



# Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes



Excmo. Ayuntamiento de Orihuela



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Riesgo de inundación en España:  
análisis y soluciones para la generación  
de territorios resilientes

**Editores:**

M<sup>a</sup> Inmaculada López Ortiz  
Joaquín Melgarejo Moreno

© los autores, 2020  
© de esta edición: Universitat d'Alacant

ISBN: 978-84-1302-091-4

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información, ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado -electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etcétera-, sin el permiso previo de los titulares de la propiedad intelectual.

Coordinado por:

Patricia Fernández Aracil

# ÍNDICE

<b>PRESENTACIÓN: DE LAS ROGATIVAS A LA GESTIÓN DE LAS INUNDACIONES EN ESPAÑA, <i>M<sup>a</sup> Inmaculada López Ortiz y Joaquín Melgarejo Moreno</i></b> .....	13
<b>PRÓLOGO: CONVIVIR CON LA INUNDACIÓN, <i>Jorge Olcina Cantos</i></b> .....	21
<b>BLOQUE I. FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL</b> .....	25
<b>EFICACIA DE LAS MEDIDAS MULTI-ESCALA PARA REDUCIR EL POTENCIAL EROSIVO Y LOS ARRASTRES DE SEDIMENTOS EN CUENCAS SEMI-ÁRIDAS, <i>Luis G. Castillo Elsitdié, Juan T. García Bermejo, Juan Manuel García-Guerrero, José María Carrillo Sánchez, Francisco Javier Pérez De La Cruz</i></b> .....	27
<b>PRECIPITACIONES INTENSAS EN LA COMUNIDAD VALENCIANA. ANÁLISIS, SISTEMAS DE PREDICCIÓN Y PERSPECTIVAS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO, <i>Jorge Tamayo Carmona, José Ángel Núñez Mora</i></b> .....	49
<b>LIMITACIONES AL USO DEL SUELO EN ZONAS INUNDABLES: LEGISLACIÓN DE AGUAS, URBANÍSTICA Y DE PROTECCIÓN CIVIL, <i>Ángel Menéndez Rexach</i></b> ...	63
<b>FORTALEZAS Y DEBILIDADES DE LOS SISTEMAS DE ALERTA ANTE INUNDACIONES, <i>Gregorio Pascual Santamaría</i></b> .....	83
<b>REVISIÓN DE LOS EVENTOS MÁXIMOS DIARIOS DE PRECIPITACIÓN EN EL DOMINIO CLIMÁTICO DE LA MARINA ALTA Y LA MARINA BAJA (ALICANTE), <i>Javier Valdés Abellán, Mauricio Úbeda Müller</i></b> .....	109
<b>INUNDACIONES Y CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MEDITERRÁNEO, <i>María del Carmen Llasat Botija</i></b> .....	127
<b>DANA 2019 Y ASPECTOS RELATIVOS A LA ESTIMACIÓN Y TRATAMIENTO DEL RIESGO ASOCIADO A INUNDACIONES, <i>Luis Altarejos García, Juan T. García Bermejo, José María Carrillo Sánchez, Juan Manuel</i></b> .....	143
<b>IMPLANTACIÓN DEL SERVICIO SMART RIVER BASINS EN LA VEGA BAJA DEL SEGURA, <i>Álvaro Rogríguez García, Ramón Bella Piñeiro, Xavier Llort, Simón José Pulido Leboeuf, Manuel Argamasilla Ruiz</i></b> .....	167
<b>METEOROLOGÍA DE LAS INUNDACIONES MEDITERRÁNEAS, <i>Agustí Jansà Clar</i></b> .....	185
<b>IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRADO DE PREDICCIÓN Y ALERTA DE INUNDACIONES EN GALICIA, <i>Jerónimo Puertas Agudo</i></b> .....	207
<b>PLATAFORMAS DE ALERTA TEMPRANA Y DE GESTIÓN DE AVENIDAS. VISIÓN DESDE LA ADMINISTRACIÓN LOCAL, <i>Miguel Fernández Mejuto</i></b> .....	225
<b>EL RIESGO DE INUNDACIÓN EN RAMBLAS Y BARRANCOS MEDITERRÁNEOS, <i>Ana M<sup>a</sup> Camarasa-Belmonte</i></b> .....	239
<b>ESTADO DE IMPLANTACIÓN DE LOS PLANES DE GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN (P.G.R.I.) EN ESPAÑA, <i>Mónica Aparicio Martín, Juan Francisco Arrazola Herreros, Francisco J. Sánchez Martínez</i></b> .....	257
<b>INUNDABILIDAD Y PLANIFICACIÓN URBANÍSTICA: HACIA EL ACLOPLAMIENTO DE LA CIUDAD A LA MATRIZ BIOFÍSICA DEL</b>	

<b>TERRITORIO</b> , <i>Pedro Górgolas Martín</i> .....	281
<b>EVALUACIÓN DE LA CALIDAD QUÍMICA DE LOS AZARBES DEL BAJO SEGURA Y EL BAIX VINALOPÓ TRAS LAS INUNDACIONES DE SEPTIEMBRE DE 2019</b> , <i>Gema Marco Dos Santos, Ignacio Meléndez Pastor, María Belén Almendro Candel, José Navarro Pedreño, Ignacio Gómez Lucas</i> .....	305
<b>DELIMITACIÓN DE ZONAS INUNDABLES: EVOLUCIÓN LEGISLATIVA Y RÉGIMEN VIGENTE</b> , <i>Ángel Menéndez Rexach</i> .....	315
<b>PARTICULARIDADES DE LA PERIURBANIZACIÓN EN EL LITORAL MEDITERRÁNEO COMO CONDICIONANTE DEL RIESGO DE INUNDABILIDAD</b> , <i>Antonio Gallegos Reina</i> .....	325
<b>LA CARTOGRAFÍA DE VULNERABILIDAD COMO BASE DE LOS PLANES DE EMERGENCIA: ANÁLISIS-DIAGNÓSTICO DEL TÉRMINO MUNICIPAL DE DAYA VIEJA (ALICANTE)</b> , <i>Antonio Oliva Cañizares, Alejandro Sainz-Pardo Trujillo y Esther Sánchez Almodóvar</i> .....	333
<b>VULNERABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO TERRITORIAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA, PROVINCIA DEL AZUAY (ECUADOR)</b> , <i>Johnny Mena Iza, Yessenia Alquina Herrera, Teresa Palacios Cabrera</i> .....	347
<b>PREDICCIÓN DE INUNDACIONES A PARTIR DE TORMENTAS DE DISEÑO Y CAMBIOS EN EL TERRITORIO EN CINCO CUENCAS HIDROLÓGICAS (SE ESPAÑA)</b> , <i>Antonio Jódar Abellán, Javier Valdés Abellán, Concepción Pla, Miguel Ángel Pardo Picazo, Pedro Jiménez Guerrero, Daniel Prats</i> .....	357
<b>ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA DE CAUDALES MÁXIMOS DE AVENIDA EN EL TRAMO TORO-ZAMORA: POSIBLE INCIDENCIA DE LA SINUOSIDAD DEL RÍO DUERO EN LA LAMINACIÓN DE LAS PUNTAS DE CRECIDA</b> , <i>José Fernando Muñoz Guayanay, Carolina Guardiola Albert y Andrés Díez Herrero</i> .....	367
<b>EFFECTOS DE LA DANA DE SEPTIEMBRE DE 2019 SOBRE LA SALINIDAD DE LOS SUELOS Y LAS AGUAS EN LA ZONA DE CARRIZALES (ELCHE-ALICANTE)</b> , <i>José Miguel de Paz, Alberto Lamberti, Fernando Visconti</i> .....	377
<b>PREVENCIÓN FRENTE A PRESENCIA DE TRIHALOMETANOS EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO DURANTE INUNDACIONES</b> , <i>Arturo Albaladejo Ruiz, María Yolanda Pérez Bragado</i> .....	389
<b>ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO Y SU IMPACTO EN LA RESPUESTA HIDROLÓGICA EN LA CUENCA DEL EMBALSE DE GUADALEST</b> , <i>Teresa Palacios Cabrera, Javier Valdés Abellán, Antonio Jódar Abellán, Rafael Alulema</i> .	399
<b>RECIENTES EPISODIOS DE LLUVIAS E INUNDACIONES EN LA DEPRESIÓN PRELITORAL MURCIANA</b> , <i>Encarnación Gil-Meseguer, Miguel Borja Bernabé-Crespo, José María Gómez-Espín</i> .....	409
<b>RECIENTES EPISODIOS DE LLUVIAS E INUNDACIONES EN EL LITORAL DE LA REGIÓN DE MURCIA</b> , <i>Miguel Borja Bernabé-Crespo, Encarnación Gil- Meseguer, José María Gómez-Espín</i> .....	419
<b>SISTEMA DE ALERTA ANTE INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE MURCIA</b> , <i>Pedro Daniel Martiñez Solano, Lorena Martínez Chenoll, Dorota Nowicz</i> .....	431
<b>CONFLICTOS ENTRE DESARROLLO URBANO E INUNDABILIDAD EN LA AGLOMERACIÓN URBANA DE GRANADA</b> , <i>Alejandro L. Grindlay Moreno, F. Emilio, Molero Melgarejo, Jorge Hernández Marín</i> .....	441

