de biorretención y de almacenamiento.

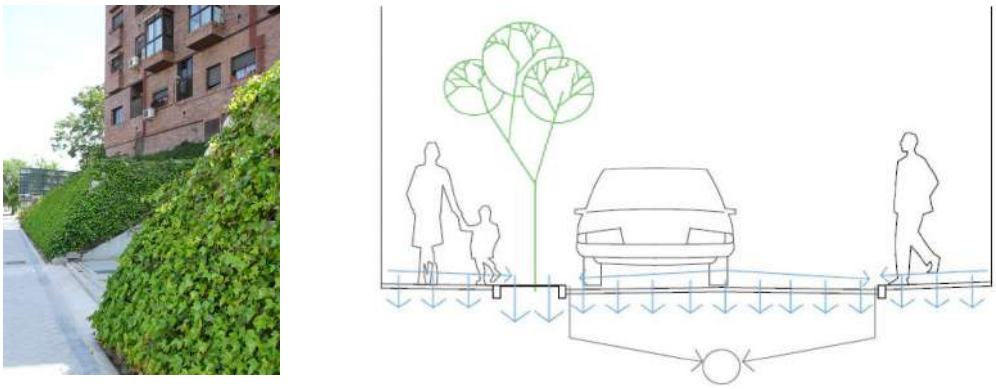


Figura 21. Elementos de ralentización en talud y sistema de drenaje en calles.

Otras acciones adecuadas son: interconectar los distintos elementos urbanos de drenaje, como los alcorques en serie, de manera que trabaje todo el sistema conjuntamente, o incorporar una red de evacuación superficial complementaria a la red de recogida general.

El punto final del recorrido del agua puede ser un punto de almacenamiento, de infiltración o de vertido, aunque habitualmente será una planta de depuración de aguas. Con la ralentización del recorrido se consigue que la cantidad de agua que llega a estos puntos sea lo menor posible, que la calidad sea mayor, y que lo haga de forma escalonada y gradual.

3.3. Almacenar

Después de detener y conducir de manera ralentizada el agua, el tercer paso de la estrategia de actuación consiste en almacenarla para: prevenir las inundaciones concentrando la escorrentía, la posterior reutilización de las aguas almacenadas, y retener el agua durante cierto tiempo hasta el momento de depuración, infiltración o vertido. Según el sistema de almacenamiento utilizado, puede que una de las funciones predomine sobre las otras, que alguna no se realice, o que se cumplan todas por igual. Se debe elegir una tipología u otra en función de las necesidades, de la climatología y del terreno.

La acumulación de la escorrentía en zonas concretas y diseñadas para ello permite que posteriormente se reutilice el agua almacenada para labores de riego, baldeo o limpieza. En los casos en los que el agua está excesivamente contaminada, ésta no se puede reutilizar directamente desde el depósito de almacenamiento, sino que tiene que ser tratada previamente. En este caso la función del almacenamiento no es la reutilización directa, sino la detención del agua durante un tiempo antes de pasar al siguiente punto del recorrido de drenaje.





Figura 22. Elementos de almacenamiento en superficie.

Algunos sistemas de almacenamiento permiten también el tratamiento de las aguas de manera natural, sin el uso de componentes químicos adicionales. Es el caso de los humedales artificiales y los estanques de retención, que mediante la propia vegetación y los microorganismos que habitan en la balsa de agua se consigue la sedimentación de las partículas sólidas, la fitorremediación, y la absorción de nutrientes por parte de la vegetación.

Con este sistema se puede depurar el agua por completo de manera pasiva, evitando sistemas de depuración activos y reduciendo notablemente el coste energético y económico. Para que el elemento de almacenamiento consiga depurar correctamente las aguas es importante que existan todos los elementos de la cadena de drenaje y que se cumplan todas las estrategias de diseño anteriormente comentadas. La disminución del caudal, los tratamientos previos y los procesos de filtraje y drenaje hacen que el tratamiento pasivo en el elemento de acumulación sea más eficaz.

Además de detener y depurar, algunos de l os sistemas de almacenamiento del agua también permiten infiltrarla al terreno. Con la infiltración directa desde el punto de almacenamiento se consigue reducir la cantidad de agua que pasa al siguiente punto de la cadena, además de contribuir al ciclo natural del agua. El agua debe tener el mínimo de calidad legal exigido para que se pueda realizar la infiltración, por lo que será necesario un tratamiento previo de depuración mediante sistemas de filtrado, fitorremediación, etc. No en todos los casos es posible la infiltración al terreno, bien por motivos de alta contaminación de las aguas, o bien porque el terreno no tiene la permeabilidad necesaria o bien porque el acuífero no lo soporte.

Si se diseñan correctamente, las zonas de almacenamiento pueden contribuir favorablemente a la calidad paisajística y estética del lugar. Se pueden realizar sistemas de almacenamiento en superficie que generen estanques o balsas en zonas de parques, plazas y calles. La incorporación de un punto de almacenamiento en superficie, también en zonas menos urbanizadas, revaloriza estéticamente el lugar. Además favorecen la biodiversidad y la proliferación de la flora y la fauna autóctona.

Por estos motivos es conveniente utilizar, siempre que sea posible, sistemas de almacenamiento en superficie. En los casos en los que esto no es posible se pueden realizar almacenamientos enterrados, aunque en estos casos se aprovechan menos las posibilidades de revitalización de flora y fauna, el incremento de la calidad paisajística, y la depuración pasiva de las aguas.

Para conseguir integrar los depósitos en el entorno, la materialización de los sistemas de almacenamiento debe realizarse mediante depresiones del propio terreno natural, evitando en lo posible el uso de materiales de construcción artificiales. Esto no es posible en el caso de depósitos enterrados, donde los materiales más habituales son los plásticos y el hormigón armado.

Los tamaños de los sistemas de acumulación pueden ser muy variados, desde grandes depósitos de acumulación a nivel comarcal como embalses y balsas, hasta pequeñas zonas de acumulación puntuales debajo de cubiertas o pavimentos, pasando por sistemas intermedios que abastecen a todo un edificio o a un equipamiento verde. La adecuada conjugación de los distintos tamaños de almacenamiento contribuye a la optimización del almacenamiento y a la mejora de la gestión del agua de escorrentía.

3.4. Infiltrar

El último paso de la estrategia de actuación en el sistema de drenaje consiste en infiltrar el agua en el terreno, contribuyendo así a regenerar el ciclo natural del agua. La infiltración es la introducción controlada y pausada del agua de escorrentía al terreno. Con la infiltración, el agua termina siendo absorbida por el terreno, pasando al acuífero, y devuelta al ciclo natural.

Para poder infiltrar el agua se debe garantizar que no lleve residuos de contaminación, ya que esto podría provocar la contaminación del terreno y del acuífero. Por este motivo, no en todos los casos se puede permitir una infiltración directa al terreno. En los casos en los que el agua no cumpla los criterios de calidad, los sistemas de filtrado, drenaje y fitorremediación que componen la cadena de drenaje sostenible deberán ser capaces de tratar el agua de manera pasiva, pudiéndose infiltrar directamente al terreno. En los casos especiales donde la contaminación es muy elevada (entornos industriales muy densos, gasolineras, explotaciones agropecuarias

etc.) se debe realizar un tratamiento exhaustivo de las aguas para poder proceder a su infiltración en el terreno, incluso incorporando un sistema de tratamiento con depuradora.

Si no existe contaminación y el terreno y el acuífero lo permiten, la infiltración pude hacerse directamente a través de un pavimento permeable, siguiendo fielmente el ciclo natural del agua. Si se siguen las estrategias comentadas, el trabajo de estas depuradoras será menor y por lo tanto el sistema será más eficiente y económico.



Figura 23. Infiltración en zanja.

Además de la contaminación, hay otros criterios que afectan a la viabilidad de la infiltración: las características del terreno y del entorno inmediato, y las características y protección del acuífero.

Si el terreno natural es muy impermeable, la infiltración se produciría de manera muy lenta y prolongada en el tiempo, contribuyendo a encharcar la superficie y provocando inundaciones. Por otra parte, hay lugares donde la presencia excesiva de agua puede condicionar la estabilidad del terreno. Es el caso por ejemplo de los taludes y las excavaciones. Por último, la presencia de edificios en el entorno próximo puede hacer que no sea conveniente la infiltración, ya que el agua y las sales que arrastra podrían afectar muy negativamente a la cimentación de los edificios y afectar a su durabilidad. En estos casos, el agua de escorrentía se debe conducir a un lugar donde sí que sea posible la infiltración.

En todo caso queda patente que para realizar una correcta infiltración es necesario seguir las estrategias del recorrido: detención, ralentización y almacenamiento. De esta manera se consigue disminuir la cantidad de agua que debe infiltrarse en el terreno y mejorar su calidad.

En definitiva, podemos concluir que si abordamos el sistema de drenaje del agua de lluvia siguiendo las estrategias anteriormente comentadas conseguiremos minimizar el impacto en el ciclo natural del agua, previniendo inundaciones, contaminación y alteración del medio natural, y aprovechando al máximo el recurso agua.

Resulta imprescindible entender la vinculación entre el sistema de drenaje y el urbanismo. Los elementos de retención, conducción, almacenamiento e infiltración forman una extensa red de gestión del agua que debe incorporarse al diseño y al planeamiento urbano desde los inicios del mismo. Los sistemas urbanos de drenaje son un condicionante más que ayuda en el diseño urbano.

Las estrategias de control y gestión no solo mejoran el sistema urbano de drenaje y tratamiento de las aguas, sino que contribuyen a mitigar el avance del cambio climático, a reducir el efecto isla calor y a reducir la propagación de la contaminación, elevan la calidad paisajística y estética del lugar, e influyen positivamente en la biodiversidad y en la proliferación de la flora y la fauna local.

Finalmente, las estrategias estructurales que actúan sobre la cadena de gestión de las aguas deben complementarse con estrategias encaminadas a disminuir la contaminación general, tanto atmosférica como superficial de manera preventiva: si evitamos emitir contaminación y residuos que ensucien las aguas de lluvia, evitaremos tener que tratar con tanta intensidad la escorrentía urbana, consiguiendo un ciclo del agua mucho más natural y un sistema de tratamiento de aguas más eficiente y económico.

4. TIPOLOGÍAS DE SUDS

La siguiente clasificación de los sistemas de drenaje sostenible corresponde a la estrategia de actuación a la que hacen referencia (detención, ralentización, almacenamiento e infiltración).

4.1. Control en origen

Cubiertas vegetadas

Las cubiertas son la primera superficie receptora del agua de lluvia en la edificación. Las cubiertas tradicionales (ya sean planas o inclinadas) vierten el agua recibida directamente a la red, sin realizar ningún proceso de depuración ni reutilización. Las cubiertas vegetales son capaces de atrapar y retener las aguas pluviales, de manera que se reduce la escorrentía y se disminuye el caudal pico.

Este tipo de cubiertas permiten la acumulación de agua para su posterior reutilización. Principalmente se utiliza para el riego de la propia vegetación de la cubierta, pero también se puede utilizar para riego, baldeo, limpieza o como protección contra incendios. El uso de cubiertas vegetales también tiene ventajas adicionales como son: el incremento de la calidad paisajística y ambiental del entorno, la reducción del efecto isla calor, la mejora del aislamiento térmico y acústico favoreciendo el diseño bioclimático, y la posibilidad de instalar huertos urbanos. Según la inclinación de la cubierta podemos distinguir entre planas e inclinadas.

En todas las tipologías de cubiertas vegetales se recomienda utilizar vegetación autóctona de la zona, preferiblemente con necesidades hídricas bajas, y la instalación de un sistema de riego por goteo.



Figura 24. Cubierta vegetada plana extensiva y Cubierta inclinada vegetal.

Cubiertas vegetadas planas

Cubiertas con una pendiente menor del 5% (conforme al Documento Básico de Salubridad del Código Técnico de la Edificación, DB-HS). Permiten una mayor capacidad de almacenamiento de agua. Dentro de las cubiertas planas vegetales podemos distinguir dos tipologías en función de la vegetación utilizada:

- **Cubiertas intensivas:** Tienen un espesor de sustrato superior a los 20 cm, y permiten plantar especies de mayor entidad como herbáceas y arbustos. El sustrato vegetal puede disponerse directamente sobre el sistema de drenaje e impermeabilización, o bien puede instalarse un depósito de acumulación: cubierta aljibe. El sistema de aljibe puede realizarse mediante celdas plásticas de acumulación o mediante plots. Esta tipología de cubierta vegetada implica un incremento importante de las cargas en la estructura.
- **Cubiertas extensivas:** El espesor del sustrato se sitúa entre 3 y 20 cm. La vegetación utilizada en este tipo de cubiertas son las plantas crasas y los sedums. Se recomienda utilizar especies autóctonas y que necesiten un mantenimiento y riego mínimo. Al igual que en las intensivas, pueden disponer o no de aljibe.

Cubiertas vegetadas inclinadas

Generalmente las cubiertas inclinadas son del tipo extensivo. Por lo que no es necesario disponer una capa de drenaje. En inclinaciones mayores a 25° se deben tomar medidas especiales para evitar el deslizamiento. Existen sistemas monocapa o mediante bandejas pre vegetadas que facilitan la ejecución de la cubierta. Las cubiertas inclinadas vegetales no permiten la acumulación de grandes cantidades de agua, por lo que se debe instalar necesariamente un sistema de riego.

Pavimentos

El pavimento es el acabado superficial urbano, y por tanto la primera capa receptora de agua. Su elección es clave para el control de la escorrentía e infiltración del agua. Según su oposición a dejar pasar el agua podemos distinguir entre pavimentos permeables y pavimentos no permeables (o impermeables). Los pavimentos permeables pueden ser de dos tipos en función del modo en que el agua lo atraviesa: pavimento formado por un material poroso que deja pasar el agua a su través, o pavimentos formados por elementos no permeables dispuestos con junta abierta a través de la cual se introduce el agua.

Los pavimentos impermeables son aquellos que no dejan pasar el agua al estrato inferior, y por lo tanto no permiten la infiltración. Generalmente los pavimentos impermeables son continuos. Se consideran pavimentos impermeables los asfaltos comunes y el hormigón.





Figura 25. Asfalto impermeable y superficie impermeable de hormigón.

Pavimentos permeables

Son pavimentos que dejan pasar el agua a su través, permitiendo la transmisión directa del agua al terreno o su acumulación para posterior reutilización. Podemos distinguir tres tipos de pavimentos permeables en función de cómo se transmite el agua al estrato inferior:

- Pavimentos permeables discontinuos: La permeabilidad del pavimento se consigue a través de las juntas entre baldosas o adoquines, o bien mediante celdas permeables.
- Pavimentos permeables continuos: La permeabilidad se consigue por el paso del agua a través de los poros del propio material. Son pavimentos continuos permeables el hormigón poroso, la tierra compactada aditivada, los pavimentos bituminosos porosos, y los pavimentos de caucho.
- Pavimentos disgregados y vegetales: la permeabilidad se consigue gracias a la disgregación del material que lo conforma. La velocidad de penetración en el pavimento varía según el tamaño de los elementos que lo componen (granulometría). Este tipo de pavimentos consigue filtrar el agua de escorrentía con gran efectividad. Destacan los pavimentos de grava, cantos rodados, el mulch y las superficies vegetadas.









Figura 26. Pavimento permeable por junta y mediante celda. Pavimentos disgregado mulch y vegetal.

4.2. Ralentización y conducción

El transporte del agua puede ser realizado mediante drenes, franjas o áreas de infiltración.

Drenes filtrantes

Elementos lineales encargados de filtrar el agua de escorrentía, y canalizarla hasta un punto de almacenamiento o infiltración. Mediante este primer filtrado se consigue atrapar parte de la materia la orgánica, los metales pesados y los residuos grasos. Si el agua contiene una elevada cantidad de residuos, será necesario un tratamiento previo al vertido a los drenes filtrantes.

Zanja drenante o dren francés

Zanjas recubiertas de geotextil y rellenas de material filtrante, como gravas o material reciclado, cuya finalidad es transportar el agua a velocidad reducida hasta elementos de acumulación o infiltración situados aguas abajo. Este sistema puede incorporar una tubería porosa en el interior, aumentando así la velocidad de transporte y evitando la posible colmatación de la zanja. En algunos casos se puede permitir la infiltración del agua a través del geotextil, de manera que se reduce la cantidad de agua que llega al punto de vertido.

Drenaje horizontal en talud

Tubería porosa rodeada de material permeable utilizada para captar el agua del interior de los taludes y expulsarla para su acumulación o infiltración. Su situación suele ser en la base del talud, o debajo de los canales o zanjas intermedias si existiesen. Con este drenaje se consigue evacuar el agua de la zona del talud, impidiendo que afecte a la estabilidad del mismo.

Drenaje horizontal junto a muro

Tubería porosa rodeada de material permeable utilizada para evacuar el agua que se pueda acumular junto a un muro. Con este sistema se consigue evitar una elevada presión hidrostática sobre el muro, a la vez que se mejoran las condiciones de salubridad e impermeabilización del muro, exigidas en el Documento Básico de Salubridad del Código Técnico de la Edificación.

Drenaje horizontal bajo calle

Elemento urbano formado por un tubo poroso de gran capacidad colocado a lo largo de la calle. El terreno en el que se sitúa el conducto drenante debe ser permeable. La tubería debe tener gran capacidad para poder recibir el agua proveniente de otros elementos urbanos de la calle tales como alcorques y medianas permeables.



Figura 27. Dren filtrante y Bandas filtrantes.

Banda o franja filtrante

Elemento lineal de tierra vegetada con cierta inclinación, cuya finalidad es ralentizar la escorrentía superficial y facilitar su filtración atrapando sólidos y aceites. Suele situarse en los márgenes de la calzada como zona previa a la cuneta verde.

Área filtrante

Elemento superficial de tierra vegetada con gran anchura y cierta inclinación, situado entre una superficie poco permeable y el medio receptor de la escorrentía (depósitos de infiltración, acumulación etc.). Actúa como primer filtro, propiciando la sedimentación de las partículas y contaminantes arrastrados por el agua a la vez que contribuye a la disminución de la escorrentía. El área filtrante puede materializarse mediante un filtro vegetal o de gravas.

Cunetas vegetadas o rellenas

Estructura lineal de base ancha y talud tendido, junto a viales, cuya finalidad es transportar superficialmente la escorrentía. Deben diseñarse para generar bajas velocidades (< 1 m/s) y permitir la sedimentación de las partículas y la absorción de contaminantes. Se suelen colocar en los márgenes de las carreteras, aunque también se pueden utilizar en aparcamientos y zonas industriales.

Además de filtrar y ralentizar el agua de escorrentía, este tipo de cunetas pueden proporcionar un almacenamiento temporal, así como la infiltración y evaporación del agua.

Cuneta vegetada

Cuneta naturalizada con vegetación de poca altura, integrada en el entorno. Propicia la evapotranspiración y la depuración natural. La proporción alto-ancho recomendada es de 1:3, y el ancho mínimo es de 0,5 m. Estas cunetas necesitan un aporte adicional de agua en épocas de sequía para mantener la vegetación.

Cuneta rellena

Conformada con cantos rodados o material de escollera de diferentes granulometrías que permiten mantener la capacidad de transporte y drenaje. Incorporan habitualmente un tubo de drenaje enterrado. En estas cunetas se consigue que el agua permanezca en la superficie el mínimo tiempo posible, evitando encharcamientos y transportando mayor volumen de agua. El caso opuesto son las cunetas húmedas, donde existe una cantidad de agua casi permanente, motivado por un terreno poco permeable.

Ralentización en taludes

Los taludes son elementos de contención del terreno, habitualmente con pendientes elevadas que propician una mayor escorrentía. Existen distintos sistemas para ralentizar y disminuir el flujo de agua que discurre por su superficie.

Zanja de infiltración

Zanja perpendicular a la dirección de la escorrentía situada en el cuerpo del talud. Retiene gran cantidad de agua y disminuye el volumen de la escorrentía. Se recomienda incluir vegetación. Puede incluir un tubo drenante en el interior para la canalización del agua sobrante y evitar que su infiltración afecte a la estabilidad del talud.

Drenes filtrantes

Elemento longitudinal superficial situado en el cuerpo del talud para frenar el agua de escorrentía por la ladera, relleno de material drenante. Si es posible, se realizará la infiltración desde el propio canal. Si la infiltración no es posible por motivos de estabilidad del talud, el canal conducirá el agua hasta un punto de acumulación o de infiltración, pudiéndose disponer una lámina impermeabilizante entre el canal y el terreno.

Franja filtrante

Área vegetal situada en la base del talud para recepción e infiltración del agua de escorrentía. Su función es infiltrar el agua, por lo que no es necesario instalar una tubería.

Subdren de zanja

Zanja recubierta con material geotextil y rellena de material filtrante, como por ejemplo gravas, que incorporan una tubería porosa en el interior. Se trata de una zanja drenante o dren francés situado a pie del talud.



Figura 28. Elementos en taludes.

4.3. Almacenamiento

Los elementos para el almacenamiento de agua pueden ser aljibes, estanques, depósitos superficiales o enterrados, humedales artificiales, cubiertas aljibe o áreas enterradas de almacenamiento.

Aljibes

Depósitos enterrados destinados a almacenar agua para su uso posterior. Pueden ser prefabricados o ejecutados in situ. Generalmente asociados a edificaciones contiguas, reciben el agua de lluvia desde sus cubiertas.

Estanques y Balsas de detención y/o infiltración

Zona de almacenamiento con lámina de agua parcial permanente y con vegetación. Su finalidad es retener el agua, almacenándola para su posterior uso, o simplemente para ralentizar su recorrido. Mediante este sistema se consigue la sedimentación de las partículas sólidas y la absorción de nutrientes por parte de la vegetación. Las dimensiones recomendadas son: proporción largo ancho debe estar entre 3:1 y 5:1, y profundidad máxima entre 1 y 2 m.

Depósitos de detención

Zona de almacenamiento del agua de escorrentía cuya función es proporcionar una laminación de los caudales punta mediante el almacenamiento de un volumen de agua de escorrentía y su posterior vertido a la red o al siguiente sistema de tratamiento. A diferencia de los estanques de retención, no almacenan agua permanentemente, por lo que es común denominarlos depósitos secos. Podemos distinguir dos tipos:

Depósitos de detención superficiales

Depresiones del terreno diseñadas para frenar y almacenar el agua de escorrentía. Se debe impermeabilizar el terreno sobre el que se sitúa el depósito. Mediante este sistema se consigue la sedimentación de los sólidos en suspensión, mejorando notablemente la calidad del agua. Incorporan un desagüe en la parte inferior para

evacuar el agua del depósito. Este desagüe puede llegar a colmatarse por acumulación de sedimentos, por lo que debe tener un adecuado diseño y posterior mantenimiento. Es recomendable utilizar otros sistemas de drenaje como franjas filtrantes para el pre-tratamiento de las aguas antes de llegar al depósito de detención. Las dimensiones recomendadas son: profundidad debe ser de entre 1 y 3 metros, y pendientes laterales suficientemente tendidas (<15%) por seguridad y mantenimiento. Estos depósitos aumentan considerablemente la calidad paisajística del lugar, además de permitir su utilización como área recreativa cuando están secos.

Depósitos de detención enterrados

Cuando no se dispone de terreno en superficie, o el entorno no permite una estructura a cielo abierto, los depósitos de detención se construyen enterrados en el subsuelo. Los materiales más habituales con los que se construyen son el hormigón armado y el polipropileno.



Figura 29. Balsa de almacenamiento.

Humedales artificiales

Se trata de zonas húmedas artificiales, cubiertas de vegetación, permanente llenas de agua con distintas profundidades. Son sistemas similares a los estanques de retención pero de menor profundidad y con una densidad de vegetación emergente y acuática mayor. Los humedales artificiales se transforman en el hábitat de una gran diversidad de plantas y animales. Su creación favorece la biodiversidad, y la proliferación de la flora y la fauna del lugar, pero para ello es necesario mantener un flujo base de agua permanentemente, incluso en épocas de sequía.

La finalidad de estos sistemas artificiales puede ser depurar las aguas de lluvia gracias a la vegetación y a los microorganismos presentes en el medio acuático (fitorremediación), ofreciendo una alternativa a las estaciones depuradoras. Pueden servir igualmente para controlar la escorrentía.

Los humedales, tanto naturales como artificiales, aportan potencial ecológico, paisajístico, educacional y recreativo. Pero es importante destacar que los humedales naturales no pueden recibir aportaciones de agua de la escorrentía urbana, ya que no están preparados para ello. El vertido de aguas urbanas en un humedal natural provocaría su contaminación y la destrucción de la flora y la fauna que habita en él.

Cubiertas aljibe

Las cubiertas planas pueden utilizarse como aljibe de almacenamiento, y reutilizar el agua para regadío, limpieza, baldeo, etc. El agua se puede almacenar en la cubierta impermeabilizada, o incorporando celdas o plots situados debajo del acabado de cubierta, protegiendo el agua de la radiación solar.

Áreas bajo pavimento

Mediante celdas de polipropileno o grava bajo el pavimento se consigue el almacenamiento. La capacidad de almacenamiento depende de las dimensiones de los elementos utilizados. El terreno inferior debe estar impermeabilizado, y se debe disponer un desagüe y rebosaderos para evitar la colmatación de la zona de depósito.

4.4. Infiltración

Los elementos que permiten la infiltración del agua al terreno son las zanjas de infiltración, las franjas de biorretención, los pozos y los depósitos de infiltración.

Alcorques de infiltración

Elementos urbanos para la vegetación que permiten la infiltración del agua de lluvia. Es conveniente que estén conectados entre sí para amplificar la capacidad de infiltración.

Zanjas de infiltración

Excavación lineal de poca profundidad, rellena con piedras o material de escollera de 40 a 60 mm de diámetro, para permitir el drenaje y la acumulación subsuperficial y disminuir la velocidad de escorrentía. La infiltración se produce tanto desde en la base como por los laterales. Se recomienda una profundidad de entre 100 y 200 centímetros.

Parterres inundables / franjas de biorretención

Elemento lineal ubicado en zonas algo deprimidas y sobre terreno muy permeable. La vegetación es la encargada de eliminar partículas arrastradas y contaminantes. Habitualmente se colocan como elemento urbano a lo largo de un vial, separando la calzada de la zona de tránsito peatonal, o como mediana, sirviendo para controlar y tratar el agua de escorrentía de zonas aledañas.

Pozos de infiltración

Elemento puntual de captación del agua superficial para su almacenamiento e infiltración. Se pueden disponer en el medio urbano integrándose en alcorques, rotondas o áreas verdes, o como complemento en zanjas de infiltración, permitiendo así la infiltración de un mayor volumen de agua y evitando el posible desbordamiento de la zanja.

El pozo de infiltración debe estar relleno de material drenante granular para filtrar el agua de escorrentía antes de su infiltración al terreno. Se suelen emplear geotextiles de filtro y separación para envolver el material granular, y desagües de emergencia para, en el caso que se supere la capacidad de diseño, enviar el excedente a la red de alcantarillado.

Se deben considerar tanto la tasa de infiltración del terreno como el nivel freático existentes. Los pozos de infiltración no se deben colocar próximos a las edificaciones, ya que podrían afectar a su cimentación.

Depósitos de infiltración

Embalses superficiales poco profundos y de trazado irregular, con bases anchas y taludes suaves cubiertos de vegetación. Su función es almacenar e infiltrar gradualmente la escorrentía de los alrededores, pudiendo alber-

gar un volumen de agua mayor que las zanjas y pozos de infiltración. Suele situarse en zonas verdes y cunetas, quedando completamente integrado en el entorno y mejorando la calidad paisajística. Se debe colocar un desagüe de emergencia y un rebosadero para enviar el agua al siguiente elemento de la cadena de tratamiento en caso de que se supere la capacidad máxima del depósito.



Figura 30. Elementos de infiltración.

5. CRITERIOS DE DISEÑO Y MANTENIMIENTO

Para un comportamiento adecuado y eficiente de los sistemas urbanos de drenaje sostenible es necesario un diseño apropiado a las necesidades y características del terreno y entorno, así como realizar un mantenimiento continuado de los elementos que lo componen.



Figura 31. Construcción y mantenimiento de SUDS.

5.1. Principios básicos de diseño*

El uso de sistemas urbanos de drenaje sostenible requiere un diseño cualificado para que la cadena de gestión del agua funcione correctamente. La elección y el diseño de estos sistemas de drenaje depende de los condicionantes del entorno: la permeabilidad del terreno, la morfología y la climatología del lugar, el estado del acuífero y la calidad del agua recibida.

El diseño de los sistemas urbanos de drenaje sostenible debe acompañar al diseño urbanístico de la zona en cuestión. Debemos entender que el sistema de drenaje es un elemento más que forma parte del planteamiento urbanístico, y que además contribuye a la sostenibilidad de las ciudades Los sistemas urbanos de drenaje se encargan también de evacuar y tratar las aguas de lluvia. Los SUDS pueden ubicarse en cualquier zona urbana.

El RDPH establece, en el artículo 14 bis, que los nuevos desarrollos urbanísticos se realizaran fuera de las zonas inundables. Para estos casos, los criterios de diseño están determinados por la climatología del lugar y la permeabilidad del terreno.

Conceptos básicos

En España podemos distinguir tres zonas climáticas en las que tanto las temperaturas como las precipitaciones son significativamente diferentes en cantidad y temporalidad:

ZONA A	Precipitaciones frecuentes y constantes de intensidad media-baja. Riesgo medio de inundaciones. Temperaturas medias y bajas. Esta climatología se da predominantemente la zona norte del país.
ZONA B	Precipitaciones estacionales. Periodos secos y periodos lluviosos continuados. Riesgo medio de inundaciones. Humedades bajas y temperaturas medias y bajas. Este clima corresponde a las zonas interiores de la península.
ZONA C	Lluvias esporádicas y de gran intensidad. Episodios de torrencialidad y elevado riesgo de inundaciones, desertificación y sequía. Temperaturas medias y altas y humedad elevada. Climatología predominantemente en la zona del mediterráneo.

	PLUVIOMETRÍA (mm)			
ZONA CLIMÁTICA	Precipitación media (mensual)	Precipitación media (anual)	Precipitación máxima	Precipitación mínima
A	79,14	949,72	357,86	0,50
B	37,47	449,58	221,89	0,00
C	32,92	395,05	304,64	0,00

Tabla 3. Pluviometría zonas climáticas. Fuente: Tragsatec. Datos obtenidos de la Guía resumida del clima en España (1971-2000). Plan Estadístico Nacional (2001-2004). Ministerio de Medio Ambiente

* Ver tabla 12 Resumen de criterios de diseño en pág. 60.

De modo orientativo, se puede simplificar la clasificación de las zonas climáticas en España según el siguiente esquema:

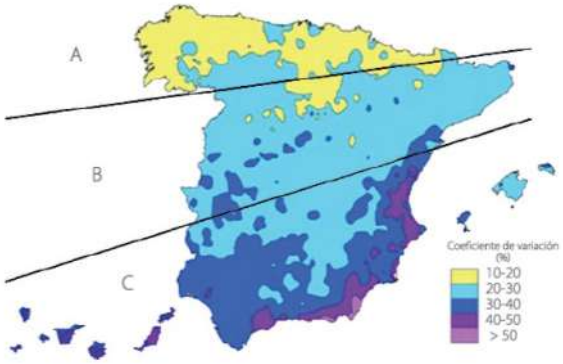


Figura 32. División geográfica según climatología y variación de la precipitación. Figura desde mapa de torrencialidad, AEMET.

En cuanto a las características del terreno, el grado de permeabilidad se define según su capacidad de drenaje, conforme al coeficiente de permeabilidad K (m/seg). Se considera una permeabilidad alta cuando K > 10-2, baja cuando K < 10-5, y media para valores intermedios de K. En el Documento Básico de Seguridad Estructural – Cimientos (DBSE-C) del Código Técnico de la Edificación, el anejo D ofrece unos valores orientativos de permeabilidad según el tipo de terreno.

Valores orientativos del coeficiente de Permeabilidad		
Tipo de suelo		**Kz (m/s)**
Grava limpia	ALTA	$> 10^{-2}$
Arena limpia y mezcla de grava y arena limpia	MEDIA	$10^{-2} – 10^{-5}$
Arena fina, limo, mezclas de arenas, limos y arcillas	BAJA	$10^{-5} – 10^{-9}$
Arcilla	MUY BAJA	$< 10^{-9}$

Tabla 4. Permeabilidad. DB-SE.CTE.

Criterios de diseño para elementos de control en origen

Diseño de cubiertas vegetadas planas

Para el correcto funcionamiento de una cubierta vegetada es necesario disponer los siguientes elementos en el orden correcto:

- Lámina impermeabilizante colocada sobre la formación de pendiente
- Capa de aislamiento térmico
- Lámina anti-raíces
- Sistema de almacenamiento de agua
- Capa geotextil drenante
- Lámina filtrante
- Sustrato de tierra
- Capa de vegetación autóctona y con necesidades hídricas bajas

Algunos de los elementos pueden unificarse en una sola capa, como por ejemplo una capa drenante retenedora de agua, o un geotextil que incorpore drenaje y filtrado. En todos los casos será necesario incorporar un sistema de riego para la implantación de la vegetación durante los dos primeros años y para mantenimiento durante las épocas de sequía.

La vegetación de gran porte requiere grandes espesores de sustrato que incrementan la carga sobre la estructura de la cubierta. Se debe comprobar que la cubierta sea capaz de resistir estas cargas permanentes.

En todo caso, es necesario realizar un mantenimiento periódico de la cubierta para su adecuado funcionamiento.

PESO ESTIMADO DE CUBIERTAS VEGETADAS					
Características	Cubierta extensiva		Cubierta intensiva		
	Sédum	Plantas crasas	Arbusto pequeño	Arbusto grande	Árbol
Altura de crecimiento	10 cm	30 cm	1 m	3 m	10 m
Espesor del sustrato	7 cm	15 cm	22 cm	32 cm	82 cm
Peso cubierta	100 kg/m^2	220 kg/m^2	340 kg/m^2	500 kg/m^2	1.100 kg/m^2
Retención de agua	30 l/m^2	150 l/m^2	280 l/m^2	420 l/m^2	1.000 l/m^2

Tabla 5. Peso estimado cubiertas vegetadas. Fuente: Guía GIAE, Tragsa.

En la **zona climatológica A** no es necesario almacenar gran cantidad de agua para el riego de la cubierta ya que las precipitaciones son regulares. La cubierta plana más adecuada es la extensiva con pequeño aljibe (<4 cm). Se pueden utilizar también cubiertas intensivas, siempre que la capacidad resistente de la estructura lo permita.

En la **zona B** las precipitaciones son estacionales y de intensidad media. Se recomienda una cubierta vegetada extensiva con un aljibe de capacidad media (>15 cm). Se consigue almacenar grandes cantidades de agua para riego en épocas de sequía. La posibilidad de disponer de un gran aljibe depende de la capacidad resistente de la estructura.

En lugares pertenecientes a la **zona C** las precipitaciones son esporádicas pero muy intensas. Se recomienda una cubierta vegetada extensiva con pequeño aljibe en cubierta (almacenamiento pequeño con capacidad para aproximadamente 60 días, hasta 25l/m^2) y un depósito adicional enterrado de grandes dimensiones para almacenar los excedentes y usarlos principalmente para el riego en periodos más secos.

Diseño de cubiertas vegetadas inclinadas

Necesitan dimensiones de canalones y sumideros superiores a las de las cubiertas inclinadas convencionales. Deben contar con un buen mantenimiento para evitar obstrucciones y conseguir un funcionamiento óptimo de la cubierta. En todos los casos se debe instalar un sistema de riego para los dos primeros años de crecimiento de la vegetación y para mantenimiento durante las temporadas secas. En cubiertas inclinadas con pendientes mayores del 40% es necesario utilizar algún sistema antideslizamiento para evitar la pérdida del sustrato.

En la **zona A** se recomienda la cubierta vegetada extensiva monocapa con capa drenante, sin necesidad de aljibe en cubierta. Con lluvias frecuentes como ocurre en esta zona climatológica, no es necesario almacenar grandes cantidades de agua para el riego, por lo que es suficiente con este sistema que puede llegar a almacenar 15l/m^2 en el sustrato. La pendiente debe estar entre un 5% y un 35% para un correcto funcionamiento. Se recomienda la instalación de un aljibe adicional para poder reutilizar el agua en caso de lluvias abundantes.

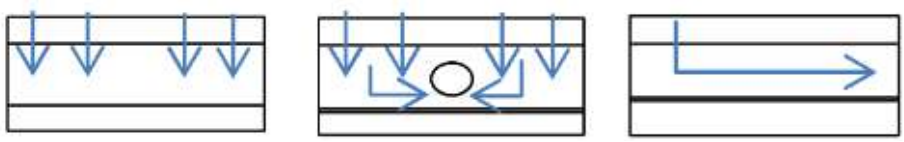
En la **zona B** el sistema más adecuado es la cubierta vegetada extensiva con lámina de drenaje y pendiente menor del 50% que permite almacenar una cantidad de agua de lluvia considerable, minimizando la necesidad de riego y alcanzando buenas condiciones para el crecimiento de la vegetación. En este tipo de cubierta se puede llegar a almacenar entre 30 y 60 l/m^2. Es aconsejable instalar adicionalmente un aljibe enterrado para poder reutilizar el excedente de agua en labores de riego o baldeo.

En las **zonas C** resultan idóneos los elementos pre cultivados para cubierta vegetada extensiva inclinada. Con este sistema se consigue disponer de una cubierta que almacena una leve cantidad de agua, ralentiza la escorrentía, y permite una fácil evacuación de las lluvias torrenciales. Es especialmente recomendable incorporar un depósito enterrado que permita el almacenamiento de grandes cantidades de agua de lluvia para el riego de la cubierta en épocas de sequía.

Diseño de pavimentos permeables

De manera general se recomienda el uso de pavimentos permeables en todos los casos. Únicamente en lugares con un grado de contaminación de las aguas muy elevado conviene el uso de pavimentos impermeables, y siempre que estén diseñados para conducir las aguas a zonas puntuales de descarga y tratamiento. No obstante, se recomienda utilizar pavimentos permeables, y transportar estas aguas contaminadas a través de las capas inferiores que componen el pavimento (tubo drenante, lámina impermeable etc.) evitando así el encharcamiento superficial y las posibles inundaciones.

Dentro de los pavimentos permeables podemos distinguir tres tipos en función de su capacidad de infiltración:



Permeabilidad directa *Conducción parcial* *Conducción total*

Permeabilidad directa: La totalidad del agua de escorrentía que atraviesa el pavimento se infiltra en el terreno. Uso en terrenos muy permeables y siempre que se permita la infiltración al terreno.

Conducción parcial: Parte de la escorrentía se infiltra al terreno y parte se evacúa mediante un tubo drenante. Uso en terrenos poco permeables y siempre que se permita la infiltración al terreno.

Conducción total: Toda el agua se canaliza mediante un tubo drenante y se transporta a otro lugar para su tratamiento, almacenamiento o infiltración. Uso en terrenos impermeables y cuando no se permite la infiltración por posible contaminación el acuífero o por afectar a la estabilidad del terreno o de edificaciones cercanas.



Figura 33. Pavimentos permeables.

Según estas tres tipologías, y atendiendo a las condiciones de climatología y permeabilidad, podemos establecer los siguientes criterios de diseño: Para terrenos muy permeables situados en las zonas climáticas A y B se recomienda el uso de pavimentos de permeabilidad directa. En la zona C se recomienda siempre la conducción parcial para evacuar rápidamente el excedente de agua de lluvia. Cuando el terreno sea impermeable, o no sea posible la infiltración por motivos de contaminación del acuífero o por inestabilidad del terreno, se utilizará la tipología de conducción total en todas las zonas climáticas.

CRITERIOS DE ELECCIÓN DE TIPOLOGÍA DE PAVIMENTO			
Zona climática	Permeabilidad		Imposibilidad de Infiltración
	Alta	Baja	
A	Permeabilidad directa	Conducción parcial	Conducción total
B	Permeabilidad directa	Permeabilidad directa	Conducción total
C	Conducción parcial	Conducción parcial	Conducción total

Tabla 6. Criterios de selección de pavimento. Fuente: Guía GIAE, Tragsa.

Otro criterio a considerar es la actividad que va a soportar. Cuando el uso previsto sea el tráfico rodado, se deberá tener en cuenta el desgaste que provoca en función del tipo de vehículo que circulará y la densidad del tráfico esperado. En zonas como aparcamientos se debe distinguir entre zonas de circulación de vehículos, zonas de aparcamiento, y zonas de circulación peatonal, ya que las necesidades resistentes de los suelos son distintas. Las zonas más transitadas por vehículos deberán tener una durabilidad mayor.

Además, en la mayoría de lugares se tiene que permitir el acceso a vehículos de emergencia pesados como los de bomberos (2.500 – 3.000 kg), por lo que tanto el pavimento como las capas inferiores que lo componen deben ser capaces de soportar las cargas que produce sin romper ni experimentar grandes deformaciones. Para ello es necesario que la capa de sub-base granular del pavimento sea como mínimo de 30 cm, y en caso de prever cargas mayores deberá calcularse el espesor necesario.

En los parques, zonas de recreo, esparcimiento y en las zonas no accesibles a vehículos pesados, como rotondas y medianas no transitables, es recomendable el uso de pavimentos disgregados por su alta capacidad de filtración.

Para las zonas urbanas con mayor tránsito de personas, como aceras y paseos, se recomienda utilizar pavimentos discontinuos con junta abierta, ya que ralentizan la escorrentía a la vez que permiten la infiltración a través de las juntas. Los pavimentos continuos permeables son adecuados para terrenos muy permeables.

Se aconseja combinar distintos pavimentos para hacer frente a las necesidades y responder a la jerarquía de densidad de tráfico (rodado o peatonal) y uso.

Criterios de diseños para elementos de ralentización y conducción

Los elementos de ralentización y conducción se deben diseñar de manera que se cumplan unas velocidades mínimas y máximas según la climatología y las características del terreno. Se debe evitar el encharcamiento y la acumulación por velocidades demasiado bajas, o la erosión que provocan las velocidades altas.

Diseño de drenes filtrantes

Para su correcto funcionamiento, la profundidad de las zanjas drenantes debe estar comprendida entre 100 cm y 200 cm. El material de relleno debe tener unas dimensiones de entre 40 y 60 mm de diámetro. Se recomienda el uso de material reciclado de la construcción como relleno. En caso de utilizar gravas o piedras, estas se obtendrán del entorno cercano siempre que sea posible, evitando así transportes innecesarios.

Es conveniente colocar elementos previos de filtrado, como franjas de filtración, para eliminar parte de las partículas sólidas antes de llegar al dren. Siempre que sea posible y la climatología lo permita, se recomienda recubrir la zanja drenante con vegetación. Ésta servirá como protección y realizará un primer filtrado. Siempre que se coloque un acabado vegetal se deberán realizar las labores de mantenimiento correspondientes y disponer un sistema de riego. Entre el terreno y el relleno se debe colocar una lámina geotextil para evitar la colmatación. El geotextil debe ser capaz de permitir la infiltración si el dren está diseñado con esta finalidad.

Para una mayor durabilidad se aconseja que los drenes filtrantes no coincidan con el trazado para vehículos rodados. Además, como criterio de seguridad vial, las zanjas drenantes cercanas a la circulación de vehículos o personas quedarán enrasadas con el pavimento.

En la zona climática C, donde existen lluvias torrenciales, se recomienda instalar una tubería porosa en el interior del dren para facilitar la rápida evacuación en momentos de grandes afluencias de agua. En el caso de que no sea posible la infiltración se colocará una lámina impermeabilizante y tubería para evitar la saturación del dren.

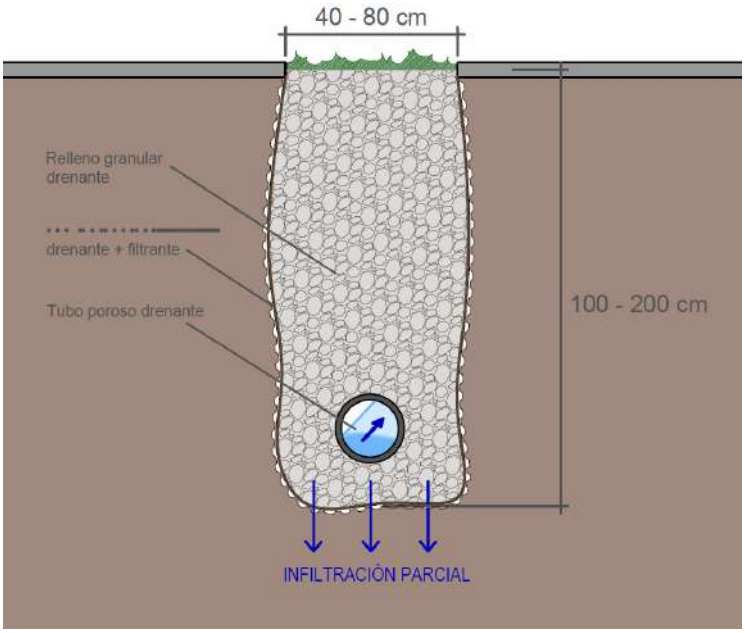


Figura 34. Zanja filtrante.

Es aconsejable colocar un dren filtrante con tubería porosa en su interior en las inmediaciones de los muros enterrados, cerca de la cimentación de un edificio y en la cabeza y pie de un talud para evacuar rápidamente el agua y evitar problemas de salubridad, durabilidad y estabilidad.

Diseño de franjas y áreas filtrantes

Para conseguir un buen nivel de filtrado, se recomienda que las franjas filtrantes tengan un ancho mínimo de 5 metros. Cuando la anchura es considerable y no se trata de un elemento longitudinal, reciben el nombre de áreas filtrantes. Este sistema de filtrado debe garantizar velocidades mayores de 0,3 m/s para prevenir el estancamiento y menores de 1,5 m/s para evitar la canalización del agua, la erosión y reducir la velocidad de escorrentía. Para ello las pendientes deben estar comprendidas entre el 2% y el 5%.

Si se colocan árboles y grandes arbustos en las láminas filtrantes se recomienda que sea al inicio y/o al final de la franja filtrante, ya que en el cuerpo de la banda filtrante podría afectar a la pendiente y a la estabilidad necesaria para su correcto funcionamiento. La vegetación utilizada debe ser autóctona y de baja necesidad hídrica.

En terrenos impermeables y con lluvias muy intensas se deben realizar pendientes más pronunciadas para evitar encharcamientos en la superficie.

En la zona climatológica C se aconseja utilizar un sistema filtrante mediante gravas o material reciclado, ya que las superficies vegetadas necesitarían un gran aporte de agua adicional. Además, la posible desaparición de cobertura vegetal en algunas zonas generaría un funcionamiento deficiente de la banda de filtrado.

En las zonas A y B es preferible el uso del manto vegetal como material filtrante ya que contribuye a reducir el efecto isla calor sin necesitar un aporte excesivo de agua adicional. Siempre se debe disponer un sistema de riego para mantener la vegetación en épocas más secas.

Las áreas filtrantes a base de arena deben tener una superficie completamente horizontal para evitar el desprendimiento y el transporte del propio material de filtrado. Por este motivo, su instalación se recomienda únicamente al final del recorrido.

Diseño de cunetas vegetadas y/o rellenas

La velocidad máxima debe estar entre 1 y 2 m/s para ralentizar el transporte, pero evitando la acumulación de agua. Para ello, la pendiente longitudinal debe estar entre el 0,5% y el 3%. En caso de superar estas limitaciones

porque la propia topografía del terreno así lo obligue, se pueden disponer elementos que actúen como presas, disminuyendo así la velocidad.

La geometría de la cuneta debe ser trapezoidal o parabólica, con una pendiente transversal máxima del 35% y una base horizontal mínima de 50 cm. Por motivos de seguridad, se recomienda que la línea superior de la cuneta esté enrasada con el pavimento. En caso de no ser así, la pendiente debe ser menor del 20%. Se recomienda que las pendientes laterales que forman la cuneta estén vegetadas para realizar así un primer filtrado de la escorrentía.