<b>VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL SEGURA DURANTE 1951-2018</b> , <i>Amar-Halifa-Marín, Miguel Ángel Torres Vázquez, Juan Sndrés García-Valero, Antonio Jesús Castillo Cascales, Juan Esteban Palenzuela Cruz</i> .....	451
<b>LOS BARRANCOS DE LA SIERRA DE ORIHUELA EN LAS INUNDACIONES DEL BAJO SEGURA: EL CASO DE LA RAMBLA DE BONANZA</b> , <i>Estela García Botella, Antonio Prieto Cerdán, Juan Antonio Marco Molina, Pablo Giménez Font, Ascensión Padilla Blanco</i> .....	465
<b>INUNDACIÓN POR TSUNAMIS. SIMULACIONES NUMÉRICAS A MUY ALTA RESOLUCIÓN</b> , <i>Carlos Sánchez Linares, Alejandro González del Pino, Jorge Macías Sánchez</i> .....	477
<b>LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LOS ÁMBITOS URBANOS. UN ELEMENTO A TENER EN CUENTA PARA LA PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO</b> , <i>Luis Miguel García Lozano</i> .....	489
<b>BLOQUE II. MEDIDAS DE MITIGACIÓN E INFRAESTRUCTURAS</b> .....	499
<b>ORDENACIÓN DEL TERRITORIO PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIONES: PROPUESTAS</b> , <i>Jorge Olcina Cantos</i> .....	501
<b>EVOLUCIÓN DE LA GESTIÓN DE LAS INUNDACIONES EN ESPAÑA: RETOS FUTUROS</b> , <i>Teodoro Estrela Monreal</i> .....	517
<b>LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES EN ÁREAS URBANAS: DE RIESGO A RECURSO</b> , <i>María Hernández Hernández, David Sauri Pujol, Álvaro-Francisco Morote Seguido</i> .....	531
<b>CRECIDAS, INUNDACIONES Y RESILIENCIA: RESTAURACIÓN FLUVIAL CONTRA LOS FALSOS MITOS</b> , <i>Alfredo Ollero Ojeda</i> .....	549
<b>EXPERIENCIAS Y PROPUESTAS PARA AUMENTAR LA RESILIENCIA URBANA FRENTE A INUNDACIONES</b> , <i>M<sup>a</sup> Elena García de Consuegra Priego</i> .....	569
<b>ESTADO DE RIESGO DE LA VEGA BAJA DEL RÍO SEGURA FRENTE A INUNDACIONES. NECESIDAD DE REALIZAR UN PLAN DE INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS</b> , <i>José Vicente Benadero García-Morato, Pedro Ignacio Muguruza Oxinaga, Jordi Marín Abdilla</i> .....	591
<b>INCREMENTO DE LOS CAUDALES MÁXIMOS DE DISEÑO Y POSIBLE NO ESTACIONARIEDAD DE FENÓMENOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS RELATIVOS A CRECIDAS E INUNDACIONES</b> , <i>Francisco Cabezas Calvo-Rubio</i> ....	611
<b>EL EFECTO LAMINADOR DE LOS EMBALSES DURANTE LAS AVENIDAS</b> , <i>Luis Garrote de Marcos, Paola Bianucci</i> .....	629
<b>LAS POLÍTICAS DE GESTIÓN DE RIESGOS Y DESASTRES DE DISTINTOS ORGANISMOS MULTILATERALES Y SU REPERCUSIÓN SOBRE EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN FRENTE A INUNDACIONES</b> , <i>Ignacio Escuder Bueno</i> .....	647
<b>LA ADAPTACIÓN COMO HERRAMIENTA CLAVE PARA DISMINUIR LOS RIESGOS DE INUNDACIÓN</b> , <i>Francisco Javier Sánchez Martínez, Mónica Aparicio Martín, Juan Francisco Arrazola Herreros</i> .....	659
<b>ESTUDIO DE IMPACTO DE TSUNAMIS EN LAS COSTAS ESPAÑOLAS</b> , <i>Miguel Llorente Isidro, Marta Fernández-Hernández, Alejandro González del Pino, Julián García-Mayordomo, Juan Vicente Cantavella Nadal, Jorge Macías Sánchez, Juan-Tomás Vázquez, Carlos Sánchez Linares, Carlos Paredes Bartolomé, Ricardo León Buendía</i> .....	684

<b>ENFOQUE PROBABILÍSTICO PARA LA SEGURIDAD HIDROLÓGICA DE INFRAESTRUCTURAS,</b> <i>Alvaro Sordo-Ward, Iván Gabriel-Martín, Luis Garrote de Marcos</i> .....	701
<b>CONSIDERACIONES SOBRE LA PELIGROSIDAD EN ZONAS URBANAS FRENTE A NUNDACIONES MEDIANTE SIMULACIONES A PARTIR DE MODELOS 2D,</b> <i>José María Carrillo Sánchez, Luis G. Castillo Elsitdié, Juan T. García Bermejo, Juan Manuel García-Guerrero, Luis Altarejos García, Francisco Javier Pérez De La Cruz</i> .....	723
<b>LA GESTIÓN EXTRAORDINARIA DE GRANDES INFRAESTRUCTURAS DURANTE LA DANA DE SEPTIEMBRE DE 2019: EL AZUD DE OJÓS,</b> <i>Carlos Marco Ayala</i> .....	743
<b>NUEVOS USOS EN EL NUEVO CAUCE DEL TURIA COMPATIBLES CON SU DEFENSA DE VALENCIA FRENTE A INUNDACIONES,</b> <i>Francisco J. Vallés-Morán, Beatriz Nacher Rodríguez</i> .....	759
<b>SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE. TIPOS Y OBJETIVOS,</b> <i>Héctor Fernández Rodríguez, Arturo Trapote Jaume, Miguel Fernández Mejuto</i> .....	773
<b>INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) EN EL DISEÑO DE COLECTORES Y EN EL RIESGO DE INUNDACIÓN,</b> <i>Arturo Trapote Jaume</i> .....	787
<b>RESEARCH ON URBAN WATERLOGGING IN CHINA,</b> <i>Yang Yang</i> .....	797
<b>GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA,</b> <i>José Alberto Redondo Orts, M. Inmaculada López Ortiz</i> .....	805
<b>EL PROBLEMA DE LA ESCORRENTÍA PLUVIAL EN EL NÚCLEO URBANO DE ASPE (ALICANTE),</b> <i>Esther Sánchez Almodóvar, Javier Martí Talavera</i> .....	817
<b>AS OBRAS DE PREVENÇÃO DE INUNDAÇÕES NO MARCO DA ECONOMIA CIRCULAR,</b> <i>Felipe da Silva Claudino</i> .....	829
<b>DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA HIDROLÓGICA. DESARROLLO DE UN MODELO METODOLÓGICO PARA LA GESTIÓN RESILIENTE DE LAS INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS URBANAS,</b> <i>Ramón Egea Pérez, Francisco José Navarro González</i> .....	841
<b>EFFECTO SOBRE LAS INUNDACIONES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN LA RAMBLA DEL ALBUJÓN,</b> <i>Adrián López Ballesteros, Javier Senent Aparicio, Julio Pérez Sánchez, Patricia Jimeno Sáez</i> .....	855
<b>METODOLOGÍA DE REHABILITACIÓN DE REDES DE DRENAJE MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE ELEMENTOS DE CONTROL HIDRÁULICO,</b> <i>Leonardo Bayas-Jiménez, F. Javier Martínez-Solano, Pedro L. Iglesias-Rey</i> .....	863
<b>SOSTENIBILIDAD COMO MEDIDA DE MITIGACIÓN DE INUNDACIONES: UNA BREVE REFLEXIÓN,</b> <i>Francine Cansi, Paulo Márcio Cruz, Liton Lannes Pilau Sobrinho</i> .....	873
<b>LA RAMBLA DE ABANILLA-BENFERRI COMO PARADIGMA PARA EL ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO TRADICIONAL RELATIVO AL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DE AVENIDA,</b> <i>Juan Antonio Marco Molina, Pablo Giménez Font, Ascensión Padilla Blanco, Estela García Botella, Antonio Prieto Cerdán</i> .....	881