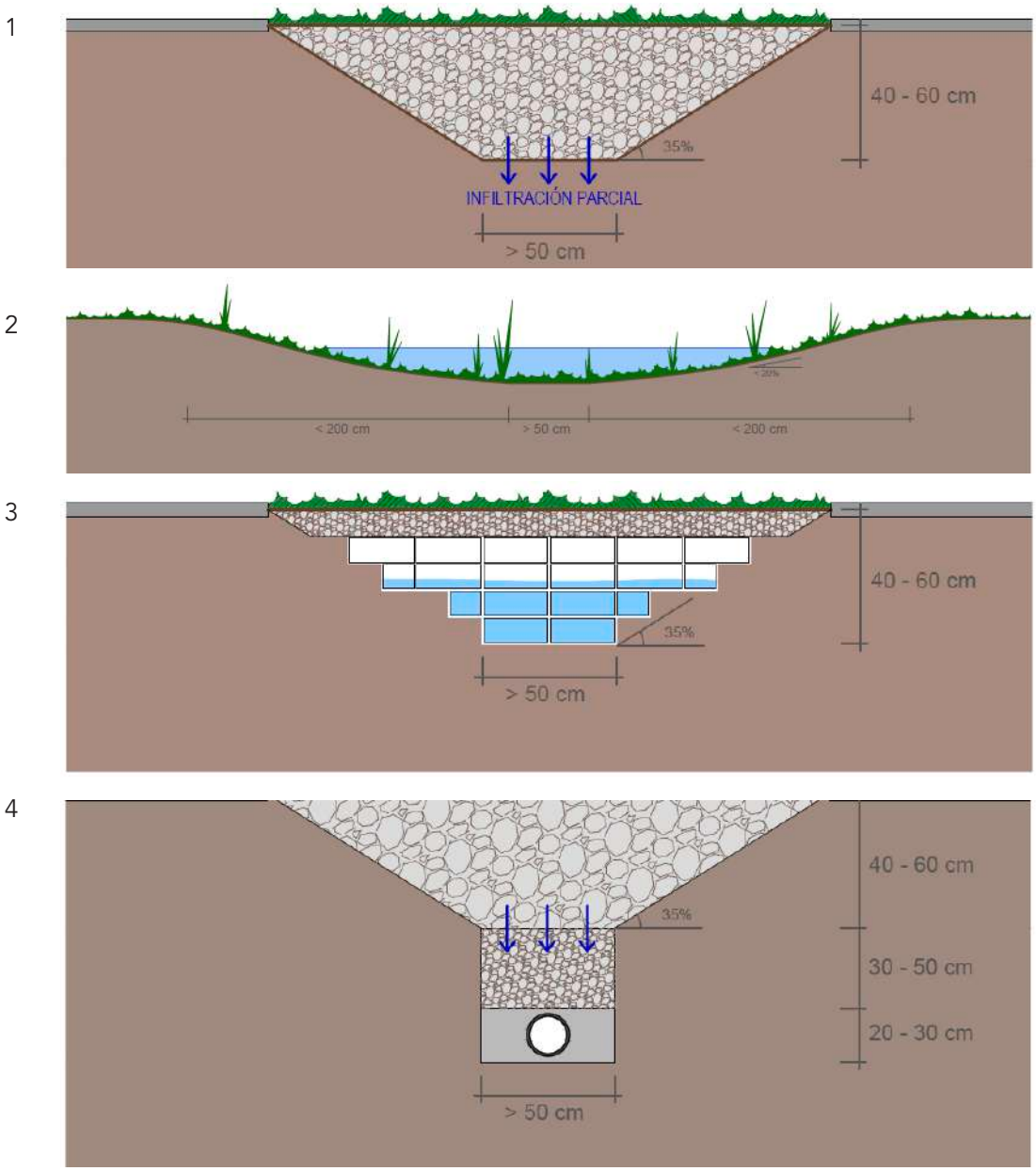


Figura 35. Cuneta permeable (1), cuneta húmeda (2), celdas modulares en cuneta (3), cuneta seca (4).

Siempre que el terreno lo permita y no haya contaminación del agua, se recomienda que las cunetas sean permeables y permitan la infiltración directa al terreno (1). En caso contrario el límite de la cuneta se recubrirá con material impermeabilizante.

La cuneta húmeda (2) es adecuada en la zona climática A, donde las lluvias son muy frecuentes. Con esta climatología es fácil mantener una cantidad mínima de agua constante que mejora el tratamiento de las aguas, y permite una mayor densidad y diversidad de vegetación. Para potenciar la presencia de agua en épocas más

secas, y evitar grandes velocidades durante las lluvias intensas, se pueden incorporar elementos como pequeñas presas o contrapendientes para detener el flujo de agua. Estos elementos se deben colocar cada 10 – 20 metros, y las zonas intermedias se deben rellenar hasta llegar a la cota de la calle para evitar problemas de seguridad vial.

También se pueden instalar celdas modulares de polipropileno en la cuneta para almacenar o infiltrar el agua de escorrentía (3).

En terrenos poco permeables, con una climatología de lluvias torrenciales tipo C y con un clima húmedo y caluroso se recomienda el uso una cuneta seca (4) rellena de gravas o material de relleno reciclado, con las que se consigue eliminar el posible encharcamiento que, en estos climas, provocaría la proliferación de insectos generando problemas sanitarios. La incorporación de un tubo drenante en el interior favorece la conducción del agua en periodos de intensas lluvias torrenciales.

En zonas climatológicas tipo B se aconseja la cuneta verde convencional, ya que es el sistema más económico y se evita tener que mantener un nivel constante de agua. Es necesario prever un sistema de riego para mantener la vegetación en condiciones óptimas durante todas las épocas.

CRITERIOS DE DISEÑO RALENTIZACIÓN Y CONDUCCIÓN			
Zona climática	Elemento de ralentización		
	Drenes y pozos	Franjas filtrantes	Cunetas verdes
A	Dren francés con tubería porosa	Pendientes pronunciadas. Acabado vegetal	Cuneta húmeda vegetada
B	Zanja filtrante sin necesidad de tubería	Conjugar acabados vegetales con gravas y arenas	Cuneta vegetada convencional
C	Dren francés con tubería porosa	Gravas y material reciclado. Evitar acabados vegetados	Cuneta seca rellena de gravas

Tabla 7. Criterios de ralentización y conducción. Fuente: Tragsatec.

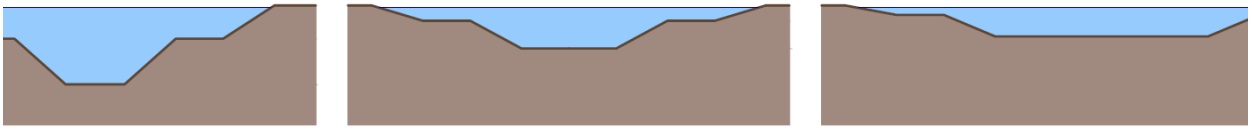
Criterios de diseño para sistemas de almacenamiento

En la zona climática A destaca la idoneidad de estanques y humedales artificiales como sistemas de almacenamiento. Necesitan una cantidad considerable de agua y unas condiciones favorables para la proliferación de la vegetación y la fauna autóctona.

En la zona B se recomiendan los estanques de retención, que también incorporan una lámina permanente de agua pero las necesidades hídricas son menores que las de los humedales.

En la zona climática C, con clima cálido y precipitaciones torrenciales, se utilizaran preferentemente sistemas de almacenamiento que no incorporen láminas de agua expuestas a la intemperie. Se recomienda utilizar depósitos de detención, preferentemente enterrados. En caso de utilizar sistemas de almacenamiento en superficie, se recomienda que sean de poca profundidad para que la infiltración y la evaporación sea más

En todos los casos se recomienda el escalonamiento del depósito, ya que ayuda a concentrar la cantidad de agua existente y contribuye a la seguridad de animales y usuarios.



ZONA A *ZONA B* *ZONA C*

En ningún caso se pueden utilizar humedales o láminas de agua naturales como almacenamiento de la escorrentía urbana, ya que podría contaminarla y afectar negativamente al ecosistema y al acuífero.

En todos los sistemas será necesario disponer aliviaderos y desagües para evacuar rápidamente el agua en caso de que se supere la capacidad máxima del almacenamiento.

CRITERIOS DE DISEÑO ALMACENAMIENTO			
Zona climática	Elemento de almacenamiento		
	Estanque de retención	Depósito de detención	Humedales artificiales
A	Lámina permanente de agua 50% del volumen óptimo	Volumen de agua permanente = volumen óptimo	Humedales poco profundos de detención extendida
B	Volumen de agua permanente = volumen óptimo	Combinarlos con estanques	Dimensiones más reducidas
C	Se recomienda utilizar otros sistemas de almacenamiento	Sistema óptimo enterrado. Varios desagües y aliviaderos	Se recomienda utilizar otros sistemas de almacenamiento

Tabla 8. Criterios de almacenamiento de agua. Fuente: Tragsatec.

Diseño de estanques y balsas de detención e infiltración

En estos sistemas la lámina de agua es permanente, por lo que es necesaria una distancia de seguridad mínima a su alrededor de 3 m, donde además la pendiente sea menor del 2%. Se aconseja aprovechar esta franja para incorporar un sistema de filtrado previo. En el interior del estanque, donde existe agua permanentemente, la pendiente no debe superar el 7%, mientras que en la zona prevista para acumular agua adicional de lluvia se puede llegar hasta un 25% de pendiente.

Las proporciones largo-ancho deben ser entre 3 a 1 y 5 a 1. La profundidad máxima de agua permanente no debe superar los 2 metros. La altura disponible para almacenar agua de lluvia debe ser como mínimo de 1 metro. Es necesario incorporar uno o varios desagües, así como sistemas de emergencia para evacuar rápidamente el agua en caso de que se sobrepase la capacidad del estanque. Estos sistemas de evacuación del agua deben estar dentro de una zanja o arqueta de fácil acceso para mantenimiento.

En los estanques de detención existe un volumen óptimo de agua con el que las condiciones son idóneas para la vegetación existente. En las zonas tipo A donde las precipitaciones son continuas, se recomienda utilizar estanques de retención en los que la cantidad permanente de agua sea aproximadamente del 50% del volumen óptimo. Las lluvias continuadas aumentaran la cantidad de agua hasta los valores recomendables durante la mayor parte del tiempo.

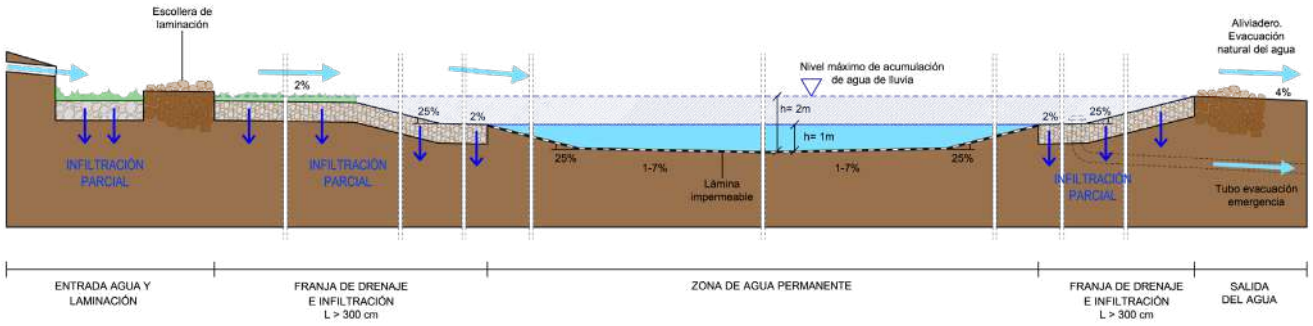


Figura 36. Esquema estanque de detención e infiltración.

En las zonas climatológicas de tipo B es aconsejable utilizar estanques en los que la cantidad de agua permanente coincida con el volumen de óptimo. En la zona C es más adecuado un sistema de almacenamiento en el que no exista una cantidad permanente de agua, ya que podría evaporarse en los periodos de sequía. Para esta climatología se aconseja utilizar depósitos de detención enterrados.

Diseño de depósitos de detención e infiltración

Los depósitos de detención superficiales deben tener una profundidad máxima de 2 metros y unas pendientes máximas del 25% por motivos de seguridad. Es conveniente tener en cuenta en el diseño que gran parte del tiempo el depósito estará vacío y será utilizado como zona de juegos o de esparcimiento, aparcamiento, o terreno de juego para deporte. Por este motivo se recomienda que la profundidad se consiga de manera escalonada y con pendientes tendidas, siguiendo los criterios de seguridad de las zonas de juego y recreativas.

Se recomienda que la proporción largo-ancho esté entre 2 a 1 y 5 a 1. La pendiente mínima en la base debe ser del 1% en dirección al desagüe. Es necesario disponer de un elemento de drenaje y filtrado previo a la entrada del agua en el depósito, por lo que conviene disponer una franja filtrante alrededor del depósito. Si el terreno es permeable conviene colocar una lámina de impermeabilización. Es necesario incorporar uno o varios desagües, así como sistemas de emergencia para evacuar rápidamente el agua en caso de que se sobrepase la capacidad del depósito. Estos sistemas de evacuación del agua deben estar dentro de una zanja o arqueta de fácil acceso para mantenimiento.

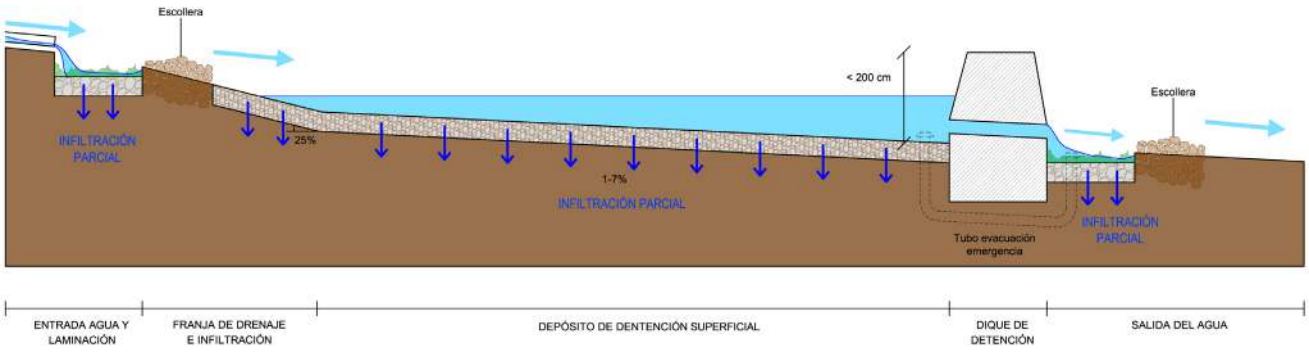


Figura 37. Esquema de depósito de detención e infiltración.

En la zona A es conveniente disponer grandes áreas de filtración en las proximidades del depósito. En estos climas se necesitan volúmenes mayores de almacenamiento. Se aconseja disponer áreas de tratamiento de las aguas mediante vegetación.

En la zona B se pueden utilizar depósitos de detención con menor capacidad volumétrica. En estos climas es conveniente combinar los depósitos de detención con zonas de estanques o humedales artificiales.

En la zona C es necesario disponer una zona previa de recogida de agua al final de los elementos de canalización y transporte, desde la cual se vierta el agua al depósito de manera gradual. Conviene instalar varios puntos de desagüe e incorporar una derivación alternativa (*bypass*) y aliviaderos para poder evacuar el agua en caso de que se supere la capacidad del depósito. Los espacios del depósito de detención se pueden utilizar como zonas de juego, áreas recreativas o de deportes en los periodos de sequía.

Si el acuífero y terreno lo permite, los depósitos de detención pueden infiltrar el agua al terreno.

Cuando no se dispone de terreno en superficie, o el entorno no permite una estructura a cielo abierto, los depósitos de detención se colocan enterrados. Esta también es una buena solución en la zona climatológica C. Con este sistema se evita la aparición de insectos y la evaporación. Además, se pueden alcanzar profundidades mayores, de hasta 6 metros, ya que no existe riesgo de caída.

En los depósitos enterrados se debe asegurar la estabilidad estructural propia y del terreno, teniendo en cuenta las sobrecargas que se pueden producir en los distintos estados del depósito (lleno - vacío). Hay que tener en cuenta el peso del terreno situado por encima del depósito y las sobrecargas probables por uso (coches, maquinaria, tránsito, etc.).

Diseño de humedales artificiales

Las aguas de escorrentía urbanas no pueden verterse en los humedales naturales, ya que afectarían muy negativamente al ecosistema natural, y lo contaminarían de manera irreversible. Únicamente los humedales artificiales diseñados para tal fin pueden almacenar y tratar las aguas de escorrentía urbana.

Los humedales artificiales deben incorporar cuatro áreas además de la zona permanentemente inundada:

1. Área de aguas profundas, con un calado de entre 50 y 200 cm, donde existe vegetación acuática flotante y sumergida.
2. Zona de vegetación baja con profundidades de entre 6 y 50 cm.
3. Área de alta vegetación, que debe ser la más extensa e incorporar gran cantidad y variedad de especies vegetales.
4. Zona inundable, situada por encima de la lámina permanente de agua, y cuya dimensión queda determinada por el volumen de agua que es necesario almacenar.

Se aconseja realizar un diseño que aproveche al máximo las cualidades paisajísticas del lugar de implantación, actuando además como zona de esparcimiento y de recreo. La profundidad máxima global será de 2 metros, y debe combinarse con las zonas de menor calado, de manera que las profundidades de más de 1 metro no superen el 20% de la superficie del humedal. La relación largo-ancho debe ser como mínimo de 3 a 1. Debe tener una gran cantidad de vegetación, preferiblemente autóctona. Se debe colocar una lámina geotextil entre el terreno original y el humedal, y dependiendo de la permeabilidad del terreno o de si se infiltrar o no el agua acumulada, se puede instalar una lámina impermeabilizante.

Debe contar con uno o varios desagües, así como sistemas de emergencia para evacuar rápidamente el agua en caso de que se sobrepase la capacidad del humedal, manteniendo la lámina permanente en todo caso. Estos sistemas de evacuación del agua deben estar dentro de una zanja o arqueta de fácil acceso para mantenimiento. En terrenos permeables y siempre que el terreno lo permita, es aconsejable incorporar zonas de infiltración dentro del humedal.

Los humedales están especialmente recomendados en la zona climatológica A, donde se recomienda utilizar humedales extensos y poco profundos. La incorporación de una zona de infiltración reduce el exceso de agua, volviendo más rápidamente al volumen original para poder seguir almacenando el agua de las siguientes lluvias. En la zona tipo B se recomienda utilizar humedales de dimensiones más reducidas. En las zonas climáticas tipo C no son recomendables los humedales artificiales.

Diseño de elementos de infiltración

Para poder utilizar elementos de infiltración el terreno debe ser suficientemente permeable (superior a 12mm/h). Además, el grado de contaminación de las aguas tiene que ser muy bajo para que la infiltración no contamine el terreno ni los acuíferos subterráneos. Los elementos de infiltración deben disponerse suficientemente alejados de las construcciones cercanas, ya que el agua podría afectar a su durabilidad, estructura y estabilidad.

En la zona climática C el sistema más adecuado son los depósitos de infiltración enterrados y la combinación de pozos a lo largo de las zanjas de infiltración. Las franjas de biorretención funcionan mejor en las climatologías tipo B y A. Además, en la zona A se necesitan dimensiones mayores de los elementos para conseguir una adecuada infiltración.

Diseño de zanjas y pozos de infiltración

Las zanjas de infiltración deben tener una profundidad de entre 100 y 200 centímetros, mientras que los pozos pueden llegar a profundidades de hasta 400 centímetros. El ancho de las zanjas debe estar entre 40 y 100 cm. Los pozos pueden ser más anchos, y generalmente circulares o cuadrados, de entre 120 y 200 metros de ancho o diámetro. El material de relleno debe ser grava o material reciclado con una granulometría entre 40 y 60 mm. Siempre que sea posible se obtendrá del entorno cercano, evitando transportes innecesarios. Entre el terreno natural y el material de relleno debe disponerse una lámina de geotextil como filtro para evitar la colmatación.

Antes de llegar a la zona de infiltración, es conveniente un pretratamiento de filtrado que elimine parte de los residuos sólidos. Para ello se recomienda que el acceso a los pozos y zanjas de infiltración se realice a través de franjas o zonas de filtrado.

En la zona climatológica A las zanjas deben ser considerablemente más anchas para tener una mayor capacidad. En zonas con pendiente la utilización de zanjas es más conveniente que los depósitos de infiltración. En todo caso el terreno debe ser suficientemente permeable para que el sistema funcione correctamente.

En la zona B Se recomienda el uso de zanjas frente al uso de pozos, ya que con su nivel de precipitación resultan más efectivas.

En lugares con lluvias esporádicas pero de gran intensidad como la zona C, se deben disponer pozos de infiltración a lo largo de las zanjas. Con esto se consigue tener una capacidad mayor necesaria durante las lluvias torrenciales. Además, se aconseja instalar desagües tanto en zanjas como pozos para poder enviar el agua a la red general en caso de superarse la capacidad.

Diseño de parterres inundables

Los parterres inundables (también llamados áreas de biorretención) pueden tener geometrías muy variadas. Se recomiendan como dimensiones aproximadas los 3 m de ancho y 6 m de largo para permitir el desarrollo de las plantas y árboles necesarios para el tratamiento del agua. La profundidad del terreno de relleno que conforma la franja de biorretención debe tener una profundidad mínima de 1 metro, en el caso de utilizar plantas y pequeños arbustos, y de 1,5 metros en el caso de que se incorporen árboles.

En la zona A se recomienda incorporar un tubo drenante en el subsuelo para evacuar el excedente de agua. En este caso se debe tener en cuenta la posible obstrucción de las tuberías por efecto de las raíces de las plantas y árboles. Siempre que se pueda se intentará colocar el tubo drenante donde no haya afección radicular, y se realizaran inspecciones periódicas de mantenimiento para comprobar su correcto funcionamiento.

En la zona B es necesario incorporar un sistema de riego para mantener la vegetación durante los dos primeros años de crecimiento y durante las épocas secas.

En la climatología tipo C es necesario incorporar además de un tubo drenante, un sistema de derivación alternativa (bypass) que evite verter una cantidad excesiva de agua al área de biorretención durante las intensas lluvias torrenciales. Las tuberías se colocaran en zonas donde no haya afección radicular, evitando así que se puedan obstruir. Igualmente, se deberán realizar inspecciones periódicas para comprobar su correcto funcionamiento. Además será necesario disponer un sistema de riego para la vegetación durante los dos primeros años de implantación y especialmente para las épocas de sequía.



Figura 38. Parterres inundables.

Diseño de depósitos de infiltración

El agua que llega a los depósitos de infiltración debe haber sido previamente tratada y filtrada en los elementos de conducción para eliminar las partículas sólidas y parte de la contaminación. Además, es necesario disponer una franja filtrante alrededor del depósito e introducir elementos de vegetación para contribuir al tratamiento de las aguas previamente a la infiltración.

El interior del depósito de infiltración debe ser lo más plano posible para que la infiltración se produzca de manera homogénea. La profundidad máxima de los depósitos superficiales debe ser menor de 3 metros, y la inclinación de los laterales como máximo del 25% para permitir la estabilidad de la vegetación y la seguridad de las personas. Los depósitos de infiltración enterrados pueden alcanzar profundidades mayores, de hasta 8 metros de profundidad.

En la zona climatológica tipo A se deben incluir desagües para evitar la saturación del depósito y aliviaderos para eliminar el excedente de agua.

En la zona B es conveniente combinar estos elementos de infiltración con elementos de almacenamiento como estanques y depósitos.

En la zona climática C resultan especialmente adecuados, sobre todo enterrados, ya que no mantienen una lámina permanente de agua y la trasladan al acuífero rápidamente gracias a la infiltración. En todo caso es necesario disponer un sistema de desagüe y aliviaderos para evitar el rebasamiento del depósito durante las lluvias torrenciales.

CRITERIOS DE DISEÑO INFILTRACIÓN			
Zona climática	Elemento de infiltración		
	Zanjas y pozos	Franjas de biorretención	Depósitos de infiltración
A	Mayor anchura y profundidad de las zanjas	Incorporar un tubo drenante en el subsuelo	Incorporar puntos de desagüe
B	Utilizar mayoritariamente zanjas de infiltración	Sistema de riego adicional para mantener la vegetación durante las épocas secas	Combinarlos con estanques y depósitos
C	Combinar con pozos de infiltración a lo largo de las zanjas. Incorporar desagües	Incorporar un tubo drenante en el subsuelo y un sistema de bypass	Sistema idóneo enterrado. Incorporar varios puntos de desagüe.

Tabla 9. Criterios de diseño para infiltración. Fuente: Tragsatec.

5.2. Criterios de diseño en zona inundable

El artículo 14 del capítulo III del RDPH considera zona inundable a "los terrenos que puedan resultar inundados por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo período estadístico de retorno sea de 500 años, atendiendo a estudios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, así como de series de avenidas históricas y documentos o evidencias históricas de las mismas en los lagos, lagunas, embalses, ríos o arroyos."

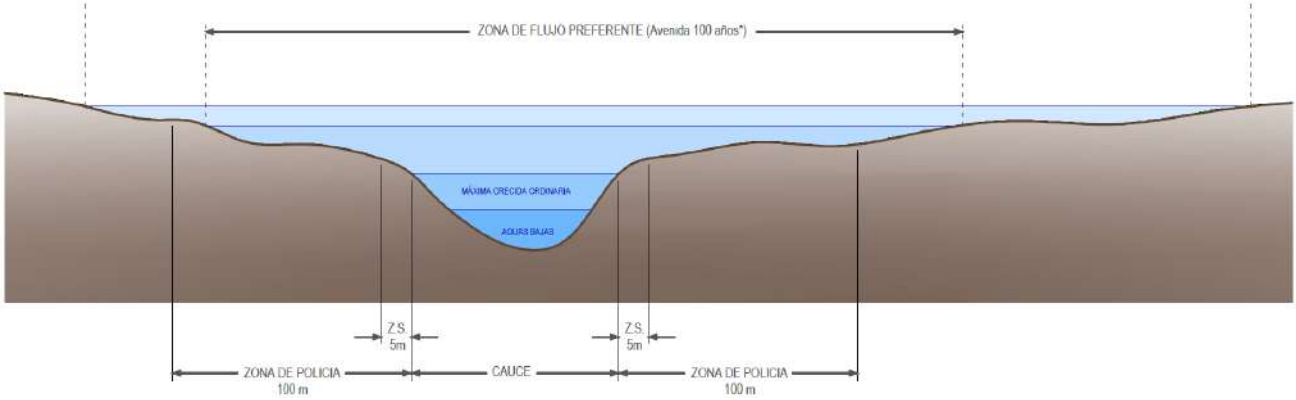


Figura 39. Esquema Dominio Público Hidráulico, zona de servidumbre, z. de policía y z. inundable.

Los terrenos calificados como zona inundable cumplen labores de retención o alivio de los flujos de agua y carga sólida transportada durante las crecidas, o de resguardo contra la erosión. En ellos es aconsejable únicamente la utilización de aquellos Sistema Urbanos de Drenaje Sostenible que favorecen la ralentización de los flujos de agua, como son pavimentos permeables o naturales.

El Reglamento del Dominio Público Hidráulico, en sus artículos 6 y 7, indica que se debe "dejar una zona de servidumbre de 5 metros de anchura para el paso público peatonal y de los servicios de vigilancia, conservación y salvamento". En esta franja no se colocarán áreas filtrantes que dificulten el paso, como son el material de escollera o grandes bolos en las áreas filtrantes. Será preferible el uso de gravas y terreno vegetal.

En los casos en los que la edificación existente no permita ubicar áreas filtrantes por falta de espacio, se deberán colocar estratégicamente bandas filtrantes junto al cauce, y drenes filtrantes en la zona urbanizada. Es recomendable aprovechar la zona de servidumbre como banda filtrante longitudinal a lo largo de todo el cauce. Una superficie de gravas o material vegetal permite el paso de servicios de emergencia y a la vez es capaz de ralentizar, drenar e infiltrar el agua en caso de desbordamiento.

En la zona de policía es recomendable ejecutar uno o varios elementos de almacenamiento. Su posición será lo más alejada posible del cauce, pero dentro del ámbito de los 100 metros. Así se consigue situar el depósito antes de que el agua llegue a la zona urbanizada, y a su vez tener espacio suficiente desde el punto de desbordamiento para drenar el agua y ralentizar la escorrentía antes de que llegue al dispositivo de almacenamiento.

Dentro de las tipologías de elementos de almacenamiento e infiltración definidos en esta guía, se recomienda el uso de depósitos de detención e infiltración superficiales. Con estos depósitos se permite la infiltración del agua desbordada durante la inundación, y el aprovechamiento como zona de ocio o de juegos durante los periodos secos. Los depósitos de almacenamiento se deben situar fuera de la zona de servidumbre para no entorpecer el paso.

Adicionalmente se pueden implantar depósitos de infiltración superficiales en la zona inundable urbanizada, aprovechando plazas y parques, e integrándolos en el diseño urbano y paisajístico del lugar. El vertido de las aguas a los depósitos de infiltración se deberá realizar mediante zanjas filtrantes situadas a lo largo de las calles.

5.3. Criterios de mantenimiento

Para garantizar un buen funcionamiento y durabilidad de los elementos de drenaje sostenible es indispensable realizar un mantenimiento periódico de los mismos. Con un diseño y mantenimiento adecuado conseguimos reducir notablemente los costes directos e indirectos del sistema: por una parte, los costes de mantenimiento son menores que los de reparación; por otra parte, la eficiencia del sistema es mayor, lo que se traduce en un ahorro en las medidas activas de depuración y tratamiento de las aguas.

Los criterios de mantenimiento deben ajustarse a las necesidades de cada uno de los sistemas y elementos de drenaje, y a la climatología.

Mantenimiento en elementos para el control en origen

Mantenimiento en cubiertas

Se deben realizar como mínimo tres inspecciones al año para retirar las especies vegetales no deseadas, podar y verificar las necesidades de riego. Además, se controlará el estado de las canalizaciones, sumideros y desagües. En las inspecciones en cubiertas inclinadas conviene revisar además que no se haya producido ningún desprendimiento ni deslizamiento del sustrato.

Dependiendo de la vegetación utilizada las necesidades de mantenimiento varían considerablemente. Algunos tipos de vegetación extensiva no necesitan un mantenimiento especial por lo que es suficiente con instalar un sistema de riego por goteo para las épocas de secas y realizar un control anual. En cubiertas donde se utilice vegetación tipo sédum, éste se debe mantener y segar según las necesidades propias de cada especie. En cubiertas intensivas las labores de mantenimiento son las mismas que en un jardín, y dependen del proyecto paisajístico y de las necesidades de riego y poda de las especies utilizadas. La vegetación se debe segar o podar periódicamente de manera que no afecte a elementos estructurales ni a las instalaciones presentes en la cubierta, y que no se extienda más allá de lo previsto.

En general, para todas las zonas climáticas, después de unas lluvias intensas es conveniente realizar una inspección adicional para verificar que todos los elementos se encuentran en buen estado. En la Zona climatológica C es conveniente además realizar una inspección y limpieza adicional de los canalones, sumideros y bajantes después de las épocas secas para garantizar un correcto funcionamiento durante las lluvias torrenciales.

Igual que sucede con las cubiertas convencionales, en caso de observar síntomas de infiltración de agua al interior del edificio, se buscará rápidamente el punto problemático en la lámina impermeabilizante y se procederá a su reparación o reemplazamiento.

Mantenimiento de pavimentos permeables

Durante la fase de diseño se incluirá el plan de mantenimiento del material, que se deben entregar al propietario o a la administración pública competente.

El comportamiento del pavimento permeable debe ser inspeccionado regularmente, preferiblemente después de lluvias intensas, para detectar posibles áreas de encharcamiento que indicarían un funcionamiento incorrecto. En pavimentos disgregados se debe revisar que no haya zonas con pérdida de material.

Deben limpiarse con regularidad para eliminar los residuos sólidos y sedimentos, y preservar la capacidad de infiltración. En los pavimentos discontinuos hay que prestar especial atención a las juntas y evitar que se obstruyan. Cómo mínimo deben realizarse 3 operaciones de limpieza al año. Se recomienda que estas se realicen al final de las diferentes épocas climatológicas.

En los pavimentos disgregados la limpieza debe realizarse mediante sistemas por aire. En el caso de pavimentos vegetales se debe garantizar un riego mínimo que dependerá de la especie vegetal utilizada. En zonas de pocas precipitaciones será necesario instalar un sistema de riego adicional.

Si es necesaria la reconstrucción de alguna zona del pavimento se deberá seguir el siguiente procedimiento: En primer lugar se quitará la capa superficial de pavimento y se eliminará la lámina geotextil. Seguidamente, se inspeccionará la sub base granular y se limpiará o sustituirá si fuese necesario. Por último se instalará una nueva lámina geotextil y se colocará el nuevo pavimento. La reparación de una parte del pavimento discontinuo es más sencilla y económica que la de un pavimento continuo de hormigón poroso.

Mantenimiento en elementos de ralentización y conducción

En aquellos elementos de ralentización que tengan superficies vegetadas, como las franjas de filtración o las cunetas vegetales, es necesario realizar inspecciones periódicas y labores de limpieza, siega y control de la vegetación. La limpieza se realizará como mínimo cada 4 meses. Se recomiendan sistemas de succión/presión a base de aire o sistemas a base de agua para eliminar los residuos en las zonas vegetadas. La eliminación de especies no deseadas y la siega de la vegetación se deberán realizar igualmente cada 4 meses.

Es necesario instalar una red de riego para los dos primeros años de implantación de la vegetación, y para los periodos de sequía, especialmente en la zona climática C. La red de riego deberá estar diseñada acorde con las necesidades de las especies plantadas.

También conviene realizar inspecciones sobre la durabilidad del material filtrante, al menos una vez cada 6 meses. Si se encuentra alguna zona erosionada o en la que existe una pérdida de material filtrante (gravas, tierras, etc.) se deberá reemplazar inmediatamente y solucionar el origen de dicha pérdida. En estas inspecciones también se debe comprobar que no exista ninguna zona de encharcamiento.

En los elementos drenantes excavados, como zanjas filtrantes y drenajes bajo cunetas, se debe evitar que el elemento de conducción se atasque y que se produzcan encharcamientos. Para ello es necesario eliminar los sedimentos del sistema de pre tratamiento, al menos dos veces al año, y limpiar o cambiar los elementos de relleno, la lámina geotextil o el tubo poroso siempre que sea necesario. Se deberá realizar una inspección general de la zanja y especialmente de los elementos de entrada y salida de agua para detectar problemas de obstrucción y proceder a su reparación. Se realizará una inspección de la capa superficial de la zanja cada 6 meses para identificar síntomas de erosión, obstrucción, sedimentación y contaminación, y proceder a su reparación.

En lugares incluidos en la zona climatológica C se conviene además realizar una inspección general después de precipitaciones intensas, y reparar los desperfectos ocasionados.

Mantenimiento de sistemas de almacenamiento

En los elementos de almacenamiento es necesario realizar varias limpiezas al año para eliminar los elementos sólidos, basuras y residuos. Además, en los sistemas de almacenamiento que incorporen vegetación se deberá realizar un mantenimiento trimestral de la misma, realizando la siega y poda necesaria y la eliminación de las plantas no deseadas. Una vez al año se replantaran las zonas donde haya pérdida de vegetación.

Anualmente, deberán revisarse los conductos de introducción y extracción de agua, tuberías y desagües, y eliminar los sedimentos que puedan contener o, si es necesario, restituir el elemento. En zonas climáticas tipo A es conveniente realizar dos revisiones al año.

También una vez al año se realizará una inspección general del depósito para encontrar daños debidos a la erosión, o desprendimientos de terreno. Estas revisiones deberán hacerse adicionalmente después de grandes tormentas, especialmente en la zona climatológica tipo C. Además se comprobará la estabilidad del depósito y los posibles daños ocasionados para proceder a su reparación inmediata.

En los elementos de almacenamiento donde la presencia de vegetación sea especialmente importante, como estanques y humedales, las necesidades de mantenimiento de la vegetación serán mayores, y estarán determinadas por las especies vegetales utilizadas. El mantenimiento de las plantas acuáticas, en caso de que las hubiese, se realizará anualmente.

En los sistemas de almacenamiento en los que no existe lámina permanente de agua se eliminaran al menos una vez al año los sedimentos que queden en el fondo cuando el depósito esté seco. Si se trata de estanques o humedales que contienen cierta cantidad de agua permanente, esta operación de mantenimiento se realizará por zonas cada 5 años.

En los estanques y humedales que contengan cierto volumen de agua permanentemente se deberá realizar un control de la calidad de la misma. Se debe controlar el grado de acidez anualmente, así como los signos de eutrofización dos veces al año, coincidiendo con la temporada más cálida.

Mantenimiento en elementos de infiltración

En los elementos de infiltración a base de zanjas y pozos se deben seguir los mismos criterios de mantenimiento que en los drenes y zanjas filtrantes. Además, se debe controlar el estado de la zanja de infiltración después de lluvias intensas, para comprobar que la velocidad de infiltración es la adecuada y que no se producen encharcamientos.

Los depósitos de infiltración tienen los mismos requisitos a nivel de mantenimiento que los sistemas de almacenamiento. Se debe hacer especial hincapié en la eliminación de residuos en la base del depósito para evitar obstruir la infiltración.

En el caso de los elementos de biorretención, los requerimientos de mantenimiento son superiores: es necesario realizar una inspección trimestral para comprobar si hay síntomas de erosión o de falta de material o vegetación y restaurarlo inmediatamente. En estas inspecciones también se debe comprobar si existen encharcamientos provocados por daños u obstrucciones en el sistema de drenaje e infiltración y reparar su causa. Se debe proceder a la eliminación de residuos y sedimentos al menos dos veces al año. Si el material superficial es mulch, éste se debe cambiar una vez al año. La vegetación que conforma el área de biorretención debe tener el cuidado y el mantenimiento correspondiente a la tipología de especies utilizadas. La poda de arbustos y árboles se debe realizar al menos una vez cada dos años, y se debe eliminar la vegetación no deseada como mínimo anualmente. Es necesario aportar un sistema de riego adicional, preferiblemente riego por goteo, para abastecer a la vegetación durante periodos secos.

Tabla resumen de criterios de mantenimiento

Zanjas y pozos			
Elementos de control en origen	Cubiertas	Retirar las especies no deseadas y verificar las necesidades de riego	3 veves al año
		Controlar el estado de las canalizaciones, sumideros y desagües	3 veces al año
		Mantenimiento de la vegetación: riego, corte, poda, abono etc	Según vegetación utilizada
	Pavimentos	Inspección general: detectar encharcamientos y pérdidas de material en pavimentos disgregados	Trimestralmente + después de lluvias intensas
		Limpieza: eliminar residuos sólidos y sedimentos. Especial atención a las juntas y sistemas de aire para pavimentos disgregados	3 veces al año
		Mantenimiento de la vegetación: riego, corte, poda, abono etc en pavimentos vegetales	Según vegetación utilizada
Elementos de ralentización y conducción		En zonas vegetadas: Retirar las especies no deseadas, verificar las necesidades de riego	3 veces al año
		En zonas vegetadas: realizar el mantenimiento de la vegetación (corte, poda, abono)	3 veces al año
		Limpieza: eliminar residuos sólidos y sedimentos mediante sistemas de aire o agua	3 veces al año
		Inspecciones sobre la calidad del material filtrante. Reemplazar zonas erosionadas o de falta de material. Alertar encharcamientos	Cada 6 meses
		En zanjas filtrantes y drenajes enterrados: Eliminar los sedimentos del sistema de pretratamiento	Cada 6 meses
		Inspección superficial de la zanja: identificar síntomas de erosión, obstrucción, sedimentación y contaminación, y proceder a su eliminación	Cada 6 meses
		Limpiar o cambiar los elementos de relleno, la lámina geotextil o el tubo poroso	Siempre que sea necesario (encharcamientos)
		Inspección y limpieza de los elementos de entrada y salida de agua de las zanjas y drenes	Trimestralmente
Sistemas de infiltración		Limpieza para eliminar los elementos sólidos, basuras y residuos	3 veces al año
		Mantenimiento de la vegetación: Retirar las especies no deseadas, verificar las necesidades de riego y operaciones de corte, poda y abono	3 veces al año (o según vegetación)
		Replantar zonas donde haya pérdida de vegetación	Una vez al año (y siempre que sea necesario)
		Revisión de conductos de introducción y extracción de agua (tuberías, desagües, aliviaderos) Eliminar los sedimentos o, si es necesario, restituir el elemento	Anualmente (2 veces al año en zona A)
		Inspección general: erosión, desprendimientos de terreno y estabilidad	Anualmente y después de tormentas intensas
		Eliminar los sedimentos del fondo del depósito. En depósitos con lámina de agua permanente se realizará por zonas	Anualmente (cada 5 años en lámina permanente)
		Control de la calidad del agua en láminas permanentes (acidez, eutrofiación)	2 veces al año (en épocas calurosas)
Sistemas de infiltración		Eliminar los sedimentos del sistema de pretratamiento	Cada 6 meses
		Inspección superficial de la zanja: identificar síntomas de erosión, obstrucción, sedimentación y contaminación, y proceder a su eliminación	Cada 6 meses
		Limpiar o cambiar los elementos de relleno o la lámina geotextil	Siempre que sea necesario (encharcamientos)
		Inspección y limpieza de los elementos de entrada y salida de agua	Trimestralmente
		Eliminar los sedimentos del fondo del depósito. En depósitos con lámina de agua permanente se realizará por zonas	Anualmente
		Inspeccion en elementos de biorretención para comprobar si hay detectar encharcamientos, síntomas de erosión o de falta de material o vegetación	3 veces al año
		En elementos de biorretención: eliminación de residuos y sedimentos	Trimestralmente
		Mantenimiento de la vegetación en zonas de biorretención (riego, poda, abono, eliminación de plantas indeseadas etc)	Según especies vegetales utilizadas
		Control de la calidad del agua en láminas permanentes (acidez, eutrofiación)	2 veces al año (en épocas calurosas)

Tabla 10. Tabla resumen mantenimiento SUDS. Fuente: Tragsatec.

Los elementos de entrada y salida de agua se deben inspeccionar y limpiar trimestralmente y adicionalmente, después de grandes tormentas para evitar obstrucciones.

5.4. En caso de inundación

Los planes de emergencia marcan las pautas de actuación en caso de inundación. Se distinguen cuatro niveles:

- **Planes territoriales:** ámbito territorial de las comunidades autónomas. Son planes de actuación generales en caso de emergencia.
- **Plan territorial municipal:** Su elaboración le corresponde al ayuntamiento. Es de alcance local para cualquier tipo de emergencia.
- **Planes especiales:** Se elaboran para hacer frente a riesgos concretos, que requieran una metodología técnico-científica determinada como es el caso de las inundaciones. Por ejemplo, el *"Plan de Actuación en caso de Inundaciones, Orden 1624/2000, de 18 de abril"* en la comunidad de Madrid.
- **Planes de autoprotección:** Planes que incluyen acciones y medidas para prevenir y controlar los riesgos sobre las personas y los bienes. Incluyen inventarios de bienes.

En caso de que algún municipio no disponga planes municipales de actuación ni planes de autoprotección, se recomienda la elaboración de los mismos atendiendo a las pautas de la División de Protección Civil. En todo caso, es recomendable implantar un sistema automatizado de notificación de emergencia de inundación a nivel local.

Tras los episodios de inundación, y cuando ya se haya retomado la normalidad, es necesario realizar una inspección de todos los elementos que componen el sistema urbano de drenaje sostenible, y reparar roturas, derrumbamientos o desperfectos.

En caso de inundación urbana, los ayuntamientos afectados pueden solicitar la declaración de "zona afectada gravemente por una emergencia de protección civil", y activar el plan de ayudas mediante Real Decreto, tal y como establece la "Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil" en el capítulo V. Independientemente de estas ayudas extraordinarias, el Consorcio de Compensación de Seguros es quien cubre la indemnización de daños por inundaciones extraordinarias en bienes asegurados.

Leyenda

Grado de necesidad	+	Indispensable
		Aconsejable
	-	No necesario

	ELEMENTO DEL SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE										
	ORIGEN		TRANSPORTE			ALMACENAMIENTO			INFILTRACIÓN		
	CUBIERTAS VEGETADAS	PAVIMENTOS PERMEABLES	DRENES FILTRANTES	FRANJAS FILTRANTES	CUNETAS VERDES	ESTANQUES DE RETENCIÓN	DEPÓSITOS DE DETENCIÓN	HUMEDALES ARTIFICIALES	ZANJAS Y POZOS	BIORRETENCIÓN	DEPÓSITOS DE INFILTRACIÓN
MANTENIMIENTO REGULAR											
Inspección	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Eliminación de residuos / limpieza superficial	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Corte / poda y mantenimiento de vegetación	+			+	+	+	+	+		+	
Eliminación de plantas no deseadas	+					+		+			
MANTENIMIENTO OCASIONAL											
Eliminación de residuos sólidos y sedimentos	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Reemplazamiento de material			+						+		
Drenes y elementos de entrada y salida de agua	+		+		+	+	+	+	+	+	+
Reemplazamiento de vegetación											
REPARACIÓN											
Rehabilitación estructural											
ancondicionamento de la superficie de infiltración		+			+				+	+	+

Tabla 11. Grados de necesidad de mantenimiento. Fuente: Tragsatec.

Viene de pág. 40: **Tabla resumen de criterios de diseño**

		CLIMATOLOGÍA		
		Zona A	Zona B	Zona C
		Precipitaciones frecuentes de intensidad media	Precipitaciones estacionales de intensidad media	Precipitaciones ocasionales de gran intensidad
CUBIERTAS VEGETALES	CUBIERTAS VEGETALES PLANAS	Extensiva pequeño aljibe (< 4 cm)	Extensiva con gran aljibe(> 15 cm)	Extensiva pequeño aljibe en cubierta + Gran depósito adicional enterrado
	CUBIERTAS VEGETALES INCLINADAS	Extensiva monocapa Espesor total entre 14 y 18 cm	Extensiva con capa drenante retenedora de agua Pendiente entre 20% y 50% Sustrato entre 5 y 7 cm	Elementos precultivados + Gran depósito adicional enterrado
PAVIMENTOS	CONTINUOS POROSOS	En terrenos muy permeables. TIPO 2: Infiltración parcial + tubo drenante	En terrenos muy permeables. TIPO 1: Permeabilidad directa al terreno	En terrenos muy permeables. TIPO 2: Infiltración parcial + tubo drenante
	DISCONTINUOS	En zonas urbanas muy transitadas. TIPO 2: Infiltración parcial + tubo drenante	En zonas urbanas muy transitadas. TIPO 1: Permeabilidad directa al terreno	En zonas urbanas muy transitadas. TIPO 2: Infiltración parcial + tubo drenante
	DISGREGADOS (DRENANTES)	En parques y zonas recreativas de las ciudades. TIPO 2: Infiltración parcial + tubo drenante	En parques y zonas recreativas de las ciudades. TIPO 1: Permeabilidad directa al terreno	No recomendable en zonsa con pendiente. TIPO 2: Infiltración parcial + tubo drenante
ELEMENTOS DE RALENTIZACIÓN Y CONDUCCIÓN	DRENES FILTRANTES	Dren francés (Incorporación de tubería porosa)	Zanja filtrante sin tubería porosa	Dren francés (Incorporación de tubería porosa)
	FRANJAS Y ÁREAS FILTRANTES	Pendientes pronunciadas. Uso de tubos de drenaje en la base. Se recomienda acabado vegetal	Acabados vegetales Aconsejable conjugarlos con gravas y arenas	Uso de gravas y material reciclado. Evitar elementos filtrantes vegetales
	CUNETAS VERDES Y RELLENAS	Cuneta húmeda vegetada	Cuneta vegetada convencional	Cuneta seca rellena de gravas
SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO	ESTANQUES DE RETENCIÓN	Lámina permanente de agua 50% del vólumen óptimo	Volumen de agua permanente = volumen óptimo	En climas húmedos y calurosos se recomienda utilizar otros sistemas de almacenaimiento
	DEPÓSITOS DE DETENCIÓN	Volumenes más grandes. Grandes áreas de infiltración en los alrededores	Combinarlos con estanques	Sistema óptimo enterrado. Zona de recogida de agua previa a la entrada en el depósito. Varios desagües
	HUMEDALES ARTIFICIALES	Humedales poco profundos de detención extendida	Dimensiones más reducidas	No recomendable. Incorporar variaciones importantes de profundiad
ELEMENTOS DE INFILTRACIÓN	ZANJAS Y POZOS DE INFILTRACIÓN	Mayor anchura y profundidad de las zanjas	Utilizar mayoritariamente zanjas de infiltración	Combinar con pozos de infiltración a lo largo de las zanjas. Incorporar desagües
	FRANJAS DE BIORETENCIÓN	Incorporar un tubo drenante en el subsuelo	Sistema de riego adicional para mantener la vegetación durante las épocas secas	Incorporar un tubo drenante en el subsuelo y un sistema de by-pass
	DEPÓSITOS DE INFILTRACIÓN	Incorporar puntos de desagüe	Combinarlos con estanques y depósitos	Sistéma idóneo en esta climatología. Incorporar puntos de desagüe.