<b>LA RECUPERACIÓN DE COSTES Y LA FINANCIACIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE DAÑOS DE INUNDACIONES, Marcos García-López, Borja Montaña, Joaquín Melgarejo</b> .....	897
<b>SISTEMA DE RETENCIÓN DE SÓLIDOS Y ELEMENTOS FLOTANTES PROCEDENTES DE ALIVIOS DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO EN LA CIUDAD DE ALICANTE, Luis Gabino Cutillas Lozano, Miguel Rodríguez Mateos</b> .....	907
<b>SOLUCIONES A LAS INUNDACIONES DE LA CALA DE FINESTRAT, Miguel Angel Pérez Pascual, Pablo Alemany Sánchez</b> .....	917
<b>BLOQUE III. EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA, AMBIENTAL Y JURÍDICA</b> .....	931
<b>PLANIFICACIÓN SECTORIAL Y GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIONES: AVANCES EN LA ESTRATEGIA DE INTEGRACIÓN TÉCNICO-JURÍDICA, Asensio Navarro Ortega</b> .....	933
<b>SEGURO DE INUNDACIÓN EN ESPAÑA: EL SEGURO DE RIESGOS EXTRAORDINARIOS, Francisco Espejo Gil</b> .....	957
<b>LA COMUNICACIÓN, UN PILAR FUNDAMENTAL EN LA GESTIÓN DE RIESGOS NATURALES, Fermín Crespo Rodríguez</b> .....	973
<b>VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN A LAS INUNDACIONES EN ESPACIOS TURÍSTICOS DEL LITORAL MEDITERRÁNEO, Anna Ribas Palom</b> .....	983
<b>LA RESPONSABILIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN EN SUPUESTOS DE DAÑOS ORIGINADOS POR INUNDACIONES: SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE FUTURO, Jesús Conde Antequera</b> .....	1001
<b>EVALUACIÓN DE IMPACTO SOCIAL COMO HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE POR INUNDACIÓN, Antonio Aledo, Pablo Aznar-Crespo, Guadalupe Ortiz</b> .....	1023
<b>LA NUEVA ESTRATEGIA DEL DERECHO EN LA REGULACIÓN Y GESTIÓN DE LOS RIESGOS DE INUNDACIONES, José Esteve Pardo</b> .....	1041
<b>METODOLOGÍA Y RESULTADOS DEL ESTUDIO DE COSTE BENEFICIO PARA OBRAS ESTRUCTURALES EN LOS PLANES DE GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN (P.G.R.I.), Francisco J. Sánchez Martínez, Juan Antonio Hernando Cobeña, Mónica Aparicio Martín, Silvia Cordero Rubio, Miguel Aldea Pozas, Elena Martínez Bravo</b> .....	1049
<b>ANÁLISIS DE LA PERCEPCIÓN SOCIAL PARA LA GESTIÓN Y COMUNICACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIONES, Juan Antonio García Martín, María Amérigo Cuervo-Arango, José María Bodoque del Pozo, Andrés Díez-Herrero, Raquel Pérez-López, Fernando Talayero Sebastián</b> .....	1069
<b>¿ES LA NORMATIVA ESPAÑOLA UNA HERRAMIENTA ADECUADA PARA LA PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS NATURALES?, Jesús Garrido Manrique</b> .....	1087
<b>EL FORO FUERZA VEGA BAJA: NECESIDADES Y POSIBILIDADES DE FINANCIACIÓN, Armando Ortuño Padilla, Santiago Folgueral Moreno, Fabio Amorós Fructuoso</b> .....	1107
<b>METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS CAUSADOS POR AVENIDAS E INUNDACIONES, Alberto del Villar García</b> .....	1129
<b>LA FORMACIÓN Y PERCEPCIÓN SOBRE EL RIESGO DE INUNDACIÓN. UNA EXPLORACIÓN A PARTIR DE LAS REPRESENTACIONES SOCIALES DEL FUTURO PROFESORADO DE EDUCACIÓN PRIMARIA, Álvaro-Francisco Morote,</b>	

<i>María Hernández</i> .....	1143
<b>EL ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO Y LA EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS DE INUNDACIÓN</b> , <i>Patricia Fernández Aracil</i> .....	1153
<b>ECONOMIA CIRCULAR: A REUTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUAIS NO SETOR URBANÍSTICO COMO BENEFÍCIO DO TURISMO NACIONAL</b> , <i>Joline Picinin Cervi</i> .....	1163
<b>LECCIONES DEL ETNOCONOCIMIENTO INDÍGENA PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIONES SÚBITAS. EL CASO DE LA COMUNIDAD INDÍGENA NASA (CAUCA-COLOMBIA)</b> , <i>Isaleimi Quiguapumbo Valencia, Antonio Aledo Tur, Sandra Ricart Casadevall</i> .....	1171
<b>ENSAYO SOBRE LA CONSTRUCCIÓN SOCIAL DE LA AMENAZA: INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO JUQUERI, SÃO PAULO – BRASIL</b> , <i>Rodolfo Baesso Moura, Fernando Rocha Nogueira, Rafael Costa e Silva, Samia Nascimento Sulaiman, Lucas Rangel Eduardo Silva, João Henrique José Vieira</i> .....	1181
<b>PROGRAMA DE EDUCACIÓN INFANTIL EN EL RIESGO DE INUNDACIONES ‘VENERO CLARO-AGUA’ (ÁVILA)</b> , <i>Andrés Díez Herrero, Mario Hernández Ruiz, Pablo Díez Marcelo, Carlos Carrera Torres</i> .....	1191
<b>MEJORA DE LA PERCEPCIÓN Y CONOCIMIENTO INFANTIL SOBRE EL RIESGO DE INUNDACIONES: PROGRAMA ‘VENERO CLARO-AGUA’ (ÁVILA)</b> , <i>Mario Hernández Ruiz, Miguel García-Pozuelo Ben, Andrés Díez Herrero, Carlos Carrera Torres</i> .....	1201
<b>PRIMERA APROXIMACIÓN AL REGISTRO DE AVENIDAS E INUNDACIONES HISTÓRICAS EN LA PROVINCIA DE SEGOVIA</b> , <i>Andrés Díez Herrero</i> .....	1211
<b>MANIFESTACIONES CULTURALES POPULARES EN TORNO A LAS AVENIDAS E INUNDACIONES EN LA PROVINCIA DE SEGOVIA</b> , <i>Andrés Díez Herrero</i> .....	1221
<b>MEDIDAS Y ACCIONES PREVENTIVAS CONTRA INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL SEGURA: UNA PERSPECTIVA HISTÓRICO-JURÍDICA</b> , <i>Francisco José Abellán Contreras</i> .....	1231
<b>LAS NARRATIVAS DE LOS PLANES GUBERNAMENTALES COMO UNA ESTRATEGIA PARA LA IMPOSICIÓN DE UN NUEVO CICLO DE EXPLORACIÓN EN LA REGIÓN AMAZÓNICA: EL CASO DE LAS HIDROELÉCTRICAS EN BRASIL</b> , <i>Pedro Abib Hecktheuer, Maria Cláudia da Silva Antunes de Souza</i> .....	1241
<b>ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE DAÑOS POTENCIALES SOBRE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE POR INUNDACIONES EN EL TRAMO TORO-ZAMORA</b> , <i>Lei Dai, Manuel Romana García, Andrés Díez Herrero</i> .....	1257
<b>EL GÉNERO COMO FACTOR DE FORMULACIÓN PARA LA CREACIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS AMBIENTALES</b> , <i>Marcus Alexsander Dexheimer, Mably Rosalina Fernandes</i> .....	1267
<b>CARTOGRAFÍA DE RIESGOS DE INUNDACIÓN Y PLANIFICACIÓN. PROPUESTAS PARA BRASIL DESDE LA EXPERIENCIA ESPAÑOLA</b> , <i>Andrés Molina Giménez, Ximena Cardozo Ferreira</i> .....	1275
<b>EVALUACIÓN DE LA INTEGRACIÓN DE LA DIMENSIÓN SOCIAL Y LA PARTICIPACIÓN PÚBLICA EN LOS PLANES DE GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN: ¿CAMBIO O CONTINUIDAD PARADIGMÁTICA?</b> , <i>Ángela Olcina-Sala, Guadalupe Ortiz, Pablo Aznar-Crespo</i> .....	1283