Tabla 12. Criterios de diseño. Tabla resumen. Fuente: Tragsatec.

PERMEABILIDAD DEL TERRENO			FINALIDAD							OTRAS CARACTERÍSTICAS
Baja	Media	Alta	DETENCIÓN	RALENTIZACIÓN	FILTRADO	ALMACENAMIENTO	DESCONTAMINACIÓN	INFILTRACIÓN	MEJORA MEDIOAMBIENTAL	Características geométricas y consideraciones a tener en cuenta
< 10-5		> 10-1								
-	-	-	■	■	■				■	En todos los casos se recomienda disponer un depósito adicional enterrado, especialmente en la zona C
-	-	-			■				■	Se recomienda disponer un depóstio adicional enterrado. Si la pendiente es > 40% se deben incorporar elementos auxiliares para evitar la pérdida del sustrato por deslizamiento
TIPO 3: Canalización total	TIPO 2: Infiltración parcial + tubo drenante	TIPO 1: Permeabilidad directa al terreno			■		■	■		Porosidad >15%. Permeabilidad entre 0,5 y 5 cm/s. Si el terreno no admite la infiltración se debe instalar una capa impermeabilizante en las capas inferiores
TIPO 3: Canalización total	TIPO 2: Infiltración parcial + tubo drenante	TIPO 1: Permeabilidad directa al terreno	■	■	■		■	■		Se recomienda utilizar formatos de entre 15 y 80 cm. Juntas más anchas para una mayor permeabilidad. Anchura mínima de junta 5 mm
TIPO 3: Canalización total	TIPO 2: Infiltración parcial + tubo drenante	TIPO 1: Permeabilidad directa al terreno	■	■	■		■	■		Con granulometrías más grandes se consigue una permeabilidad mayor
Incorporar tubería porosa	Posibilidad de infiltración	Zanja filtrante sin tubería porosa		■	■		■	■		Profundidad entre 100 y 200 cm. Material de relleno 40 - 60 mm. Incorporar lámina geotextil entre el terreno y el relleno. Incorporar elementos de filtrado previos
Pendientes mayores. Colector en la base	Infiltración parcial	Posibilidad de infiltración		■	■		■		■	Ancho mínimo recomendable 5 m. Velocidades entre 0,3 m/s y 1,5 m/s. Pendiente entre 1/20 y 1/50. Evitar el uso de árboles y arbustos en las zonas centrales
Incorporar tubería porosa	Cuneta vegetada convencional	Posibilidad de infiltración	■	■	■		■	■	■	Velocidad máxima entre 1 y 2 m/s. Pendiente longitudinal entre 0,5% y 3%. Pendiente transversal máxima 35%. Base horizontal mínima de 50 cm. Cota superior enrasada con el pavimento contiguo
Impermeabilizar	Impermeabilizar	Impermeabilizar	■			■	■		■	Zona permanente de agua: pendiente máxima del 7%. Profundidad máxima 2 m. Zona de acumulación: pendiente máxima 25%. Profundidad mínima1,2 m. Profundidad mínima agua de acumulación 1,2 m. Proporción largo-ancho entre 3 a 1 y 5 a 1. Necesidad de aliviaderos
Impermeabilizar	Impermeabilizar	Impermeabilizar	■			■			■	Pendiente máxima 25%. Pendiente mínima 1%. Proporción largo-ancho entre 2 a 1 y 5 a 1. Profundidad máxima 3 m. Desagüe con facilidad de acceso para mantenimiento
Impermeabilizar	Impermeabilizar	Posibilidad de no Impermeabilizar				■	■		■	Combinardistintas profundidades. Profundidad máxima 2 m. Profundidades >1 m no deben superar el 20% de la superficie. Relación largo-ancho mínimo 3 a 1. Utilizar vegetación autóctona. No verter escorrentía urbana en humedales naturales
NO	Si las condiciones lo permite. Dimensiones mayores	Sí, si las condiciones lo permiten	■	■	■		■	■		Profundidad zanjas entre 1 y 2 m, pozos hasta 4 m. Ancho entre 0,4 y 1 m en zanjas y entre 1 y 2 m en pozos. Material de relleno 40 - 60 mm. Necesidad de pretratamiento y filtrado
NO	Si las condiciones lo permite. Dimensiones mayores	Sí, si las condiciones lo permiten	■	■	■		■	■	■	Incorporar árboles y arbustos. Dimensiones mínimas recomendadas 3x6 metros
NO	Si las condiciones lo permite. Dimensiones mayores	Sí, si las condiciones lo permiten	■	■		■	■	■	■	Interior del depósito completamente plano. Profundidad máxima 3m. Inclinación máxima en los bordes 25%

6. CASOS PRÁCTICOS

Con la finalidad de poner en práctica las estrategias definidas en esta guía, y para que puedan servir como referencia, se detallan ejemplos en los que se han utilizado Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

Se recogen ejemplos de proyectos construidos, actuaciones urbanísticas, y normativas de distinto alcance realizadas por la administración pública.

6.1 Implantación de SUDS en el Parque de Gomeznarro, Madrid

Situación

El parque de Gomeznarro está localizado en la zona noreste de la ciudad de Madrid, en el distrito de Hortaleza. Pertenece a un clima caracterizado por tener precipitaciones estacionales con periodos secos y periodos lluviosos continuados, y un riesgo medio de inundaciones (zona climatológica B definida en esta guía)

Se trata de un parque lineal de 10.000 m^2 que comunica la calle de Gomeznarro con la Carretera de Canillas. Está situado en un enclave residencial con una elevada proporción de viviendas de protección oficial de entre 1 y 5 alturas.



Figura 40. Localización del parque de Gomeznarro.

Problemática y objetivos

El parque se caracteriza por tener fuertes pendientes longitudinales y transversales. En el estado previo a la actuación, presentaba un importante deterioro debido a la erosión y a la escorrentía urbana. Las pendientes en dirección a las viviendas colindantes provocaban encharcamientos en las zonas de tránsito y de acceso a las viviendas, llegando incluso a provocar humedades y pequeñas inundaciones en las viviendas durante periodos de lluvias de intensidad media.

Con la finalidad de resolver estos problemas, la Junta Municipal del Distrito de Hortaleza promovió en 2002 la rehabilitación del parque de Gomeznarro. Las obras empezaron en enero de 2003, y tuvieron una duración de 3 meses. El parque quedó inaugurado oficialmente en mayo de 2003, dos meses después de su finalización.

Los objetivos principales de la actuación eran:

- Evitar la erosión, la contaminación y los procesos de degradación del parque debidos a la escorrentía urbana, y restaurar el ciclo natural del agua.
- Captar y detener el agua de lluvia para evitar su contaminación y poder utilizarla para riego del parque, o infiltrarla en el medio natural.
- Disminuir la cantidad de agua que llega a la red general de saneamiento para evitar la sobrecarga de la misma y reducir los costes de depuración del agua.
- Eliminar los encharcamientos, inundaciones y humedades en las viviendas cercanas.
- Aumentar la superficie vegetada del barrio.

Actuación

En primer lugar se eliminó el pavimento impermeable existente y se regeneró el terreno erosionado y compactado. Se instalaron pavimentos de alta permeabilidad sobre celdas de drenaje de polipropileno, y se aprovechó la topografía para crear áreas de captación en zonas deprimidas.



Figura 41. Instalación de celdas de drenaje bajo pavimento. Zona de captación deprimida.

Se instalaron varios depósitos de infiltración enterrados mediante cajas modulares de polipropileno, y se conectaron a la red de captación y conducción de las aguas pluviales. Finalmente, se procedió a la revegetación de toda la zona, reforzando y protegiendo el suelo natural en zonas de tránsito



Figura 42. Situación final y detalle sección constructiva transversal.

Resultados obtenidos

En mayo de 2003 se inauguró el parque remodelado. Desde entonces se han realizado numerosas inspecciones, especialmente durante periodos de lluvias, en las que se han observado notables mejoras en la gestión del agua de lluvia y en la calidad de vida de los usuarios:

- Los procesos de escorrentía y erosión han desaparecido.
- Ya no se producen encharcamientos ni inundaciones en la zona de las viviendas, por lo que han desaparecido las humedades.
- Mejor integración paisajística y medioambiental. Incremento del valor paisajístico del barrio.
- Reducción de la temperatura ambiental y mejora de la calidad atmosférica.
- La frecuencia y duración de las visitas por parte de los usuarios ha aumentado.
- Disminución de los actos vandálicos en el parque.
- Se evita contaminar y aportar a la red general una cantidad aproximada de 5.000.000 de litros/año, lo que conlleva una reducción de los costes de depuración

El presupuesto total del ayuntamiento de Madrid ascendió a 343.588,87€. Con este presupuesto se consiguió la rehabilitación e implantación de SUDS en un parque de 10.000 m^2 en una duración de 3 meses.

6.2 Cubierta vegetal y aljibe en edificio administrativo, Parc Bit.

Situación

El parque empresarial tecnológico Parc Bit se localiza en la carretera de Valldemossa, próximo a la Universidad y a Palma de Mallorca. Acoge a diferentes empresas e instituciones, en varios edificios ordenados conforme al plan urbanístico diseñado por Rogers architects. Dicho planeamiento incluye medidas para recuperar el ciclo natural del agua como: separación de pluviales y fecales, recuperación de pluviales en todos los edificios, con aljibes, respeto a la rambla preexistente, zonas de aparcamiento con sistemas de drenaje sostenible como estanques de retención, bandas filtrantes y zanjas de infiltración.

El edificio, complejo balear de investigación, distribuye sus 10.140 m² en dos bloques unidos por sótano. La autoría y dirección de obra corresponden a Tragsatec.



Figura 43. Localización del Parc Bit y edificio Complejo Balear de Investigación.

Objetivos

El edificio está destinado a albergar actividades de investigación y desarrollo dentro del campo científico tecnológico. Desde el diseño se busca una máxima integración en el paisaje, minimizar el impacto, y favorecer el confort ambiental y visual de los ocupantes.

La recuperación del agua de lluvia, la minimización de riego y la eficiencia energética del edificio son algunos de los objetivos ambientales que el proyecto persigue.

Actuación

El edificio se encuentra en la actualidad en la fase final de construcción, y han sido ejecutadas ya las cubiertas y las instalaciones.



Figura 44. Complejo balear de investigación, Parc Bit. Cubiertas vegetales, zanja drenante en patio y fachada vegetada.

Dispone de más de 2.300 m² de cubierta vegetal, un aljibe de 170 m³, que recupera el agua de lluvia de cubiertas y urbanización, un sistema de riego por goteo programado desde el mismo para cubiertas, patios y vegetación de fachadas soleadas, y patios vegetados con zanjas de infiltración.



Figura 45 Cubiertas vegetales Parc Bit.

6.3 Depósito de detención en el Parque Apeadero de Paterna, Valencia

Situación

El municipio de Paterna está situado a 5 km al interior de la ciudad de Valencia. Pertenece a un clima que se caracteriza por sus episodios de torrencialidad, con lluvias esporádicas y de gran intensidad y elevado riesgo de inundaciones, desertificación y sequía (zona climatológica C definida en esta guía). En 2016 la precipitación media anual fue de 403,8 mm, registrándose la precipitación media máxima en noviembre con 132,4 mm, y la mínima en julio con 0,0 mm.

El río Turia atraviesa el término municipal de Paterna a aproximadamente 500 metros de la zona urbana. Desde el punto de vista hidrogeológico, pertenece al Sistema acuífero nº 51 "Plana de Valencia".



Figura 46. Ámbito del P.G.O.U. de Paterna y Cuenca vertiente del Barranco de la Fuente.

Entre la zona industrial Fuente del Jarro, y la zona urbana residencial se ha desarrollado la actuación urbanística "Parque Apeadero" con una superficie de 27.000 m². El ámbito de actuación está formado por terrenos improductivos y de carácter marginal, debido a su emplazamiento en una zona de transición entre el polígono industrial y el casco urbano, y por ser el cauce de desagüe del "Barranco de La Fuente". La zona residencial de la Cañada y el Polígono Industrial Fuente del Jarro vierten todas sus aguas al "Barranco de La Fuente" que discurre enterrado en la zona del polígono industrial.

Problemática y objetivos

Habitualmente se producían encharcamientos en esta zona debido a la topografía del terreno, a la urbanización en el entorno del barranco y a la configuración de las vías de comunicación (carreteras y vías de tren).

Según el Plan de Acción Territorial ante el Riesgo de Inundaciones de la Comunidad Valenciana (PATRICOVA), se trata de una zona con riesgo de inundación nivel 3 dentro de una escala de 6 niveles.

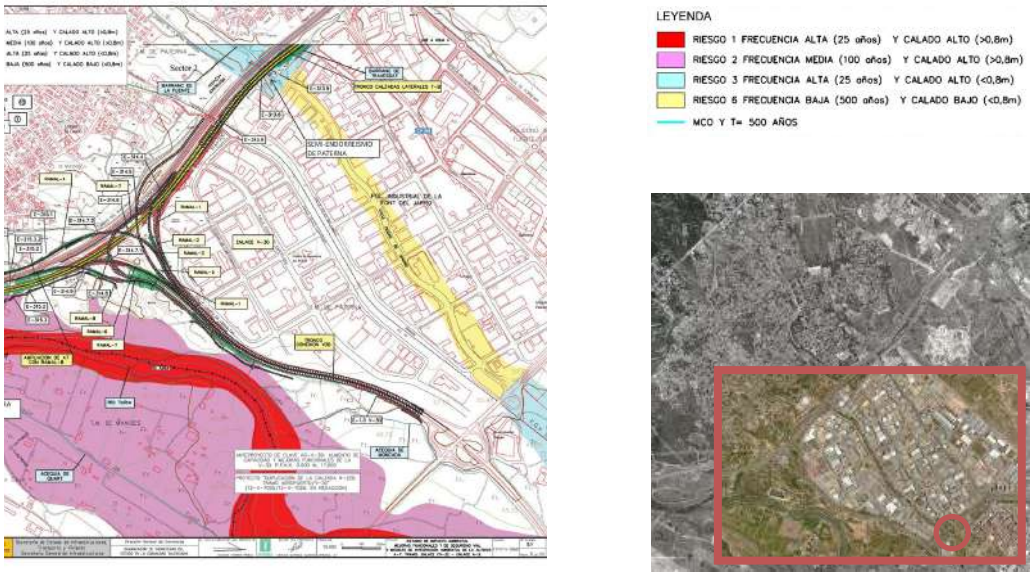


Figura 47. Riesgo de inundación.

Además, destaca la gran contaminación del río a la altura de Paterna debido a los vertidos industriales y urbanos de los municipios de alrededor. El grado de vulnerabilidad de contaminación de los acuíferos en Paterna es medio-alto.

Con la intención de evitar las inundaciones en la zona urbana de Paterna, en octubre de 2006 el ayuntamiento de la localidad realizó una actualización del P.G.O.U. en la que se incluyó la construcción de un depósito de detención. Las obras empezaron en diciembre de 2006, y concluyeron a finales de 2007. Los objetivos principales que se pretendían conseguir con esta actuación eran:

- Almacenar gran cantidad de agua para evitar inundaciones en las zonas urbanizadas.
- Aumentar la capacidad de laminación de avenidas y reducir el caudal pico aguas abajo.
- Acondicionar estéticamente la zona.
- Modificar el carácter marginal de la zona realizando una transición gradual entre la zona urbana y la industrial.

Actuación

La actuación se divide en dos fases: Fase 1: Ampliación del polígono industrial Fuente del Jarro; y Fase 2: Parque Apeadero.

En la fase 1 se tomaron medidas de control en origen. Se construyó una zanja filtrante encargada de recoger el agua de escorrentía de la zona norte de la cuenca. La zona no urbanizada se acondicionó como área filtrante previa a la zanja. Se planificó una red de canalizaciones que llevaría el agua de escorrentía desde la zanja filtrante hasta el barranco que discurre enterrado por la zona industrial.

La fase 2 comenzó a finales de 2006, y consistió en la realización de un estanque de detención en la zona final del encauzamiento subterráneo del barranco. Para conseguir el volumen necesario del depósito de detención

se realizó una depresión en la topografía, eliminando entre 0,5 y 1 metros de terreno. Se acondicionaron las instalaciones existentes de paso de agua bajo la línea ferroviaria, cuyos desagües desembocan en el depósito de detención.



Figura 48. Área y zanja filtrante.

Se realizaron ensayos Lefranc de permeabilidad a 2 m y a 3,5 m de profundidad, obteniendo valores de permeabilidad muy bajos (K = 8x10-9 m/s y K = 7x10-8 m/s respectivamente). Se dedujo que la capacidad de infiltración del depósito no era suficiente para repercutir significativamente en la escorrentía, por lo que se decidió instalar pozos de infiltración. Se colocaron 4 pozos de infiltración a lo largo del parque, con unas dimensiones de 4 x 4 metros de área y 4,5 metros de profundidad.

El final del depósito de detención se comunicó con la red existente de drenaje y canalización hasta el río Turia, terminando la actuación en el muro de la línea ferroviaria. Por último, se realizó la revegetación prevista en el diseño para mejorar paisajísticamente la zona, y se colocaron las bandas filtrantes a base de bolos de grandes dimensiones en las laderas del depósito. Las zonas verdes alrededor del depósito actúan como áreas filtrantes.



Figura 49. Planta y Sección transversal Parque Apeadero. Proyecto y construcción.

Resultados obtenidos

Se realizaron análisis del caudal y tiempo de desbordamiento, obteniendo los siguientes resultados: El caudal punta se reduce de 97 m^3/s a 78 m^3/s (20%); y las actuaciones de limpieza de los conductos de entrada al depósito aumentan el flujo de 18m^3/s a 30m^3/s. Además se consigue convertir un lugar marginal sin utilidad previa, en un parque y zona lúdica con valor paisajístico.

En septiembre de 2007 se produjeron lluvias intensas, de más de 100 mm en 2 horas, que permitieron comprobar la eficacia del sistema. Las obras del Parque Apeadero todavía no estaban terminadas. La construcción se encontraba en su fase final, a falta de realizar la revegetación de la zona y del fondo del depósito. Aun así, el sistema demostró ser capaz de laminar las avenidas y almacenar el agua de lluvia en el depósito. El nivel máximo quedo aproximadamente 40 cm por debajo del máximo, evitando la inundación de la zona.



Figura 50. Parque Apeadero (lluvias de sept. 2007)



Parque Apeadero después de la tormenta.2007.

Puesto que la inundación tuvo lugar antes de vegetar la zona, el terreno arcilloso quedó completamente fangoso e intransitable. Quedó patente el papel fundamental de la vegetación tapizante en el fondo y alrededores de los depósitos de detención. Tras 24 horas, finalmente se evacuó el agua gracias a la infiltración, a la evaporación, y al vertido laminado y gradual al río Turia. Cuando se eliminó todo el volumen de agua, se pudo observar la cantidad de restos y basura procedente del polígono industrial que quedaron en el fondo del depósito. Se demostró que es absolutamente necesaria la limpieza y el mantenimiento de las zonas situadas aguas arriba, y la importancia de realizar una inspección, limpieza y puesta a punto del sistema después de un episodio de lluvias intensas.

El depósito de detención funcionó correctamente para la intensidad de lluvia para la que se diseñó: lluvias de periodo de retorno de hasta 25 años.



Figura 51. Estado tras tormenta y estado actual del Parque Apeadero.

A finales de septiembre de 2012, se registraron lluvias importantes en toda la zona de Valencia, causando inundaciones y graves desastres en muchas de las localidades de levante. En Paterna se alcanzaron lluvias de más de 200 litros por metro cuadrado. La intensidad de la lluvia fue la correspondiente a un periodo de

retorno de 100 años. El sistema de drenaje no estaba diseñado para tal magnitud de lluvias, y la velocidad de la escorrentía derrumbó el muro que separaba el depósito de detención de la línea ferroviaria, provocando el desbordamiento e inundando toda la zona.

Siguiendo con el proyecto iniciado en 2007, en abril de 2016 se realizó el proyecto de ampliación y restauración del estanque de retención del Parque Apeadero. En esta fase se terminan las obras de conducción que enlazan el barranco de la fuente con el río Turia, cuya conexión no se ejecutó en la fase anterior.

Para ello, se prolonga el ámbito del sistema de drenaje y acumulación aguas abajo. Esta nueva zona se recubrirá completamente con material de escollera, de manera que además de tener capacidad para almacenar más cantidad de agua, se ralentizará la escorrentía. En la zona de acumulación existente se realiza un recrecido del borde de la escollera para ganar entre 50 cm y 100 cm de altura, y se refuerza el sistema de drenaje bajo la línea ferroviaria.





Rotura y desbordamiento



Figura 52. Ámbito de actuación de la primera fase. Rotura y desbordamiento durante las lluvias de 2012.

Con la finalización de estas obras queda completado el sistema urbano de drenaje sostenible que se inició en 2007. Finalmente se consigue un buen resultado gracias a la gestión global del agua de escorrentía:

- Filtrado del agua de lluvia en la zona urbana de la cañada y en la zona industrial mediante áreas y zanjas filtrantes
- Acumulación e infiltración en el depósito de detención.
- Ralentización de la escorrentía mediante material de escollera hasta llegar al río Turia.

En esta obra que viene a continuación queda patente la importancia de realizar una gestión global del agua de lluvia que actúe en todas las etapas del ciclo urbano del agua *(recepción, conducción, infiltración y vertido).*



Figura 53. Ámbito de la obra de ampliación del sistema de drenaje.

6.4 Actuaciones urbanas en Barcelona: Zona franca

Can Cortada y la Marina.

Se analizan dos casos de estudio en Barcelona, ambos actualmente en construcción, que presentan estrategias y diseños de integración de la red de pluviales en la edificación y en el espacio público. Se analizan dos casos de estudio en Barcelona: Can Cortada (2014) y La Marina (2014-2016). Ambos presentan estrategias y diseños de integración de la red de pluviales en la edificación y en el espacio público.

El clima de Barcelona se caracteriza por sus precipitaciones estacionales, con periodos secos y periodos lluviosos continuados, con riesgo medio de inundaciones (zona climatológica B). Presenta una severa impermeabilización del terreno debido a una ocupación del suelo elevada por su limitación geográfica de crecimiento (los ríos Besòs y Llobregat son fronteras a este y oeste, y la Sierra de Collserola y el mar Mediterráneo en el eje norte-sur). Esta impermeabilización provoca dificultades para gestionar la escorrentía en el área urbana. Además, en Barcelona predomina una red de saneamiento unitario, agravando la situación en caso de colapso de la misma por inundaciones.

En el caso de Can Cortada, se diseña una nueva urbanización con zonas verdes y vial interior entre las avenidas de Can Marcet y de l´Estatut de Catalunya en Can Cortada, distrito de Horta-Guinardó, al norte del área metropolitana de Barcelona.

Por su parte, en la Marina se diseña un barrio de nueva creación: la Marina de la Zona Franca, en el distrito Sants/Montjüic. Este barrio se caracteriza por una topografía plana y por su proximidad al mar.



Figura 54. Intervención en Can Cortada, distrito de Horta-Guinardó y La Marina de Zona Franca, distrito de Sants/Montjüic.

Los objetivos de estas actuaciones son:

- Reducir los caudales punta en eventos de precipitación.
- Favorecer la infiltración del agua de lluvia en el terreno.
- Recargar los acuíferos naturales.
- Limitar la aportación de agua de lluvia a la red de saneamiento de la ciudad.
- Extraer agua del subsuelo para riego y baldeo mediante la red de agua freática.

Can Cortada

Se prioriza la creación de zonas vegetadas, pavimentando únicamente la superficie mínima necesaria para los usos de la urbanización. Se utilizan pavimentos permeables para reducir la escorrentía y la erosión en los límites de las zonas verdes, que se encargan de gestionar el agua de escorrentía de la urbanización y áreas colindantes, situándose a una cota inferior respecto a las zonas pavimentadas y recibiendo el agua de escorrentía, para detenerla e infiltrarla al terreno.

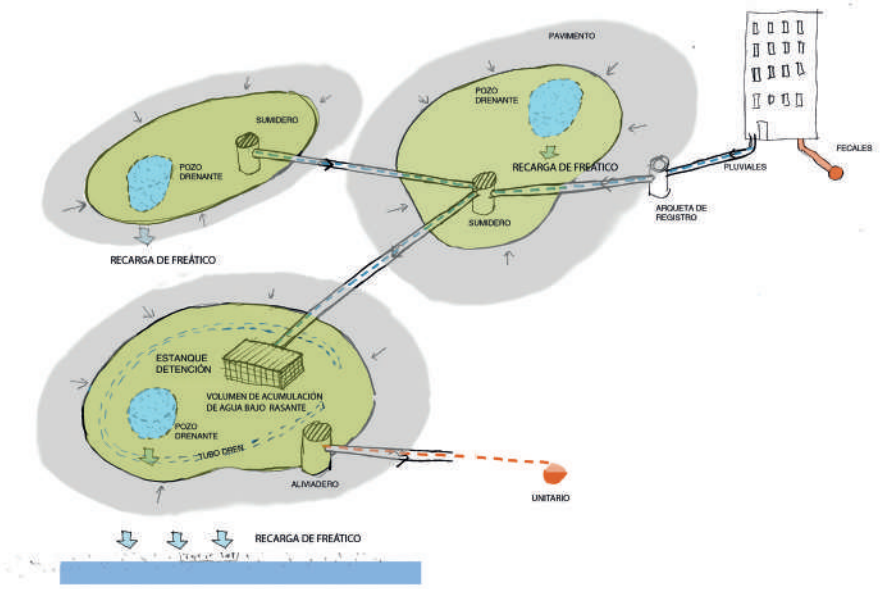


Figura 55. Esquema de funcionamiento global implantado en Can Cortada.

El agua pluvial proveniente de la red separativa de la edificación también se vierte a estas zonas vegetadas, por donde transcurre aprovechando la topografía del terreno y la distribución de parterres y cunetas vegetadas, para ser vertida a un depósito de infiltración, si bien los aliviaderos situados en los cuencos finales de cada una de las redes están conectados con la red de saneamiento unitaria.



Figura 56. Construcción de zonas de detención e infiltración con sub-bases de gran capacidad de acumulación de agua.

La Marina de Zona Franca

El sistema de drenaje diseñado se basa en la captación y transporte de las escorrentías originadas en las zonas peatonales, las cubiertas de edificios, los patios de interior de manzana, así como del agua pluvial proveniente de la red de pluviales de la edificación.

Las aguas se recogen en elementos urbanos: cunetas vegetadas y franjas de pavimento permeable, donde se integra el arbolado. Detienen, ralentizan e infiltran el agua en el terreno, a la vez que la transportan a las principales zonas verdes colindantes para continuar con el proceso de gestión pasiva y sostenible de la escorrentía.

Este proceso tiene como objetivo principal reducir el volumen de agua pluvial vertida al sistema de saneamiento unitario y, a la vez, infiltrar y recargar los acuíferos naturales. En el sistema implantado sólo se gestiona el agua de las aceras y cubiertas.

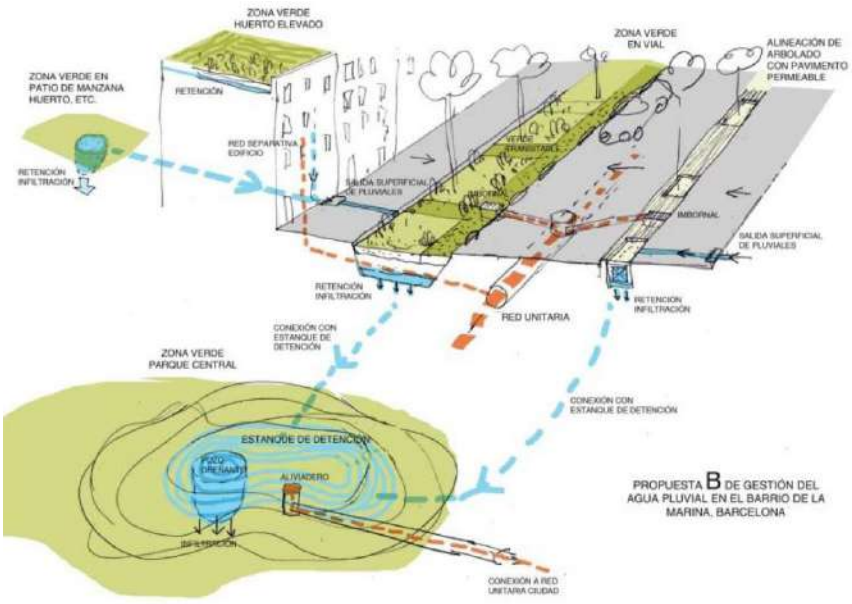


Figura 57. Esquema de los sistemas inicialmente propuestos en La Marina de Zona Franca.

Resultados obtenidos

En ambos casos, se efectúan simulaciones por ordenador para un año tipo (1997) con el fin de estimar y diseñar el sistema de drenaje.

En Can Cortada, el sistema de drenaje se diseña con capacidad de gestión y evacuación para el histograma de periodo de retorno T=10 años de intensidad pico 212,45 mm/h, duración de 1 hora y volumen de precipitación total de 59 mm, conforme a indicaciones de CLABSA ((en ese momento, empresa dedicada a la planificación, desarrollo y operación de la red de saneamiento de Barcelona). Se estima que el conjunto de la actuación permite reducir el 50% del caudal pico de entrada a la red unitaria, el 44% del volumen de agua pluvial y el 81% del volumen de escorrentía total transportado y tratado en la depuradora.

En la Marina, el sistema de drenaje se diseña para hacer frente a un volumen de agua asociado con una tormenta de percentil 80 y 15 mm, por lo que el rebose de agua a la red unitaria sólo se produce en episodios de lluvia intensos. Se estima que para el caso simulado, el 90% de la escorrentía es gestionado correctamente mediante los SUDS, hasta ser tratado en la depuradora, y únicamente el 10% restante llega al sistema de saneamiento unitario.

Se efectúa una modelización para estudiar el comportamiento de una de las cunetas verdes, en el día de mayor intensidad y volumen de precipitación del año tipo (16 de diciembre de 1997). Los resultados muestran un amortiguamiento del caudal y retardo en la punta de los hidrogramas.

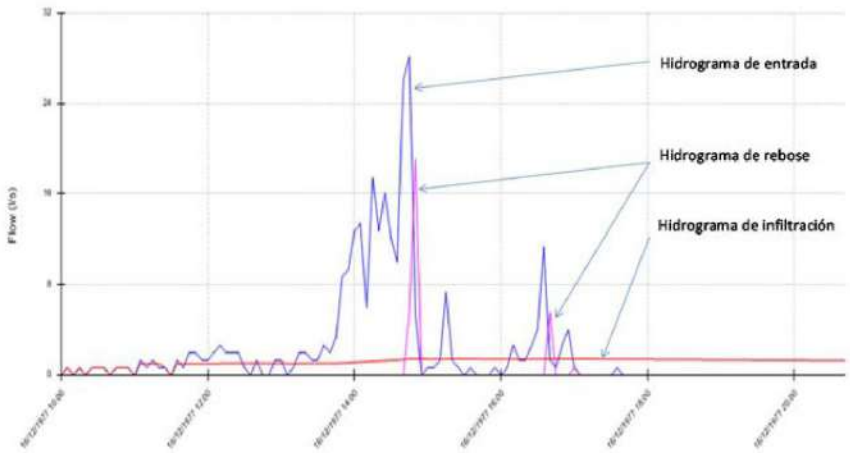


Figura 58. Hidrogramas de entrada y salida en uno de los parterres (software WinDes®).

6.5 Actuaciones urbanas en Benaguasil y Xàtiva

Los municipios valencianos de Benaguasil y Xàtiva pertenecen a un clima que se caracteriza por sus episodios de torrencialidad, con lluvias esporádicas y de gran intensidad y elevado riesgo de inundaciones, desertificación y sequía (zona climatológica C).

En ambas poblaciones se producen inundaciones en episodios de lluvias intensas, colapsando la red de saneamiento municipal, que en ambos casos es unitaria. Esto conlleva la propagación de aguas contaminadas y el consecuente vertido de las mismas en el medio receptor (río Turia en el caso de Benaguasil y río Albaida en Xàtiva). También se incrementa el consumo de energía en la depuración. Pero además, estos municipios también experimentan graves períodos de sequía.

Para hacer frente a esta problemática, se han llevado a cabo los proyectos Aquaval (Programa LIFE+, cofinanciación europea) y su continuación mediante el proyecto E²STORMED (Subvención Programa MED Unión Europea, liderado por la Universidad Politécnica de Valencia) en Benaguasil y Xàtiva.

El objetivo principal del proyecto Aquaval es seleccionar, aplicar y promover soluciones innovadoras para reducir los impactos de la cantidad y calidad de la escorrentía urbana mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), respetando y mejorando las cualidades paisajísticas y urbanas de los municipios.

Esto se materializa en objetivos concretos como:

- Prevención de sobrevertidos del alcantarillado unitario con el fin de mejorar la calidad del agua del medio receptor.
- Prevención de inundaciones y reboses de la red de alcantarillado unitario en el casco urbano en episodios de lluvias intensas.
- Aportación de versatilidad a la infraestructura urbana ante los efectos del Cambio Climático.
- Reducción del consumo de energía eléctrica en la gestión del agua urbana (mediante la reducción de la cantidad de agua bombeada y tratada en estaciones depuradoras), y en edificios (instalación de cubiertas vegetadas).
- Disminución del efecto "Isla de Calor Urbano".
- Ahorro de agua potable mediante el aprovechamiento del agua de lluvia como recurso natural para el riego, limpieza de calles, etc.
- Promoción de la utilización de los Sistemas de Drenaje Sostenible como complemento a la práctica convencional en los países del Sur de Europa.
- Desarrollo de políticas municipales que integren aspectos medioambientales en la normativa urbanística y de gestión hídrica, contribuyendo al desarrollo sostenible.
- Creación de nuevos nichos de empleo y promoción de la diversificación industrial.

Posteriormente el proyecto E²STORMED (enero 2013-junio 2015), basado en los proyectos Aquaval y SWITCH (proyecto europeo que promueve la gestión integrada del ciclo urbano del agua), implementa el análisis y la monitorización del ahorro energético en el ciclo urbano del agua, con la finalidad de promover sistemas de drenaje urbano que mejoren sustancialmente el consumo energético en el ciclo integral del agua.

En la primera fase se obtienen datos sobre acerca de los beneficios, costes y consumo energético de las diferentes infraestructuras utilizadas en las estrategias de SUDS. En la segunda, se utilizan estos resultados como criterios económicos, energéticos, medioambientales, sociales, políticos y paisajísticos para escoger las estrategias más adecuadas.

Se crean Grupos de Trabajo Regional en Eficiencia Energética en el ciclo del Agua (GTREECA) para facilitar el intercambio de información y conclusiones sobre los casos de estudio, estimulando el crecimiento y desarrollo de la iniciativa, así como su comunicación y divulgación.

Actuaciones

En el marco de los mencionados proyectos Aquaval y E²STORMED se han construido, tanto en Benaguasil como en Xàtiva, una serie de intervenciones de demostración de gestión de aguas pluviales mediante SUDS, como complemento a la infraestructura existente.

Zonas de infiltración en Parque Costa de la Ermita (Proyecto Aquaval en Benaguasil)

El parque Costa de la Ermita está situado en la carretera de Benaguasil (Ermita Nuestra Señora de Montiel). Tras su remodelación, el parque ha reducido la cantidad de escorrentía y sedimentos que llegan hasta la avenida principal del casco urbano, evitando la inundación de garajes y casas que se producía por incapacidad de la red de alcantarillado municipal.

Se han construido tres zonas vegetadas conectadas entre sí, que retienen e infiltran el agua de escorrentía proveniente de la montaña. El agua acumulada se evacúa por evapotranspiración o infiltración al terreno, recargando el acuífero (1400 m^3 anuales), evitando la sobresaturación de la red de saneamiento y depuradora (con el consecuente ahorro energético y económico), y evita el vertido del alcantarillado unitario en acequias y ríos.



Figura 59. Ruta de los SUDS, Benaguasil.



Figura 60. Fotos y esquemas del Parque Costa de la Ermita en Benaguasil.

Aljibe en Centro polivalente de la juventud (Proyecto Aquaval en Benaguasil)

En el centro polivalente, situado en la Avenida de Montiel, se ha construido un aljibe para almacenamiento de agua pluvial y su aprovechamiento para usos que no requieren de agua potable (riego de jardines públicos y limpieza de la plaza). Esta iniciativa permite el ahorro de 43 m^3 anuales de agua potable. La localización ha sido especialmente escogida por su carácter pedagógico, y se ha ejecutado con materiales y acabados que permitan la observación del recorrido del agua.

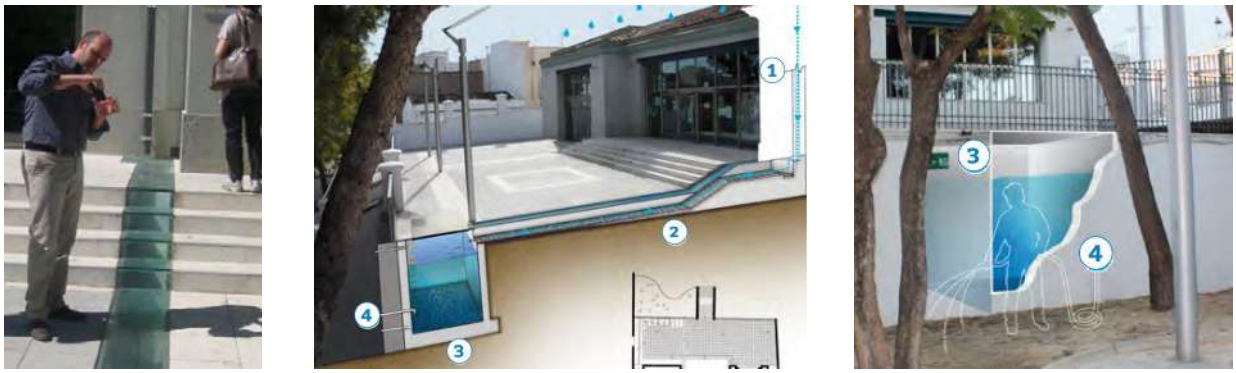


Figura 61. Fotos y esquemas de construcción de aljibe en Centro Polivalente en Benaguasil.

Depósito de retención en Polígono industrial "Les Eres" (Proyecto Aquaval en Benaguasil)

Esta actuación se lleva a cabo como un caso piloto demostrativo de reducción de escorrentía en instalaciones industriales y comerciales de grandes superficies impermeables. Se construye un depósito de retención en parque público, al que se derivan las aguas provenientes de parte de la cubierta y pavimento impermeable de una nave industrial adyacente. El depósito, con capacidad total para 115 m^3, retiene e infiltra el agua en el terreno, recargando el acuífero. Ante episodios de lluvias intensas, el rebose de agua es conducido a la red de saneamiento municipal. Esta retención previa retrasa y dosifica el acceso del agua a la red de saneamiento, evitando inundaciones por saturación de la red y depuradora.



Figura 62. Construcción y esquemas de funcionamiento del depósito de retención.

Aparcamiento permeable (Proyecto Aquaval en Benaguasil)

Aparcamiento permeable de 800 m^2 para la nueva piscina cubierta municipal, promovido por el Ayuntamiento gracias al éxito de las prácticas previas del proyecto Aquaval.

El agua de lluvia se filtra y se trata a través del pavimento, para infiltrase al terreno posteriormente.

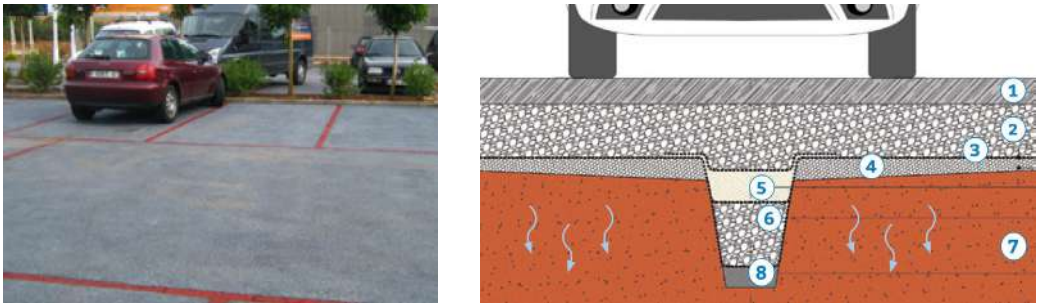


Figura 63. Imagen y esquema de aparcamiento con pavimento drenante de hormigón poroso.

Cubierta vegetada en Centro de Día (Proyecto E²STORMED en Benaguasil):

Transformación de 315 m² de la cubierta del Centro de Día del Ayuntamiento de Benaguasil, iniciativa enmarcada en el programa E²STORMED. La actuación se centra tanto en su construcción como en su monitorización térmica e hidráulica. Los primeros resultados muestran que en los días más calurosos del verano hay ahorros en el consumo eléctrico por la climatización del edificio del 15-20%.

Para asegurar la capacidad de drenaje del suelo, la nueva cubierta se compone de una mezcla de sustrato orgánico, grava volcánica y arena silícea. Una barrera impermeable y una capa anti raíces protegen la estructura del forjado de la humedad y de las raíces de la vegetación, que es mezcla de especies vegetales resistentes a la sequía, rústicas, de vegetación perenne, con mínimos requisitos de mantenimiento e irrigación, y resistentes a un amplio rango de temperaturas.



Figura 64. Construcción de la cubierta y resultado final de la cubierta vegetada.

Balsa de detención en isleta de tráfico existente (Proyecto E²STORMED en Benaguasil)

Actuación comparativa de soluciones convencionales frente a soluciones basadas en SUDS para resolver las inundaciones que se producen en la calle Llíria.

La primera solución consiste en la construcción de un tanque de tormenta en la isleta de tráfico, mientras que la segunda aprovecha las oportunidades del entorno para construir una balsa de detención, infiltración y sedimentación en la isleta, conectado con un segundo depósito que se diseña en el anfiteatro del parque adyacente.

Los criterios de comparación son: el coste de la gestión del agua de lluvia, la energía consumida en esa gestión, las emisiones de carbono, los beneficios paisajísticos aportados por la solución y el potencial de éstas para promover la recarga del acuífero. La opción convencional obtiene una puntuación de 43 sobre 100, mientras que la solución basada en SUDS obtiene 81 puntos.

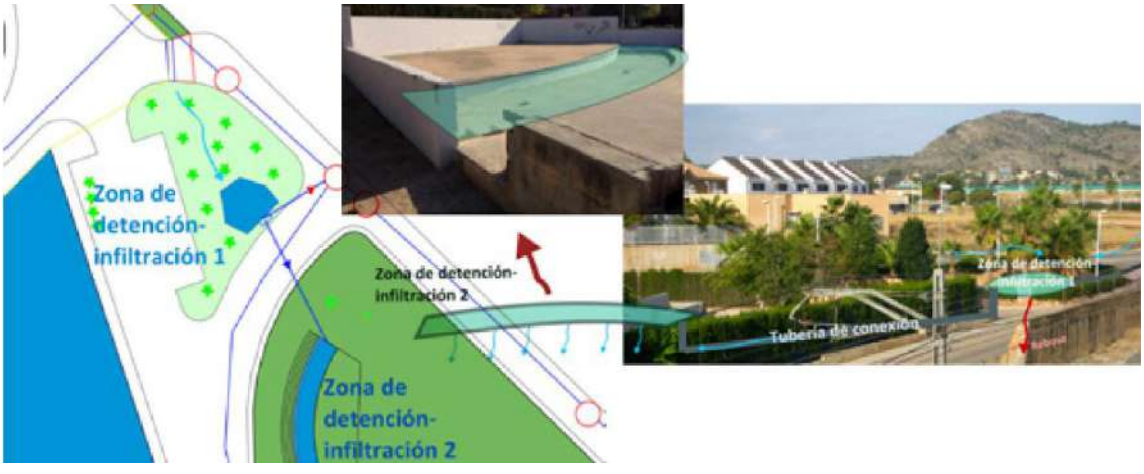


Figura 65. Construcción de balsa de detención en isleta de tráfico existente.

Ciudad del deporte, ronda norte y colegio público (Proyecto Aquaval en Xàtiva):

En la Ciudad del deporte se construye una cuneta vegetada que recoge el agua de escorrentía del sector noreste de la Ciudad del Deporte y su calle adyacente, conduciéndola hacia una balsa de detención e infiltración que cuenta con una arqueta de rebose situada por debajo del nivel de la calle para episodios extremos de lluvia. Con esta intervención se aumenta la capacidad de drenaje del viario, se disminuye el caudal pico evacuado por la red de alcantarillado y se mejora la calidad del agua vertida al río Albaida.

En la Ronda Norte se construye una cuneta vegetada en el margen de la ronda norte de Xàtiva que recoge el agua de lluvia de los viarios adyacente. Se favorece la retención, filtrado y deposición de sedimentos del agua con estrategias como la sucesión de pequeños muros transversales, una suave pendiente y vegetación.

En el Colegio público Gonzalbes Vera se llevan a cabo tres actuaciones: se transforman 475 m^2 de cubierta convencional por una cubierta vegetada, se repavimenta una sección del patio con pavimento permeable y se dispone un aljibe para almacenar agua de lluvia para uso de riego y limpieza.

Las intervenciones tienen además una función didáctica, por lo que se habilita el acceso para escolares y visitantes, así como para labores de mantenimiento.



Figura 66. Cuneta vegetada en Ciudad del Deporte. Cuneta vegetada en Ronda Norte. Cubierta vegetada en colegio.

Resultados obtenidos

Todas las intervenciones se han equipado con la instrumentación adecuada para su supervisión y seguimiento, tanto de la cantidad como de la calidad de la escorrentía gestionada a lo largo del año hidrológico 2012-2013, que han permitido demostrar su efectividad.

La última etapa de Aquaval consistió en la redacción de un Plan de Gestión Sostenible de Pluviales para cada uno de los dos municipios, basados en la incorporación a nivel municipal de técnicas de drenaje sostenible y considerando los efectos del cambio climático.