<b>RESPONSABILIDAD ADMINISTRATIVA DE LOS ENTES LOCALES POR FALTA DE MANTENIMIENTO O INDADECUACIÓN DE LAS INSTALACIONES DE SANEAMIENTO Y ALCANTARILLADO,</b> <i>Belén Burgos Garrido</i> .....	1293
<b>DE LA ROGATIVA POR EL AGUA A LA INTERVENCIÓN PREVENTIVA POR INUNDACIÓN. LA HUELLA DEL DERECHO EN LA FACHADA MEDITERRÁNEA PENINSULAR (I),</b> <i>M<sup>a</sup> Magdalena Martínez Almira</i> .....	1305
<b>PUBLICACIONES CIENTÍFICAS ESPAÑOLAS SOBRE INUNDACIONES EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL: ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DE LA <i>WEB OF SCIENCE</i>,</b> <i>Andrés Díez Herrero, Julio Garrote Revilla</i> .....	1321

# SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE. TIPOS Y OBJETIVOS

**Héctor Fernández Rodríguez**

Área de Ciclo Hídrico, Diputación de Alicante. Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales, Universidad de Alicante, España

**Arturo Trapote Jaume**

Departamento de Ingeniería Civil e Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales, Universidad de Alicante, España

**Miguel Fernández Mejuto**

Área de Ciclo Hídrico, Diputación de Alicante. Departamento Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, España

## RESUMEN

El crecimiento de las ciudades conlleva un continuo aumento de las superficies impermeables, lo cual está generando una grave alteración del ciclo natural del agua, aumentando los problemas relacionados con el drenaje y la gestión del agua pluvial. A este fenómeno hay que añadir que los sistemas de drenaje convencionales, que consisten en transportar la escorrentía hacia cotas inferiores lo más rápidamente posible, como si de un residuo se tratara, a través de conducciones impermeables, solucionando el problema en la zona, pero no aguas abajo, están quedando obsoletos. Por estos motivos surge una nueva forma de tratar el agua pluvial, los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Estos elementos son una gran variedad de sistemas que captan, tratan, e infiltran/almacenan el agua pudiendo aprovecharla para diversos usos (recarga de acuíferos, riego, recreativo...), dándole un valor al agua pluvial.

## 1. INTRODUCCIÓN

El concepto de desarrollo sostenible, sustentable o perdurable nació en 1987 en el documento Nuestro Futuro Común, conocido como Informe Brundtland, fruto de los trabajos de la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas creada en 1983: “El desarrollo sostenible es un desarrollo que satisface las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Mulder, 2007). Posteriormente, la aplicación de este concepto se asumiría en el tercer principio de la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo (1992): “El derecho al desarrollo debe ejercerse en forma tal que responda equitativamente a las necesidades de desarrollo y ambientales de las generaciones presentes y futuras”. Por tanto, el desarrollo sostenible supone adoptar soluciones de compromiso que aúnen avance económico con conservación medioambiental, pensando en el futuro a la hora de mejorar las condiciones actuales.

Esto supone centrar las inversiones actuales en salud, calidad y medio ambiente con la intención de asegurar la obtención de beneficios a largo plazo (Arenas Cabello, 2007). El desarrollo sostenible supone un fuerte cambio de mentalidad, pues ya no son válidos los antiguos principios de industrialización y desarrollo económico basados en la falsa idea de que los recursos naturales son ilimitados. Hoy en día, se ha constatado que las reservas de petróleo se agotan, lo cual ha forzado una fuerte inversión en energías renovables y en medidas de ahorro energético (Corregidor Sanz y

Fernández Guillén, 2004). Además, el aire está cada vez más contaminado, causando desajustes climáticos, y el agua dulce disponible no es capaz de satisfacer las demandas crecientes, haciendo necesaria la desalinización del agua de mar para su consumo. Toda acción tiene una reacción, y queda patente que el medio ambiente ha reaccionado ante la actividad humana con un agotamiento de recursos y un cambio en las condiciones ambientales que puede llegar a tener consecuencias dramáticas para la especie humana. Por todo ello, se deben tomar medidas apostando por el desarrollo sostenible en todos los campos de la actividad económica (Mulder, 2007). Así, la construcción sostenible es aquella en la que se cumplen los principios económicos, ecológicos y sociales del desarrollo sostenible, pudiendo dividirse en numerosas ramas según el tipo de obra a ejecutar. Por ejemplo, la edificación o arquitectura sostenible ofrece edificios que hacen frente a los problemas medioambientales actuales mediante un correcto diseño y construcción que permite disminuir fundamentalmente las demandas energéticas de iluminación y climatización (Arenas Cabello, 2007). Con los mismos principios, el drenaje sostenible aborda la gestión del agua de lluvia en las zonas urbanizadas.

En los últimos años, debido al desarrollo urbano, algunas redes de drenaje que forman parte del sistema de saneamiento de cualquier ciudad se han visto desbordadas en tiempo de lluvias de alta intensidad, debido a la gran cantidad de agua pluvial que reciben. Los volúmenes de estas aguas pluviales, procedentes de zonas urbanas impermeables se suman una y otra vez hasta que llegan a sobrepasar la capacidad de los colectores, tanques de tormenta y depuradoras existentes. Así, los problemas económicos más importantes causados por el agua de lluvia en las ciudades están asociados a su cantidad y a los daños que producen inundaciones, riadas, desbordamientos etc.

En el ciclo natural del agua, parte de la precipitación es interceptada por las plantas antes de tocar el suelo, el resto, una vez en el terreno, se infiltra y aumenta la humedad del mismo hasta alcanzar el máximo, produciéndose a partir de entonces acumulaciones superficiales y flujos de escorrentía superficial y subsuperficial. El agua acumulada superficialmente puede formar lagos naturales o artificiales, o bien infiltrarse recargando los acuíferos. Mientras, la escorrentía superficial de una cuenca tiene un tiempo de concentración que depende de la topografía, el tipo de suelo y la vegetación (CEDEX, 2001). Una vez concentrada en cauces, el agua corre hacia el mar oxigenándose en el trayecto, siendo parte de ella infiltrada o almacenada en superficie. De este modo, lagos, acuíferos, ríos y embalses se convierten en las principales fuentes de agua dulce para el uso humano. Destaca en el ciclo natural la presencia constante del proceso de evapotranspiración de la vegetación, que, junto con la evaporación por acción del sol, cierra el ciclo en cualquier punto devolviendo el agua a la atmósfera en forma de vapor (Revilla Cortezón et al., 1982).

Por el contrario, el ciclo del agua en las ciudades es completamente distinto. En la ciudad no hay apenas cobertura vegetal para interceptar la lluvia, sino tejados y suelos impermeables con un umbral de escorrentía muy bajo. Por lo tanto, la precipitación se transforma en su mayor parte en escorrentía superficial que se concentra rápidamente originando grandes caudales punta. Esta gran cantidad de agua es drenada a través de sumideros y alcantarillas pasando al sistema de saneamiento y evitando las acumulaciones de grandes volúmenes en los puntos más bajos de la ciudad. En comparación con las zonas naturales no urbanizadas, en las ciudades apenas se produce escorrentía subsuperficial, infiltración, almacenamiento superficial o subterráneo, evapotranspiración o evaporación. Por tanto, en una cuenca urbana el hidrograma de escorrentía de una lluvia dada es totalmente distinto al que se produce en una cuenca natural de similar área. La principal diferencia es la importante punta de caudal que se genera en muy poco tiempo debido al mayor porcentaje de superficie impermeable. La gestión de estas puntas para evitar los daños que puedan causar motiva la construcción de sistemas de drenaje de gran tamaño en las ciudades (Temprano et al., 1996).

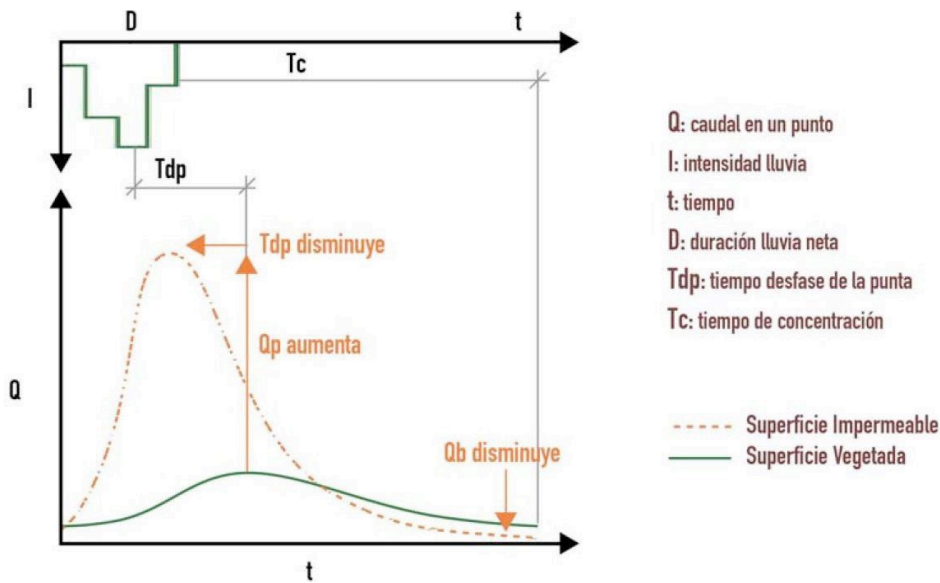


Figura 33. Hidrograma de avenida en función de la superficie de escorrentía. Fuente: modificada de Sara Perales, 2008.

Instituciones de algunos de los países más avanzados del mundo vienen reconociendo en los últimos años los múltiples beneficios derivados de afrontar la gestión del agua de lluvia desde una perspectiva alternativa a la actual, tendiendo hacia un desarrollo sostenible y en concordancia con el medio ambiente. De este modo emergen con fuerza los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), cuyo objetivo es resolver tanto los problemas de cantidad como de calidad de las escorrentías urbanas, minimizando los impactos del desarrollo urbanístico y maximizando la integración paisajística y los valores sociales y ambientales de las actuaciones programadas.

Como consecuencia de la impermeabilización del terreno, se altera el ciclo natural del agua, produciéndose mayores volúmenes de escorrentía y mayores caudales punta, además de producirse con mayor velocidad. También impide que la lluvia se infiltre en el terreno y recargue los acuíferos.

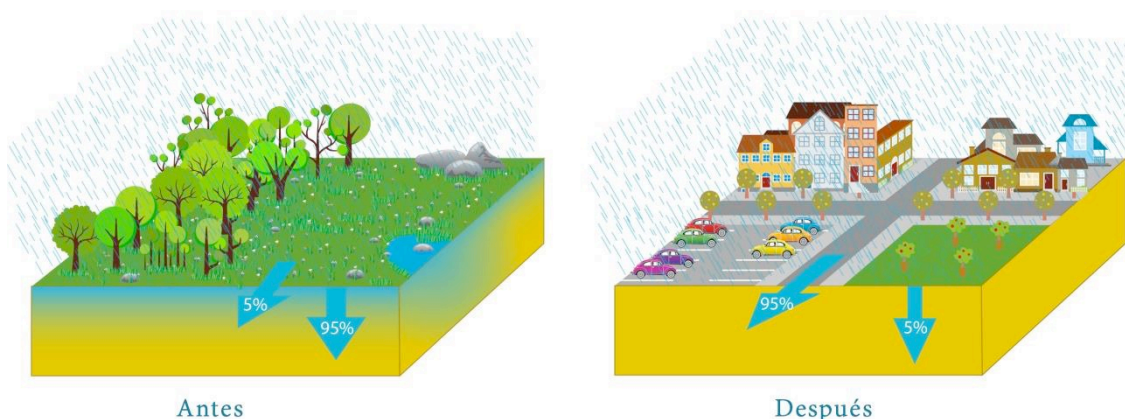


Figura 2. Disminución de la infiltración al urbanizar. Fuente: [www.hidrologiasostenible.com](http://www.hidrologiasostenible.com).

A estos inconvenientes hay que añadir la contaminación del agua de escorrentía. El agua de lluvia arrastra contaminantes suspendidos en el aire (son conocidos los fenómenos como la lluvia ácida) y al encontrarse un suelo impermeable discurre por las superficies, que a menudo están contaminadas por aceites y combustibles de vehículos, restos de actividades industriales y todo tipo de sustancias, además de todo tipo de sólidos en suspensión, llegando hasta el punto de vertido con una gran carga

contaminante, lo cual dificultará el proceso de depuración en el caso de que se viertan a una E.D.A.R. o contaminará el medio receptor si se vierte directamente al medio natural.

## 2. TIPOS DE SUDS

### 2.1. Cubiertas vegetadas (Green-roofs)

Las cubiertas vegetadas, o techos verdes son sistemas multicapa con cubierta vegetal que recubren tejados y terrazas de todo tipo. Están concebidas para interceptar y retener las aguas pluviales, reduciendo el volumen de escorrentía y atenuando el caudal pico. Además, retienen contaminantes, actúan como capa de aislante térmico en el edificio y ayudan a compensar el efecto “isla de calor” que se produce en las ciudades.

Hay 3 tipos de cubiertas vegetadas:

- Extensivas: si la vegetación es baja y ocupa la totalidad de la superficie. A penas necesitan mantenimiento y sólo se puede acceder a la cubierta para realizar estas labores.
- Intensivas: son similares a un jardín convencional (pueden estar equipadas con bancos, iluminación...) suponen una carga mayor para la estructura. Son más caras que las anteriores
- Intensivas simples: la vegetación será cualquier planta tapizante (césped...) son muy ligeras.

Este sistema de drenaje, además de reducir los picos y volúmenes de escorrentía, provoca una gran reducción de los sólidos en suspensión y una moderada eliminación de los metales pesados transportados a la red de drenaje. También, cabe destacar su alto valor ecológico debido al oxígeno que produce la vegetación.

La implantación de estos sistemas puede suponer un aumento en el presupuesto de la construcción, especialmente en el apartado estructural (especialmente si las cubiertas son intensivas). También puede ser importante el coste de mantenimiento de la cubierta vegetal, por lo que se deberá tener especial cuidado en la elección de la tipología y el diseño.

En cuanto a este último, los aspectos más importantes a tener en cuenta son:

- El peso saturado del conjunto suelo-agua y la capacidad resistente de la estructura del edificio.
- Las cargas variables derivadas del mantenimiento.
- La resistencia de la membrana impermeable a la penetración de las raíces.
- Considerar la gestión del drenaje en la cubierta.
- Asegurarse de la idoneidad para ciertas plantas.

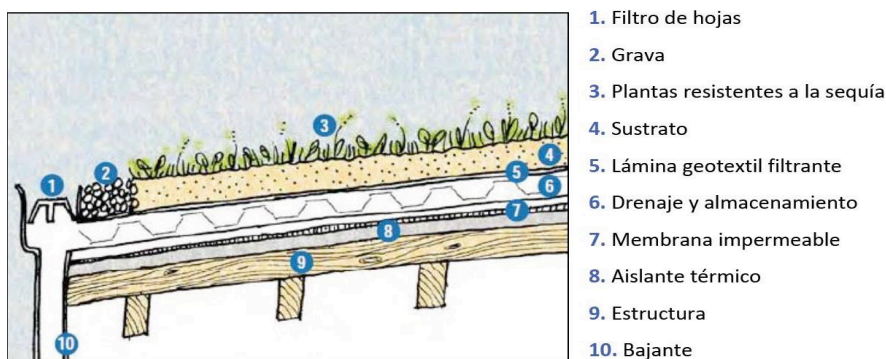


Figura 3. Esquema de una cubierta vegetada. Fuente: SFPUC, (2010). Stormwater Design Guidelines.



Figura 4. Cubierta vegetada.en Warsaw University Library, Polonia.  
Fuente: [www.flickr.com/photos/habitatsustentable](http://www.flickr.com/photos/habitatsustentable).

## 2.2. Superficies Permeables (Porous / Permeable Paving)

Los pavimentos permeables son superficies que, al mismo tiempo que son aptas para el paso de peatones o de tráfico rodado, permiten al agua la filtración vertical a su través, abriendo la posibilidad a que ésta se infiltre en el terreno pudiendo recargar los acuíferos, o bien sea captada y retenida en capas subsuperficiales para su posterior reutilización o evacuación.

Con las superficies permeables, además de atenuar el caudal punta de escorrentía (ya que aumentará su coeficiente y la porosidad del terreno), también se mejora la calidad del agua debido a la eliminación de aceites, grasas, metales, sólidos en suspensión... presentes que el agua de lluvia transporta después de arrastrarlos del pavimento. Esta disminución de la escorrentía provocada también aumentará la seguridad del tráfico que circule por estas superficies en episodios de precipitación, ya que impide la formación de charcos que disminuyen la adherencia de los neumáticos con el firme.

En la actualidad se desaconseja su uso en zonas donde puedan producirse heladas que podrían provocar el agrietamiento de estos sistemas, o en firmes con alta carga de tráfico, pero están siendo investigados para poder ser utilizados en cualquier tipo de firmes en un futuro, aunque el principal factor limitante, es la capacidad estructural del suelo saturado. Pueden ser pavimentos continuos (hormigón o asfalto) o discontinuos mediante elementos modulares, y pueden ser utilizados en una gran variedad de espacios, como carreteras, aparcamientos, aceras, parques, terrazas, patios interiores...

Existen diversas tipologías, entre ellas: césped o gravas (con o sin refuerzo), bloques impermeables con juntas permeables, bloques y baldosas porosas, pavimentos continuos porosos (asfalto, hormigón, resinas, etc.).

Las capas inferiores deberán garantizar la infiltración del agua o bien acumularla y retenerla para una progresiva evacuación.

Para ser capaces de gestionar adecuadamente los episodios extraordinarios de precipitación que superan el periodo de retorno para el que han sido diseñados, es necesario que se disponga de un aliviadero perimetral que sea capaz de disipar el flujo de agua excedente, y conducirlo hacia el sistema de drenaje convencional, o hacia otro SUDS.



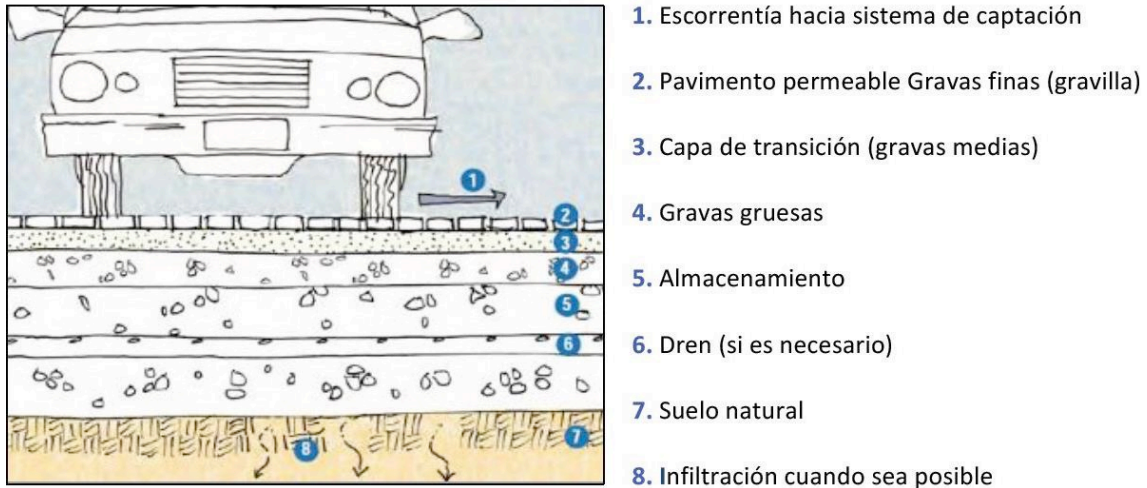


Figura 5. Esquema de un pavimento permeable. Fuente: SFPUC, (2010). Stormwater Design Guidelines.

### 2.3. Zonas de biorretención / Jardines de lluvia

Son sistemas que permiten un tratamiento de la escorrentía a través de la vegetación y suelos preparados o autóctonos. Si no disponen de un suelo preparado específicamente, se denominan jardines de lluvia. En estos sistemas tienen lugar procesos de interceptación de la lluvia, evapotranspiración, infiltración, eliminación de contaminantes... Reduciéndose de esta manera el volumen de la escorrentía y su contaminación.

Estos dispositivos se pueden ubicar en una gran variedad de espacios urbanos gracias a la flexibilidad que ofrece su diseño y construcción, y son especialmente útiles en la eliminación de sólidos en suspensión, y además, tienen un gran valor tanto estético como ecológico. En lo referente a la hidrología, los jardines de lluvia reducen la escorrentía generada en la zona donde se implantan gracias a la infiltración, evapotranspiración, y aumento del número de Manning de la superficie.



Figura 6. Jardín de lluvia. Fuente: drenajurbanosostenible.org.

Estos sistemas se pueden unir a los pozos de infiltración, aumentando su efectividad en la eliminación de escorrentía.

### 2.4. Franjas Filtrantes (Filter Strips)

Se tratan de superficies cubiertas de vegetación, con una pendiente pequeña, que provoca un flujo

lento de la lámina de escorrentía superficial. Tienen la capacidad de tratar el agua mediante procesos físicos, químicos y biológicos, asegurando un efecto filtro gracias a la cobertura vegetal, que puede ser desde hierba hasta arbustos. Además del tratamiento de la escorrentía, que se realiza mediante el filtrado a través de la vegetación, se produce una disminución de la velocidad del agua, lo cual facilita tanto la sedimentación de otros contaminantes como la infiltración del agua.

Dada su amplitud, no son indicadas para zonas con baja disponibilidad de espacio, como pueden ser las zonas altamente urbanizadas, o en áreas de gran pendiente. Donde se utilizan principalmente es en los márgenes y/o medianas de las carreteras en los que se disponga de suficiente espacio, ya sea como sistema aislado, o como conexión a otro tipo de SUDS, sirviendo de pretratamiento.

Sus principales ventajas son la efectividad en la eliminación de sólidos en suspensión y su facilidad de adaptación a ser construidas junto a grandes áreas impermeables. Además, tienen una construcción sencilla, facilitan la evapotranspiración y la infiltración y tienen un gran valor ecológico.



Figura 7. Franja filtrante. Fuente: jsancheztapetillo.wordpress.com.

### 2.5. Pozos de Infiltración (Soakaways & Infiltration Trenches)

Se trata de pozos poco profundos (1 a 3 m) rellenos de material drenante (granular o sintético), a los que vierte escorrentía de superficies impermeables contiguas. Se conciben como estructuras de infiltración capaces de absorber totalmente la escorrentía generada por la tormenta de diseño para la que han sido diseñadas, e infiltrarlas hacia el subsuelo.

El único efluente del que disponen es de la infiltración hacia el subsuelo, por lo que, para su correcto funcionamiento, será necesario que dicho subsuelo tenga una alta permeabilidad, también será necesario que sea estable cuando esté saturado, ya que de lo contrario comprometería la estabilidad estructural de las cimentaciones cercanas al pozo en los episodios de lluvia.

Los pozos de infiltración son estructuras sencillas, de fácil construcción y bajos costes de mantenimiento, que además facilitan la recarga de acuíferos infiltrando un elevado caudal en relación con la superficie que ocupan, ya que apenas ocupan espacio. Pero, aun así, con unas adecuadas características del subsuelo, reducirán considerablemente tanto el caudal como la contaminación de la escorrentía. Estos sistemas tienen una gran efectividad en la eliminación de nutrientes, sedimentos, materia orgánica, trazas de metales... mejorando la hidrología urbana y la recarga de acuíferos.

Dada su fácil construcción, bajo coste de mantenimiento, y el reducido espacio que ocupan, el uso de

estos sistemas es muy recomendable en zonas de poco espacio (como pueden ser las urbanas) siempre que su suelo cumpla las condiciones requeridas (estabilidad y permeabilidad). Podrían ser utilizados con gran efectividad en gran parte de la provincia de Alicante, ya que ésta dispone de gran cantidad de superficie sobre acuíferos kársticos o fisurados (muy permeables).

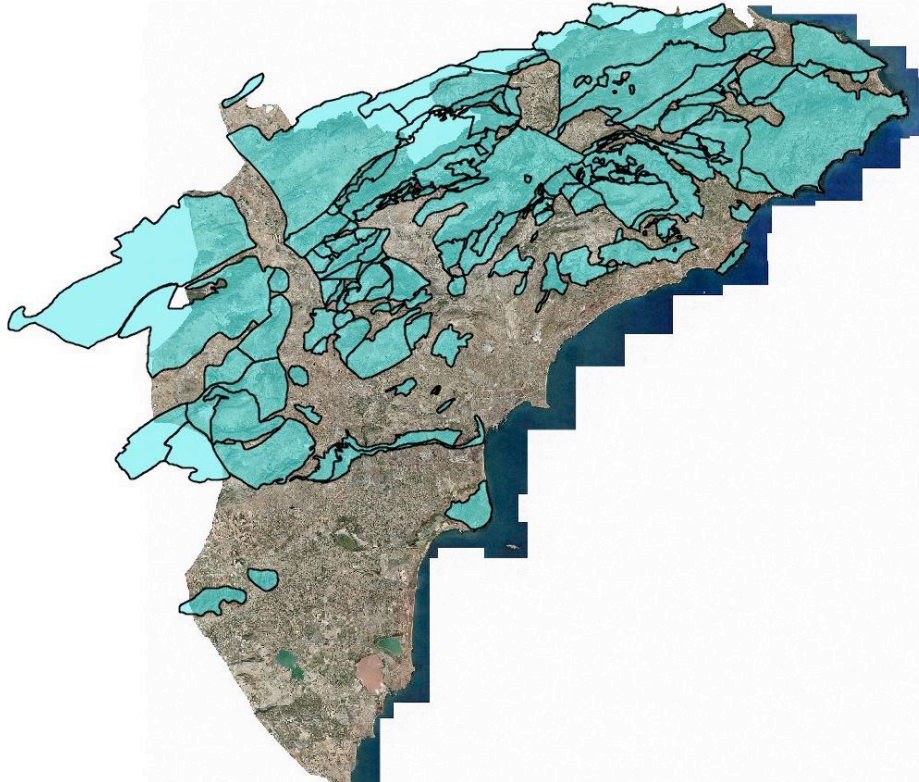


Figura 8. Mapa de acuíferos kársticos o fisurados en la provincia de Alicante. Fuente: Área de Ciclo Hídrico, Diputación de Alicante.

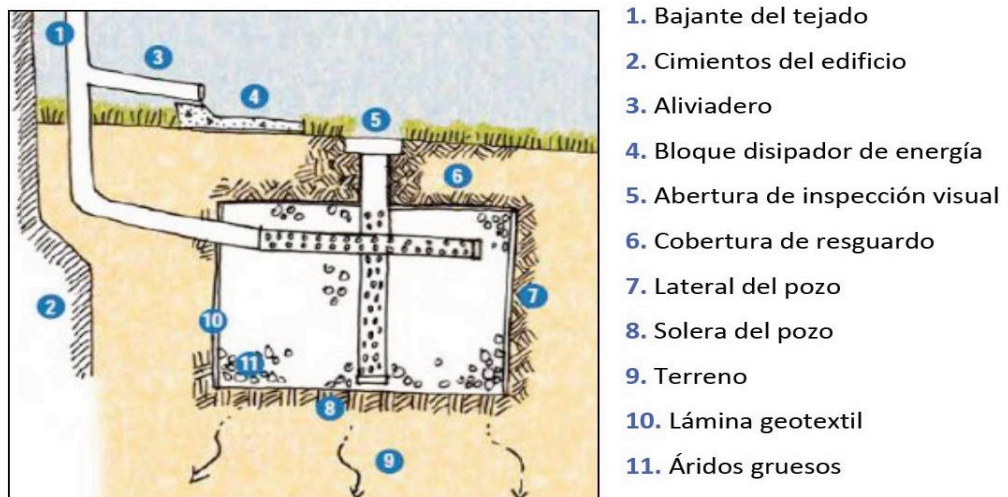


Figura 9. Esquema de un pozo de infiltración. Fuente: SFPUC, (2010). Stormwater Design Guidelines.

## 2.6. Drenes Filtrantes o Franceses (Filter Drains)

Zanjas poco profundas rellenas de material filtrante (granular o sintético), con o sin conducto inferior de transporte, son concebidas para captar y filtrar la escorrentía de superficies impermeables contiguas con el fin de transportarlas (hacia aguas abajo). Además, también reducen la contaminación, especialmente los sólidos en suspensión y los metales pesados. Su mayor aplicación es en el drenaje de las carreteras, situándose a lo largo del borde de éstas.

Son especialmente indicadas en terrenos de baja permeabilidad o donde la infiltración del agua al terreno pueda poner en peligro la estabilidad de las estructuras cercanas, ya que las zanjas conducen la escorrentía aguas abajo. Otra de las funciones de las zanjas será ralentizar el flujo del agua, de forma que disminuya la punta de caudal. Estas zanjas pueden incorporar un tubo-dren en la parte inferior que facilitará el transporte del agua.

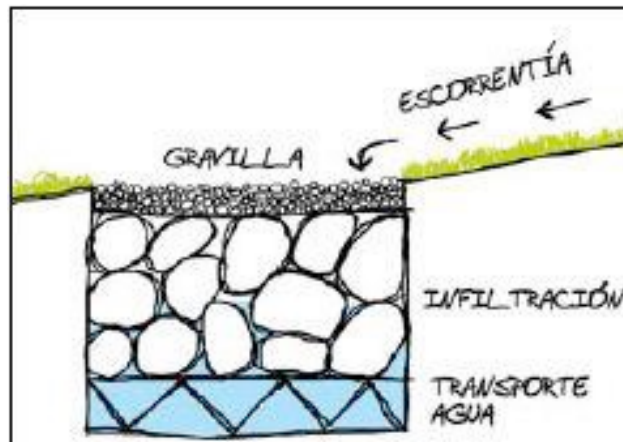


Figura 10. Esquema de un dren filtrante. Fuente: ovacen.com.

## 2.7. Cunetas Verdes o Vegetadas (Swales)

Estructuras lineales vegetadas, que suelen tener forma trapezoidal, de base ancha ( $> 0,5$  m) y talud tendido ( $< 1V:3H$ ) diseñadas para almacenar y transportar superficialmente la escorrentía provocada por las zonas impermeables contiguas. Deben generar bajas velocidades ( $< 1-2$  m/s) que permitan la sedimentación de las partículas en suspensión para una eliminación eficaz de contaminantes, para ello, deberán estar densamente vegetadas. Adicionalmente pueden permitir la infiltración a capas inferiores.

Además de reducir el volumen de la escorrentía, mejoran la calidad del agua al retener las partículas en suspensión, y los metales pesados, al reducir la velocidad del flujo. Otra ventaja, es la mejora de la biodiversidad en el entorno urbano y de la calidad del aire debida a la vegetación.



Figura 11. Cuneta verde. Fuente: [www.ecologyconsultancy.co.uk](http://www.ecologyconsultancy.co.uk).

### 2.8. Depósitos de Infiltración (Infiltration Basins)

Depresiones del terreno, cubiertas de vegetación, diseñadas para recoger, almacenar e infiltrar gradualmente la escorrentía generada en superficies contiguas. De esta manera, se provoca la transformación de un flujo superficial en subterráneo, consiguiendo adicionalmente la eliminación de contaminantes mediante filtración, adsorción y transformaciones biológicas. Son muy efectivos en la eliminación de sólidos en suspensión y metales pesados.

Estos depósitos reducen la escorrentía superficial mediante la infiltración al terreno, por lo que será necesario que éste tenga una adecuada permeabilidad. Esta infiltración les permite ser utilizados para recargar acuíferos, pero para ello la escorrentía no deberá provenir de áreas contaminadas como zonas industriales para evitar el riesgo de contaminación del acuífero. A pesar de que el terreno sea permeable, la velocidad de infiltración será muy lenta (del orden de centímetros por hora) por lo que para infiltrar una cantidad significativa de caudal será necesario disponer de una gran superficie.



Figura 12. Depósito de infiltración. Fuente: [www.mortonroberts.com](http://www.mortonroberts.com)

### 2.9. Depósitos de Detención (Detention Basins)

Depósitos diseñados para almacenar temporalmente los volúmenes de escorrentía generados aguas arriba. Favorecen la sedimentación y con ello la reducción de la contaminación. Pueden emplazarse

en “zonas muertas” o ser compaginados con otros usos, como los recreacionales, en parques e instalaciones deportivas. Normalmente, estos sistemas, una vez finalizado el episodio de lluvia, liberan lentamente a la red el volumen de agua almacenado. Según su ubicación con respecto al nivel del suelo, estos depósitos pueden ser: en superficie o enterrados.

### 2.9.1. En superficie

Son similares a los depósitos de infiltración, pero con más profundidad, ya que en los de detención, la reducción del caudal se producirá por el almacenamiento de la escorrentía sobre la superficie, en lugar de por su infiltración al subsuelo.



Figura 13. Depósito de detención en superficie. Fuente: [www.meadfleet.co.uk](http://www.meadfleet.co.uk).

### 2.9.2. Enterrados

Cuando no se dispone de terrenos en superficie, o en los casos en que las condiciones del entorno no recomiendan una infraestructura a cielo abierto, estos depósitos se construyen en el subsuelo. Se fabrican con materiales diversos, siendo los de hormigón armado y los de materiales plásticos los más habituales.



Figura 14. Depósito de detención enterrado. Fuente: [ovacen.com](http://ovacen.com)

## 2.10. Estanques de Retención (Retention Ponds)

Lagunas artificiales con lámina permanente de agua (de profundidad entre 1,2 y 2 m) con vegetación acuática, tanto emergente como sumergida. Están diseñadas para garantizar largos periodos de retención de la escorrentía (2-3 semanas), promoviendo la sedimentación y la absorción de nutrientes por parte de la vegetación. Se diseñan para que tengan una masa de agua permanente, y el fondo es impermeable, pero, además, contienen un volumen de almacenamiento adicional para la laminación de los caudales punta.

Estos estanques reducen considerablemente el volumen de escorrentía y son muy efectivos en la eliminación de sólidos en suspensión y metales pesados, pero requieren de mucho espacio. Los principales inconvenientes de los estanques de retención con masa de agua estancada son que pueden llegar a necesitar aporte de agua en estaciones secas, se pueden llegar a dar condiciones anaerobias, y que el agua estancada genera molestias derivadas de la presencia de malos olores e insectos (especialmente mosquitos).



Figura 15. Estanque de retención Fuente: ovacen.com

Para evitar estos inconvenientes, aparece un nuevo modelo de estanque de retención, el “parque inundable”.

### 2.11. Parque inundable

Los parques inundables son grandes superficies que durante la mayor parte del año actúan como un parque normal, pero que durante los eventos de lluvia actúan como grandes depósitos que reciben la escorrentía provocada aguas arriba. Para ello, deberán estar a cota inferior que las superficies de las que reciba la escorrentía, y estar correctamente conectado a su red de drenaje en el caso de que de esta también reciba caudal. Para evitar la cría de mosquitos y los malos olores se deberá evitar el estancamiento del agua mediante el vaciado-llenado de esta, o con una recirculación constante. En Alicante ya se ha construido un sistema de este estilo con gran éxito (Figura 16).



Figura 16. Parque inundable La Marjal, en Playa de San Juan (Alicante).  
Fuente: www.laverdad.es

## 2.12. Humedales (Wetlands)

Similares a los anteriores, pero de menor profundidad y con mayor densidad de vegetación emergente, aportan un gran potencial ecológico, estético, educativo y recreativo. En estos sistemas se produce la eliminación de contaminantes a través de transformaciones biológicas, absorción de las plantas, sedimentación y adsorción. Tienen los inconvenientes de los estanques de retención, derivados de la presencia agua estancada, aunque en estos sistemas se puede tratar de eliminar el problema de la presencia y cría de mosquitos mediante control biológico, ya sea reduciendo su reproducción mediante peces larvívoros instalados en el agua, o mediante la instalación de nidos para aves como las golondrinas o murciélagos que se alimentan de estos insectos.



Figura 17. Humedal. Fuente: salixrw.com

## 3. CONCLUSIONES

Siempre se ha intentado recoger toda el agua de lluvia, y a través de superficies impermeables como cunetas, canales, tuberías, etc. y desalojarla lo más rápido posible. Ahora, se empieza a tener en cuenta, no solo la necesidad de evacuar el agua de lluvia, sino también la necesidad de hacerlo de una manera racional, con unos caudales punta menores y una calidad adecuada.

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible tienen, por tanto, 3 objetivos:

- Disminuir la cantidad de escorrentía de lluvia en términos de volumen y caudal: de esta forma se puede solucionar la insuficiencia de capacidad hidráulica de la red de drenaje pluvial debida al crecimiento urbano no previsto en las fases de planificación de la misma, y así evitar el coste que supondría una obra para aumentar su capacidad o el hecho de tener que asumir mayores inundaciones y con más frecuencia.
- Mejorar la calidad del agua que circula por escorrentía: lo cual provocará un mejor funcionamiento de las depuradoras en el caso de que estas sean el punto de vertido, o una menor contaminación del medio natural (mar, ríos, acuíferos...).
- Generar beneficios al entorno en términos de calidad ambiental y mejora del paisaje.



## REFERENCIAS

- Arenas Cabello, F. J. (2007). *El impacto ambiental en la edificación*. Madrid, España: Edisofer.
- CEDEX (2001). *Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular*.
- Ciclo Hídrico. Diputación de Alicante, Instituto Geológico y Minero de España. (2015). *Atlas hidrogeológico de la provincia de Alicante*. Alicante.
- Commission, S. o. (s.f.). [www.sfwater.org](http://www.sfwater.org)
- Corregidor Sanz, D. y Fernández Guillén, P. (2004). Energía y desarrollo sostenible. *Física y sociedad*, 16-21.
- Flickr (s.f.). [www.flickr.com/photos/habitatsustentable](http://www.flickr.com/photos/habitatsustentable)
- Hidrología Sostenible (s.f.). [www.hidrologiasostenible.com](http://www.hidrologiasostenible.com)
- Meadfleet (s.f.). <https://www.meadfleet.co.uk/>
- Morton-Roberts Consulting Engineers. (s.f.). <http://www.mortonroberts.com/>
- Mulder, K. (2007). *Sustainable development for engineers*.
- Ovacen (s.f.). <https://ovacen.com/>
- Perales Momparler, S. (2008). Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). *Ponencia Expo Zaragoza 2008*. Zaragoza.
- R.A. (2016). <https://www.laverdad.es>. Obtenido de <https://www.laverdad.es/alicante/201601/03/parque-marjal-almaceno-millones-20160103003207-v.html>
- Revilla Cortezón, J. (1982). *Apuntes de hidrología superficial aplicada*. Santander, España.
- Salixrw (s.f.). <https://www.salixrw.com/>
- Sánchez Tapetillo, J. D. (s.f.). <https://jsancheztapetillo.wordpress.com/>.
- Sudsostenible (s.f.). <http://sudsostenible.com/>
- Temprano González, J., Gabriel Cervigni, M., Suárez López, J. y Tejero Monzón, J. I. (1996). Contaminación en redes de alcantarillado urbano en tiempo de lluvia: control en origen. *Revista de Obras Públicas*, 143 (3352), 45-57.
- The Ecology Consultancy (s.f.). <http://www.ecologyconsultancy.co.uk/>