Los logros alcanzados son:

- Se evita, reduce o retrasa el vertido de la escorrentía a la red de saneamiento.
- Se evitan inundaciones y vertido de agua contaminada al medio receptor.
- Se fomenta la captación de agua pluvial para su reutilización.
- Se recargan los acuíferos, muy positivo en períodos de inundaciones y sequías.
- Se crean nuevos nichos de empleo a través de la contratación de empresas que ofrecen servicios de pavimentos permeables, cubiertas vegetadas y drenaje urbano sostenible.
- Se consigue la replicabilidad y transferibilidad de estrategias puestas en práctica en España y sur de Europa.

6.6 Normativa que incluye SUDS

Para promover la utilización de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) es fundamental que existan normativas que hagan referencia a estos sistemas. El desconocimiento y la falta de legislación hacen que la implantación de estas técnicas de drenaje en las ciudades sea todavía mínima.

Es necesario introducir los SUDS en todos los niveles de la normativa urbanística:

- Plan Territorial (comunidades autónomas y confederaciones hidrográficas)
- Plan General de Ordenación Urbana (Término municipal)
- Ordenanzas municipales (Localidad)

Plan Territorial

Los Planes Territoriales son instrumentos de ordenación del territorio a nivel supramunicipal. Generalmente su ámbito se corresponde con las provincias o comunidades autónomas, aunque pueden llegar a incluir a distintas administraciones públicas.

En estos planes se tratan aspectos como las características del terreno (topografía, permeabilidad, climatología etc.), se definen las unidades de paisaje, las infraestructuras verdes, y los parques naturales con ámbitos supra-municipales, se planifican los ejes viarios principales (autovías, líneas ferroviarias, puertos, aeropuertos etc.), se definen los usos del suelo, los espacio protegidos y su nivel de protección, los grados de valor y calidad del paisaje etc.

El Plan de Ordenación del Litoral de Galicia es un plan territorial que afecta a las provincias de Pontevedra, A Coruña y Lugo.

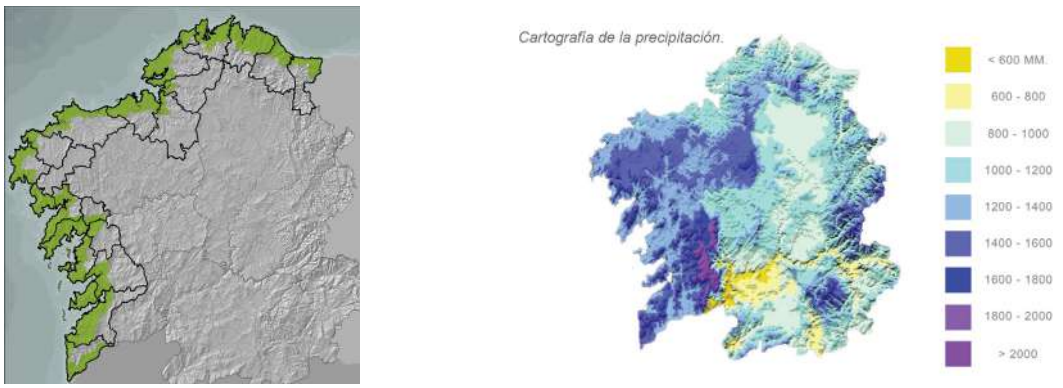


Figura 67. Ámbito de afección y características pluviométricas.

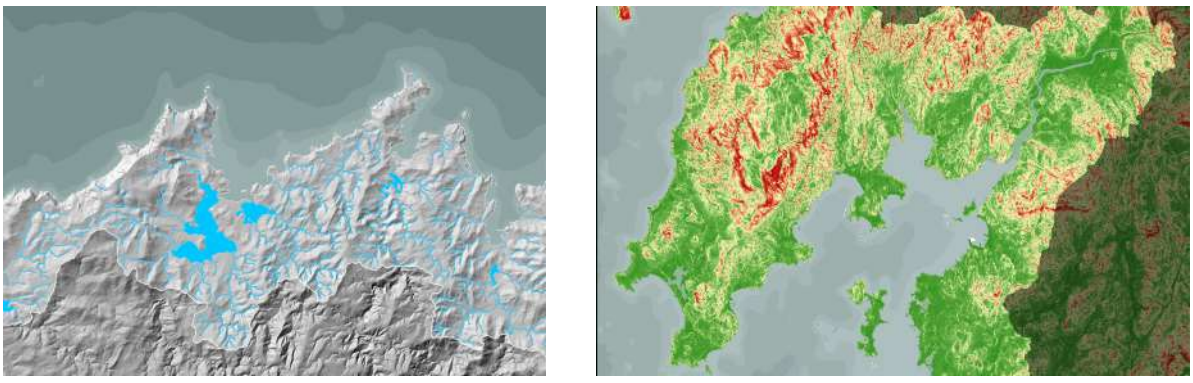


Figura 68. Cartografía de la red fluvial y Mapa de pendientes.

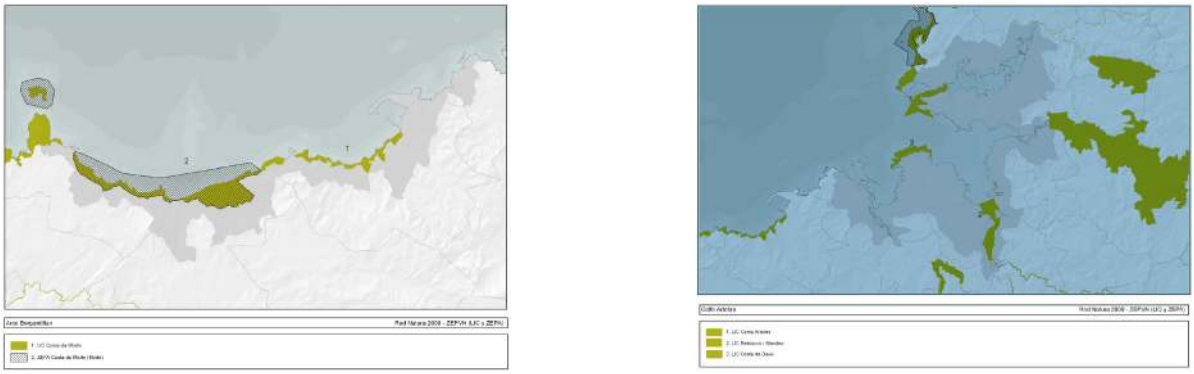


Figura 69. Definición de las zonas de especial protección de los valores naturales.

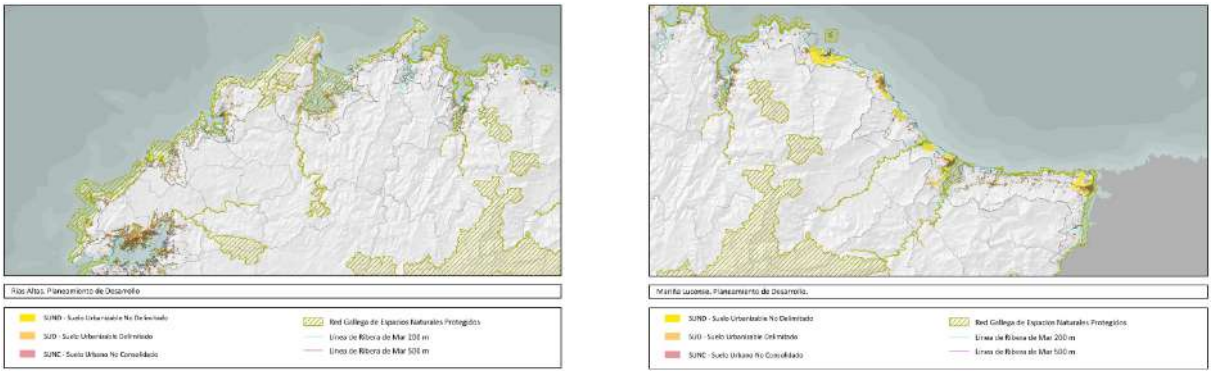


Figura 70. Clasificación del suelo.

En los planes territoriales se pueden incluir los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, para gestionar de manera global el agua de lluvia. Algunas comunidades autónomas han desarrollado ya normativas, manuales, e instrucciones técnicas que hacen referencia a los SUDS. Un ejemplo son las Instrucciones Técnicas para Obras Hidráulicas en Galicia, elaboradas por la "Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Infraestructuras", junto con "Aguas de Galicia". Estas instrucciones, aunque no son de obligado cumplimiento, ofrecen una visión detallada de cómo abordar una legislación sobre SUDS.

Se organizan en dos tomos:

- Volumen I: Se tratan los sistemas de abastecimiento y los materiales para la conducción de los sistemas de abastecimiento y saneamiento
- Volumen II: Se definen las características y los criterios de diseño de los sistemas de saneamiento.

En el segundo volumen, dentro de la parte I "diseño de redes", se detalla un capítulo sobre Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible (SAN-1/4). Su finalidad es determinar dónde es necesario el uso de Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible, y definir estas técnicas.

Teniendo en cuenta los condicionantes de las aguas de escorrentía y las restricciones del medio receptor, se establece que será necesaria la utilización de TDUS en:

- Zonas de nueva construcción donde se incrementen los caudales de vertido
- Núcleos rurales con población superior a 1000 habitantes (superior a 500 habitantes en zonas catalogadas como sensibles o protegidas). En los núcleos urbanos que puedan producir gran cantidad de contaminación difusa se aplicaran las TDUS independientemente del número de habitantes.
- Zonas industriales

- Aparcamientos de superficie mayor de 0,5 ha (mayor de 0,25 ha en zonas catalogadas como sensibles o protegidas)
- Vías con IMD superior a los 20.000 vehículos/día (IMD superior a 10.000 vehículos/día en zonas catalogadas como sensibles o protegidas)
- Zonas como gasolineras, inmediaciones de estaciones de ferrocarril o autobuses o similares.

Además, recomienda realizar:

- Programas de limpieza de las calles
- Programas de educación y concienciación pública
- Programas de gestión de residuos
- Control de fertilizantes y pesticidas
- Control de la erosión del suelo
- Control de la escorrentía en zonas comerciales e industriales

Las definiciones de los distintos Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible se organizan según la función principal, distinguiendo 3 bloques: control en origen (cubiertas, aparcamientos, patios etc.), control y tratamiento local (pavimentos, zanjas y pozos de infiltración), y retención y detención (Depósitos, estanques y humedales).

Adicionalmente, en el capítulo "SAN-2/2 Diseño de depósitos en sistemas unitarios", del volumen II, se detallan los elementos principales que componen los depósitos, y sus criterios de mantenimiento y limpieza. Además de definir y detallar los distintos sistemas de drenaje sostenible, sería conveniente especificar que técnica es más adecuada en cada situación, y explicar los criterios de diseño y mantenimiento de cada uno de los sistemas.

Plan General de Ordenación Urbana (PGOU)

Los Planes Generales de Ordenación Urbana (PGOU) son el instrumento básico de ordenación integral de un territorio o municipio. A través del PGOU, los ayuntamientos realizan una clasificación de los usos del suelo, definen los elementos principales del planeamiento urbanístico y especifican un conjunto de normas con las que se establece un modelo de ordenación.

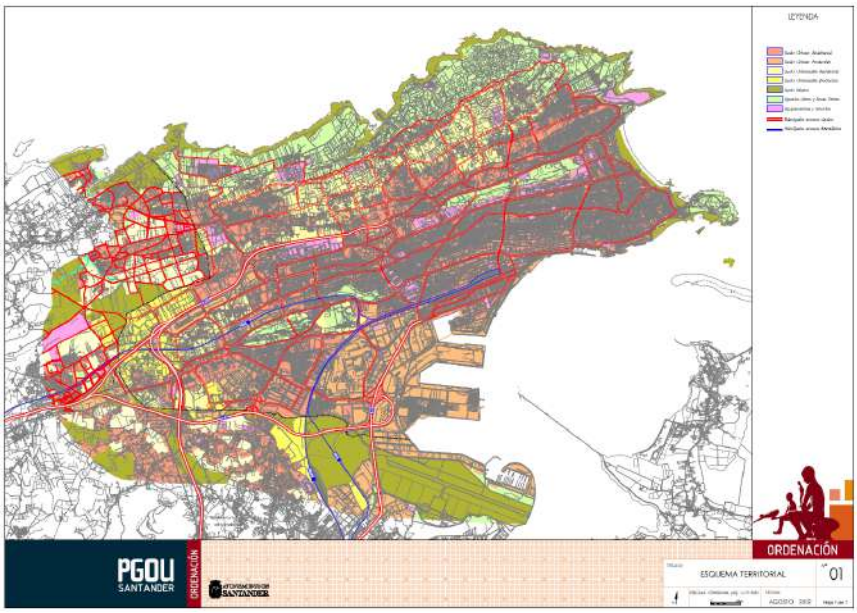


Figura 71. PGOU Santander.

Dentro de estas normas urbanísticas que forman parte del PGOU se pueden introducir reglas que promuevan la utilización de SUDS. El PGOU de la ciudad de Santander es uno de los ejemplos de plan general que incluye especificaciones sobre la implantación de los sistemas urbanos de drenaje sostenible en la planificación urbana.



Figura 72. Planos propuesta del sistema de abastecimiento, saneamiento y depuración. PGOU de Santander

En el Capítulo 6 "Condiciones Ambientales", dentro del Título 4 "Condiciones Generales de la Edificación" se detalla un artículo sobre protección de la hidrología en el que se hace referencia a los SUDS (Artículo 4.6.16).

Los apartados 1, 2 y 3 de este artículo establecen la obligatoriedad de utilizar pavimentos permeables que permitan la infiltración.

Artículo 4.6.16 Protección de la hidrología

1. En cumplimiento de la Memoria Ambiental, los proyectos de urbanización incorporarán medidas constructivas para reducir el porcentaje de impermeabilización de las superficies de los aparcamientos, viales y espacios libres públicos.

2. Siempre que sea posible estos espacios se mantendrán permeables y posibilitarán la filtración de agua en los espacios del viario destinados a centro de glorietas, medianas y alcorques, especialmente en los viarios de sistema general.

3. Las zonas destinadas a estacionamiento en zonas de parque, equipamientos, o entornos de edificación abierta y unifamiliar, tanto públicas como privadas, deberán ser permeables, introduciendo pavimentos discontinuos que permitan la infiltración del agua, además del crecimiento de césped y su mejor integración paisajística, o procesos constructivos de igual finalidad. Asimismo se implantarán cunetas de infiltración.

En los apartados 4 y 5 se especifica la obligatoriedad de conducir el agua de escorrentía a los alcorques para favorecer su infiltración natural y la necesidad de conectar los sistemas de recogida para un posterior aprovechamiento de las aguas.

4. Los proyectos de urbanización y ejecución diseñarán los remates de las aceras de forma que facilite la incorporación directa de agua de escorrentía a los alcorques para fomentar su infiltración natural.

5. En cumplimiento de la Memoria Ambiental, los nuevos desarrollos deberán implementar mecanismos que aprovechen el agua de lluvia mediante la conexión de los sistemas de recogida (terrazas, patios, estanques de drenaje,...) con zonas verdes, alcorques continuos, etc. Esta medida debe tenerse en cuenta tanto en los proyectos de urbanización como de edificación, y podrá concretarse mediante la Ordenanza Municipal señalada en el artículo 4.6.18.

Para favorecer la eficiencia hídrica, el apartado 6 especifica que será obligatorio el uso preferente de aguas regeneradas y/o pluviales para la limpieza de viales mediante baldeo y para el riego de zonas verdes y jardines públicos y privados. Además, se aplicarán sistemas de sostenibilidad en el diseño y mantenimiento, favoreciendo el uso de especies vegetales, y limitando las especies que demanden un elevado consumo de agua.

En aras de aprovechar el agua de lluvia, en parcelas de edificación abierta de más de 75 viviendas será obligatorio disponer depósitos para almacenamiento de las aguas pluviales y su posterior reutilización, al menos, para riego. También el sistema de regadío público contemplará la posibilidad de instalación de un sistema de recogida y almacenamiento de agua de lluvia.

Por último, se obliga a que en todos los proyectos que afecten a cauces de agua se realice un estudio hidrológico que indique los efectos sobre el curso general del agua, y las medidas para corregir las consecuencias negativas.

Además de este artículo específico, en este PGOU también se hace referencia a los SUDS en las disposiciones adicionales séptima y octava. La disposición séptima hace referencia a la utilización de vegetación autóctona y de bajas necesidades hídricas mientras que en la disposición octava se establece la necesidad de redactar un Plan Especial relativo a las infraestructuras de saneamiento, drenaje y evacuación de las aguas:

Séptima. Condiciones ambientales de los Proyectos de Urbanización, construcción y demolición

Los proyectos de urbanización, construcción y demolición deberán contemplar las medidas de integración ambiental siguientes:

condiciones ambientales del ámbito, el mínimo consumo de agua y su eficiencia hídrica, la capacidad de fijación de contaminantes atmosféricos, el interés para la fauna, las condiciones de sombreamiento, su riesgo alergénico y el valor estético. Estos criterios también serán de aplicación para las especies a utilizar en las cubiertas verdes.

En ningún caso podrá plantearse el uso de especies alóctonas con carácter invasor. Si bien para los espacios libres de uso público en los ámbitos asociados a los cauces, se preferirán especies autóctonas propias de las formaciones de ribera y bosques mixtos, para el viario público se admitirá el uso complementario de otras especies ornamentales, justificándose su selección según los criterios indicados anteriormente.

Los criterios anteriores complementan y priman sobre lo establecido en la Ordenanza Municipal de Parques y Jardines.

i) En cumplimiento de la Memoria Ambiental, las obras de drenaje transversal que se localicen en el entorno de cursos y masas de agua se adaptarán para permitir el paso de la microfauna.

j) En cumplimiento de la Memoria Ambiental, los proyectos de urbanización o de ejecución incluirán un apartado de integración paisajística y un programa de vigilancia ambiental, ambos con su correspondiente dotación económica.

Octava. Plan Especial de infraestructuras de saneamiento y depuración

El Ayuntamiento de Santander redactará y tramitará hasta su aprobación definitiva un Plan Especial que estudie y ordene las infraestructuras de saneamiento y, en su caso, depuración, existentes y previstas, adoptando las medidas correctoras necesarias para no saturar las infraestructuras supramunicipales de saneamiento y depuración. Se realizará un estudio y diagnóstico sobre la capacidad de drenaje y evacuación de las aguas pluviales a través de la red unitaria existente, y la posibilidad de ejecutar nuevos colectores pluviales, tanques de tormentas y aliviaderos, elementos reguladores del caudal y eventual tratamiento de las aguas. Del mismo modo, se deberá prever y estimar el valor de las obras de renovación de la red interior de saneamiento de la ciudad de Santander.

Ordenanzas Municipales

Las ordenanzas municipales son disposiciones administrativas de carácter general elaboradas por los ayuntamientos. Están subordinadas a la ley estatal y a los Planes Generales de Ordenación Urbana: no pueden contradecir lo establecido en el PGOU, pero pueden añadir consideraciones y temas que no se han abordado. Es un instrumento muy apropiado para introducir los SUDS en el planeamiento urbano sin tener que modificar el PGOU.

Ordenanza SUDS de Girona:

Una de las ciudades que incluye ordenanzas municipales en materia de SUDS es Girona, que en 2004 elaboró la Ordenança Municipal reguladora de les Aigües Residuals i Pluvials del Sistema Públic de Sanejament de Girona.

En el Capítulo 1 Disposiciones generales ya se hace referencia a los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en el artículo 2: finalidades:

- Minimizar la llegada de agua a la Estación Depuradora de Aguas Residuales mediante el retorno previo al medio natural en todos los lugares donde sea posible
- Garantizar que el efecto sobre el sistema fluvial de la ciudad sea mínimo
- Evitar la erosión
- Utilizar las aguas de lluvia

En el artículo 5 se establece la necesidad de captar el agua de lluvia y su utilización para riego, limpieza, baldeo o protección contra incendios. En las construcciones y edificaciones con espacios no pavimentados de más de 1.000 m^2 será obligatorio el aprovechamiento del agua de lluvia para su riego. Será necesario utilizar un sistema de filtrado previo al almacenamiento.

Según el artículo 7 de este mismo capítulo, las redes de pluviales, y especialmente las de las carreteras y aparcamientos, deben contar con sistemas de filtración y estanques de retención para tratar las aguas antes de su infiltración. Además este sistema debe evitar la erosión y quedar integrado paisajísticamente en el entorno.

En el artículo 10 del capítulo 2 se establece la necesidad de laminar los caudales punta que llegan a la red general de saneamiento.

El Capítulo 4 de la ordenanza hace referencia al diseño de las redes de saneamiento en los nuevos planeamientos urbanos. Se establece que se deberán tomar las medidas necesarias para compensar el impacto hidrológico de la urbanización de manera que el caudal punta sea el mismo o inferior que el que había antes de urbanizar.

En el anejo IV Fichas técnicas para la instalación y mantenimiento de la red se aportan esquemas explicativos y de detalle de los elementos de drenaje.

Manuales normativos SUDS:

Existen manuales para la elaboración de normativa local referente a Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible:

- Uno de ellos es la "Guía para el desarrollo de Normativa Local en la Lucha Contra el Cambio Climático", redactada por la Red Española de Ciudades por el Clima, que forma parte de la Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP), en colaboración con el Ministerio de Medio Ambiente. En el capítulo 5 se hace referencia a la gestión sostenible del agua y a cómo realizar una ordenanza tipo de uso y gestión sostenible del agua en la que incorporar los SUDS.

- El gobierno vasco, junto con la asociación de municipios vascos y la Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, han elaborado el "Manual para la redacción de planeamiento urbanístico con criterios de sostenibilidad". En esta guía se definen los ámbitos de actuación para un planeamiento urbano sostenible, y los instrumentos y procesos para la elaboración de normativas referentes a este campo en el que se incluyen los SUDS.
- También en Cataluña se ha elaborado un documento para la elaboración de planeamientos urbanísticos con criterios medioambientales: "Estudi de criteris ambientals per a la redacció del planejament urbanístic" redactado por el Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya en colaboración con la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

7. REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA

- AA.VV. (2009). Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les documents de planification et d'urbanisme. Lyon : Groupe de recherche Rhône-Alpes sur les infrastructures et l'eau (GRAIE).
- AA.VV. (2007). Urban Stormwater Retrofit Practices. Center for Watershed Protection. Washington. D.C.: Office of Wastewater Management U.S. Environmental Protection Agency.
- AA.VV. (2010). The Oregon Raingarden Guide. Oregon: Oregon Sea Grant's watershed education.
- AA.VV. (2002). Water sensitive urban design (WSUD). Melbourne: Melbourne Water.
- AA.VV. (2009). Street Design Manual. New York: New York City Department of Transportation.
- AA.VV. (1995). Preliminary Data Summary of Urban Stormwater Best Management Practices. Washington: US. Environmental Protection Agency.
- Acot, P. (1990). Historia de la ecología. Madrid: Taurus Ediciones S.A.
- Agencia Catalana del Agua, Generalitat de Catalunya (2015). *Guia per a la millora de la resiliència per fer front a les inundacions. España.*
- Aguilar Fernández, S. (1997). El reto del medio ambiente: Conflictos e intereses en la Política. Madrid: Alianza Editorial.
- America's Prepare Athon. (2014) *How to prepare for a flood.*
- Aqua España. Guía de Aprovechamiento de Aguas Pluviales en la Edificación (2011). Barcelona: Asociación Española de Empresas de Tratamiento y Control de Aguas.
- Aqua España. Guía técnica española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios (2012). Barcelona: Asociación Española de Empresas de Tratamiento y Control de Aguas.
- ASCE y EPA (2002) "Urban Stormwater BMP Performance Monitoring. A Guidance Manual for Meeting the National Stormwater BMP Database Requirements" Prepared by GeoSyntec Consultants, Urban Drainage and Flood Control District and Urban Water Resources Research Council (UWRRC) of ASCE in cooperation with Office of Water (4303T) US Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460, April 2002. EPA-821-B-02-001. 216 p.
- Asian Development Bank – ADB (2013). *Investing in Resilience. Ensuring a Disaster-Resistant Future.*
- Asian Development Bank – ADB (2016). *Green solutions for livable cities.*
- Association of British Insurers (2005) – *ABI. Flood resilient homes. What homeowners can do to reduce flood damage.*
- Bailey, R. (1996). Ecosystem geography. New York: Springer-Verlag.
- Bailey, T. (1998). Ecoregions, the ecosystem geography of the oceans and continents. New York: Springer-Verlag.
- Balmforth, D.; Digman, C.; Kellagher, R. y Butler, D. (2006) "Designing for exceedance in urban drainage: good practice". CIRIA, London: CIRIA. Publication C635.
- Ballester-Olmos, J.F., Peris-García, P.P., Perales-Momparler, S., Andrés-Doménech, I., Escuder-Bueno, I. (2015): El agua en Benaguasil. Un viaje en el tiempo. Ajuntament de Benaguasil, España. ISBN: 978-84-606-9596-7.
- Bannerman, R.; Considine, E. (2003). Rain gardens. Wisconsin: Wisconsin Department of Natural Resources.
- Bayon, Joseba R.; Rodríguez Hernández, J. y Castro Fresno, D. (2005) "Previous pavement research in Spain" Proceedings of the Third Nacional Conference on Sustainable Drainage Coventry University, Coventry, England.

- Bayon, Joseba R.; Castro, D.; Moreno-Ventas, X.; Coupe, S.J. and Newman, A.P. (2005) "Per-vious pavement research in Spain: Hydrocarbon degrading microorganisms"; 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen, Denmark.
- Bolin, B. (1991). The greenhouse effect, climatic change, and ecosystems, scope 29. Chichester: John Wiley & Sons Limited.
- Bridgman, H. (1990). Global air pollution: Problems for the 1990s. Chichester: John Wiley & Sons Limited.
- Bryant, E. (1997). Climate process & change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Butler, D.; Davies, J. W. (2000) "Urban Drainage"; London and New York: E & FN Spon; ISBN 0-419-22340-1.
- C. E. Rickard (2009). *Floodwalls and flood embankments.*
- Caitlin, D.; Farrelly, M. (2009). Demonstration Projects: Case studies from Perth, Australia. Clayton: Monash University.
- Caltrans. (2007) "Treatment BMP Technology Report." Rep. No. Final, California Department of Transportation, Division of Environmental Analysis, Sacramento, California.
- Cano Amador, A. J. (1996) "Contaminación de la escorrentía superficial en un área metropo-litana en un área metropolitana de la ciudad de Santander", Tesina de Master, dirigida por Tejero Monzón, J. I.; Santander: Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria.
- Castro Fresno, D.; Ballester Muñoz, F.; Rodríguez Hernández, J. y Bayon, J. R. (2004) "Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). Presentación del proyecto de investigación "Desarrollo de nuevas estructuras de firmes filtrantes biodegradantes de hidrocarburos (FIDICA)" VII Congreso Nacional del Medio Ambiente, Santander.
- Castro Fresno, D.; Rodríguez Hernández, J. y Bayón, Joseba R. (2006). "Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible". XXXIII Congreso Nacional de Parques y Jardines Públicos (PARJAP 2006) Una nueva sociedad, un nuevo paisaje. Santander.
- Castro, D.; Bayón, Joseba R.; Rodríguez, J. and González-Angullo, N. (2006) "Design process of a new concrete block for permeable pavements. Laboratory test studies" 8th International Conference on Concrete Block Paving. Sustainable Paving for Our Future. Interlocking Concrete Pavement Institute. San Francisco, California, EEUU.
- CEDEX (1995). Curso sobre impactos y riesgos climáticos. Madrid: Ministerio de Obras Públicas.
- Centre Européen de Prévention et de gestion des Risques d'Inondation - CEPRI (2005). Inondations. *Guide d'évaluation de la vulnérabilité des Bâtiments vis-a-vis de l'inondation.*
- Centre Européen de Prévention et de gestion des Risques d'Inondation - CEPRI (2008). *Les digues de protection contre les inondations.*
- Centre Européen de Prévention et de gestion des Risques d'Inondation - CEPRI (2009). *Rapport. Un logement "zéro dommage" face au risque d'inondation est-il posible?*
- Centre Européen de Prévention et de gestion des Risques d'Inondation - CEPRI (2010). *Les digues de protection contre les inondations.*
- Centre Européen de Prévention et de gestion des Risques d'Inondation - CEPRI (2010). *Le bâtiment face á l'inondation. Diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité.*
- Centre Européen de Prévention et de gestion des Risques d'Inondation - CEPRI (2010). *Le bâtiment face á l'inondation. Vulnérabilité des ouvrages.*
- Centre Européen de Prévention et de gestion des Risques d'Inondation - CEPRI (2011). *Bâtir un plan de continuité d'activité d'un service public. Les collectivités face au risque d'inondation.*
- Centre Européen de Prévention et de gestion des Risques d'Inondation - CEPRI (2011). *L'ACB (analyse coût/bénéfice): una aide á la decisión au service de la gestión des inondations.*

- Centre Européen de Prévention et de gestion des Risques d'Inondation - CEPRI (2015). *Impulser et conduire une démarche de réduction de la vulnérabilité des activités économiques.*
- Centre Européen de Prévention et de gestion des Risques d'Inondation - CEPRI (2015). *Rapport. Commen saisir les opérations de renouvellement urbain pour réduire la vulnérabilité des territoires inondables face au risque d'inondation?*
- Centre of Expertise for Waters – CREW (2012). *Review of the literature on community based flood resilience measures.*
- Chiras, D. (1994). Environmental science. Action for a sustainable futur. California: Benjamin/Cummings Publishing Company Inc.
- CIRIA C521 (2000) "Sustainable urban drainage systems, design manual for Scotland and Nothern Ireland"; Edición 2001, London: CIRIA.
- CIRIA C522 (2000) "Sustainable urban drainage systems, design manual for England and Wales"; Edición 2001, London: CIRIA; CIRIA C522, Environment Agency report W230.
- CIRIA C523 (2001) "Sustainable urban drainage systems, best practice manual for England, Scotland, Wales and Nothern Ireland"; Edición de noviembre 2001, London: CIRIA; CIRIA C523.
- Clar. M. (2004). Stormwater Best Management Design Guide. Vegetative Biofilters. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory.
- Coffman, L.S.; Siviter, T. (2008). Advanced Bioretention System. Discussion of the Benefits, Mechanisms and Efficiencies for Bacteria Removal. Washington: LID Conference Proceedings.
- Collins, A. (2008). Better Neighbourhoods Program-Sustainable Water Management. Sidney: Sustainable Water Challenge Awards.
- Comisión Europea (2013). *Libro verde sobre el aseguramiento de catástrofes naturales y antropógenas.*
- Communities and Local Government (2007). *Improving the flood performance of new buildings. Flood resilient construction. United Kingdom.*
- Confederación Hidrográfica del Ebro (2016). *Plan de Gestión del Riesgo de Inundación de la cuenca del Ebro (folleto).* España.
- Consorcio Compensación de Seguros (2014). *El Consorcio de Compensación de Seguros en las catástrofes naturales.* España.
- Consorcio Compensación de Seguros (2015). *Actividad y Funciones.* España.
- Consorcio Compensación de Seguros (2015). *La cobertura de los riesgos extraordinarios en España.* España.
- Coupe, S. J.; Smith, H. G., Newman, A. P.; Puehmeier, T. (2003) "Biodegradation and microbial diversity within permeable pavements"; European Journal of Protistology, No. 39, pp. 495-498.
- CRANA (2008). "Buenas prácticas locales de gestión sostenible del agua y de los ríos de Navarra". Pamplona: Federación Navarra de Municipios y Concejos y Gobierno de Navarra.
- Davies, J. W.; Pratt, C. J.; Scott, M. A. (2002) "Laboratory study of permeable pavement systems to support hydraulic modelling"; Proceedings of the 9th International Conference on Urban Drainage (9ICUD).
- Domenech, X. (1995). Química del suelo. El impacto de los contaminantes. Madrid.
- E. de Mora Jiménez y A. Díez Herrero (2008). *Análisis del riesgo de inundación en localizaciones puntuales: el edificio Sabatini (Toledo).* España.
- Echarri, L. (1998). Ciencias de la tierra y del medio ambiente. Barcelona: Editorial Teide, S.A.
- Ederra, A. (1996). Botánica ambiental aplicada. Las plantas y el equilibrio ecológico. Pamplona: Ediciones Eunsa.
- Ellis, S. (1995). Soils and environment. Londres: Routledge & Kegan Paul Ltd., 1995.

- Environment Agency - EA (2009). *Personal flood plan.*
- Environment Agency - EA (2009). *Prepare your property for flooding. A guide for householders and small businesses.*
- Environment Agency - EA (2011). *Would your business stay afloat?*
- Environment Agency - EA (2012). *Flooding-minimizing the risk.*
- Environment Agency - EA (2014). *Living on the edge. A guide to your rights and responsibilities of Riverside ownership.*
- Federal Emergency Management Agency - FEMA (1993). *Floods and flash floods.*
- Federal Emergency Management Agency - FEMA (1999). *Protecting building utilities from flood damage.*
- Federal Emergency Management Agency - FEMA (2000). *Evaluation of erosion hazards.*
- Federal Emergency Management Agency - FEMA (2000). *Reducing flood losses through the international code series.*
- Federal Emergency Management Agency - FEMA (2003). *Developing the mitigation plan. Identifying mitigation actions and implementation strategies.*
- Federal Emergency Management Agency - FEMA (2008). *Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis.*
- Federal Emergency Management Agency - FEMA (2008). *Understanding your risk. Identifying hazards and estimating losses.*
- Federal Emergency Management Agency - FEMA (2009). *Protecting Manufactured homes from Floods and other hazards. A multi-Hazard Foundation and Installation Guide.*
- Federal Emergency Management Agency - FEMA (2010). *Cómo proteger su vivienda y propiedad de los daños ocasionados por inundaciones. Ideas de mitigación para reducir las pérdidas ocasionadas por inundaciones.*
- Federal Emergency Management Agency - FEMA (2010). *Home Builder´s guide to Coastal Construction.*
- Federal Emergency Management Agency - FEMA (2013). *Advisory base flood elevation map. New York.*
- Federal Emergency Management Agency - FEMA (2014). *Homeowner's guide to retrofitting.*
- FloodProBe (2013). *Technologies for flood protection of the built environment.*
- FloodRe (2016). *Transitioning to an affordable market for household flood insurance. The first Flood Re transition plan.*
- FloodSite (2009). *Flood risk assessment and flood risk management.*
- Francisco, G. (2004) "Diseño de nuevos materiales procedentes del reciclaje de escombros de construcción y demolición: RUE (residuos urbanos de edificación) y RAHA (residuos de aglomerados 24 hidráulicos y asfálticos)"; Tesis Doctoral dirigida por Ballester Muñoz, F.; Santander: Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos, Universidad de Cantabria.
- Francisco Javier Sánchez Martínez, Jesús Yagüe Córdoba y Christine Andrés Moreno (2012). *Programas de disminución de la vulnerabilidad como herramienta básica para la mitigación de los daños producidos por las inundaciones.* España.
- Freedman, B. (1989). Environmental ecology. The impacts of pollution and other stresses on. California: Academic Press.
- Gestión Ambiental Viveros y Repoblaciones de Navarra, S.A. (2011). *Estudio de evaluación, gestión y ordenación hidráulica del riesgo de inundaciones en el río Bidasoa en Navarra.* España.
- Günther, O. (1998). Environmental information systems. Berlin: Springer-Verlag.
- Halcrow Groun Limited (2009). *Strategic Flood Risk Assessment.*

- Higgins, T. (1995). Pollution prevention handbook. Boca Raton: Crc Press.
- Homecheck (2012). *Flood report.*
- Instituto Geológico y Minero de España – IGME y Consorcio de Compensación de Seguros – CCS (2004). *Análisis del impacto de los riesgos geológicos en España. Evaluación de pérdidas por terremotos e inundaciones en el periodo 1987-2001 y estimación para el periodo 2004-2033.* España.
- Instituto Tecnológico Geominero de España (1992). Las aguas subterráneas y los plaguicidas. Madrid: Instituto Geológico Minero de España.
- Instituto Tecnológico Geominero de España. (1995). Contaminación y depuración de suelo. Madrid: Instituto Geológico Minero de España.
- International Strategy for Disaster Reduction – ISDR, *Special Unit for South-South Cooperation (2007). Handbook on Good Building Design and Construction.*
- J. A. Ballesteros-Cánovas, M. Sánchez-Silva, J. M. Bodoque y A. Díez-Herrero (2013). *An integrated approach to flood risk management: a case study of Navaluenga (Central Spain). Water Resources Management.*
- J. Garrote, F. M. Alvarenga y A. Díez-Herrero (2016). *Quantification of flash flood economic risk using ultra-detailed stage-damage functions and 2-D hydraulic models.*
- Jez Wingfield, Malcolm Bell, Pam Bowker (2005). *Improving the flood resilience of buildings through improved materials, methods and details.*
- Laws, E. (1993). Aquatic pollution, an introductory text. New York: John Wiley & Sons lt.
- Lewis, M. (2008). Archer Creek Rehabilitation at Lambert Park. Sidney: Sustainable Water Challenge Awards.
- Mage, D.T. (1992). Motor vehicle air pollution. Public health impact & control measures. Geneva: World Heath Organization.
- Massmann, W. (2003). Implementation of Infiltration ponds research. Washington: Washington State Transportation Commision.
- Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement; Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2012). *Référentiel de travaux de prévention du risque d'inondation dans l'habitat existant. Francia.*
- Ministerio de Educación y Ciencia y Consorcio Compensación de Seguros – CCS (2004). *Pérdidas por terremotos e inundaciones en España durante el periodo 1987-2001 y su estimación para los próximos 30 años (2004-2033).* España.
- Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (2011). *Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.* España.
- Naciones Unidas (2012). *Cómo desarrollar ciudades más resilientes. Un manual para líderes de los gobiernos locales.*
- National Flood Forum (2017). *Household Insurance*
- National SUDS Working Group (2003) "Framework for Sustainable Drainage Systems (SUDS) in England and Wales" TH-5/03-3k-C-BHEY.
- Navarro, A. (1993). Las aguas subterráneas en España (2 tomos) estudios de síntesis. Madrid: Instituto Geológico Minero de España.
- Nieuwenhuis, P. (1994). Motor vehicles in the enviroment. Principles and practice United States: John Wiley & Sons Limited.

- Novotny, V. (1989). Handbook of urban drainage and wastewater disposal. Nueva York: John Willey & Sons.
- Office of the Deputy Primer Minister (2003). *Preparing for floods. United Kingdom.*
- Páramo, J.; Cassan, R. Manual de diseño para pavimentos de bajos volúmenes de tránsito. Rosario: Universidad Nacional de Rosario.
- Perales-Momparler, S., Soto Fernández, R. (2013). La integración de la gestión de las escorrentías en el paisaje de Barcelona: actuaciones de regeneración urbana. 147-154. En: Vallés-Morán, F.J., Andrés-Doménech, I., Escuder-Bueno, I., López-Jiménez, P.A., Marco Segura, J.B. (eds), 2013. III Jornadas de Ingeniería del Agua. La protección contra los riesgos hídricos. Vol 2. ISBN: 978-84-267-2071-9.
- Pérez, C. (1993). Lucha contra la contaminación por vertidos de hidrocarburos. Madrid.
- Pratt, C. J. (2003) "Sustainable Drainage. A review of published material on the performance of various SUDS components"; The Environmental Agency, UK.
- Pratt, C.J. (2003) "Application of geosynthetics in sustainable drainage systems" 1st International Geosynthetics Society, UK Chapter 'Geosynthetics: Protecting the Environment', Loughborough, 17 June.
- Puehmeier, T.; Coupe, S. J.; Newman, A. P.; Shuttleworth, A.; Pratt, C. J. (2004) "Recent developments in oil degrading pervious pavement systems-improving sustainability" NOVATECH'2004, Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management, 5 International Conference; Lyon: Graie; pp. 811-818.
- Remenieras, G. (1974). Tratado de hidrología aplicada. Barcelona: Editores Técnicos Aso-ciados, S.A.
- Rodríguez Hernández, J.; Castro Fresno, D.; Calzada Perez, Miguel A. and Davies, J. W. (2005) "Pervious pavement research in Spain: Structural and Hydraulic issues"; 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen, Denmark.
- Rodríguez Hernández, J.; Bayon, J. R.; Castro Fresno, D.; Calzada Pérez, M.A.; Canteras Jordana, J. C.; Ballester Muñoz, F.; Marañón Maisón, E.; Muñoz Vegas, M. y Lasa, P. (2006) "Construcción de pavimentos permeables para el control en origen de la escorrentía urbana: Ejemplo práctico del aparcamiento del palacio de deportes de la Guía" III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente, Agua, Biodiversidad e Ingeniería (ICITEMA), Zaragoza.
- Rodriguez Rojas, M.;(2017) "Guía para la integración de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en el proyecto urbano".
- Rusciano, G.M.; Obropta, C.C. (2005). Efficiency of Bioretention Systems to reduce Coliform counts in Stormwater. Orlando: North American Surface water quality conference & Exposition.
- Scholz, M. and Grabowiecki, P. (2007) "Review of permeable pavement systems". Building and Environment, 42 (11).
- SEPA, Environment Agency, Environmental and Heritage Service (2001) "Sustainable urban drainage systems: an introduction"; Catálogo informativo publicado por: Scottish Environ-ment Agency (SEPA), Environment Agency, Environment and Heritage Service; Reino Unido.
- The World Bank - The United Nations (2010). *Peligros naturales, desastres evitables. La economía de la prevención efectiva.*
- Tragsa (2015) "GIAE, La Gestión integral del agua de lluvia en entornos edificados".
- Ven Te Chow; David R. Maidment; Larry W. Mays (1994). *Hidrología Aplicada.*
- Working Group Floods – CIS (2012). *Flood Risk Management, Economics and Decision Making support.*

DIRECCIONES WEB

GUIAS

Guía GIAE

- http://www.tragsa.es/_layouts/GrupoTragsa/Ficha-Publicacion.aspx?ID=47&language_cd=es&pi=0&q=giae&tipo=-1&LA=-1

PÁGINAS WEB

web SUDS España

- http://drenajeurbanosostenible.org
- http://drenajesostenible.com
- http://hidrologiasostenible.com/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-suds

web gestión INUNDACIONES España

- https://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/
- https://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/planes-gestion-riesgos-inundacion/
- https://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/
- https://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/usos-del-suelo-en-zonas-inundables/

web SUDS UK

- https://www.ciria.org

web agencia de medioambiente UK.

- https://www.gov.uk/government/organisations/environment-agency

web inundaciones y tiempo extremo. Gov.UK

- https://www.gov.uk/browse/environment-countryside/flooding-extreme-weather

web FloodToolkit Northamptonshire. UK

- https://www.floodtoolkit.com/planning/surface-water-drainage/

web SUDS Francia

- http://www.cepri.net/

web datos US

- https://www.fema.gov/es

web resiliencia US

- http://www.resilientus.org/publications/community-specific-publications/

web construcción y resiliencia. Conferencia internacional 2018.

- http://2018.buildresilience.org/

web Ciudades resilientes, de Naciones Unidas.

- http://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/home

INFORMES / DOCUMENTOS

Informe: sobre reducción de vulnerabilidad ante inundaciones en entornos urbanos. CEPRI.

- http://www.cepri.net/tl_files/Guides%20CEPRI/CEPRI%20rapport%20principe%20amenagt.pdf

Documento: El edificio frente a la inundación. CEPRI.

- https://www.cepri.net/tl_files/pdf/aidememoire.pdf

Documento: Diagnóstico de vulnerabilidad de edificios frente a la inundación. CEPRI.

- https://www.cepri.net/tl_files/pdf/guidevulnerabilite.pdf

Informe: ¿ es posible un edificio sin daños por inundación? CEPRI.

- https://www.cepri.net/tl_files/pdf/ceprilogementzerodommage.pdf

Documento: referencias de prevención ante el riesgo de inundación. Ministerio de Ecología.

- http://www.mementodumaire.net/wp-content/uploads/2012/08/referentielInondation.pdf

Documento: Preparandose para las inundaciones. Environment Agency UK.

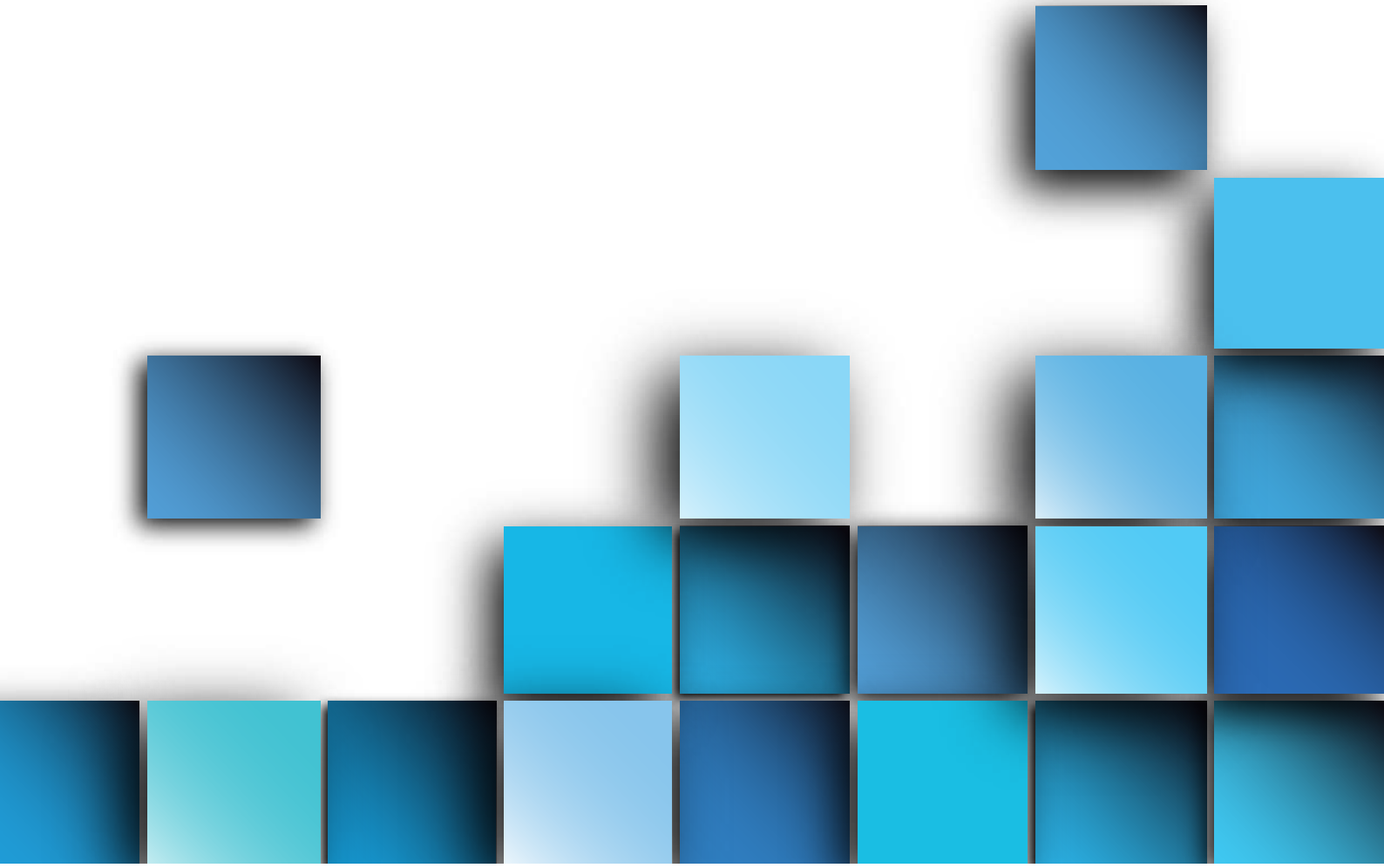
- https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/11485/2187544.pdf

Documento: construcciones reslientes ante inundaciones. UK.

- https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/7730/flood_performance.pdf

Documento: tecnologías para la protección del entorno edificado ante inundaciones. FloodProBE.

- http://www.floodprobe.eu/partner/assets/documents/floodprobe guidance_18 09 2013_draft_for_aix_wrkshp.pdf



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA