

SISTEMATIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA UNA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL CICLO URBANO DEL AGUA.

REPERCUSIONES ESPACIALES, CONSTRUCTIVAS Y ECONÓMICAS EN LA EDIFICACIÓN Y EL URBANISMO.

Doctoranda: Ana Mercedes Prieto Thomas
Director: Jaime Navarro Casas. Catedrático. Universidad de Sevilla
Co-Directores: Leandro del Moral Ituarte. Catedrático. Universidad de Sevilla
Laura C. Pozo Morales. Profesor Ayudante Doctor. Universidad de Sevilla
Organismo: Departamento Construcciones Arquitectónicas I
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Universidad de Sevilla



DEDICATORIA

A mis 2 hijos que han sido y son como el agua, imprescindibles en mi vida.
Con mi hijo viví la escasez, pero con mi hija espero disfrutar la abundancia y que nos inunde...
¡pero de sonrisas!

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero dar las gracias a mis 3 directores de tesis, los doctores Jaime Navarro, Leandro del Moral y Laura Pozo, todos ellos pertenecientes a la Universidad de Sevilla, por haber confiado en mí al aceptar esta dirección, por todo lo que me han enseñado sobre el agua y por transmitirme su ilusión por el tema. Ha sido un honor recibir sus sugerencias y sus valiosas aportaciones que, desde 3 campos tan distintos, me han permitido generar un trabajo más completo.

Quiero mencionar, de manera especial, a Jaime Navarro y Juan José Sendra por acompañarme en este largo camino universitario facilitándome mi labor docente e investigadora, desde mi llegada al Área, incluyéndome, inicialmente, en el Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción y, posteriormente, en el Grupo de Investigación TEP-130 pero, sobre todo, por su apoyo en mis momentos personales más difíciles de los pasados años lo cual me ha permitido poder continuar con este trabajo.

Por supuesto, todo esto no habría sido posible sin el cariño, apoyo y generosidad de mis compañeros de Área y de Departamento así como el de los colaboradores destacando, por la larga duración de su colaboración, el arquitecto Fco. Javier Robustillo. También, agradezco a Pedro Bustamante el estar siempre disponible para la resolución de mis problemas informáticos.

Además, quiero dar las gracias al equipo del Proyecto Aqua-Riba por su buen hacer y su compañerismo. En concreto, quiero mencionar a Julián Lebrato por estar siempre apoyándome desde que entré con contacto con el Grupo TAR y, de manera especial, a la arquitecta e investigadora Ángela Lara por sus múltiples sugerencias y aportaciones pero, sobre todo, por su paciencia y generosidad.

También, quiero agradecer su apoyo y sus ánimos a otros arquitectos y buenos amigos, muchos de ellos compañeros de la infancia.

Por último y de manera muy especial, doy mil gracias a mi maravillosa familia por todo su cariño y sus palabras de aliento. En primer lugar, mi agradecimiento va dirigido a mis padres por todo lo que me han dado. En este caso, a mi madre por su permanente fe en mi capacidad de trabajo, por no desistir nunca y por su ayuda y ánimos continuos desde el principio, y a mi padre por todo su apoyo y confianza además de por cederme, con tanto cariño, la imagen de la portada pintada por su tía en nuestra tierra, Asturias. Finalmente, y con todo mi amor, quiero mostrar mi agradecimiento a mi marido, Jaime, y a mi hija, Adriana, por su comprensión, sus cuidados y el tiempo que me han facilitado estos últimos meses que pienso recuperar ahora con más intensidad que nunca, sobre todo, en las noches estrelladas en las que estaremos más acompañados que nunca.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN _____ 9

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN: DELIMITACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA ___ 9

1.1.1. LOS PROBLEMAS DE SOSTENIBILIDAD DEL TERRITORIO Y DE LOS NÚCLEOS URBANOS. UNA ADECUADA GESTIÓN DEL CICLO DEL AGUA COMPLEMENTADA CON NUEVAS HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS, UN FACTOR CLAVE PARA SU VIABILIDAD. _____ 10

1.1.1.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL RESPECTO A LA GESTIÓN DEL AGUA. ___ 10

1.1.1.1.1. LOS MODELOS EXPANSIVOS DE URBANIZACIÓN DE LAS ÚLTIMAS DÉCADAS. _____ 10

1.1.1.1.2. EL MODELO DE CIUDAD COMO SUMIDERO DE RECURSOS. _____ 10

1.1.1.2. LA NECESIDAD DE UN NUEVO ENFOQUE. _____ 11

1.1.1.2.1. LA MEJORA Y REHABILITACIÓN DE LA CIUDAD EXISTENTE. _____ 11

1.1.1.2.2. LA CIUDAD COMO ORGANISMO METABÓLICO. _____ 12

1.1.2. LA FALTA DE PREPARACIÓN ESPECÍFICA EN LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL CICLO URBANO AGUA POR PARTE DE LOS TÉCNICOS IMPLICADOS EN LA PLANIFICACIÓN URBANA. LA NECESIDAD DE ACTUALIZACIÓN Y PROFUNDIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS TECNOLÓGICOS DENTRO DEL ÁMBITO DE LA SOSTENIBILIDAD. _____ 13

1.1.2.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL RESPECTO A LA APLICACIÓN DE TÉCNOLOGÍAS SOSTENIBLES. _____ 14

1.1.2.1.1. EL DESCONOCIMIENTO DE LAS TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES EN SU CONJUNTO Y DE SUS POSIBILIDADES. _____ 14

1.1.2.1.2. LA RETICENCIA ACTUAL POR LA INFLUENCIA DE LOS MODELOS ESTRUCTURALISTAS “TRADICIONALES”. _____ 14

1.1.2.2. NUEVAS NECESIDADES DE APLICACIÓN DEL CONOCIMIENTO EN EL ÁMBITO DE LAS TECNOLOGÍAS HIDRÁULICAS SOSTENIBLES. _____ 14

1.1.2.2.1. PROFUNDIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO EXISTENTE SOBRE LAS TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES Y DE LAS CONSECUENCIAS DE SU APLICACIÓN A NIVEL URBANO Y ARQUITECTÓNICO. _____ 15

1.1.2.2.2. VISIÓN INTEGRAL, ORDENADA Y SISTEMATIZADA DE LAS TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES EN SU CONJUNTO Y DE LAS POSIBLES INTERRELACIONES ENTRE ELLAS. _____ 15

1.1.2.2.3. DEFINICIÓN DE UNA ESCALA DE INTERVENCIÓN ADECUADA PARA EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN. _____ 15

1.1.2.2.4. LA ASUNCIÓN DE LA “NUEVA CULTURA DEL AGUA”. _____ 16

1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN. PARTICIPACIÓN EN GRUPOS Y PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN RELATIVOS AL TEMA DE LA TESIS DOCTORAL	17
1.2.1. GRUPOS DE INVESTIGACIÓN.	17
1.2.1.1. EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN TEP-130 Y SU LÍNEA DE INVESTIGACIÓN LIGADA A LA SOSTENIBILIDAD EN LA ARQUITECTURA.	17
1.2.1.2. EL GRUPO TAR Y LA INGENIERÍA DEL AGUA POSIBLE.	17
1.2.2. TRABAJOS Y PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN.	18
1.2.2.1. EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL “ESTUDIO DEL USO EFICIENTE DEL AGUA EN EL ENTORNO URBANO ANDALUZ. SITUACIÓN Y POSIBILIDADES DE MEJORA”.	18
1.2.2.2. EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN I+D+i “SISTEMAS DE GESTIÓN SOSTENIBLE DEL CICLO URBANO DEL AGUA EN LA REHABILITACIÓN INTEGRAL DE BARRIADAS EN ANDALUCÍA (AQUA-RIBA)”.	19
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN: UNA APORTACIÓN A LA GESTIÓN SOSTENIBLE E INTEGRADA DEL AGUA EN ESPACIOS URBANOS Y ARQUITECTÓNICOS	20
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.	20
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	20
2. CUERPO DE LA TESIS	22
2.1. ESTADO ACTUAL DE LA CUESTIÓN	22
2.1.1. EL AGUA COMO RECURSO BÁSICO Y SU RELACIÓN CON EL ENTORNO.	22
2.1.1.1. LA IMPORTANCIA DEL AGUA EN EL PLANETA AZUL. SU COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y PROPIEDADES. EL CICLO DEL AGUA EN LA NATURALEZA FRENTE AL CICLO URBANO DEL AGUA. CALIDAD Y CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS.	22
2.1.1.1.1. SU COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y PROPIEDADES.	23
2.1.1.1.2. EL CICLO DEL AGUA EN LA NATURALEZA FRENTE AL CICLO URBANO DEL AGUA (CUA) EN LOS ESPACIOS HABITADOS.	25
2.1.1.1.3. CALIDAD Y CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS.	27
2.1.1.2. LA COMPLEJIDAD DE LAS RELACIONES CON EL HOMBRE Y SU ENTORNO. EL AGUA, AMIGA Y ENEMIGA. EL AGUA Y OTROS RECURSOS.	30
2.1.1.2.1. EL AGUA COMO RECURSO VITAL, GENERADOR E INTEGRADOR.	31
2.1.1.2.1.1. USOS Y APLICACIONES DEL AGUA.	32
2.1.1.2.1.2. AGUA Y SALUD. EL AUMENTO DE LA LONGEVIDAD Y LA CALIDAD DE VIDA.	34
2.1.1.2.2. LOS PROBLEMAS Y PELIGROS DEL AGUA.	34

2.1.1.2.2.1.	LAS CONSECUENCIAS DE LA FALTA DE CALIDAD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA. PROBLEMAS MEDIOAMBIENTALES Y DE SALUD EN LOS CIUDADANOS.	34
2.1.1.2.2.2.	LAS CONSECUENCIAS DE SU ESCASEZ Y DE LA BÚSQUDA DESESPERADA DEL “ORO AZUL”. LA FALTA DE AGUA EN POBLACIONES Y ECOSISTEMAS. CAMBIO CLIMÁTICO, INUNDACIONES, SEQUÍAS Y OTROS PROBLEMAS TERRITORIALES Y MEDIOAMBIENTALES.	37
2.1.1.2.2.3.	PATOLOGÍAS EN LA EDIFICACIÓN Y EL URBANISMO.	40
2.1.1.2.3.	LA RELACIÓN DEL AGUA CON LOS OTROS RECURSOS.	41
2.1.1.2.3.1.	AGUA Y ENERGÍA.	41
2.1.1.2.3.2.	AGUA Y RESIDUOS.	41

2.1.2. EL USO EFICIENTE Y LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA EN LOS NÚCLEOS URBANOS Y EL TERRITORIO. EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS DE GESTIÓN Y ÁMBITO NORMATIVO ACTUAL.

42

2.1.2.1.	LA GESTIÓN DEL CICLO URBANO DEL AGUA. SU EVOLUCIÓN A LO LARGO DE LA HISTORIA.	42
2.1.2.1.1.	LA GESTIÓN HÍDRICA EN OTRAS ÉPOCAS Y CULTURAS.	43
2.1.2.1.2.	LA GESTIÓN CONVENCIONAL ACTUAL EN LOS NÚCLEOS URBANOS DEL ÁMBITO MEDITERRÁNEO. SUS PLANTEAMIENTOS Y CARACTERÍSTICAS. PROBLEMÁTICA DE LA SITUACIÓN EN LA ACTUALIDAD Y RETOS A SUPERAR.	45
2.1.2.1.2.1.	LOS PLANTEAMIENTOS Y TENDENCIAS TRADICIONALES DE LAS POLÍTICAS DE AGUA.	45
2.1.2.1.2.2.	LAS CARACTERÍSTICAS DE LA GESTIÓN HIDRÁULICA CONVENCIONAL. EL MODELO LINEAL DEL CICLO URBANO DEL AGUA Y SU SECTORIZACIÓN. PROPIEDAD DEL AGUA, COMPETENCIAS ADMINISTRATIVAS Y ASPECTOS ECONÓMICOS DE SU GESTIÓN.	49
2.1.2.1.2.3.	LA PROBLEMÁTICA DE LA GESTIÓN CONVENCIONAL Y LOS RETOS A SUPERAR POR LOS NUEVOS MODELOS DE GESTIÓN.	59
2.1.2.1.3.	LOS NUEVOS MODELOS DE GESTIÓN DEL CICLO URBANO DEL AGUA. ALGUNAS CLAVES, OBJETIVOS Y CARACTERÍSTICAS.	60
2.1.2.1.3.1.	LA NECESIDAD DE UN NUEVO ENFOQUE. EL CONCEPTO AMPLIO DE “INTEGRACIÓN”. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS DESDE LA SOSTENIBILIDAD.	60
2.1.2.1.3.2.	LA IMPORTANCIA DE LA GESTIÓN INTEGRAL Y CIRCULAR DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL CICLO URBANO DEL AGUA Y LA RELACIÓN CON LOS OTROS RECURSOS PRESENTES EN LOS NÚCLEOS URBANOS.	63

2.1.2.1.3.3.	LA NECESIDAD DE LA INTRODUCCIÓN DE TECNOLOGÍAS ECOLÓGICAS, SOSTENIBLES E INNOVADORAS.	66
2.1.2.1.3.4.	CARACTERÍSTICAS DEL NUEVO MODELO DE GESTIÓN.	68
2.1.2.2.	NORMATIVA Y LEGISLACIÓN ACTUAL SOBRE GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS.	71
2.1.2.2.1.	A ESCALA GLOBAL: DERECHO AL AGUA Y AL SANEAMIENTO.	71
2.1.2.2.2.	A NIVEL EUROPEO.	71
2.1.2.2.2.1.	DIRECTIVA MARCO DEL AGUA (DMA).	71
2.1.2.2.2.2.	OTRAS DIRECTIVAS EUROPEAS DE INTERÉS PARA EL ÁMBITO DE LAS TECNOLOGÍAS.	72
2.1.2.2.3.	A NIVEL ESTATAL.	72
2.1.2.2.3.1.	LEGISLACIÓN GENERAL: NORMATIVA BÁSICA, SOBRE DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO, NORMATIVA SANITARIA DE CALIDAD Y RELATIVA A LA EDIFICACIÓN.	72
2.1.2.2.3.2.	LEGISLACIÓN SOBRE REUTILIZACIÓN DE AGUAS DEPURADAS Y SOBRE REUTILIZACIÓN DE AGUAS PLUVIALES Y GRISES.	75
2.1.2.2.4.	A NIVEL AUTONÓMICO.	76
2.1.2.2.4.1.	LEGISLACIÓN GENERAL.	76
2.1.2.2.4.2.	LEGISLACIÓN SOBRE REUTILIZACIÓN DE AGUAS DEPURADAS Y SOBRE REUTILIZACIÓN DE AGUAS PLUVIALES Y GRISES.	77
2.1.2.2.5.	A NIVEL LOCAL.	78
2.1.3.	TECNOLOGÍAS HIDROEFICIENTES Y SOSTENIBLES EN EDIFICACIÓN Y URBANISMO. REFERENTES EN EL CAMPO DE LA INVESTIGACIÓN, FUENTES DE INFORMACIÓN Y NUEVAS HERRAMIENTAS PARA SU GESTIÓN.	79
2.1.3.1.	PROYECTOS Y PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN RECIENTES EN RELACIÓN CON EL ÁMBITO DE LAS TECNOLOGÍAS.	79
2.1.3.1.1.	SOBRE TECNOLOGÍAS EN GENERAL.	79
2.1.3.1.1.1.	REFERENTES INTERNACIONALES.	79
2.1.3.1.1.2.	REFERENTES NACIONALES.	84
2.1.3.1.2.	SOBRE LA GESTIÓN DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA.	86
2.1.3.1.2.1.	REFERENTES INTERNACIONALES.	86
2.1.3.1.2.2.	REFERENTES NACIONALES.	86
2.1.3.1.3.	SOBRE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.	87
2.1.3.1.3.1.	REFERENTES INTERNACIONALES.	87
2.1.3.1.3.2.	REFERENTES NACIONALES.	87
2.1.3.1.4.	SOBRE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.	88
2.1.3.1.4.1.	REFERENTES INTERNACIONALES.	88
2.1.3.1.4.2.	REFERENTES NACIONALES.	89

2.1.3.2. CASOS DE BUENAS PRÁCTICAS SOBRE APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS.	89
2.1.3.2.1. SOBRE TECNOLOGÍAS EN GENERAL.	89
2.1.3.2.1.1. EXPERIENCIAS A NIVEL INTERNACIONAL.	89
2.1.3.2.1.2. EXPERIENCIAS A NIVEL NACIONAL.	93
2.1.3.2.2. SOBRE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.	94
2.1.3.3. BIBLIOGRAFÍA Y OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN SOBRE TECNOLOGÍAS.	96
2.1.3.3.1. SOBRE TECNOLOGÍAS EN GENERAL.	96
2.1.3.3.2. SOBRE LA GESTIÓN DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA.	96
2.1.3.3.3. SOBRE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.	96
2.1.3.3.4. SOBRE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.	97
2.1.3.3.5. SOBRE LA GESTIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-ENERGÍA.	98
2.1.3.4. NUEVAS HERRAMIENTAS DE GESTIÓN: LOS SADS EN EL ÁMBITO TECNOLÓGICO.	98

2.2. METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN _____ 100

2.2.1. FASE 1: SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS HIDROEFICIENTES Y SOSTENIBLES ACTUALMENTE DISPONIBLES.	101
2.2.2. FASE 2: SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE INTERÉS DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA SU CARACTERIZACIÓN.	101
2.2.3. FASE 3: ELABORACIÓN DE MODELO PARA RECOGIDA DE INFORMACIÓN. PROPUESTA DE MODELO DE FICHA.	101
2.2.4. FASE 4: DEFINICIÓN DE CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN O SISTEMATIZACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS.	101
2.2.5. FASE 5: REORGANIZACIÓN Y ORDENACIÓN DE LA INFORMACIÓN SELECCIONADA. MANUAL DE TECNOLOGÍAS.	102
2.2.6. FASE 6: ANÁLISIS Y REVISIÓN CRÍTICA DE LAS TECNOLOGÍAS Y SUS REPERCUSIONES ESPACIALES, CONSTRUCTIVAS Y ECONÓMICAS EN LA EDIFICACIÓN Y EN LOS ESPACIOS LIBRES DE NUESTRAS CIUDADES.	102
2.2.7. FASE 7: VALORACIÓN GLOBAL DE RESULTADOS. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO ARQUITECTÓNICO Y URBANO.	102

2.3. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL MATERIAL ELABORADO. PRESENTACIÓN Y VALORACIÓN DE RESULTADOS _____ 103

2.3.1. SISTEMATIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS HIDROEFICIENTES Y SOSTENIBLES. _____ 103

2.3.1.1. SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS HIDROEFICIENTES Y SOSTENIBLES ACTUALMENTE DISPONIBLES. _____ 103

2.3.1.1.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN. LA DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS. MEDIDAS CONCRETAS EN LOS DISTINTOS ÁMBITOS DE GESTIÓN. _____ 103

2.3.1.1.1.1. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS GENERALES PARA LA GESTIÓN CONJUNTA DEL CICLO URBANO DEL AGUA. _103

2.3.1.1.1.2. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS EN LOS DISTINTOS ÁMBITOS DE GESTIÓN DEL CICLO URBANO DEL AGUA Y DEFINICIÓN DE MEDIDAS CONCRETAS. _____ 104

2.3.1.1.2. SELECCIÓN DEFINITIVA DE LAS TECNOLOGÍAS Y JUSTIFICACION DE LA ELECCIÓN. _____ 109

2.3.1.1.2.1. TECNOLOGÍAS ELEGIDAS. _____ 109

2.3.1.1.2.2. TECNOLOGÍAS DESCARTADAS. _____ 111

2.3.1.2. SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE INTERÉS DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA SU CARACTERIZACIÓN. _____ 112

2.3.1.2.1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA. _____ 112

2.3.1.2.2. DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS DE LA TECNOLOGÍA. _____ 113

2.3.1.2.3. REQUISITOS, CONDICIONANTES Y CRITERIOS DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA. _____ 113

2.3.1.2.4. RESULTADOS PREVISIBLES DE SU APLICACIÓN A NIVEL MEDIOAMBIENTAL Y DE LA SALUD. _____ 114

2.3.1.2.5. COSTES. _____ 114

2.3.1.2.6. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS. _____ 114

2.3.1.2.7. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS. _____ 115

2.3.1.3. ELABORACIÓN DE MODELO PARA RECOGIDA DE INFORMACIÓN. PROPUESTA DE MODELO DE FICHA. _____ 116

2.3.1.3.1. MODELO INICIAL. _____ 116

2.3.1.3.2. MODELO DEFINITIVO. _____ 118

2.3.1.4. DEFINICIÓN DE CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN O SISTEMATIZACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS. _____ 120

2.3.1.4.1. *SECTOR* AL QUE PERTENECE LA TECNOLOGÍA DENTRO DEL CICLO DEL AGUA: ABASTECIMIENTO, GESTIÓN DE PLUVIALES, GESTIÓN DE RESIDUALES O GESTIÓN DE AGUA Y ENERGÍA. _____ 120

2.3.1.4.2. TIPO DE *MEDIDAS* DE INTERVENCIÓN: MEDIDAS NO ESTRUCTURALES *VERSUS* MEDIDAS ESTRUCTURALES. _____ 121

2.3.1.5. ORDENACIÓN INFORMACIÓN SELECCIONADA. MANUAL DE TECNOLOGÍAS.	124
2.3.1.5.1. ESTRUCTURA DEL MANUAL.	126
2.3.1.5.2. DESCRIPCIÓN DE LAS <i>MEDIDAS</i> O LÍNEAS ESTRATÉGICAS DE ACTUACIÓN ORGANIZADAS POR <i>SECTORES</i> O ÁMBITOS DEL CICLO URBANO DEL AGUA. CARACTERÍSTICAS COMUNES DE LAS TECNOLOGÍAS ENGLOBADAS EN CADA UNA DE ELLAS.	128
2.3.1.5.2.1. ABASTECIMIENTO.	129
2.3.1.5.2.2. AGUAS PLUVIALES.	146
2.3.1.5.2.3. AGUAS RESIDUALES.	157
2.3.1.5.2.4. AGUA Y ENERGÍA.	174
2.3.1.5.3. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LAS TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES: <i>FICHAS TECNOLÓGICAS</i> .	182
2.3.1.5.3.1. ABASTECIMIENTO.	184
2.3.1.5.3.2. AGUAS PLUVIALES.	242
2.3.1.5.3.3. AGUAS RESIDUALES.	320
2.3.1.5.3.4. AGUA Y ENERGÍA.	421
2.3.2. ANÁLISIS Y REVISIÓN CRÍTICA DE LAS TECNOLOGÍAS Y SUS REPERCUSIONES ESPACIALES, CONSTRUCTIVAS Y ECONÓMICAS EN LA EDIFICACIÓN Y EN LOS ESPACIOS LIBRES DE NUESTRAS CIUDADES.	434
2.3.2.1. ELECCIÓN DE CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN.	434
2.3.2.2. REPERCUSIONES DE LA APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE MANERA INDIVIDUAL.	434
2.3.1.5.4. REPERCUSIONES ESPACIALES Y CONSTRUCTIVAS.	435
2.3.1.5.4.1. EN EDIFICIOS.	435
2.3.1.5.4.2. EN EL ESPACIO URBANO.	442
2.3.1.5.5. REPERCUSIONES ECONÓMICAS.	450
2.3.1.5.5.1. EN EDIFICIOS.	450
2.3.1.5.5.2. EN EL ESPACIO URBANO.	456
2.3.2.3. REPERCUSIONES DE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MANERA CONJUNTA O EN BLOQUE: POSIBLES COMBINACIONES E INTERACCIÓN ENTRE ELLAS. COMPATIBILIDADES E INCOMPATIBILIDADES.	461
2.3.3. VALORACIÓN GLOBAL DE RESULTADOS. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO DEL USUARIO Y EN LOS ÁMBITOS ARQUITECTÓNICO Y URBANO.	466
2.3.3.1. IMPACTO EN EL ÁMBITO DEL USUARIO.	466
2.3.3.2. IMPACTO EN EL ÁMBITO ARQUITECTÓNICO. LA INFLUENCIA EN EL DISEÑO DE LOS EDIFICIOS Y SU CONFIGURACIÓN FINAL.	472
2.3.3.3. IMPACTO EN EL ÁMBITO URBANO. LA INFLUENCIA EN EL DISEÑO DE ESPACIOS DE LA CIUDAD Y SU CONFIGURACIÓN FINAL.	478

2.4. CONCLUSIONES	483
2.4.1. CONCLUSIONES GENERALES.	483
2.4.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.	484
2.4.2.1. SOBRE LA SISTEMATIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS. MANUAL DE TECNOLOGÍAS.	484
2.4.2.2. SOBRE LAS REPERCUSIONES ESPACIALES, CONSTRUCTIVAS Y ECONÓMICAS DE LA APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS EN EL ÁMBITO DE LA ARQUITECTURA Y EL URBANISMO. LA INFLUENCIA EN EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y URBANO.	485
2.4.3. PROPUESTA DE FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.	487
3. RESUMEN	488
4. BIBLIOGRAFÍA	489
4.1. REFERENCIAS GENERALES	489
4.2. REFERENCIAS ESPECÍFICAS	495
4.2.1. SOBRE TECNOLOGÍAS EN GENERAL.	495
4.2.2. SOBRE LA GESTIÓN DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA.	496
4.2.3. SOBRE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.	498
4.2.4. SOBRE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.	499
4.2.5. SOBRE LA GESTIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-ENERGÍA.	501

* * *

1. INTRODUCCIÓN

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN: DELIMITACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

El presente trabajo de investigación pretende convertirse en una **aportación que sirva de apoyo a las nuevas corrientes que abogan por un cambio en el tratamiento de los recursos hídricos en nuestras ciudades** mediante una gestión más sostenible del agua **a través del acercamiento a los técnicos de manera sistematizada de las estrategias y tecnologías hidroeficientes existentes** para su aplicación real en los edificios y los espacios libres pertenecientes a dichos núcleos urbanos.

En él, se pretende organizar y sistematizar la información localizada en relación a estrategias y tecnologías sostenibles del ciclo urbano del agua, sumando a ello un análisis o revisión crítica de las mismas, sobre todo, en lo que se refiere a las repercusiones de su aplicación en los edificios y en las áreas urbanas -tanto a nivel espacial y constructivo, como económico-, para facilitar las posibilidades de inserción de las mismas en proyectos reales a los técnicos implicados en la planificación urbana.

Este tema es de mucho interés para la doctoranda, que lleva años participando activamente en varios trabajos y proyectos de investigación promovidos por distintos órganos de la Administración Pública **como integrante del Grupo de Investigación TEP-130** (Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Acústica, Óptica, Iluminación y Energía) -grupo del PAIDI, fundamentalmente compuesto por miembros del Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura y adscrito al Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción de la Universidad de Sevilla-. El tema objeto del estudio **forma parte de la actividad de una de las líneas de investigación** desarrollada por dicho grupo: **la Sostenibilidad**.

Así mismo, el **Grupo TAR** (RNM159: Ingeniería del Agua Posible, Tratamiento del Agua, Saneamiento, Abastecimiento) -grupo de investigación del PAIDI adscrito a la Escuela Universitaria Politécnica de la Universidad de Sevilla-, **con el que la doctoranda viene colaborando** desde el año 2002, **realiza su investigación sobre sistemas naturales de tratamiento de aguas y sistemas de alta velocidad así como sobre tecnologías y estrategias enfocadas a la naturalización de la ciudad**, aspectos en los que la doctoranda ha investigado incorporando parte de sus resultados a esta tesis doctoral integrando, de esta manera, el conocimiento procedente de ambos campos -la Arquitectura y la Ingeniería- en un único cuerpo o documento, como uno de los aportes más novedosos del presente trabajo de investigación.

Además, la **actividad docente** de la doctoranda -como profesora del *Área de Instalaciones y Acondicionamiento* de dicho departamento- **y profesional** -como arquitecta-, también ha estado ligada al campo de las instalaciones -fundamentalmente hidráulicas- tanto en el campo de la edificación como del urbanismo.

En un momento en el que una buena gestión del agua en las ciudades adquiere un papel primordial para la viabilidad de las mismas, **el uso eficiente y la gestión sostenible del agua en los ámbitos edificatorio y urbano se ha considerado un tema del máximo interés, totalmente idóneo y oportuno** como apoyo a las nuevas tendencias de gestión de los espacios habitados donde el aprovechamiento óptimo de los recursos y la protección de ambos -recursos y espacios- se ha convertido en una condición básica.

1.1.1. LOS PROBLEMAS DE SOSTENIBILIDAD DEL TERRITORIO Y DE LOS NÚCLEOS URBANOS. UNA ADECUADA GESTIÓN DEL CICLO DEL AGUA COMPLEMENTADA CON NUEVAS HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS, UN FACTOR CLAVE PARA SU VIABILIDAD.

Cada día se hace más evidente la necesidad de seguir investigando sobre la gestión del ciclo urbano del agua para abordar la **creciente insostenibilidad de los modelos urbanos desarrollados durante las últimas décadas en el ámbito mediterráneo**¹.

Para el abordaje general del problema de la insostenibilidad a nivel urbano, consideramos **dos objetivos clave para las próximas décadas**:

1. **La rehabilitación de lo ya construido** frente a la creación de *nueva ciudad*, con criterios expansivos.
2. **La transformación del modelo de ciudad** que no puede seguir considerándose como un sumidero de recursos (hídricos, energéticos, materiales, etc.).

1.1.1.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL RESPECTO A LA GESTIÓN DEL AGUA.

1.1.1.1.1. LOS MODELOS EXPANSIVOS DE URBANIZACIÓN DE LAS ÚLTIMAS DÉCADAS.

Los **modelos urbanos** desarrollados durante las últimas décadas, en el ámbito mediterráneo, han tenido un **claro carácter expansivo**. Sirva como ejemplo, el diagnóstico que incluye el Plan de Ordenación del Territorio de Andalucía de 2006 sobre el proceso urbanizador experimentado en dicho territorio, sobre lo cual afirma que “en las últimas décadas en Andalucía, como en gran parte del estado, se ha experimentado un fuerte proceso de urbanización, especialmente importante en los entornos metropolitanos y el litoral, de tal envergadura que puede llegar a hablarse de una **auténtica reurbanización del territorio andaluz**” (Junta de Andalucía, 2006).

El problema es que, a menudo, todos esos procesos urbanizadores, realizados en muchas ocasiones sin un control adecuado, no han tenido en cuenta sus **consecuencias en los sistemas que conforman el ciclo hidrológico y han desembocado en un fenómeno generalizado de desestabilización y desequilibrio** de dichos sistemas a partir de causas como:

- La canalización, el soterramiento y la ocupación de cauces.
- La impermeabilización y sellado de superficies.
- El incremento de la demanda y de los volúmenes de agua que suministrar a los núcleos urbanos y que tratar posteriormente tras su aprovechamiento.

1.1.1.1.2. EL MODELO DE CIUDAD COMO SUMIDERO DE RECURSOS.

Por otro lado, es un hecho que el **crecimiento desmesurado de la población mundial ha supuesto un aumento importante en el consumo de recursos** pero, además, este consumo ha sido **fomentado por la mentalidad**, que ha perdurado durante el siglo XX y

¹ Como ejemplo de un caso del ámbito mediterráneo, respecto a Andalucía, Antonio Figueroa (2011) afirma que, en lo que se refiere al modelo de ciudad, se ha producido un “cambio de modelo de ciudad mediterránea al modelo de ciudad difusa, de bajas densidades, gran consumidora de recursos naturales”.

desde el inicio de la industrialización, en la que existía la sensación **de que el hombre podía disponer de los diferentes recursos presentes en la Naturaleza sin ningún tipo de límite.**

Miguel Delibes de Castro, en su *Discurso de ingreso en la Real Academia de la Lengua* en el año 1975, ya denunciaba la actitud de abuso del hombre sobre la Naturaleza: “En la actualidad, la abundancia de medios técnicos permite la transformación del mundo a nuestro gusto, posibilidad que ha despertado en el hombre una vehemente pasión dominante. El hombre de hoy usa y abusa de la Naturaleza como si hubiera de ser el último inquilino de este desgraciado planeta, como si detrás de él no se anunciara un futuro. La Naturaleza se convierte así en el chivo expiatorio del progreso”.

También nos recordaba que, por su parte, el biólogo australiano Sir Frank Macfarlane Burnet -galardonado con el Premio Nobel de Medicina en 1960- ya escribió en uno de sus libros que “siempre que utilicemos nuestros conocimientos para la satisfacción a corto plazo de nuestros deseos de confort, seguridad o poder, encontraremos, a plazo algo más largo, que estamos creando una nueva trampa de la que tendremos que librarnos antes o después”.

Y Antonio Viñas -especializado en desarrollo rural, economía solidaria y educación popular-, en su artículo “Arjé, sustancia y símbolo. Valores intangibles del agua”, denuncia la escasa conciencia que el ser humano que habita el mundo desarrollado tiene acerca de su dependencia del agua en el siglo XXI y afirma: “Su modo de vida asociado a un arrogante antropocentrismo, a una economía desligada de la Naturaleza, razón y medio de vida, a un modelo de felicidad basado en la acumulación de bienes materiales (el consumo) y al uso de la tecnología como un fin, lo está conduciendo, quizás, a la habitación oscura de la autodestrucción (crisis ambiental, deshumanización)” (Viñas, 2015a).

1.1.1.2. LA NECESIDAD DE UN NUEVO ENFOQUE.

1.1.1.2.1. LA MEJORA Y REHABILITACIÓN DE LA CIUDAD EXISTENTE.

Frente a los procesos expansivos que suponen la creación desmesurada y sin control de *nueva ciudad*, **se propone rehabilitar el tejido urbano existente** con intervenciones realizadas **mediante enfoques, estrategias y tecnologías innovadores que potencien todas sus posibilidades.**

Centrándose en el ámbito hídrico, en su artículo “Paradigmas del agua y del territorio”, Leandro del Moral destaca la importante relación de ésta con el territorio y los modelos urbanos que se desarrollan en él afirmando que: “Discutir sobre política de agua significa poner en discusión las formas de ocupación del territorio que subyacen y condicionan el modelo de desarrollo en vigor en cada momento. De ahí, la complejidad a la vez que la profunda significación territorial del debate sobre el agua” (Del Moral, 2015).

Por ello **es prioritario dar respuesta a las múltiples consecuencias** que dichos procesos de expansión urbana han tenido **sobre el sistema hidrológico**, lo cual se puede hacer, además de a través de la revisión de los modelos en el territorio y otras estrategias, **mediante la aplicación de nuevas tecnologías más respetuosas con éste.**

En el ámbito europeo, ya se es muy consciente de las potencialidades de las tecnologías sostenibles de gestión del agua frente a las tradicionales. De hecho, “la entrada en vigor

de la Directiva Marco del Agua ha puesto freno a las hipótesis planteadas de construcción de nuevas infraestructuras para satisfacer las demandas de agua (...). El modelo ha sido revisado según criterios de sostenibilidad, **obligando a la búsqueda de medidas alternativas que eviten nuevas extracciones y ayuden a la recuperación de la calidad ecológica de las masas de agua**" (Aqua-Riba, 2015).

Un aspecto importante a considerar es la posibilidad de **incorporar todas estas tecnologías en los proyectos de rehabilitación**. Esta última, como ya se ha sugerido, debe ser considerada un objetivo necesario en el contexto actual como alternativa a la producción de *nueva ciudad* y de hecho se ha convertido en una clave fundamental en las políticas públicas del ámbito arquitectónico y urbano actuales². Esta tesis doctoral pretende ser una herramienta útil de cara a la realización de estas intervenciones.

1.1.1.2.2. LA CIUDAD COMO ORGANISMO METABÓLICO.

Por otro lado, es necesario cambiar la visión de las ciudades, que deben pasar a considerarse como un organismo donde es fundamental **aprovechar todos los recursos presentes y en sus diferentes fases, a la vez que se potencian las relaciones y sinergias entre ellos**. Son necesarias, entre otras estrategias, la recirculación, la reutilización, el reciclaje y la regeneración en todos los ámbitos, lo cual conlleva una **visión holística de la ciudad como lugar de intercambio de flujos** de todo tipo.

Según Del Moral, "por encima de todo, el problema se centra en la necesidad de una voluntad política de reconducción de las dinámicas territoriales dominantes. Esto implica el avance en la sociedad y el impulso institucional a nuevos valores y objetivos sociales consistentes con modelos de desarrollo más adaptados a los límites de los recursos" (Del Moral, 2015).

Al igual que en otros ámbitos, en el hídrico, ya no se puede considerar el recurso como ilimitado y esta visión obliga a actualizar los procesos de gestión del ciclo urbano del agua para tratarlos desde un punto de vista integral y sostenible así como a **usar tecnologías que aprovechen al máximo tanto los recursos hídricos en sí mismos como otros recursos** presentes en las poblaciones.

Como se puede observar, en ambos casos es **fundamental un replanteamiento de la gestión que se ha hecho tradicionalmente de los recursos hídricos**, lo cual justifica la necesidad de trabajar en esta línea de investigación relativa a la *Sostenibilidad en la Gestión del Ciclo Urbano del Agua*.

Por otro lado, también es **evidente la utilidad de las tecnologías hidroeficientes, núcleo central de este trabajo, para conseguir dichos objetivos** ofreciendo algo más de luz para cumplir los anteriores requerimientos. Las tecnologías, revisadas desde el nuevo enfoque, permitirán proteger y mejorar los recursos hídricos, reducir el costo de los servicios y el consumo de agua - entre otros, con el uso de recursos alternativos- y de energía, contribuir al control de inundaciones y mejorar el tratamiento de las aguas residuales con la introducción de técnicas naturales de depuración.

² "Tras el freno de los procesos de expansión urbanística, la labor fundamental en relación a las políticas públicas en el ámbito arquitectónico y urbano, se encuentra en la rehabilitación de aquellas áreas que fueron construidas sin que aún se considerasen muchas de las cuestiones que ahora nos resultan irrenunciables, entre ellas, la eficiencia en el uso de los recursos y la sostenibilidad. (Aqua-Riba, 2015)"

Por último, conviene señalar que, para conseguir los anteriores objetivos, se ha considerado fundamental partir del conocimiento del elemento con el que se va a trabajar -el agua- y, para ello, se ha comenzado con un estudio de ésta como recurso básico, recordando su compleja relación con el hombre y su entorno, continuando con un análisis de su gestión en los núcleos urbanos, antes de entrar de lleno en la cuestión de las nuevas tecnologías, objeto de estudio del presente trabajo de investigación. Se ha hecho de esta manera con el objetivo de contextualizar dicho objeto de estudio dentro de las nuevas corrientes que abogan por un cambio en la gestión del agua en los espacios habitados. Y es que, para el estudio de las tecnologías, es fundamental entender el dinamismo del agua, así como sus múltiples posibilidades y sus implicaciones con el entorno para poder manejarla de la mejor manera posible con las herramientas tecnológicas disponibles.

1.1.2. LA FALTA DE PREPARACIÓN ESPECÍFICA EN LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL CICLO URBANO DEL AGUA POR PARTE DE LOS TÉCNICOS IMPLICADOS EN LA PLANIFICACIÓN URBANA. LA NECESIDAD DE ACTUALIZACIÓN Y PROFUNDIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS TECNOLÓGICOS DENTRO DEL ÁMBITO DE LA SOSTENIBILIDAD.

El conocimiento de los **sistemas de instalaciones en Arquitectura y Urbanismo requiere de una constante actualización y revisión de sus contenidos**, máxime en este momento en el que se está procediendo a una revisión general de las normativas a nivel estatal (Código Técnico de la Edificación, etc...) debiendo cumplirse, además, con la obligada transposición a dicha normativa española de las directivas Europeas del sector, con su correspondiente adaptación y desarrollo. En este sentido, las tecnologías del ámbito hidráulico forman una parte importante de ese marco que permite el acondicionamiento de los edificios y espacios urbanos cuyo conocimiento debe ser actualizado y puesto en práctica, dentro de lo posible desde un enfoque sostenible.

A partir del contacto con profesionales del sector de la arquitectura y el urbanismo, **se ha detectado la necesidad de acercarlos, de manera clara, información actualizada y ordenada sobre el tema** para facilitar la introducción de estas tecnologías de una manera real en los proyectos arquitectónicos y urbanos.

Tras un estudio de la situación actual y del material existente sobre la gestión del ciclo urbano del agua, así como de las estrategias y tecnologías existentes para su aplicación en el ámbito edificatorio y de los espacios urbanos, **se ha encontrado información sobre el tema, pero** la mayor parte **muy dispersa y poco sistematizada, resultando poco útil para los arquitectos y urbanistas** a la hora de enfrentarse a proyectos concretos en el ámbito de la edificación y el territorio.

A partir de esta situación, parecía **interesante crear una herramienta que permitiese la actualización y profundización en el conocimiento de estos aspectos del proyecto** para poder abordar los problemas planteados con mayor facilidad y seguridad, **controlando sus repercusiones reales en los espacios habitados** a corto, medio y largo plazo.

Los destinatarios, por tanto, de este trabajo son, fundamentalmente, los agentes activos de los procesos de intervención urbana, entre los que se encuentran los técnicos y las empresas de gestión, a cuya mejor formación se quiere contribuir.

1.1.2.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN CUANTO A LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS SOSTENIBLES.

1.1.2.1.1. EL DESCONOCIMIENTO DE LAS TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES EN SU CONJUNTO Y DE SUS POSIBILIDADES.

En general, **no hay muchos proyectos arquitectónicos y urbanos que apliquen este tipo de tecnologías sostenibles y, en caso de hacerlo, lo hacen de manera poco sistematizada y, sobre todo, de manera parcial.** Por ejemplo, actualmente, hay ya casos en los que se aplican tecnologías de reutilización de aguas, pero muy pocas las complementan con otras alternativas tecnológicas que multiplicarían su efecto (aplicación de dispositivos de ahorro, etc...).

Por otro lado, sí es cierto que también se han detectado **algunos casos muy interesantes de buenas prácticas** de aplicación de las mismas -que se exponen en el correspondiente apartado- donde sí se han aplicado tecnologías sostenibles desde una estrategia conjunta, suponiendo una importante experiencia de aplicación real y que se tendrán en cuenta a la hora de seleccionar y evaluar las tecnologías sostenibles en este trabajo.

1.1.2.1.2. LA RETICENCIA ACTUAL POR LA INFLUENCIA DE LOS MODELOS ESTRUCTURALISTAS “TRADICIONALES”.

También es importante tener en cuenta en este análisis las **tendencias “estructuralistas”** que **se impusieron de manera contundente en el siglo XX** y que tratan de resolver los problemas a través de costosas inversiones. Este hecho, junto con la **enorme influencia durante décadas del campo de la Ingeniería en el mundo de la Arquitectura y el Urbanismo** que ha repetido durante mucho tiempo los esquemas aprendidos de aquella, ha supuesto en el ámbito de la edificación y la urbanización un largo y difícil proceso de concienciación acerca de la problemática asociada a la construcción de grandes infraestructuras.

Por otro lado, los **enormes intereses creados por todo el negocio alrededor de ellas han supuesto una traba importante** para la recuperación de tecnologías locales y descentralizadas que se han tildado en ocasiones de “tercermundistas” o, debido a su carácter “ecologista”, se han asociado con el universo de lo “hippy”, un movimiento contracultural, libertario y pacifista, nacido en los años 1960 en Estados Unidos que, posteriormente, se ha extendido a otros lugares del planeta.

1.1.2.2. NUEVAS NECESIDADES DE APLICACIÓN DEL CONOCIMIENTO EN EL ÁMBITO DE LAS TECNOLOGÍAS HIDRÁULICAS SOSTENIBLES.

Como ya se ha señalado, con el presente trabajo se pretende contribuir a mejorar la formación de los técnicos, considerada fundamental para abordar la cuestión de la gestión sostenible del agua, ello independientemente del proceso educativo que, según las nuevas corrientes, es necesario que se produzca en todos los ámbitos de la sociedad respecto al agua para crear una nueva sensibilidad social³.

³ Según Antonio Viñas (2015a): “la educación en todos sus ámbitos (académico, no formal e informal) (...) es una de las vértebras para diseñar la conquista de esta nueva sensibilidad social”.

1.1.2.2.1. PROFUNDIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO EXISTENTE SOBRE LAS TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES Y DE LAS CONSECUENCIAS DE SU APLICACIÓN A NIVEL URBANO Y ARQUITECTÓNICO.

Un buen conocimiento de las tecnologías sostenibles en el ámbito hídrico, junto con otros aspectos relacionados con el ámbito de actuación (como el marco institucional y administrativo que le afecta -marco normativo o legislativo y competencial, tanto formal como informal-, las condiciones ambientales -clima, hidrología, topografía, geología o vegetación y fauna-, urbanísticas -usos y propiedad del suelo, dimensiones y naturaleza del terreno, elementos de urbanización, infraestructuras urbanas, tipo de tráfico o uso de los espacios libres-, edificatorias -configuración y uso de espacios, sus características constructivas, configuración y estado de sus instalaciones-, de las viviendas -configuración espacial con número de habitaciones y ubicación de las zonas húmedas, así como el estado de las mismas y de los aparatos o equipamientos y su posible obsolescencia-, y de sus habitantes -número, caracterización y hábitos-), **permitirán una mejor adaptación de las soluciones planteadas a la realidad concreta del contexto físico y social del área afectada por el proyecto** que estén desarrollando los técnicos.

Como afirma la Comisión Europea, en relación con la gestión del agua en los espacios habitados, **“es prioritario generar herramientas metodológicas e instrumentales de las que los profesionales puedan servirse para intervenir sobre el patrimonio** arquitectónico y urbano, impulsando la transformación paulatina de nuestros entornos cotidianos hacia una gestión integrada y sostenible del agua (...)” (European Commission, 2012).

1.1.2.2.2. VISIÓN INTEGRAL, ORDENADA Y SISTEMATIZADA DE LAS TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES EN SU CONJUNTO Y DE LAS POSIBLES INTERRELACIONES ENTRE ELLAS.

Para conseguir poco a poco esa transformación necesaria, es **fundamental una visión conjunta** de todas las tecnologías disponibles y de las repercusiones de las mismas, tanto si se utilizan de manera independiente como de manera conjunta.

También, el hecho de incorporar en esa visión global de las tecnologías las relacionadas con el ámbito de otros recursos amplía las posibilidades de actuación.

1.1.2.2.3. DEFINICIÓN DE UNA ESCALA DE INTERVENCIÓN ADECUADA PARA EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.

En el conjunto del sistema de gestión del ciclo socio-hidrológico urbano, y teniendo en cuenta que se podrían admitir también otras agrupaciones de las distintas etapas del ciclo urbano del agua, **se pueden distinguir tres niveles de gestión** que incluyen múltiples actuaciones normativas, técnicas, económicas e institucionales:

- Captación, suministro en alta o aducción y potabilización.
- Distribución en baja.
- Saneamiento, depuración y vertido.

Pero **este trabajo de investigación se centrará, únicamente, en aquellos aspectos que se relacionan más directamente con el espacio habitado**, prestando fundamentalmente atención a la gestión del agua **en los espacios urbanizados y en las edificaciones**, insistiéndose en las implicaciones que todo ello tiene en la Arquitectura y el Urbanismo en

su conjunto. No se pretende, por tanto, abordar cuestiones fundamentales del ciclo urbano del agua, como la calidad del agua en origen o la potabilización. De hecho, esto justifica dejar también fuera del estudio temas de mucho interés como las plantas desaladoras o las tecnologías que se podrían aplicar en grandes instalaciones pero con una escala más territorial (ETAPs, EDARs,...).

Partiendo de ese punto, todo lo anterior no quita que esta tesis doctoral plantee que, para poder llevar a cabo con éxito la adaptación necesaria de los núcleos urbanos a la nueva realidad, sean **esenciales las actuaciones y análisis a distintas escalas, pero lo hará siempre dentro de un entorno definido de trabajo que es el más cercano al ciudadano**. Estas escalas se refieren a los distintos niveles de influencia de las tecnologías que se van a estudiar y proponer que son: barriada, edificio y vivienda.

Por tanto, se considera adecuada la múltiple escala de análisis mediante una evaluación pluriescalar.

1.1.2.2.4. LA ASUNCIÓN DE LA “NUEVA CULTURA DEL AGUA”.

Miguel Delibes de Castro, en el mencionado *Discurso de ingreso en la Real Academia de la Lengua* del año 1975, **abogaba por un cambio en la conciencia moral de la Humanidad y una nueva actitud**: “A mi juicio, el primer paso para cambiar la actual tendencia del desarrollo y, en consecuencia, preservar la integridad del Hombre y de la Naturaleza, radica en ensanchar la conciencia moral universal (...) que viene exigiendo juego limpio en no pocos lugares de la Tierra. (...) Muchos jóvenes del Este y del Oeste reclaman hoy un mundo más puro, seguramente (...) por ser ellos la primera generación con DDT en la sangre y estroncio 90 en sus huesos”.

Como él, otros muchos autores y organismos están luchando por conseguir un cambio en el enfoque del mundo del agua. Como ejemplo, desde 1998, la Fundación Nueva Cultura del Agua ha intentado difundir una nueva visión del agua desde un enfoque integrador, ecosistémico y socialmente participado. Una visión que cuestiona la tradición política hidráulica que ha imperado en nuestro país y en gran parte del mundo a lo largo del siglo XX, y que ha dado como resultado la degradación y, en algunos casos, la desaparición del patrimonio común que son nuestros ríos, arroyos, humedales y ecosistemas costeros pretendiendo, mediante su guía, dar testimonio científico y social de esta nueva manera de acercarse a la realidad y a la problemática de la gestión del agua.

Pero **es importante que también se produzca el cambio de mentalidad en los técnicos que desarrollan los planes**. Es importante que éstos sean conscientes de los daños que se están produciendo en todos los ámbitos a causa de un enfoque equivocado y, éste es otro de los objetivos del presente trabajo, por lo que se analizan los peligros de una mala gestión en el Estado de la Cuestión.

1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN. PARTICIPACIÓN EN GRUPOS Y PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN RELATIVOS AL TEMA DE LA TESIS DOCTORAL

1.2.1. GRUPOS DE INVESTIGACIÓN.

1.2.1.1. EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN TEP-130 Y SU LÍNEA DE INVESTIGACIÓN LIGADA A LA SOSTENIBILIDAD EN LA ARQUITECTURA.

La presente tesis doctoral se enmarca dentro de la línea de investigación sobre **Sostenibilidad** que, desde hace más de dos décadas, viene desarrollando el grupo de investigación TEP-130 (Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Acústica, Óptica, Iluminación y Energía)⁴ perteneciente al PAIDI (Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación) y adscrito al Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción (IUACC) de la Universidad de Sevilla.

Para desarrollar las diferentes líneas de investigación, el grupo dispone de un equipo de investigadores cualificados, todos ellos docentes universitarios en permanente formación y con amplia experiencia profesional arquitectónica.

El aspecto docente del grupo se desarrolla en la titulación de Arquitectura de la Universidad de Sevilla, impartiendo materias relacionadas, básicamente, con Construcciones Arquitectónicas, Instalaciones y Acondicionamiento Ambiental. Así mismo, en el seno de este Departamento, imparte un *Máster Oficial en Proyecto de Instalaciones en Arquitectura: Diseño, Cálculo y Eficiencia Energética* -en el que la mayoría de sus miembros participan, incluida la doctoranda- y se colabora en la docencia de otros másteres oficiales ofertados por el Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción (IUACC) de la Universidad de Sevilla.

Varios integrantes -entre otros la doctoranda- del actual Grupo de Investigación TEP-130, radicado en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Sevilla y fundamentalmente compuesto por miembros (tanto profesores como investigadores) del Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de dicha escuela, **han participado activamente en diferentes trabajos y proyectos de investigación** promovidos por distintos órganos de la Administración Pública **sobre el uso eficiente y la gestión sostenible del agua en los ámbitos edificatorio y urbano**. Y es, dentro de esta línea de trabajo de la Sostenibilidad, donde están enfocando la mayoría de su actividad investigadora, docente y profesional.

1.2.1.2. EL GRUPO TAR Y LA INGENIERÍA DEL AGUA POSIBLE.

Por otro lado, **también es importante destacar la larga relación docente e investigadora que une a la doctoranda con el Grupo TAR** (RNM159: Ingeniería del Agua Posible, Tratamiento del Agua, Saneamiento, Abastecimiento), grupo de investigación también perteneciente al PAIDI.

⁴ En Febrero de 2013 y debido a la estrecha colaboración entre ambos equipos de investigación, el grupo TEP-132 se incorporó al TEP-130 (Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Acústica, Iluminación y Energía), pasando a ser el epígrafe del TEP-130: (Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Acústica, Óptica, Iluminación y Energía).

Dicho grupo -en el seno del cual la doctoranda ha desarrollado la investigación y desarrollo de los sistemas naturales de alta velocidad y naturalización de entornos urbanos y ha participado en varias publicaciones sobre temas relacionados con depuración de aguas residuales- ha impartido y dirigido, a lo largo de los últimos años y desde la Escuela Internacional de Ingeniería del Agua de Andalucía (EIA) que también coordina, varias ediciones de un *Máster en Ingeniería del Agua* en las que ella ha participado como profesora.

Este grupo, adscrito a la Escuela Universitaria Politécnica de la Universidad de Sevilla y que agrupa fundamentalmente a profesores del Departamento de Ingeniería Química y Ambiental de dicha escuela donde desarrollan la mayor parte de su labor docente e investigadora, está especialmente dedicado, en los últimos años, a la **Ingeniería del Agua Posible** (IAP) centrandó su actividad, sobre todo, en proyectos de desarrollo de tecnologías del agua que se puedan desarrollar bajo cualquier condición. Así, están desarrollando trabajos concretos en Andalucía, España, Unión Europea y Latinoamérica, constituyendo un punto de referencia a nivel nacional e internacional en materia de tecnologías adaptativas y sostenibles para la gestión del ciclo urbano del agua.

Varias **líneas de investigación** desarrolladas por el grupo tienen relación directa con el objeto del presente trabajo (Procesos biológicos de tratamiento de aguas, saneamiento de aguas negras, depuración biológica de aguas o ingeniería del agua posible).

1.2.2. TRABAJOS Y PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN.

1.2.2.1. EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL “ESTUDIO DEL USO EFICIENTE DEL AGUA EN EL ENTORNO URBANO ANDALUZ. SITUACIÓN Y POSIBILIDADES DE MEJORA”.

El trabajo, finalizado en 2009, fue financiado y encargado por la Agencia Andaluza del Agua, perteneciente a la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, al equipo redactor dirigido por los doctores Jaime Navarro Casas y Juan José Sendra Salas, y en él participaron, además, varios profesores -entre ellos, la doctoranda que hizo las veces de *coordinadora*-, arquitectos pertenecientes en su mayoría al Área de Instalaciones y Acondicionamiento del Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Sevilla.

Inicialmente, se propuso un trabajo prospectivo sobre las normativas municipales vigentes en poblaciones andaluzas, con el fin de conocer su verdadero alcance en “el uso eficiente del agua de uso urbano” y su capacidad para servir de base para la elaboración de normativas a nivel autonómico. Posteriormente, la Agencia Andaluza del Agua, a través del Instituto del Agua de Andalucía, amplió el estudio propuesto a todas las iniciativas existentes sobre el uso eficiente y ahorro del agua en el entorno urbano de Andalucía.

Por todo ello, el objeto del encargo fue la elaboración de un **estudio preliminar de evaluación y diagnóstico de todas las iniciativas sobre el uso eficiente y ahorro del agua en el entorno urbano andaluz, así como las posibilidades de mejora del mismo.**

1.2.2.2. EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN I+D+i “SISTEMAS DE GESTIÓN SOSTENIBLE DEL CICLO URBANO DEL AGUA EN LA REHABILITACIÓN INTEGRAL DE BARRIADAS EN ANDALUCÍA (AQUA-RIBA)”.

El proyecto de investigación de I+D+i “*Sistemas de Gestión Sostenible del Ciclo Urbano del Agua en la Rehabilitación Integral de Barriadas en Andalucía (Aqua-Riba)*”, relativo al ámbito competencial de la Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía, surgió de la necesidad de incorporar, de una manera concreta y contextualizada, la Nueva Cultura del Agua en las políticas públicas de intervención sobre el patrimonio urbano de las ciudades andaluzas y, para ello, planteó el diseño de una herramienta que permitiese contextualizar en Andalucía los planteamientos conceptuales, metodológicos e instrumentales para la incorporación efectiva del enfoque eco-integrador y participado de gestión del ciclo urbano del agua en los proyectos de rehabilitación arquitectónica y urbana.

Para poder proporcionar esa herramienta que facilitase la integración de un conjunto de estrategias prácticas y operativas en los procesos de intervención urbana destinadas a mejorar la gestión del ciclo urbano del agua en las barriadas, se realizó una revisión en profundidad de las últimas aportaciones en relación a tres aspectos clave de los procesos de planificación urbana: la sostenibilidad urbana, la planificación estratégica para la gestión integral del ciclo urbano del agua y la rehabilitación de barriadas desde la perspectiva de la sostenibilidad y la participación. Finalmente, se aplicaron los planteamientos propuestos a un caso de estudio consistente en una barriada “tipo” en Andalucía -el Barrio de Las Huertas-, situado en la ciudad de Sevilla, que fue de alguna manera laboratorio de pruebas.

Para todo ello, desde su comienzo en 2013, la investigación, dirigida por el Dr. Leandro del Moral Ituarte, contó con un equipo de carácter multidisciplinar (arquitectos, ingenieros, sociólogos, ecólogos y geógrafos) necesario para la visión plurifacética del proyecto.

Todo el trabajo realizado se materializó en una guía donde se sintetizan los criterios y herramientas diseñados en la metodología para su utilización por técnicos, responsables políticos, sector empresarial y demás agentes implicados en los procesos de planificación y diseño de proyectos arquitectónicos y urbanos.

Aqua-Riba, en este sentido, es un proyecto pionero en la sistematización de soluciones que, a partir de una comprensión integral de los ciclos hídricos, mejoren la eficiencia de su gestión en el diseño y configuración de los espacios habitados y, dentro de sus futuras líneas de investigación, se planteó la necesidad de una revisión y mayor profundización en las tecnologías sostenibles así como un estudio detallado de las repercusiones espaciales, constructivas y económicas, que conforman los objetivos del presente trabajo. Es precisamente, en esa línea de trabajo en la que se sitúa la presente investigación.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN: UNA APORTACIÓN A LA GESTIÓN SOSTENIBLE E INTEGRADA DEL AGUA EN ESPACIOS URBANOS Y ARQUITECTÓNICOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.

El objetivo fundamental de la presente investigación es convertirse en una aportación que sirva de apoyo a las nuevas corrientes que abogan por un cambio en el tratamiento de los recursos hídricos en nuestras ciudades mediante una gestión más sostenible del agua acercando a los técnicos, de manera sistematizada, las estrategias y tecnologías hidroeficientes existentes para su aplicación real en los edificios y los espacios libres pertenecientes a dichos núcleos urbanos.

En el presente trabajo, por tanto, se pretende organizar y sistematizar la información localizada en relación a estrategias y tecnologías sostenibles del ciclo urbano del agua, a lo que se sumaría un análisis o revisión crítica de las mismas, sobre todo en lo que se refiere a las repercusiones de su aplicación en los edificios y en las áreas urbanas -tanto a nivel espacial y constructivo como económico-, para facilitar a los técnicos implicados en la planificación urbana las posibilidades de inserción de las mismas en sus proyectos.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

A continuación, se exponen de manera más detallada los principales objetivos que se intentarán lograr con la presente tesis doctoral:

- La **profundización en el conocimiento actualmente existente sobre las tecnologías necesarias para un uso eficiente y sostenible del agua** mediante una revisión crítica de las mismas, analizando su viabilidad o posibilidades de aplicación real –solas o en combinación con otras-, sus interrelaciones y sus repercusiones en diferentes aspectos de la edificación y la urbanización -como son las necesidades espaciales, técnicas y constructivas además de las económicas- a la hora de su integración en los edificios y espacios urbanos.
- La **sistematización de dicha información** sobre tecnologías disponibles en los diferentes ámbitos de la gestión sostenible del agua (abastecimiento o suministro, gestión de pluviales, gestión de residuales y gestión de la relación con otros recursos) para favorecer una más fácil aplicación de las mismas en los proyectos.
- La **obtención de una visión de conjunto sistematizada y actualizada** de dichas tecnologías, en forma de *manual*, **como herramienta práctica para facilitar el proceso de toma de decisiones a los técnicos especializados en la gestión urbana** con un criterio lo más ajustado posible a la realidad. La correcta elección de las tecnologías dependerá, además, de otras variables no técnicas que quedarían fuera del ámbito del presente trabajo, como son los factores socioculturales y económicos del ámbito de actuación que permitirán una contextualización total del problema y actuaciones más adecuadas y ajustadas.
- La **facilitación de la elección de las tecnologías para aumentar sus posibilidades de inserción real en los proyectos arquitectónicos y urbanos** que se realicen en el futuro en nuestras poblaciones dentro del ámbito mediterráneo.
- La **integración entre los conocimientos de dos campos, como la Ingeniería y la Arquitectura**, para la obtención de una herramienta útil para ambos.
- Una **aportación para la creación de un nuevo modelo de gestión del agua en la ciudad situado en el marco de una “nueva cultura del agua”** planteado bajo criterios de

sostenibilidad y aumento de la eficiencia hídrica y energética que buscan la mejora del planeta en su conjunto -mediante un mejor conocimiento de tecnologías que permitan aumentar el ahorro de recursos- y que conllevará **una arquitectura y un urbanismo más sostenibles y competitivos siendo, por tanto, más “posibles”** de realizar.

- Por último, se pretende **colaborar a una transformación del entorno** donde se apliquen dichas tecnologías **que redundará, también, en una mejoría del confort, la salubridad y la calidad de vida de los habitantes de los núcleos urbanos, aspectos cada vez más demandados** por la sociedad actual.

2. CUERPO DE LA TESIS

2.1. ESTADO ACTUAL DE LA CUESTIÓN

El objetivo de este apartado es la recopilación, exposición y análisis del estado del arte desarrollado en los últimos años, fundamentalmente desde la perspectiva de la sostenibilidad, en el ámbito de la gestión del agua en los núcleos urbanos y, en concreto, en el campo de las tecnologías.

Para una correcta contextualización de este último campo de estudio -el de las tecnologías sostenibles, centro neurálgico de la presente tesis doctoral- dentro de las nuevas corrientes que abogan por un cambio en su gestión en los espacios habitados, se ha considerado fundamental partir del conocimiento del elemento con el que se va a trabajar -el agua- realizando una revisión de ésta como recurso básico y de sus relaciones con el hombre, continuando con una revisión y comparativa de los distintos modelos de su gestión en los núcleos urbanos y centrándonos, finalmente, en una revisión del campo de las tecnologías.

El análisis de los modelos de gestión y del campo tecnológico se ha realizado a diferentes niveles, analizando los programas, proyectos y estudios de investigación recientes, el ámbito normativo de aplicación actual y otras fuentes de información -como la bibliografía y todo tipo de publicaciones existentes al respecto, experiencias, casos de estudio y de buenas prácticas, programas de ayuda a la decisión, etc... -realizando, en lo posible, una valoración crítica sobre todos estos aspectos.

2.1.1. EL AGUA COMO RECURSO BÁSICO Y SU RELACIÓN CON EL ENTORNO.

A partir de una mínima referencia a su composición, estructura y propiedades, es fundamental entender el dinamismo del agua así como sus múltiples posibilidades y sus implicaciones con el entorno para poder manejarla de la mejor manera posible con las herramientas tecnológicas disponibles.

2.1.1.1. LA IMPORTANCIA DEL AGUA EN EL *PLANETA AZUL*. SU COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y PROPIEDADES. EL *CICLO DEL AGUA* EN LA NATURALEZA FRENTE AL *CICLO URBANO DEL AGUA* (CUA). CALIDAD Y CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS.

«El *agua* es el alma del *planeta azul*.»⁵

Todas las estrategias y tecnologías hidroeficientes no tendrían ningún sentido si no somos conscientes de la **importancia que tiene el agua para la vida en el planeta Tierra** que, además y no por casualidad, es llamado el “planeta azul” al estar casi tres cuartas partes de su superficie cubiertas de agua, es decir, el 70% de la superficie del Globo. Es un planeta acuático.

⁵ Se hace referencia a esta frase en un artículo de Delibes (2015).

Y es que el agua **hace posible la vida en el planeta**, casi desde el origen de éste⁶, **en todas sus formas** gracias a las propiedades de este recurso. Como afirma Miguel Delibes de Castro (2015), biólogo español que ha desarrollado una extensa labor como miembro de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, **el agua es “un extraño elemento imprescindible para la vida. El agua es un producto raro, en muchos aspectos excepcional.”**

2.1.1.1.1. SU COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y PROPIEDADES.

En cuanto a su **composición y estructura**, “(...) la molécula de agua está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). Esa molécula es polar (...) porque la distribución de sus cargas eléctricas no es simétrica respecto al centro. Ello hace que las moléculas de agua raramente aparezcan solas, pues tienden a «empaquetarse» uniéndose merced a enlaces o puentes de hidrógeno; con frecuencia, y como mínimo en el caso del agua líquida, lo hacen en grupos de seis. A su vez, eso explica, entre otras cosas, la estructura hexagonal de los cristales de hielo, y de paso la perfecta, simétrica y hermosa estructura fractal de los copos de nieve, también con seis brazos” (Delibes, 2015).

Pero todo esto no es tan especial como las **propiedades** que, como consecuencia de dicha composición y estructura, el agua tiene y que se exponen a continuación:

- Debido a su peculiar estructura, **el agua en su forma sólida pesa menos que como líquido y, por eso, el hielo flota. Apenas hay otras sustancias que lo hagan.**
- **Tampoco las hay que de forma natural**, a las temperaturas y con la presión atmosférica que se dan en la superficie de la Tierra, **se presenten tanto en forma líquida** (el agua en sentido estricto), **como en forma sólida** (hielo) **y en forma gaseosa** (vapor de agua). Gracias a ello puede darse el *ciclo del agua* que genera agua dulce y libera de forma natural al agua de sus impurezas.
- Otra característica especial, relacionada con su polaridad, es que se trata de un magnífico disolvente. **No un disolvente universal, pero sí una de las sustancias que más productos disuelve, si no la que más.** Sin esta capacidad, no sería posible construir ningún recipiente para contenerla y es imposible imaginar el metabolismo de los seres vivos, que no es otra cosa sino el intercambio de sustancias -y energía- con el exterior y la síntesis de productos complejos, orgánicos, a partir de otros más simples: el agua es el medio de transporte de esas sustancias y el agua es, también, el ambiente donde tienen lugar las correspondientes reacciones químicas.
- Los puentes de hidrógeno tienden a mantener las moléculas de agua fuertemente unidas entre sí generando una **tensión superficial** imprescindible para diferentes actividades de los seres vivos. Por ejemplo, **hace posible el hecho de que** algunos animales pueden estar sobre ella sin sumergirse o **la capilaridad** que permite a las

⁶ “(...) De acuerdo con casi todos los especialistas, ya existía agua en la Tierra hace cuatro mil millones de años, al poco -relativamente- de que se hubiera formado el planeta como un conglomerado de partículas cósmicas que giraban alrededor del Sol y se unieron por mor de la gravedad. La actividad volcánica en aquella época era muy importante, como también lo era la lluvia de asteroides y cometas que chocaban contra la incipiente superficie terrestre. Probablemente fue entonces cuando el oxígeno y el hidrógeno se unieron formando vapor de agua, que se condensaría más tarde originando el agua de los océanos. Ahora bien, tampoco puede descartarse que ese curioso elemento que es el agua hubiera llegado desde el exterior, como un componente de los cometas que alcanzaban la Tierra. (Delibes, 2015)”

plantas succionar agua del entorno y también, en parte, facilita el ascenso de la savia a lo largo de los vasos leñosos que componen el xilema.

- Otra característica peculiar del agua, relacionada asimismo **con la fuerte cohesión entre sus moléculas** que permite que el agua se mantenga líquida a temperaturas no extremas, es que **apenas puede comprimirse** de manera que, para algunos animales blandos, el agua funciona como un auténtico esqueleto hidrostático.
- No menos importante es el hecho de que **el agua se caliente y se enfríe con lentitud** o que sea **capaz de absorber grandes cantidades de energía en forma de calor** porque tiene un **elevado calor específico**. A escala global, eso permite que el océano funcione como un gran termorregulador y redistribuidor de calor –y el vapor de agua como el principal gas de efecto invernadero en la atmósfera–, y a escalas menores, hace posible proteger a individuos, órganos y células de los cambios de temperatura.
- Por último, aparte de ser incolora, inodora e insípida –es decir, ni tiene color, ni olor propio, ni sabor– tiene pH neutro, forma hidratos con ciertas sales, reacciona con los óxidos de metales formando bases y es catalizador en muchas reacciones químicas.

Esta descripción, obtenida en su mayor parte del artículo “*El agua, recurso natural*” de Delibes de Castro (2015), en el que comenta las propiedades del agua, el autor concluye que “éstas y otras muchas **características hacen del agua un elemento absolutamente esencial para la vida tal y como la conocemos, hasta el punto de que la existencia de vida en el espacio exterior se presume única y exclusivamente allí donde puede localizarse agua en alguna de sus formas. La vida en la Tierra no habría aparecido y evolucionado sin agua y no se mantendría sin ella. Los humanos, evidentemente, tampoco.** Entre otras cosas, faltando el agua, ni nosotros ni otros seres vivos podríamos ser, ya que gran parte de nuestro cuerpo está formado por ese líquido (...).”

Nos recuerda también que, para el fisiólogo Schmidt-Nielsen, “un organismo vivo no es más que «una solución acuosa encerrada en los límites del cuerpo».”

En la misma línea, Antonio Viñas (2015b), en su artículo “El agua patrimonio de vida”, insiste en que: “(...) detrás de nuestros nombres, según la ciencia, habita un ser perteneciente al linaje *homo sapiens*, nacido del intercambio con la biosfera y con el cosmos. Un cambalache biológico y afectivo que **hace posible la vida en un espacio-tiempo determinado** (...)”. Por otro lado, en su artículo “Arjé, sustancia y símbolo. Valores intangibles del agua” (Viñas, 2015a), insiste en que “**somos agua y no es un tópico.** (...) Casi un ochenta por ciento de nuestra masa corpórea está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, camaleónica agua que da sentido a nuestra sangre, a nuestros huesos, músculos y tejidos. (...) **Si muere el agua, nosotros morimos con ella.**”

Él mismo recuerda las predicciones del primer filósofo que intentó dar una explicación física al origen del mundo, Tales de Mileto, que afirmaban: «**Todo es agua**» (Aristóteles, *Metafísica*, A, 3, 983 b 6).

Javier Martínez Gil va más allá y añade la luz y el calor del sol como recursos imprescindibles para la vida planetaria. Opina que es necesario entender que “el agua es la gran singularidad cósmica de la Tierra, que, **junto con la luz y el calor solares, son los elementos fundamentales que mantienen activo el ecosistema planetario** (...)” (Martínez, 2015).

2.1.1.1.2. EL CICLO DEL AGUA EN LA NATURALEZA FRENTE AL CICLO URBANO DEL AGUA
(CUA) EN LOS ESPACIOS HABITADOS.

- **El ciclo del agua en la Naturaleza. La distribución del agua en el planeta.**

Pero, además de saber cómo es y qué permiten sus propiedades, para poder plantear estrategias de gestión del agua, **es fundamental saber dónde está ese agua, de qué manera está distribuida** en el planeta y entenderla como un **elemento dinámico que no está siempre en el mismo sitio, ni tampoco en el mismo estado** sino que, como ya hemos visto, cambia de lugar y de fase continuamente en función de las condiciones de su entorno. "*El agua ni se crea ni se destruye, sólo se transforma*"⁷.

De hecho, este principio es **clave para que se produzca**, de manera autónoma, **el ciclo natural del agua**, que es fundamental conocer como proceso clave de la Naturaleza, sobre el cual podremos o no actuar mediante estrategias o tecnologías más o menos sostenibles. Delibes de Castro (2015) hace también una descripción muy explícita sobre él en la que explica la **distribución del líquido en el planeta** a medida que atraviesa las diferentes fases del ciclo:

“Como todo auténtico ciclo, en el del agua no pueden identificarse ni un principio ni un final. (...) El océano, no obstante, es con gran diferencia el principal depósito de agua en la Tierra y parece razonable empezar la descripción por ahí.

La energía del sol, última responsable del ciclo, calienta el agua del océano, haciendo que parte de ella se evapore. En ese momento se produce un cambio importante, pues el agua salada del mar se convierte en agua dulce y limpia, sin impurezas. El aire caliente cargado de vapor se eleva, enfriándose. Poco a poco, entonces, el agua en forma de gas se condensa formando las nubes. Estas nubes se desplazan, empujadas por los vientos, y las partículas de agua entrecocan y se unen entre sí, aumentando de tamaño y cayendo en forma de precipitación. La mayor parte de esa precipitación cae sobre el mar (...) y cierra así el ciclo. Otra parte cae en forma de nieve sobre los polos, o sobre glaciares en altas montañas, donde puede permanecer millones de años en forma de hielo (...). Otra parte, por fin, cae en forma de lluvia –o nieve o granizo, que se derretirán en minutos, horas, días o semanas– en tierra firme con clima moderado o cálido, dando lugar a la fase del ciclo del agua de la que depende la vida de todos los seres terrestres y, muy en particular, de los que ocupan hábitats dulce acuícolas.

Una porción destacada de la precipitación se infiltra en el terreno. Si encuentra resquicios favorables, progresará poco a poco hacia abajo, alimentando los acuíferos profundos.

Pero mucha de ella se mantiene en las capas superiores del suelo, donde se distribuye en diferentes destinos. Parte surge al exterior en forma de fuentes y manantiales (...). Otra parte, discretamente, llega al mar o a los ríos como descargas subterráneas. Y una cantidad nada despreciable es captada por las raíces de las plantas y bombeada hacia las hojas, desde donde vuelve a la atmósfera en forma de vapor, como resultado de la transpiración. (...)

Pero otra importante porción de la precipitación no se infiltra en el terreno, sino que corre sobre él (...). Es el *agua de escorrentía*, la más importante desde el punto de vista

⁷ “El agua de la Tierra está siempre en movimiento, más o menos rápido, y siempre cambiando de estado, de líquido a sólido o gas y a la inversa. Como (...) la energía, el agua ni se crea ni se destruye, sólo se transforma, pasando por distintas fases. (Delibes, 2015)”

de la mayoría de los organismos terrestres y, desde luego, de los humanos, (...) abastece los ríos (...) superado el nacimiento en los manantiales y teniendo en cuenta, además, las aportaciones a los ríos y lagos del agua subterránea (...). Asimismo, la escorrentía y el agua subterránea alimentan los lagos de agua dulce. El agua de los lagos se evapora y retorna a la atmósfera y el agua de los ríos corre hasta llegar al mar, cerrando distintos bucles del ciclo.”

Así, como consecuencia del *ciclo natural del agua* en la Tierra, se generaron en su día los diferentes sistemas acuáticos, como los océanos, los mares y los ríos. A partir de ahí, es fundamental analizar cómo el ser humano ha sido capaz de influir en el desarrollo de todos ellos -y sobre todo de los últimos- de manera tan notable, cuestión que trataremos detalladamente en el apartado correspondiente.

Simplemente, señalar en este sentido lo que Javier Martínez Gil nos recuerda en un extracto de *“La nueva cultura del agua en España, situación y perspectivas”* y es que es importante “entender que (...) los ríos están donde tienen que estar, porque su presencia y la cuantía de sus caudales son el resultado de un complejo equilibrio planetario. Que no hay ríos a los que les sobre ni a los que les falte agua, que son apañados nuestros para justificar en la torpeza de la naturaleza la nuestra propia. Mucho antes de que el ser humano apareciera en el escenario de la Tierra, ellos -los ríos-, ya estaban ahí, desarrollando con su presencia una serie de funciones y generando equilibrios, que se extienden desde su cabecera hasta el mar, incluso dentro del mar también. Luego, aparecimos los humanos en la escena...” (Martínez Gil, 2015a).

- **El ciclo urbano del agua (CUA) en los espacios habitados. Fases o etapas.**

Los seres humanos, a lo largo de la historia, han necesitado gestionar el agua que estaba en la Naturaleza para poder satisfacer sus necesidades y, para ello, la han captado, utilizado y vertido de diferentes maneras a esas cuencas y depósitos naturales donde se encontraba.

Aunque la han gestionado también para muy pequeñas comunidades, ha sido en las grandes aglomeraciones, rurales y urbanas, donde ha sido más necesaria la generación de tecnologías e infraestructuras de gran envergadura para su aprovechamiento en los diferentes ámbitos de actuación y fases del ciclo.

Tradicionalmente, varios autores, y entre otros Luis Jesús Arizmendi (1991 y 2007), clasifican las **fases o etapas del ciclo urbano del agua** agrupándolas en **dos ámbitos fundamentales**:

1- Abastecimiento urbano

- Captación
- Transporte
- Tratamiento de aguas
- Almacenamiento y regulación
- Distribución

2- Saneamiento urbano

- Recogida de aguas
- Transporte
- Regulación
- Tratamiento de aguas residuales
- Vertido

De todas maneras, ya Arizmendi (1991) insistía en su momento en que la enumeración de fases anterior sólo correspondía a razones didácticas, pues entonces ya era consciente de que el recorrido lineal de las aguas no iba a ser posible mantenerlo durante mucho tiempo, prediciendo el cambio a un modelo cíclico donde estarían presentes algunas de las estrategias que actualmente se consideran imprescindibles en la gestión del CUA como la recirculación, regeneración, reutilización y reciclaje del agua de determinados tipos de agua, etc...

En cualquier caso, es fundamental tener en cuenta que **TODAS las fases son básicas** en el ciclo y que el **correcto tratamiento de los recursos en cada una de ellas es fundamental**, por lo que **en todas las etapas es aplicable algún tipo de tecnología que puede suponer una mejora del ciclo en su conjunto**. Es cierto que, actualmente, existen ya muchas soluciones tecnológicas para su gestión, pero en este trabajo se pretende proponer nuevas alternativas y estrategias para reducir los impactos que las tradicionales han ocasionado.

2.1.1.1.3. CALIDAD Y CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS.

- **La calidad del agua.**

Por otro lado, **para el planteamiento de los nuevos modelos de gestión de los recursos hídricos y las tecnologías correspondientes**, es fundamental tener en cuenta un factor que también **se ha erigido en una de las claves para desarrollarlos: la calidad de las aguas**.

Es realmente dicha calidad la que, a la postre, nos **define la auténtica disponibilidad de las masas de agua**. Afinando un poco más, sería más correcto hablar de que es la que define “la disponibilidad para un uso concreto” ya que hay que tener en cuenta que no todos los aprovechamientos del agua requieren las mismas propiedades en el líquido, y esta característica también es primordial en la actualidad. Así, aguas que hasta hace poco eran clasificadas como “desechos” actualmente conforman nuevos recursos de interés con múltiples posibilidades, más aún si podemos aplicar distintas tecnologías que den como resultado diferentes tipos de efluentes. Esta estrategia, que pretende adaptar los usos del agua según su calidad a los distintos requerimientos y se denomina “adecuación de la calidad de las aguas” (*fit for purpose*), es clave en los nuevos modelos de gestión.

La importancia de la calidad de las masas de agua la refleja de manera clara la actual Directiva 2000/60/CE (Directiva Marco del Agua, DMA) que marca, como uno de sus objetivos básicos, la salvaguarda de los abastecimientos, ordenando identificar todas las masas de agua utilizadas para la captación destinada al consumo humano “con objeto de evitar el deterioro de su calidad, contribuyendo así a reducir el nivel de tratamiento de purificación necesario para la producción de agua potable”. Por otro lado, otras normativas se han centrado también en los niveles de calidad de las aguas, las cuales, en nuestro país, deben cumplir desde hace más de una década, entre otros, los requisitos establecidos por el Real Decreto 140/2003 sobre criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

Todas estas normativas controlan, fundamentalmente, las **características físicas y químicas del agua de consumo** pues, por sus repercusiones en el ámbito de la salud, **son las primordiales para la presencia de la vida** en la tierra y obligan a que su conservación sea, por ello, prioritaria. Sin embargo, como luego se verá, **no hay que olvidar que el agua también cumple funciones sociales y ambientales de gran importancia para las comunidades** y que han sido, en parte, olvidadas en la gestión tradicional del agua del siglo pasado.

En lo que respecta al campo tecnológico, es importante tener presente que **las características físicas y químicas pueden llegar a ser muy diferentes en los distintos tipos de agua y que, por tanto, las tecnologías aplicables a cada una de ellas serán también diferentes y acordes** con aquéllas para la máxima optimización de los recursos. Además, **hay que plantearlas desde un punto de vista holístico intentando dar respuesta a todas las otras facetas** que tiene el agua.

- **Clasificación de los recursos hídricos.**

Existen varias **clasificaciones de los tipos de aguas**, según diferentes criterios, y es necesario tenerlas presentes para la utilización de un lenguaje común al actuar en el ámbito hídrico.

- **Aguas subterráneas, subálveas y superficiales. Las aguas de escorrentía.**

Es la **clasificación más utilizada en el ámbito del abastecimiento, según su situación respecto a la superficie terrestre**, pues sus características y las tecnologías utilizadas para su extracción o captación en cada caso son muy diferentes.

Según Luis Jesús Arizmendi (1991), fundamentalmente son tres:

- **Aguas subterráneas:** Son las que discurren o se almacenan en estratos impermeables constituyendo, en este último caso, los pozos cuando se concentran en un punto al que confluyen las aguas de forma natural o artificial. Son de magnífica calidad y se suponen “superiores” a las otras por su limpieza y su menor contenido bacteriano. Están más mineralizadas que las otras y, frecuentemente, poseen incorporadas una gran cantidad de tierras. Tienen una temperatura más homogénea.
- **Aguas subálveas:** Proviene de manantiales y fuentes. Son las mismas aguas que las superficiales, sólo que éstas son aguas de infiltración que discurren por lechos aluvionarios y se almacenan en zonas altas. Forman una verdadera tela de araña formada por filamentos hidráulicos frecuentemente muy finos y de escaso caudal. No están, en principio, tan expuestas como las superficiales a agentes contaminantes o a cambios de temperatura.
- **Aguas superficiales:** Se encuentran en la superficie terrestre y hay distintas modalidades según su procedencia: de ríos y afluentes líquidos residuales, de pantanos, lagos y lagunas o las procedentes del mar. Son las de peor calidad por estar más en contacto con elementos contaminantes y tienen un alto contenido bacteriano. Estas aguas se suelen encontrar cargadas de materias en suspensión o disueltas, sin olvidar los elementos que flotan en su superficie (hojas de árboles o arbustos, papeles, insectos,...). Suelen estar sometidas a muchos cambios de temperatura. Entre ellas, destacan las **aguas de escorrentía** -procedentes de las precipitaciones pero que recorren las superficies y no se infiltran en el terreno- por las graves consecuencias de su falta de control, siendo su gestión también clave en la búsqueda y aplicación de tecnologías.

- **Aguas blancas, grises y negras.**

Es la **clasificación más utilizada en el ámbito del saneamiento, en función de su procedencia y composición**. En los campos urbanístico y edificatorio, las aguas suelen clasificarse según dos grandes grupos:

- Aguas residuales o usadas
- Aguas no residuales o pluviales

Algunos autores desgranar aún más la clasificación incluyendo en la distinción aguas como las procedentes de actividades típicas de ambientes rurales como la agricultura y la ganadería, hablando de aguas blancas, grises, negras, “marrones” y “amarillas”.

En redes de saneamiento, **a nivel urbano y territorial**, la clasificación de las aguas quedaría, por tanto, de la siguiente manera:

- Aguas residuales o usadas
 - Aguas negras, fecales, domésticas o residenciales
 - Aguas grises o industriales
 - Aguas “amarillas” o agrícolas
 - Aguas “marrones” o ganaderas
- Aguas no residuales
 - Aguas blancas, pluviales o de lluvia y nieve, de precipitación o atmosféricas
 - Aguas procedentes del drenaje de terrenos
 - Aguas de infiltración (procedentes de fugas) (Arizmendi, 1991)

Pero, **en el ámbito de la edificación**, la clasificación es más simple y es la siguiente:

- Aguas residuales o usadas
 - **Aguas negras o fecales:** Son aguas procedentes de inodoros, urinarios, fregaderos y lavavajillas. Transportan materia orgánica, bien en forma de heces, orina o bien de grasas. No tienen muchos productos químicos.
 - **Aguas grises:** Este término se refieren a aguas usadas en los edificios procedentes de aparatos sanitarios como lavabos, bidés, duchas, bañeras y lavadoras. No se consideran las aguas procedentes de inodoros, urinarios, fregaderos y lavavajillas debido a que estas tienen una gran cantidad de materia orgánica. Se distinguen de las aguas negras, porque no contienen bacterias *Escherichia coli*. Arrastran gran cantidad de jabones, detergentes y cremas por lo que tienen, comúnmente, un alto contenido de productos químicos difíciles de degradar, como los fosfatos y clorados.
- Aguas no residuales
 - **Aguas blancas, pluviales o de lluvia y nieve, de precipitación o atmosféricas:** Son las aguas procedentes de las precipitaciones en forma de agua o nieve. Se caracterizan por ser agua dulce muy pura, aunque según la zona geográfica la contaminación atmosférica llega a alterar su calidad inicial. Sólo a veces arrastran también hojarasca o polvo.

Es importante llamar la atención sobre la **diferencia conceptual de las aguas grises en los diferentes ámbitos**. Las *aguas grises* en la edificación y su entorno, frente al carácter industrial que tienen en el ámbito territorial, son las aguas procedentes de determinados aparatos de los edificios y que, tras un posible tratamiento, pueden ser reutilizadas.

- **Aguas tratadas.**

Por último, por su importante papel en el presente trabajo de investigación, se han clasificado de manera independiente las *aguas tratadas* que son aquellas aguas que deben ser sometidas a algún tipo de tratamiento por alguna razón, como su vertido controlado o su reutilización para determinados usos.

A continuación se enumeran y definen, según el R.D. 16/20 de 2007:

- **Aguas Depuradas:** Son aguas residuales que han sido sometidas a un proceso de tratamiento que permite adecuar su calidad a la normativa de vertidos aplicable.

- **Aguas Regeneradas:** Son aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan.
- **Aguas Reutilizadas:** Se trata de las aguas que son aplicadas, antes de su devolución al dominio público hidráulico y al marítimo terrestre, para un nuevo uso privativo de las aguas y que, habiendo sido utilizadas por quien las derivó, se han sometido al proceso o procesos de depuración establecidos en la correspondiente autorización de vertido y a los necesarios para alcanzar la calidad requerida en función de los usos a que se van a destinar.

También las características y posibilidades de aprovechamiento por parte del hombre de todos estos tipos de agua son muy diferentes lo que hace que las tecnologías a aplicar pueden llegar a ser radicalmente distintas.

2.1.1.2. LA COMPLEJIDAD DE LAS RELACIONES CON EL HOMBRE Y SU ENTORNO. EL AGUA, AMIGA Y ENEMIGA. EL AGUA Y OTROS RECURSOS.

El gran reto de nuestras poblaciones es conseguir una excelente calidad de vida pero en equilibrio con los recursos disponibles en el planeta y, en concreto, con los hídricos en todas sus ubicaciones, formas y calidades. No es fácil, pues el nivel de la balanza fácilmente se inclina hacia uno de los dos lados debido a la incertidumbre de los fenómenos naturales, pero sí se pueden tomar medidas de carácter preventivo y desarrollar tecnologías que aprovechen mejor los recursos y eviten el deterioro de nuestro entorno y el de las generaciones futuras. **Por tanto, es necesario, en la relación con el agua, desarrollar estrategias de intercambio pero también de protección, que se deben dar en ambas direcciones** –tan importante es protegernos nosotros de ella como a ella de nuestras agresiones, conscientes o inconscientes-.

Y hablando de la relación del hombre con los recursos del planeta, es importante recalcar también la importancia de la **relación entre agua y energía** por ser crucial al estar presente en todos los ámbitos en los que el ser humano se desenvuelve. En este sentido, Delibes de Castro recordaba esta relación en varias ocasiones al hablar de las propiedades del agua.

En cuanto al **amplio y complejo papel que juega el agua para la humanidad**, el anexo relativo a “El marco institucional de la gestión integrada del ciclo urbano del agua” de la Guía desarrollada en el marco del Proyecto Aqua-Riba (Aqua-Riba, 2015) lo resume de manera muy acertada: “El debate sobre el derecho humano al agua y la realidad de su institucionalización en los procesos normativos (...) ponen en evidencia el carácter especial del agua, como **un elemento objetivamente imprescindible, generalmente insustituible y presente en todas las facetas de la vida social (producción, mantenimiento de la vida, ocio, recreo...).** Un elemento rodeado, al mismo tiempo, de percepciones y valores sociales con una fuerte carga cultural y emocional (cohesión e identidad colectiva, etc.). Dos dimensiones del agua de las que hay que partir, como telón de fondo sobre el que situar los análisis y propuestas técnicos, económicos y políticos concretos”.

Desde la Fundación Nueva Cultura del Agua también defienden los múltiples valores del agua. En la presentación de su *Guía Nueva Cultura del Agua*, Nuria Hernández-Mora (2015) afirma que **“el agua es un patrimonio con múltiples acepciones, valores y usos. Por ello, es necesario abordar la temática del agua desde diversas perspectivas”**, y enumera dichas perspectivas:

- El papel fundamental que juega en la **articulación de territorios y sociedades**.
- Su importancia para el **soporte de la vida de comunidades biológicas y humanas**.
- Sus **usos sociales**.
- Sus **implicaciones políticas y económicas**.
- Los **valores culturales y religiosos** asociados desde la antigüedad a esta sustancia primordial.

2.1.1.2.1. EL AGUA COMO RECURSO VITAL, GENERADOR E INTEGRADOR.

La importancia del agua para las poblaciones es evidente y, de hecho, ha sido, desde el nacimiento de las primeras civilizaciones, el factor que **ha marcado la ubicación en el territorio de la mayoría de ellas**. El establecimiento de las poblaciones junto a lagos, ríos o cualquier fuente de agua potable es una constante que se repite en todos los continentes y culturas.

El agua, efectivamente, **es vital** para el hombre, pero no sólo para su consumo. La relación entre ambos es mucho más compleja. Ha sido, también, durante toda la historia de la humanidad **un recurso generador de actividad y riqueza**.

De hecho, la historia muestra que las civilizaciones primitivas florecieron en zonas favorables a la agricultura, como las cuencas de los ríos. Es el caso de Mesopotamia, considerada la cuna de la civilización humana, surgida en el fértil valle del Éufrates y el Tigris; y también el de Egipto, una espléndida civilización que dependía por completo del Nilo y sus periódicas crecidas. Posteriormente, muchas otras grandes ciudades -como Londres, París, Rotterdam, Montreal, Chicago, Nueva York, Buenos Aires, Shanghai, Tokio o Hong Kong- han desarrollado su riqueza gracias a la conexión con alguna gran vía de agua que favoreció su crecimiento y su prosperidad. Las islas que contaban con un puerto natural seguro florecieron por la misma razón.

Del mismo modo, áreas en las que el agua es muy escasa, como ocurre en el norte de África o en Oriente Medio, han tenido históricamente dificultades de desarrollo. En este sentido, Alberto Crespo (2006), en su artículo sobre "La crisis del agua refleja otras crisis", opina que "el país que no tiene agua o que tiene dificultades con el agua está condenado al subdesarrollo, salvo que tenga petróleo o algún otro recurso en cantidades ingentes".

Además, **tiene implicaciones sociales importantes**. Como ejemplo significativo, hay que recordar la influencia que tiene la posibilidad de acceder al agua en lugares próximos a las poblaciones para ciertos sectores de las mismas, como el de las mujeres y niñas, con lo que supone eso, sobre todo, para el futuro de estas últimas. Algunos organismos no gubernamentales, como Oxfam-Intermon⁸, llaman la atención sobre el tema:

"En muchos países, como Chad y Kenia, las mujeres y las niñas son las encargadas de ir a buscar agua para sus hogares (...). Sin agua, las mujeres emplean la mayor parte de la jornada en ir a buscarla; con agua, pueden trabajar, cultivar el campo y cuidar de sus familias. Sin agua, las niñas tienen que acompañar a sus madres para buscar el agua; con agua, las niñas disponen de tiempo para asistir a la escuela."

También ha sido capaz de jugar **un papel integrador que ha unido países y culturas** con un recurso común que era necesario cuidar y proteger.

⁸ www.oxfamintermon.org/mailweb/mailling/captacion/20150902/email_castellano.html

Entre las connotaciones más subjetivas, que no pueden ser ignoradas ni minimizadas, hay que destacar aspectos fundamentales como el valor artístico y la faceta mística o religiosa, ya que para muchas culturas el agua ha sido fuente de culto por muchas razones.

En cuanto a su **valor artístico**, Javier Martínez Gil, en un extracto de “La nueva cultura del agua en España, situación y perspectivas” comenta: “El ser humano, consciente o inconscientemente, necesita de la presencia de la belleza, y del mensaje de la armonía de lo natural, más de lo que en general solemos creer, y necesita de la reflexión profunda y de todo aquello que lleva un mensaje de trascendencia” (Martínez Gil, 2015a). También, en su artículo “Una nueva cultura del agua: su significado y su porqué”, opina que nuestra sociedad “ignora o niega el valor de la belleza como un alimento espiritual de primera necesidad pese a que cada fin de semana, cada vacación, salgamos desesperados a buscarla, porque la belleza nos reconforta y nos da paz” (Martínez Gil, 2015b). Según él, el agua “es el símbolo de la vida, es belleza, ha sido la materialización del concepto sublime de la pureza; es emoción estética profunda y valor simbólico sublime”.

Por otro lado, el autor destaca en varias ocasiones la importancia que tiene para el hombre el contacto directo con el agua en su estado natural, como elemento necesario **para mantener el equilibrio y la salud física y mental**, con **connotaciones también lúdicas** que considera básicas para conseguir dicho equilibrio.

Martínez Gil, nos recuerda, en su artículo “Una nueva cultura del agua: su significado y su porqué”, que: “Ya en tiempos anteriores a los griegos, las gentes de las culturas más ancestrales concedieron al agua propiedades curativas, frente a determinadas enfermedades físicas y mentales. Hipócrates, analizando el porqué de ese poder y por qué unas aguas eran curativas y otras no, llegó a la conclusión de que más allá de las razones físicas y químicas había una profunda razón metafísica; determinadas aguas, emergentes de determinados lugares donde la Tierra estaría impregnada de una fuerza telúrica especial, la transmitirían al agua, y ésta al ser humano, despertando en él un poder autocurativo que todos llevaríamos dentro” (Martínez Gil, 2015b).

El aspecto anterior, que reconoce la trascendencia del agua para nuestra mente, tiene cierta relación con **el sentido místico del elemento** que también recalca Antonio Viñas (2015b), en su artículo “El agua patrimonio de vida”, donde considera que hay que “reflexionar sobre el sentido profundo y místico del agua desde una perspectiva histórica, de ahí su reflejo en expresiones fundamentales para el ser humano, en su cualidad trascendente, como la espiritualidad y el arte”.

Por último, no hay que olvidar el **carácter mágico del agua** para muchas civilizaciones y culturas. En su artículo “Arjé, sustancia y símbolo. Valores intangibles del agua”, Antonio Viñas (2015a) recuerda que son “numerosos los ritos sacros en los que el agua ejerce un papel purificador e iniciático”.

2.1.1.2.1.1. USOS Y APLICACIONES DEL AGUA.

Pedro Arrojo, en su artículo “Una nueva ética del agua” (2015) **plantea una agrupación de los usos del agua según su función**. Para él: “Lo más relevante del agua no es su materialidad, H₂O, sino sus funciones. A diferencia de otros recursos naturales, en el agua nos encontramos con múltiples utilidades y funciones **vinculadas a rangos éticos de diferente nivel** que podrían organizarse **en cuatro categorías**”. Las cuatro categorías que él plantea son:

- El **agua-vida**: en funciones básicas de supervivencia de la humanidad y de los demás seres vivos, **debe tener prioridad** para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas y el acceso de todos, como un derecho humano, a cuotas básicas de agua potable o de calidad.
- El **agua-ciudadanía**: en actividades de interés general para la sociedad garantizando funciones de salud y cohesión social -como los servicios de agua y saneamiento-, **debe situarse en un segundo nivel de prioridad**, en el ámbito de los derechos de los ciudadanos o *derechos de ciudadanía*, vinculados a los correspondientes deberes ciudadanos.
- El **agua-economía**: en funciones de carácter productivo más allá de los niveles de suficiencia para una vida digna, **debe reconocerse y gestionarse en un tercer nivel de prioridad**, en conexión con el derecho de cada cual a mejorar su nivel de vida. Ésta es la función de la que se derivan los principales problemas de escasez y contaminación, por lo que hay que plantearla desde criterios de responsabilidad y racionalidad económica, sin perder los principios de equidad y sostenibilidad intentando así controlar estos problemas que genera.
- El **agua-delito**: en usos productivos ilegítimos que, por sus impactos, deben ser ilegalizados, perseguidos y evitados. En este sentido, hay que destacar que **cada vez más países van optando por ilegalizar tecnologías peligrosas**⁹, de igual forma que se ilegalizan pesticidas y productos químicos que se demuestran peligrosos para la salud pública.

En cuanto a los usos concretos, podemos decir que al agua se le ha dado **múltiples usos a lo largo de la historia**:

- Para **consumo doméstico** (tanto de personas como animales y plantas) **e industrial**.
- Para **mejora de condiciones higiénicas en la edificación** (higiene personal, limpieza de espacios interiores,...) **y en los espacios urbanos** (limpieza de vías públicas,...).
- Para **riego a pequeña y gran escala**.
- Para **mejora de condiciones ambientales en espacios interiores** (calefacción por radiadores, suelo radiante,...) **o climatización de espacios exteriores** (creación de microclimas mediante la creación de láminas de agua y otros sistemas de vaporización).
- Para **mejora de las condiciones de seguridad** de espacios interiores y exteriores como medio de protección contra incendios.
- Para un **óptimo mantenimiento de determinadas instalaciones urbanas** (cámaras de descarga en saneamiento, limpieza de tuberías en instalaciones de recogida neumática de R.S.U., etc...).
- Para **producción de energía limpia y renovable** (energía hidráulica, etc...).
- Como **elemento paisajístico** que mejora la estética del entorno en que vivimos (creación de lagunas artificiales, etc...).
- Como elemento para el **desarrollo de actividades deportivas y de ocio** (piscinas y otras actividades acuáticas, navegación, etc...).

⁹ “En 2010, el Parlamento Europeo votó por abrumadora mayoría una proposición no de ley, instando a la Comisión Europea la ilegalización de la minería del cianuro y del mercurio en toda la UE. Los estados norteamericanos de Montana y Wisconsin, la República Checa, Hungría y otros países han prohibido ese tipo de minería. El “fracking” ha sido prohibido en Francia, Bulgaria y en el estado de Vermont (EEUU); al tiempo que se han declarado moratorias en Canadá, República Checa, Alemania, Irlanda del Norte y Países Bajos, así como en varios Estados como Nueva York, en EEUU” (Arrojo, 2015).

2.1.1.2.1.2. AGUA Y SALUD. EL AUMENTO DE LA LONGEVIDAD Y LA CALIDAD DE VIDA.

Además de conformar una parte importante de nuestros cuerpos, hay que destacar como uso vital el relativo a su consumo y no sólo en su forma líquida sino como parte importante de muchos de los alimentos que ingerimos, además de su uso para el riego y el abastecimiento de animales ya que ambos aprovechamientos aumentan nuestras posibilidades de alimentación.

Pero, además, el aumento de la higiene personal y de las superficies de nuestro entorno, a todas las escalas, también han sido **claves en la mejora de la salud de la población mundial**.

El aumento de su disponibilidad y de su calidad han sido **básicos para la eliminación y erradicación de algunas enfermedades** aunque, evidentemente, aún hay mucho por hacer.

2.1.1.2.2. LOS PROBLEMAS Y PELIGROS DEL AGUA.

Pero, como ya se ha expresado anteriormente, las relaciones del hombre con el agua son complejas y también ésta puede convertirse en un peligro para las poblaciones en varios sentidos.

Tanto la falta de calidad como de cantidad, sumadas a una incorrecta gestión, han tenido sus consecuencias en los ciudadanos y el entorno donde desarrollan sus actividades.

2.1.1.2.2.1. LAS CONSECUENCIAS DE LA FALTA DE CALIDAD Y LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA. PROBLEMAS MEDIOAMBIENTALES Y DE SALUD EN LOS CIUDADANOS.

Según la *Carta del Agua* (Consejo de Europa,1968), la **contaminación del agua o hídrica** es “una modificación de su calidad, generalmente provocada por el ser humano¹⁰, que la vuelve impropia o peligrosa para el consumo humano, la

¹⁰ No hay que olvidar que la contaminación de las aguas puede provenir también de fuentes naturales como, por ejemplo, el mercurio que se encuentra naturalmente en la corteza de la Tierra y en los océanos genera contaminación de forma natural de éstos. Algo similar pasa con los hidrocarburos y con muchos otros productos. Otro ejemplo llamativo es la ceniza de los volcanes. Según la Organización Panamericana de la Salud («*Erupción volcánica en sistemas de agua*», www.disaster-info.net/PED-Sudamerica/erupcion_sistemasagua.htm) “entre los principales daños producidos por erupciones volcánicas en los sistemas de agua potable podemos citar los siguientes:

- Contaminación de las fuentes superficiales de agua potable por depósitos de ceniza, efecto de gases o sustancias tóxicas, por muerte de animales en la cercanía de las obras de captación o en los canales abiertos de conducción del agua captada.
- La contaminación de las fuentes de agua subterránea es relativamente improbable, a menos que la caída de ceniza sea tan abundante y/o contenga materiales muy contaminantes, o si entra por la boca de los pozos (si están sin tapas de protección) y ensucie el agua captada.
- Se puede producir contaminación en las plantas de tratamiento, por la caída de ceniza volcánica sobre los estanques de coagulación, decantación o los filtros, contaminando el agua o inutilizando los filtros con la propia ceniza que puede arrastrar el agua.
- Contaminación de estanques o depósitos abiertos.
- El escurrimiento de lava, si es abundante y de capacidad erodante suficiente, puede producir daños incluso en instalaciones enterradas tales como cañerías de agua potable o alcantarillas (podría desplazar, llevarse, y/o aplastar cañerías, cámaras y válvulas) y estanques semienterrados (destrucción total o parcial).

industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales y la vida natural y cotidiana”. En el caso de la Ley de Aguas, ésta llama la atención sobre el hecho de que es el resultado de “la acción y el efecto de introducir materias, o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica”.

En cuanto a las fuentes de contaminación natural, están muy dispersas y no provocan concentraciones altas de polución, excepto en algunos lugares muy concretos. La contaminación de origen humano, en cambio, sí tienen niveles de concentración más altos, es mucho más generalizada y bastante más peligrosa que la natural. Por otro lado, es fundamental tener en cuenta que los factores naturales, aunque puedan tener puntualmente un impacto significativo sobre la calidad de una fuente de agua, no pueden controlarse fácilmente.

Y es que el agua es un **sistema con un delicado equilibrio y un medio realmente sensible** a cualquier acción que se ejerza sobre ella. Así, cuando las condiciones del entorno no son las adecuadas –estancamiento, reducción de O₂, cambios bruscos de temperatura, etc...- puede llegar a deteriorarse de manera importante. Por otro lado, el hecho de que el agua sea un buen disolvente es un arma de doble filo pues la disolución de sustancias en el agua es, también, la causa de la contaminación de la misma.

En concreto, los más peligrosos **contaminantes** que pueden afectar al agua son:

- El arrojado de sustancias químicas muy complejas al agua.
- Los derrames producidos por grandes accidentes que vierten petróleo y toxinas en el mar u océano.
- El vertido de residuos al agua (bolsas, botellas, maderas, restos de comida, sustancias líquidas ácidas, etc...) que con el tiempo se desintegran.
- La degradación de los restos de los naufragios. El rescate de pecios es importante, ya que con el tiempo, los aviones y barcos sumergidos en el agua se degradan y contaminan el agua. Una idea muy buena para rescatarlos sería destruirlos y llevarlos a la superficie a pedazos (para que no sean tan pesados), pero es inaceptable dejarlos en el fondo.

Por otro lado, es importante no olvidar otra forma de contaminación del agua de mucha actualidad como consecuencia de la explotación de yacimientos mediante **fracking o fractura hidráulica**. Pedro Arrojo denuncia el uso de estas tecnologías en su artículo “Una nueva ética del agua” donde expone que “el progresivo agotamiento de las grandes bolsas de hidrocarburos hace también rentable la explotación de yacimientos residuales, mediante la llamada “fractura hidráulica”. Esta técnica, conocida también por el término inglés “fracking”, supone inyectar al subsuelo grandes cantidades de agua a presión con arena y diversos químicos de alta toxicidad (benceno, plomo y una larga lista de productos cancerígenos) para

-
- La erupción de corrientes de lava, de piedra o grandes rocas que pueden ser lanzadas a gran distancia pueden producir daños en prácticamente cualquier tipo de obras de estos sistemas. Según la violencia de la erupción, la distancia de las obras al foco de ésta y factores aleatorios, los daños en las obras podrían ir desde los leves hasta la destrucción total de cualquiera de ellas.
 - Destrucción de caminos de acceso a los componentes del sistema y de las líneas de transmisión de energía eléctrica y de comunicación.”

liberar el gas natural residual existente en determinadas rocas a gran profundidad. El hecho de que esas aguas tóxicas queden fuera de control las hace sumamente peligrosas, **habiéndose registrado ya graves casos de contaminación de acuíferos usados para abastecimiento**" (Arrojo, 2015).

Arrojo opina que "de igual manera, contaminar un río por actividades industriales o por el uso masivo de pesticidas en la agricultura, bajo la justificación de que se impulsa el desarrollo económico y se crean puestos de trabajo, **debe considerarse una inmoralidad, o incluso un crimen, especialmente si se pone en peligro la salud pública**, como ocurre a menudo (...). Incluso, la sobreexplotación de ríos y acuíferos para proveer caudales a actividades productivas, debe prohibirse por ley, como exige en la UE la Directiva Marco del Agua, en la medida que se afecta al bienestar de la sociedad en su conjunto, con impactos que pueden llegar a ser irreversibles o reversibles a muy largo plazo, como ocurre en muchos acuíferos sobreexplotados, por fenómenos de salinización o de compactación del sustrato poroso" (Arrojo, 2015).

- **Problemas medioambientales.**

Como se puede deducir de lo anterior, en relación al medio ambiente en el que el ser humano desarrolla su actividad, **la falta de calidad y la degradación de las condiciones del agua, también lo está dañando.**

El hecho es que el **problema de la degradación de las masas de agua es actualmente de primera magnitud** fundamentalmente por la falta de control de los vertidos sin los tratamientos adecuados en masas de agua pequeñas y, por tanto, sin posibilidades de *autodepuración*. Esta cuestión de la falta de calidad está a la orden del día y, de hecho y como ya se ha comentado, es uno de los objetivos fundamentales de la Directiva Marco del Agua.

- **Problemas de salud en los ciudadanos.**

Así, **el agua se puede convertir en foco de enfermedades** que afecten, en muchos casos mortalmente, a muchas personas. Pero, además, no hay que olvidar que, durante siglos, el agua fue **también un medio de trasmisión de las mismas**, uno de los más importantes. El agua era el medio de transporte de la vida, pero también de la muerte.

En este sentido, sí es cierto que ha habido una mejora importante respecto a siglos anteriores, pero aún hay mucho por solucionar, y no sólo en países subdesarrollados, pues millones de personas en el mundo todavía mueren por problemas de falta de calidad del agua, además de por su escasez, por la falta de alimentos y por la de una calidad de vida digna de los habitantes del siglo XXI, en parte relacionada con la higiene.

Según el informe de la ONU (2005), denominado "*Día Mundial del Agua: 2.400 millones de personas la beben contaminada*", "más de 5.000.000 de personas mueren cada año por enfermedades relacionadas con el agua, lo que equivale a diez veces más que el número de muertos a causa de guerras en el mundo". Y es que el agua contaminada o estancada puede causar cólera, fiebre tifoidea, malaria, diarrea y otro gran número de enfermedades infecciosas. Fuentes relacionadas con Unicef hablan de que unos 4.000 niños mueren cada día por esa

razón. Por su lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2008) estima que “la adopción de políticas de agua segura podría evitar la muerte de 1.400.000 niños al año, víctimas de diarrea y 500.000 muertes por malaria”. En su tesis doctoral, Pozo-Morales (2010) recoge más datos sobre este mismo problema.

De hecho, es importante destacar que, ante la dificultad de disponer de agua potable para consumo humano en muchos lugares del planeta, **se ha consolidado un concepto intermedio: el *agua segura***, como el agua que no contiene bacterias peligrosas, metales tóxicos disueltos o productos químicos dañinos para la salud y es, por lo tanto, considerada segura para beber, empleándose cuando el suministro de agua potable está comprometido. Es un agua que no resulta perjudicial para el ser humano, aunque no reúna las condiciones ideales para su consumo. Hay referencias sobre este concepto en el trabajo de Sergio Salazar (2009).

2.1.1.2.2.2. LAS CONSECUENCIAS DE SU ESCASEZ Y DE LA BÚSQUEDA DESESPERADA DEL “ORO AZUL”. LA FALTA DE AGUA EN POBLACIONES Y ECOSISTEMAS. CAMBIO CLIMÁTICO, INUNDACIONES, SEQUÍAS Y OTROS PROBLEMAS TERRITORIALES Y MEDIOAMBIENTALES.

Pero, **también, la necesidad de más cantidad de agua tiene sus consecuencias** sobre todo porque su búsqueda, en muchos casos desesperada y a base de algunas actuaciones muy drásticas y agresivas, se ha hecho sin control produciendo, a su vez, más problemas.

Se han realizado muchas operaciones en la corteza terrestre y esa búsqueda sin límites de agua, para conseguir agua en mayor cantidad y de mejor calidad, ha producido en la Tierra desequilibrios hídricos a diferentes escalas que, a su vez, han afectado al clima y han supuesto tristes consecuencias en otros ámbitos, como en el de la fauna y la flora y, por supuesto, en el hombre.

- **Problemas de escasez de agua en las poblaciones. Las “guerras del agua”.**

No será nunca suficiente llamar la atención sobre la cantidad de gente que hoy día no tiene acceso al agua. En 2004, en un informe de la ONU (2004) se estimaba que “alrededor de mil millones de personas” tenían un deficiente acceso al agua potable.

Como ya se ha dicho, en muchas ocasiones, es resultado de la distribución irregular del agua en el planeta, pero, a veces, la causa es la falta de decisión política.

El hecho es que esa escasez del recurso y su distribución irregular ha sido, y es aún en el siglo XXI, la causa de las llamadas “guerras del agua”, un tema muy frecuentemente tratado en congresos y conferencias durante los últimos años por parte de muchos autores. Un buen ejemplo es el de Lebrato (2006) que ya lo denunció en el I Congreso Internacional del Agua celebrado en Sevilla bajo el lema “*Sed Cero Ya!!*”.

- **El daño en los ecosistemas.**

Hace ya algunas décadas que se es consciente de las consecuencias de los desequilibrios hídricos en los diferentes ecosistemas, sobre todo en los ámbitos de la fauna y la flora, cuyo entorno ha cambiado drásticamente sin un periodo de adaptación intermedio.

- **Los problemas territoriales y medioambientales.**

Los problemas medioambientales que se han producido en el territorio, provocados por las actuaciones de explotación de recursos hídricos, son muchos, aunque conviene destacar dos:

- El **abuso de los acuíferos** para la obtención desmesurada de recursos hídricos que, a su vez, también produce problemas estructurales.
Delibes de Castro comenta que “en cuanto al abuso de los acuíferos, aparecen en todo el mundo problemas graves relacionados con la salinización de algunos de ellos -a veces con penetración de agua marina-, la contaminación de otros, el agotamiento de depósitos que han necesitado miles de años para formarse, los hundimientos del terreno, falta del soporte que el agua le proporcionaba, con graves daños para viviendas y otras construcciones (...), la desecación de fuentes y humedales, (...), etc...”. (Delibes, 2015)
- El **cambio climático**, que ha sido provocado por la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera debido, fundamentalmente, a las actividades humanas.

- **El cambio climático (CC).**

Por un lado, debemos ser conscientes de cómo el cambio climático está afectando a los recursos hídricos y, por otro, saber que a su vez los efectos que nuestras actuaciones en el ámbito del agua tienen en el cambio climático. Es decir, que **ambos entes están íntimamente relacionados y cualquier actuación que mejore uno de ellos mejorará consecuentemente al otro.**

En relación a los **efectos de nuestras actuaciones que pueden acelerar el cambio climático**, en algunos casos y según autores de reconocido prestigio como Arizmendi (1991), se han producido acciones de gran envergadura en diferentes zonas del planeta (pozos profundos en zonas desérticas, desvíos de cauces naturales, creación de pantanos, etc...) que también han producido desequilibrios hídricos que han afectado al clima.

En cuanto a los **efectos del cambio climático en el ámbito hídrico**, las predicciones son las siguientes¹¹:

¹¹ “Como el agua puede estar en forma sólida, líquida o gaseosa, las condiciones climáticas globales afectan seriamente a la distribución en cada uno de esos estados. En los periodos muy fríos, como son las glaciaciones, mucha agua está depositada como hielo y, en consecuencia, una cantidad menor lo hace como líquido. En aquellos momentos, en consecuencia, los niveles del mar fueron más bajos que en la actualidad (hasta 120 metros menos en la última glaciación). Cuando hace más calor, en cambio, mucho hielo se derrite –además, el agua se dilata al calentarse– y los niveles del mar aumentan. Como es sabido, ésta es una de las predicciones relacionadas con el actual cambio climático, o calentamiento global, provocado por la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera debido a las actividades humanas. En el mejor de los casos, el mar puede ascender algo menos de medio metro en el actual siglo, pero las previsiones más pesimistas contemplan el riesgo de deshielo de los casquetes polares, lo que podría elevar el nivel del océano hasta seis metros. Claro que ése no es el único modo en que el calentamiento global puede afectar al ciclo del agua. Desde luego, lo hace redistribuyendo las precipitaciones en el espacio y en el tiempo; en muchas zonas, como España, ya está nevando

- **Elevación del nivel de los mares y océanos:** “En el mejor de los casos, el mar puede ascender algo menos de medio metro en el actual siglo, pero las previsiones más pesimistas contemplan el riesgo de deshielo de los casquetes polares, lo que podría elevar el nivel del océano hasta seis metros” (Delibes, 2015).
- **Redistribución de las precipitaciones en el espacio y en el tiempo:** “En muchas zonas, como España, ya está nevando menos, a la vez que desaparecen los glaciares; ello pone en peligro, por ejemplo, el abastecimiento primaveral y estival de los ríos de montaña, que se nutren del deshielo. En algunas regiones del mundo llueve más que antes (...) pero, sobre todo, llueve de forma más catastrófica, más violenta” (Delibes, 2015). Es decir, que el cambio climático está favoreciendo las inundaciones.
- **Desecación de terrenos y cambio de las condiciones para la fauna y la flora:** “Con más calor también transpiran más las plantas y el suelo pierde humedad” (Delibes, 2015).

Jiménez Beltrán afirma que “**el CC representa también un clímax para el cambio en cualquier caso necesario hacia la sostenibilidad** en esta gestión. La mala noticia es que su insostenibilidad va en aumento agravada por los impactos ya apreciables del CC en el ciclo hidrológico y en la funcionalidad de las cuencas mediterráneas cuyos caudales, según los modelos de predicción al uso, disminuirán sensiblemente, hasta más del 30%, de aquí al 2050. La buena noticia es que el margen de maniobra o de mejora en materia de gestión del agua va en aumento” (Jiménez, 2015).

- **Inundaciones.**

Es un hecho que el número de inundaciones ha ido en aumento en las últimas décadas.

El aumento del número de inundaciones en las últimas décadas está **justificado por varios factores:**

- El **cambio climático:** Como se acaba de comentar, ha habido en los últimos años una redistribución de las precipitaciones en el planeta lo cual, entre otras cosas, ha provocado que en algunas regiones llueva ahora más que antes sin estar las poblaciones preparadas para esos aumentos de la pluviometría.
- La **impermeabilización de superficies en los núcleos urbanos:** Ha sido una de las consecuencias del modelo expansivo de ciudad desarrollado en las últimas décadas que ha tendido a facilitar la expulsión rápida de las aguas por considerarlas un estorbo en los núcleos urbanos.

En cuanto a las **consecuencias** de las mismas, podemos hablar de:

- **Aumento de los problemas de salud** de las poblaciones inundadas **e incluso de la mortandad**, en los casos más graves.
- **Problemas sociales** de gran envergadura por la pérdida de viviendas y de las infraestructuras que suponen el medio de vida de millones de personas.

menos, a la vez que desaparecen los glaciares; ello pone en peligro, por ejemplo, el abastecimiento primaveral y estival de los ríos de montaña, que se nutren del deshielo. En algunas regiones del mundo llueve más que antes –el agua del mar, más caliente, se evapora más– pero, sobre todo, llueve de forma más catastrófica, más violenta. Con más calor también transpiran más las plantas y el suelo pierde humedad... Éstos y muchos otros cambios obligan a considerar todavía con más cuidado la forma en que utilizamos ese escaso recurso que es el agua dulce (...)” (Delibes, 2015).

- **Costes económicos** que suponen la recuperación de las zonas afectadas.
- **Costes medioambientales** cuando se producen daños irreparables.

La consciencia de la problemática producida por el aumento de las inundaciones ha provocado el aumento de la legislación en este ámbito, como se recoge en el apartado de análisis de la normativa actual.

- **Sequías.**

Pero también se ha producido el efecto contrario y ha sido la escasez de agua en zonas donde antes no faltaba.

Como **causas de las sequías** podemos señalar:

- El **cambio climático**: Al igual que las inundaciones, las sequías se han producido por la redistribución de las precipitaciones en el planeta.
- El **abuso sobre los acuíferos**: Esta actividad ha sido y sigue siendo difícil de controlar pues la mayoría de los pozos de extracción están en manos privadas.

Como **consecuencias** de las sequías se han producido:

- La **salinización de algunos acuíferos**, a veces con penetración de agua marina, **y la contaminación de otros**.
- El **agotamiento de depósitos** que han necesitado miles de años para formarse.
- Los **hundimientos del terreno**, falto del soporte que el agua le proporcionaba, **con graves daños para viviendas y otras construcciones**.
- La desecación de fuentes y humedales.
- La **extinción de especies animales o vegetales** que no han tenido tiempo suficiente para adaptarse a los cambios climáticos.
- Los **recortes de suministro de agua en la agricultura y**, en los casos más graves, **en las poblaciones**, empezando por restringir los usos no considerados de primera necesidad y continuando por el corte temporal de suministros prioritarios.

2.1.1.2.2.3. PATOLOGÍAS EN LA EDIFICACIÓN Y EL URBANISMO.

Por último y como ya se ha adelantado, el agua -elemento fundamental **en los espacios habitados por el hombre- también produce problemas** en dicho entorno. **Tanto el ámbito del urbanismo como el de la edificación ha sufrido, a lo largo de su historia, patologías derivadas de su presencia**, en algunos casos muy graves, y que han obligado al desarrollo de tecnologías específicas para protegerse de sus efectos.

- **Patologías en el ámbito de la edificación.**

Se considera fundamental el análisis de los efectos que puede tener el agua en los diferentes elementos constructivos, como los cimientos, las fachadas, las cubiertas o los sistemas de instalaciones.

Podemos destacar **en el ámbito de la edificación**, fundamentalmente:

- **Problemas en relación con la humedad de los terrenos y los cambios del nivel freático** que han dado lugar a fisuras y otros problemas estructurales derivados de los movimientos del terreno -por cambios de humedad estacionales o no- y a humedades en sótanos, para lo que se han

desarrollado diferentes sistemas de impermeabilización de los mismos y sistemas de drenaje de muros mediante conductos.

- **Problemas de roturas de instalaciones e inundaciones** que han obligado a la protección de los conductos con diferentes sistemas, entre los que destacan la previsión de huecos específicos para las instalaciones, como suelos y techos técnicos. Estos también han tenido como consecuencia, problemas estructurales y de fisuras en distintos elementos constructivos de la edificación.

- **Patologías en el ámbito urbano y territorial.**

En el ámbito urbano, podemos señalar como problemas importantes:

- Las **inundaciones** producidas por los excesos de agua de escorrentía en las superficies pavimentadas del entorno de los edificios.
- La **desección de zonas verdes** por falta de agua.

Y es **por todos estos efectos negativos y problemáticas**, derivados en gran parte por acciones antrópicas, por lo que es evidente que hay que cambiar las cosas en el ámbito del agua. Según Delibes de Castro (2015), “por muchas y muy distintas razones (...), **no podemos seguir tratando al agua como lo hemos hecho hasta ahora.**”

2.1.1.2.3. LA RELACIÓN DEL AGUA CON LOS OTROS RECURSOS.

2.1.1.2.3.1. AGUA Y ENERGÍA.

Otro gran problema medioambiental es que los gastos energéticos han aumentado de manera exponencial, mientras que las fuentes energéticas “tradicionales” se están agotando. La posibilidad de producir energía de maneras más sostenibles también ha pasado a ser una prioridad. De hecho, durante las últimas décadas, una de las pocas fuentes renovables que se ha utilizado ha sido la energía hidráulica, a base de la construcción de enormes infraestructuras, pero sin olvidar tampoco sus consecuencias debido a los costes ambientales de la energía eléctrica. Y es que “el uso intensivo de energía también se traduce en altos niveles de emisiones de CO₂ en un momento en que muchas ciudades están intentando reducir sus emisiones” (Aqua-Riba, 2015). Todo ello también favorece el cambio climático comentado en apartados anteriores.

2.1.1.2.3.2. AGUA Y RESIDUOS.

Por último, es importante recordar que también en el campo de los residuos se están produciendo gastos hídricos, fundamentalmente en el ámbito de la limpieza de los componentes de las instalaciones.

Por otro lado, en determinados lugares, donde se acumulan residuos sin ningún tipo de control, los lixiviados correspondientes atraviesan las capas superiores del terreno llegando, en muchos casos, a los acuíferos con la consiguiente contaminación de los mismos.

Una vez repasados los beneficios que tiene el agua para la humanidad y la problemática actual asociada, parece lógico pensar en que es el momento de actuar y **parte de las soluciones está en el desarrollo y aplicación real de diferentes estrategias y herramientas tecnológicas**, objetivo de la presente tesis doctoral.

2.1.2. EL USO EFICIENTE Y LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA EN LOS NÚCLEOS URBANOS Y EL TERRITORIO. EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS DE GESTIÓN Y ÁMBITO NORMATIVO ACTUAL.

2.1.2.1. LA GESTIÓN DEL CICLO URBANO DEL AGUA. SU EVOLUCIÓN A LO LARGO DE LA HISTORIA.

Como parece que ha quedado claro, **el agua es imprescindible para la vida y es necesario manejarla bien para poder mejorar nuestra calidad de vida evitando, a su vez, los problemas y peligros** que conlleva una mala gestión. Para ello, es importante partir del conocimiento de la cantidad de agua de la que disponemos y analizar si es suficiente o no para satisfacer nuestras necesidades.

*«Agua, agua por doquier/ y ni una sola gota que beber»
Poema del viejo marinero de Samuel Taylor Coleridge*

- **¿Cuánta agua hay en la tierra?**

En cuanto a la cantidad de agua existente en nuestro planeta, es importante analizar no solamente cuánta agua hay sino la cantidad que está realmente disponible para nuestros exigentes requerimientos. Delibes de Castro¹² llega a la conclusión de que, de los 1.390 millones de kilómetros cúbicos de agua que hay en el planeta, no llegan a cien mil los kilómetros cúbicos de agua dulce disponibles para la Humanidad y para todas las plantas y animales que viven en medios dulceacuícolas. El biólogo comenta finalmente: “Es cierto, el agua es muy abundante en nuestro planeta, pero gran parte de los seres vivos necesitamos agua dulce, y esa es mucho menos común. (...) Y es que el agua, además de imprescindible, es un recurso limitado”.

- **Un recurso escaso: El “oro azul”.**

Pero, como se ha visto, lo más preocupante es que el autor acaba su discurso llegando a la conclusión de que “**es muy poco**”, o sea, insuficiente.

Efectivamente, **aunque el agua es abundante en la tierra, hay poca disponible para los usos más importantes que soportan la vida humana**. Este hecho, junto con el incremento apabullante de la población mundial y el aumento de los consumos medios por habitante consecuencia de las mayores exigencias del nivel de vida, ha tenido como consecuencia un

¹² “¿Cuánta agua hay en la tierra? (...) No se trata de una pregunta sencilla, pero en este caso una respuesta aproximada es mejor que la falta de respuesta. Tal aproximación a la **estima de la cantidad de agua disponible fue llevada a cabo hace casi quince años por un ruso llamado Igor Shiklomanov, cuyos cálculos siguen siendo útiles hoy**. En la Tierra existen algo así como **1.390 millones de kilómetros cúbicos de agua**, pero el 96,5% de los mismos es agua salada y está en los océanos y mares. Casi otro 1% es agua subterránea también salada o salobre, y por tanto tampoco apta para el consumo humano. Nos queda, en definitiva, **apenas un 2,5% del total como agua dulce**. (...) «Un 2,5% de 1.390 millones son casi **35 millones de kilómetros cúbicos**, y eso es mucha agua». El problema es que gran parte de esa agua no nos es asequible. Algo más de dos terceras partes –el 68’7%– del agua dulce está en forma de hielo y nieve permanentes, en los glaciares y casquetes polares, y por tanto apenas disponible, en cuanto tal, para nuestras necesidades. Y otro 30% tampoco es fácil de usar, pues es agua subterránea, a veces muy profunda. Todavía peor, del apenas 1,2% del agua dulce restante, la mayor parte está congelada en el suelo de las tierras más frías formando el *permafrost* –que, por cierto, se está deshelando y haciendo caer árboles y casas–. El agua acumulada en los lagos representa el 0’26% del agua dulce del mundo, y sumando la almacenada en marismas y aguazales con la que corre por los ríos, apenas se alcanza el 0’04%, aproximadamente la misma cantidad que se mantiene en la atmósfera. Por fin, el agua biológica, la que forma parte del cuerpo de todos los seres vivos, es en proporción al conjunto una cantidad casi despreciable. **La conclusión es que no llegan a cien mil los kilómetros cúbicos de agua dulce disponibles para la Humanidad y para todas las plantas y animales que viven en medios dulceacuícolas. Es muy poco**” (Delibes, 2015).

crecimiento desmesurado del consumo y la consiguiente reducción drástica de los recursos que ha hecho que se vuelvan escasos y **se haya llegado a considerar al agua como el “oro azul”**.

Y no es el único autor que lo opina. Muchos testimonios y, sobre todo, trabajos de investigación, defienden la misma hipótesis y aseguran que **el agua es un recurso escaso**.

- **Un recurso mal repartido.**

Si seguimos analizando el tema, nos encontramos también con otro problema y es que **los recursos hídricos, además de escasos, están mal repartidos**.

Según Delibes de Castro¹³: “(...) desde nuestro punto de vista humano existe un problema añadido: esa agua dulce, además de escasa, está mal repartida”. O sea, que “a la poca cantidad de agua, se une además un problema importantísimo para permitir el desarrollo de una vida de ‘todos’ los habitantes del planeta y es **su distribución irregular**.”

Pero, en ese sentido, es importante aclarar que el mal reparto puede estar provocado inicialmente por razones físicas o geológicas como consecuencia de su distribución en la tierra a partir del *ciclo natural del agua*, pero también es una cuestión política donde mandan, en ocasiones, los intereses económicos o estratégicos. Como recuerda Domingo Jiménez Beltrán (2015), en la presentación de la *Guía Nueva Cultura del Agua*, la opinión de Naciones Unidas es que “no hay crisis de recursos, sino de su gestión”.

- **Un recurso sin suficiente calidad.**

Por último, no hay que olvidar que cuando se habla de **escasez**, no podemos limitarnos a pensar en la cantidad de agua disponible sino que ésta, como ya se comentó, está también **íntimamente ligada a la calidad del recurso, que es la que realmente condiciona su auténtica disponibilidad**.

2.1.2.1.1. LA GESTIÓN HÍDRICA EN OTRAS ÉPOCAS Y CULTURAS.

- **El planteamiento de los recursos hídricos en otras épocas.**

Es curioso e interesante observar cómo la relación con los recursos hídricos ha ido variando a lo largo de los siglos.

Lo que está claro es que **desde los orígenes de nuestra especie y por pura necesidad hemos estado buscando el agua** y, de hecho, **los primeros asentamientos humanos estuvieron condicionados por la cercanía a alguna fuente** para abastecerse. “Los primeros asentamientos, así como las primeras ciudades, se ubicaban siempre a la vera de zonas húmedas, ya fueran marismas, ríos o lagos” (Delibes, 2015).

Muchos pueblos la precisaron para el desarrollo de actividades necesarias para su sustento como la agricultura -como son los casos de Mesopotamia, cuya civilización se desarrolló en el fértil valle del Éufrates y el Tigris, o de Egipto, una espléndida civilización que dependía por completo del Nilo y de sus periódicas crecidas- o la ganadería.

¹³ “En Asia, por ejemplo, donde vive el 60% de la población humana, tan sólo se acumula el 36% del agua dulce. Aunque en menor proporción, también en Europa y África el porcentaje de población supera al de agua dulce. En Sudamérica, en cambio, sólo vive el 6% de la Humanidad, pero disponen del 26% del agua, mientras que en Norteamérica el 8% de la población humana puede acceder al 16% del agua dulce existente” (Delibes, 2015).

Pero su relación con el agua no era meramente productiva sino que, como recuerda Antonio Viñas (2015a), también “el culto al agua está presente en Mesopotamia (...) en torno a los ríos Tigris, Éufrates, Jordán y el Nilo, en el antiguo Egipto; pasando por Grecia y Roma, Al-Andalus o las culturas precolombinas o hindúes (el sagrado Ganges)...”.

El problema es que, durante siglos, no se fue consciente de que las captaciones podían, en el futuro y en condiciones extremas de necesidad como las de las últimas décadas, llegar a dañar el planeta. Como nos recuerda Delibes de Castro (2015): “**Durante mucho tiempo, con eso ha bastado: se tomaba agua del río y al río se devolvía, por supuesto cargada con la basura y los residuos correspondientes.** El propio río –o, mejor dicho, el ecosistema fluvial– se encargaba, después, de depurarlo. En la ciudad de París, sin ir más lejos, aún se tomaba el agua de consumo directamente del Sena en el siglo XIX. El agua se veía, y aún se sigue viendo con mucha frecuencia, como **un mero recurso productivo de usar y tirar.**”

En ese sentido, Martínez Gil (2015) también deja claro que “desde que aparece el ser humano en el escenario de la Tierra, a partir del paleolítico superior, hace apenas diez mil años, el agua empieza a convertirse también en un recurso; es decir, en un bien necesario para crear y alimentar determinados sistemas productivos, generar formas de bienestar, facilitar la navegación fluvial y el comercio, eliminar desechos de su actividad, generar energía, etc... **Todo eso acontece en un proceso lento e inocuo al principio, que en los últimos doscientos años, incluso mucho menos, se acelera de forma eclosiva (...)**”.

De todas maneras, es importante recordar que **la problemática asociada al agua no es nueva y que hubo ya experiencias en la Antigüedad** de que algunas técnicas podían dañar el medio ambiente. “Existen advertencias sobre los riesgos del mal empleo del agua desde la Antigüedad. Por ejemplo, un uso indebido del regadío puede salinizar –y tornar improductivas– las tierras, algo que ya ocurrió a muchas antiguas civilizaciones...” (Delibes, 2015).

Y hablando de tecnologías, en este ámbito **han destacado, en su especial interés por la correcta gestión del agua, las culturas romana y árabe**, que desarrollaron infraestructuras de gran envergadura para acercar el agua a las distintas poblaciones donde se concentraban sus ciudadanos, **pero también tecnologías de menor escala** que buscaban la mejora de la calidad de vida de los mismos en el ambiente doméstico o en los edificios públicos. En ambos casos, el agua también fue fuente de salud al utilizarla en las termas romanas y los baños árabes manejando los cambios de temperatura y aprovechando sus efectos beneficiosos para el cuerpo.

En **época romana**, la construcción de acueductos, galerías, termas¹⁴ e, incluso, letrinas reflejaban su interés por el control del agua en los núcleos urbanos y el territorio.

Por otro lado, la **cultura árabe** también consideró el agua como un elemento clave en las ciudades pero ya no sólo desde el punto de vista funcional (aljibes,...) sino como un elemento casi “ornamental”. El aprovechamiento de su frescor o de su sonido al paso por sus jardines y sus edificios son ejemplos del nivel de sensibilidad de este pueblo que relacionó de forma excepcional el agua con nuestros sentidos.

¹⁴ El tema de las termas romanas es de gran interés para la doctoranda que ha realizado estudios sobre diversas termas en la Villa Adriana de Tívoli (Italia). Vease (Prieto-Thomas y Navarro, 2004) y (Prieto-Thomas, 2008).

- **El planteamiento actual de los recursos hídricos en otras culturas.**

En la actualidad, **la cultura árabe**, seguramente por su tradición ancestral heredada durante siglos, sigue dando al agua un papel preponderante en el diseño de la ciudad y el territorio, aprovechando el agua con todos los sentidos.

Este especial interés por el recurso ha aumentado en las últimas décadas por el incremento especial de la escasez de agua en esos países en las últimas décadas que han realizado importantísimas inversiones para obtener agua en sitios, incluso, en los que no estaba presente de forma natural -como en el desierto- buscando el máximo rendimiento de su territorio. Es por la mayoría conocida la construcción de pozos de gran profundidad en esas zonas desérticas para riego que produce un paisaje muy especial visto desde el espacio, vía satélite, formado por círculos verdes cuyos centros son dichos pozos y el radio es el que marca la posibilidad de riego de cada una de ellos.

También, en estos países es donde más ha proliferado la construcción de *plantas desalinizadoras* para aumentar los recursos hídricos en las poblaciones.

Además, para los musulmanes el agua tiene también un sentido purificador que se refleja en la importancia de las abluciones previas al culto religioso.

También en otros países de **cultura hindú**, como la India, el agua tiene un significado especial y mágico que hace de los baños en el río un ritual con un claro sentido purificador.

- **El aprovechamiento de la relación agua-energía en otras épocas y culturas.**

Uno de los ejemplos más extendidos en las que están ambos recursos relacionados son los *molinos de agua* donde el agua genera energía a su paso por el mismo. Esta tecnología se ha desarrollado en muchas culturas, sobre todo en aquellas donde la climatología permitía la presencia de ríos relativamente caudalosos.

2.1.2.1.2. LA GESTIÓN CONVENCIONAL ACTUAL EN LOS NÚCLEOS URBANOS DEL ÁMBITO MEDITERRÁNEO. SUS PLANTEAMIENTOS Y CARACTERÍSTICAS. PROBLEMÁTICA DE LA SITUACIÓN EN LA ACTUALIDAD Y RETOS A SUPERAR.

En este apartado se pretende resumir lo que, en la bibliografía internacional, se conoce como el *enfoque convencional de gestión*.

2.1.2.1.2.1. LOS PLANTEAMIENTOS Y TENDENCIAS TRADICIONALES DE LAS POLÍTICAS DE AGUA.

- **La conciencia del agua como recurso “ilimitado”. La “política de oferta”.**

La percepción del agua como recurso “ilimitado” ha pervivido hasta hace muy pocas décadas. A partir de la explosión del desarrollo tecnológico que se produjo en el S.XIX, **el planteamiento ha sido “conseguir cuanta más agua dulce mejor, y en lo posible en todas las épocas del año.** (...) En lo que hace a las aguas superficiales, domeñándolas con canalizaciones, represas, trasvases, desecación de humedales, embalses, (...). En lo que se refiere a las aguas subterráneas, el camino fue mejorar la eficiencia -tecnológica y económica- en la construcción de pozos y el bombeo de agua al exterior” (Delibes, 2015).

En el caso concreto de España, durante más de un siglo, ha dominado un modelo de política hidráulica: el *paradigma hidráulico* (Del Moral y Sauri, 1999), bien descrito en otras partes del mundo por una abundante bibliografía -ver Allan (1999), Feitelson (1996) y Schmidt & Plaut (1995)-. El axioma central de este paradigma, formulado a finales del siglo XIX, ha consistido en la necesidad de proporcionar agua suficiente para todos aquellos agentes sociales dispuestos a utilizarla en el desarrollo de la producción, especialmente para el regadío. Este desarrollo implicaba un proyecto de transformación geográfica del país: la *regeneración* de una naturaleza adversa, marcada por la aridez y la esterilidad y sus secuelas de atraso e incultura, pero capaz de responder generosamente a la intervención humana basada en el conocimiento geográfico, la técnica y la voluntad colectiva. El instrumento privilegiado de este proyecto de *regeneración* física y moral del país serían las obras hidráulicas de financiación pública, en el caso muy frecuente de que la iniciativa privada no estuviera en condiciones de asumir los riesgos de la intervención. Las características específicas y las diferentes manifestaciones históricas a lo largo del siglo XX del *paradigma hidráulico* en España han sido expuestas repetidas veces, tanto por autores españoles -Gómez Mendoza y Ortega Cantero (1987), Ortega Cantero (1992), Naredo (1997) y López Ontiveros (1998)- como de otras nacionalidades -Drain (1995) o Swyngedouw (1999)-. Ni la historia reciente del país ni su actual configuración geográfica pueden ser entendidos sin tener en cuenta lo que ha significado la intervención sobre el medio hidráulico y su radical transformación: España es el país que ostenta el récord mundial en el porcentaje de espacio geográfico ocupado por embalses artificiales (Naredo, 1999:3). De hecho, durante mucho tiempo la política hidráulica se ha presentado como la máxima expresión de la política correcta que el país necesitaba, jugando un importante papel en la legitimación del Estado, fenómeno que también ha sido descrito en otros contextos geográficos (Faggi, 1996).

“Esta política tendente a conseguir más y más agua con cargo a los presupuestos públicos, agua que se ofrece a los usuarios, por lo regular, a precios que en modo alguno reflejan el coste real de obtenerla, ha sido denominada una «estrategia de oferta». Es como si los gobiernos dijeran: «Decida usted qué quiere hacer, que nosotros le ofreceremos el agua que necesite». Y esta política, digámoslo con claridad, ha funcionado bien durante un tiempo. Miles de millones de personas en el mundo comen, beben, se lavan y se calientan, gracias a los embalses y la utilización de las aguas subterráneas. ¿Por qué no seguir así, entonces, indefinidamente? Algunos lo proponen, porque no se dan cuenta de que las cosas han cambiado, pero la mayoría es consciente de que la estrategia de oferta ha tocado techo, ya no puede continuar, porque es insostenible.” (Delibes, 2015)

Ésta también es la opinión de Jiménez Beltrán (2015) que afirma que: “ha habido Planificación Hidrológica en España, aunque insostenible, siempre respondiendo a una imperante política de oferta y, por tanto, no integrada en un escenario socioeconómico deseable en el que prime la racionalización de la demanda buscando un uso eficaz (para las necesidades reales) y eficiente (con el mayor valor añadido y menor degradación ambiental) del patrimonio y recursos hídricos. La Planificación Hidrológica ha sido, sobre todo, poco lógica (...).” También afirma que “hasta ahora, y lo hemos podido apreciar en los Planes

Hidrológicos Nacionales, (...) imponían infraestructuras para un agotamiento en la regulación de nuestras cuencas y explotación de los recursos subterráneos, ante demandas no racionales y casi sin límites, “agua para todo”, por no internalización de costes, sobre todo en usos agrarios, con precios políticos, y sobre todo por no informarse o someterse a una planificación económica y territorial sostenible inexistente”.

- **Los gastos energéticos y la falta de aprovechamiento de la relación energía-agua.**

La actitud de oferta sin límite analizada en el párrafo anterior también se dio en el ámbito energético donde -hasta la crisis del petróleo que hizo tomar conciencia de la dependencia que los países desarrollados tenían de determinadas fuentes energéticas agotables- las soluciones ingenieriles aumentaron el consumo energético de manera importante.

Por otro lado, la falta de gestión conjunta de ambos recursos (agua y energía) a nivel urbano era y es actualmente una constante. La realidad es que, aunque con notables cambios recientes, **el agua y la energía tienen tradiciones de gestión separadas**, pese a estar intrínsecamente relacionadas en la medida en que la producción de energía necesita de grandes cantidades de agua y la gestión del ciclo del agua consume crecientes volúmenes de energía. Según Enrique Cabrera (2011), “Tanto es así, que se requiere energía para extraer agua, transportarla, distribuirla, desalarla, reutilizarla, depurarla. Y se necesita agua para generar electricidad en las centrales hidroeléctricas, para refrigerar turbinas de centrales térmicas, para la extracción y producción de los diferentes derivados del petróleo, para los biocombustibles, para producir hidrógeno, para su uso en la industria, para su uso doméstico, etc...”.

- **Las políticas estructuralistas.**

Y todo lo anterior se tradujo en la **construcción de muchísimas infraestructuras hidráulicas** en todos los territorios desarrollados, como ya se ha indicado en el caso de España. Como recuerda Delibes de Castro (2015), “Según datos de la Unión Europea, en la segunda mitad del siglo XX se construyeron en el mundo más de 45.000 presas con periodos en los años setenta en los que se inauguraban hasta dos y tres grandes presas por día. (...) Por lo que se refiere a las aguas subterráneas, (...) según la FAO, por encima de un tercio de las tierras regadas en el mundo lo son con aguas subterráneas y esta agua, por cierto, se emplea más eficazmente que la de regadío procedente de fuentes superficiales”.

En concreto, España es un país donde la política estructuralista tuvo mucho desarrollo. Se recuerda el dato sobre embalses artificiales (Naredo, 1999:3).

- **Los daños provocados por el enfoque convencional.**

Pero **las políticas basadas en la oferta de recursos hídricos han llegado a su límite** y fue, a finales del siglo XX, cuando “saltó la alarma en Estados Unidos y, en menor medida, en Europa”¹⁵.

¹⁵ “Existen advertencias sobre los riesgos del mal empleo del agua desde la Antigüedad. (...) Sin embargo, una alarma extendida sobre los peligros del modelo de gestión basado en la oferta de agua no apareció hasta el último cuarto del siglo XX, especialmente en Estados Unidos y en menor medida en Europa” (Delibes, 2015).

Que era un modelo que iba en dirección equivocada se puede constatar por las **consecuencias en todos los ámbitos que rodean al hombre** -en relación a la salud, las de tipo ecológico y energético e incluso las de tipo económico, político y social- que son, de manera resumida, las siguientes:

- Los **ecosistemas acuáticos** de los que dependemos **se degradan**¹⁶.
- Se produce la **alteración de los regímenes fluviales y marítimos**.
- Los **acuíferos subterráneos se deprimen y agotan**¹⁷.
- La **calidad del agua se resiente**, pues la contaminación excede la capacidad de *autodepuración*.
- El **coste de ofrecer agua**, debido a las enormes inversiones que hay que sufragar, **se dispara**, hasta el punto de que **cuesta más el agua que lo que con ella se puede producir**. El balance entre costes y beneficios se vuelve negativo, lo que permite hablar de «**agua virtual**»: es más rentable comprar cosas y ahorrar el agua que costaría producirlas.
Pero, además, ese **coste es repercutido en último término en los usuarios** que ven disminuida su capacidad adquisitiva y, por tanto, su calidad de vida, **sin olvidar que surgen otros costes adicionales**, como los derivados de la recuperación de determinados paisajes y sistemas asociados al agua que también ellos sufragan en parte¹⁸.
- Se **requiere un uso intensivo de energía**, asociado a estas grandes infraestructuras, poco sostenible y que condiciona la viabilidad en el futuro de este modelo.
- **Se generan graves conflictos sociales y políticos**, no sólo porque **la gente exige más agua** de la que se puede ofrecer, sino también por el **impacto directo de las transformaciones**, como las inundaciones¹⁹ y sus efectos directos²⁰.
- Por último, **los usuarios están obligados a aceptar las condiciones** de un mercado en el que el producto con el que se negocia es un producto de primera necesidad y en el que sienten que no pueden participar de ninguna

¹⁶ “La creciente demanda de agua dulce ha obligado (...) a construir decenas de miles de grandes presas, canalizar ríos, desecar zonas húmedas, eliminar bosques ribereños, etc. A consecuencia de ello, se han desvanecido radicalmente algunos cursos de agua, otros han dejado de correr, muchos no alcanzan sus destinos en la mar... No debe sorprender que, como resultado, los ecosistemas acuáticos continentales se cuenten entre los más amenazados del mundo (...). Pero las consecuencias no se manifiestan sólo en los humedales y cauces fluviales, sino más allá. (...) Al secuestrar los sedimentos en los embalses, éstos se colmatan, por un lado, perdiendo efectividad, y por otro se reduce el aporte de materiales a los deltas y las desembocaduras, alterando las líneas de costa y empobreciendo las playas (...). Además, esos sedimentos que no llegan incluyen los nutrientes que necesitan numerosas especies marinas para reproducirse y crecer, especialmente en mares cerrados (...)” (Delibes, 2015).

¹⁷ “En cuanto al abuso de los acuíferos, aparecen en todo el mundo problemas graves relacionados con la salinización de algunos de ellos –a veces con penetración de agua marina–, la contaminación de otros, el agotamiento de depósitos que han necesitado miles de años para formarse, los hundimientos del terreno, falta del soporte que el agua le proporcionaba, con graves daños para viviendas y otras construcciones (...), la desecación de fuentes y humedales, a veces de importancia internacional (...), etc...” (Delibes, 2015).

¹⁸ “Al secuestrar los sedimentos en los embalses, (...) se reduce el aporte de materiales a los deltas y las desembocaduras, alterando las líneas de costa y empobreciendo las playas, que precisan ser nutridas artificial y periódicamente con arena, a un enorme coste” (Delibes, 2015).

¹⁹ “Las «cortas» que han eliminado los meandros en los ríos y la canalización de muchos tramos han incrementado enormemente el riesgo de riadas, que afectan a millones de personas.” (Delibes, 2015)

²⁰ “La Comisión Mundial de Presas estima el número de personas directamente desplazadas por los embalses entre 40 y 80 millones en el mundo” (Delibes, 2015).

manera, **optando por una actitud pasiva y conformista** pero a la vez insatisfecha ya que todas estas políticas han obviado a la ciudadanía como parte de la solución a los problemas.

Delibes de Castro (2015) concluye que “se equivoca, por tanto, y **se equivoca gravemente**, con buena o con mala voluntad, todo **aquel que afirme que el agua dulce que llega hasta su destino en la mar o los lagos es agua perdida, desperdiciada.**”

Jiménez Beltrán (2015), en la misma línea, afirma: “La conclusión no puede ser más simple. **El futuro de nuestro patrimonio y recursos hídricos está cada vez más en dejarlos estar que quizás rinden más (...)**”.

También, Martínez Gil (2015) advierte que hay que “entender que el agua y los ríos están donde están -en la cantidad y distribución temporal precisas- como resultado de un complejo gran equilibrio, cumpliendo unas funciones dentro de él, en el que todo está profundamente interrelacionado. (...) El agua y los ríos cumplen unas funciones allí donde están; no sólo son el resultado de un equilibrio planetario, sino que están en la base de nuevos equilibrios, **de forma que llevarse el agua a otra parte es dejar abandonado a su suerte a todo lo que su presencia crea y alimenta ahí donde está, incluidos los procesos y equilibrios geomorfológicos, entre ellos la pervivencia de las playas y todo lo que hoy en día de ellas depende, además de la vida marina del litoral y saciar las necesidades fisiológicas de la flora y la fauna.**”

2.1.2.1.2.2. LAS CARACTERÍSTICAS DE LA GESTIÓN HIDRÁULICA CONVENCIONAL. EL MODELO LINEAL DEL CICLO URBANO DEL AGUA Y SU SECTORIZACIÓN. PROPIEDAD DEL AGUA, COMPETENCIAS ADMINISTRATIVAS Y ASPECTOS ECONÓMICOS DE SU GESTIÓN.

Resumiendo, la problemática del modelo vigente actualmente en muchas ciudades europeas presenta todas las **características** típicas del *enfoque convencional de gestión*:

- **Sistemas de gran envergadura, centralizados y basados en tecnologías ingenieriles tradicionales:** Se trata de infraestructuras caracterizadas por grandes inversiones, situadas dentro del rango limitado de las tecnologías convencionales, que se basan en las “políticas de oferta” y que utiliza instalaciones “en las que se centralizan y externalizan los procesos propios de la gestión del agua en el espacio habitado” (Aqua-Riba, 2015). En ellas se emplean soluciones, en general de gran tamaño, procedentes del campo de la ingeniería en la que suelen concebirse este tipo de infraestructuras, a las que denominan “**infraestructuras grises**”, a **base de materiales industrializados** -como hormigón, cemento, metales o plásticos-. Además de estar caracterizadas por su enorme tamaño, suelen suponer sistemas centralizados que, entre otros problemas, son **poco flexibles y caros**, con la dificultad añadida de su trasposición a zonas sin recursos económicos.
- **Fragmentación:** “Los diferentes elementos del sistema de agua urbana están operados de manera aislada. Un enfoque fragmentado puede dar lugar a decisiones técnicas basadas en beneficios para una parte concreta del

sistema, descuidando los impactos causados en otros componentes” (Aqua-Riba, 2015).

Por otro lado, en general, tanto **el suministro de agua como el saneamiento** -que suele unir aguas residuales y aguas pluviales-, **suelen estar administrados por la misma empresa, aunque no se alcanza la necesaria integración** entre las diferentes fases del ciclo. Por otro lado, **dichas empresas no suelen gestionar los aspectos energéticos**. Por tanto, se emplean soluciones de tipo sectorial para cada uno de los componentes del ciclo del agua.

- **Unificación de las calidades:** En las empresas gestoras del agua todavía no se alcanza la necesaria integración entre las diferentes fases del ciclo, debido a que, por un lado, **en el saneamiento no se suele distinguir entre ambos tipos de agua** y, por otro, a que aún **no está extendida la demanda de distintos tipos de calidades de agua en el abastecimiento**. Por ello, dichas empresas suelen trabajar en abastecimiento con una única calidad de agua, la máxima, que es el agua potable, con los costes energéticos y económicos que ellos supone.
- **Planteamiento lineal** de la gestión: Este tipo de planteamiento domina estos sistemas en los que el agua recorre los diferentes ámbitos del ciclo de manera “continua”, generalmente sin interconexiones entre las distintas fases que los conforman dando lugar a sistemas discretos para suministrar, tratar, usar y evacuar el agua.
- **Falta de flexibilidad:** “La infraestructura (...) y la gestión hidráulica convencional tienden a ser inflexibles frente a las circunstancias cambiantes (...) cuando se enfrentan, por ejemplo, con el aumento de la variabilidad climática, o con el rápido crecimiento o fuerte disminución de la demanda urbana (...). Las soluciones predefinidas limitan la incorporación de la complejidad” (Aqua-Riba, 2015).
- **Uso intensivo de energía:** Las infraestructuras convencionales de distribución y de tratamiento del agua requieren un uso intensivo de energía que incrementa la vulnerabilidad económica y estratégica de los sistemas. El uso intensivo de energía también se traduce en altos niveles de emisiones de CO₂ en un momento en que muchas ciudades están intentando reducir sus emisiones, por sus repercusiones en el cambio climático. De hecho y en relación a éste, “durante los últimos treinta años, los episodios de sequía y escasez de agua, por un lado, y de inundación, por otros, han aumentado en la Unión Europea de forma importante en frecuencia e intensidad”²¹.
- **Daños medioambientales provocados por la descontextualización del ciclo urbano del agua respecto al sistema hidrológico y ambiental:** Además de las negativas consecuencias de los altos niveles de emisiones producidas por los consumos energéticos elevados, el modelo convencional de gestión del agua ocasiona muchos daños en el ámbito de los ecosistemas acuáticos. En muchas ocasiones, han sido los procesos de urbanización descontrolados, cuyas consecuencias se enumeraron en la Introducción, los causantes de daños sobre el sistema hidrológico, por haberse considerado el agua de lluvia

²¹ “El número de zonas y personas afectadas por la sequía aumentó casi un 20 % entre 1976 y 2006, mientras que al menos un 11 % de la población europea y un 17 % de su territorio se han visto afectados por la escasez de agua hasta la fecha. Así mismo, las últimas tendencias muestran un crecimiento significativo de los impactos de la inundación en toda Europa.” (European Commission, 2012).

como un estorbo o inconveniente que había que evacuar rápidamente de las áreas urbanas o haber sido poco exactos en las previsiones de los procesos de expansión. Ello, unido a sistemas de dimensionado donde “los cálculos de los sistemas de captación y drenaje se basa en series de precipitación y escorrentía con insuficiente atención a incertidumbre y a la variabilidad” (Aqua-Riba, 2015), ha hecho que aumenten los problemas de saturación de las redes.

- **El peso de las tradicionales estrategias de gestión:** La tradición heredada respecto a la gestión del ciclo -donde “los sistemas se construyen en base a diagnósticos y definición de alternativas técnicas realizados por las administraciones competentes sin ningún tipo de participación de otros agentes, las empresas hacen exclusivamente seguimiento de costes y se centran en balances contables y la evaluación de los sistemas consideran básicamente los costes de provisión del recurso” (Aqua-Riba, 2015)- han sido un freno claro para la modernización de las estrategias, junto con la actitud del marco institucional que no favorece la innovación. Por otro lado, la mínima participación pública en la gestión, donde “sólo se involucra a otros agentes y al público cuando se requiere la aprobación de soluciones ya predeterminadas” (Aqua-Riba, 2015), es otra característica de los viejos modelos.
- **Soluciones a corto plazo:** “La gestión del agua se centra en los problemas más inmediatos y acuciantes, a pesar del riesgo de que las medidas aplicadas no sean las más eficientes y sostenibles a largo plazo” (Aqua-Riba, 2015).

El programa de investigación europeo **SWITCH** resume el problema del **enfoque convencional en la gestión del ciclo del agua**²² -presente aún hoy en día en muchas ciudades- señalando que funciona a base de sistemas centrados en grandes inversiones, con lo que obtiene resultados positivos a corto plazo, pero que carecen de la sostenibilidad y flexibilidad necesarios en la situación actual insistiendo en el requerimiento de un uso intensivo de energía que condiciona su viabilidad en el futuro.

- **La situación actual del ciclo urbano del agua. El modelo lineal. Generalidades.**

En 2007, Del Moral y, más tarde en 2014, dicho autor junto con Sampedro afirmaban que: **“a lo largo de más de un siglo, la sociedad española (...) ha hecho un gran esfuerzo por llevar el agua a todos los ciudadanos.** Inicialmente, la prioridad fue el abastecimiento domiciliario de agua en cantidad y calidad adecuadas; luego, el alcantarillado y saneamiento; más tarde, la depuración de las aguas residuales. **Este proceso no ha sido lineal, sino que ha estado marcado por grandes diferencias territoriales y sociales:** determinadas ciudades, o barrios dentro de ellas, ya disponían del ciclo completo en buenas condiciones, cuando otros territorios o sectores sociales todavía no tenían el

22 “La gestión del ciclo urbano del agua se basa aún en un enfoque convencional, utilizando instalaciones en las que se centralizan y externalizan los procesos propios de la gestión del agua en el espacio habitado. Estos sistemas están caracterizados por basarse en grandes inversiones con resultados a corto plazo pero que carecen de la sostenibilidad y flexibilidad que la situación actual exige, requiriendo un uso intensivo de energía que condiciona su viabilidad en un futuro no muy lejano” (SWITCH, 2012).

problema del agua de boca garantizado” (Del Moral, 2007) y (Sampedro y Del Moral, 2014).

Para conocer de manera detallada la situación de la gestión del ciclo en su conjunto es necesario conocer la de cada uno de sus sectores o componentes: el abastecimiento y el saneamiento, que se va a presentar a continuación referidos fundamentalmente al territorio español.

Antes de continuar, y por analizarse de manera independiente, es importante recordar la **tradicional gestión separada de agua y energía** -pese a estar intrínsecamente relacionadas en la medida en que la producción de energía necesita de grandes cantidades de agua y la gestión del ciclo del agua consume crecientes volúmenes de energía-, cuestión de gran importancia a la hora de plantear nuevos modelos de gestión.

- **El abastecimiento urbano de agua.**

Por su prioridad social, legal y económica, sólo condicionada por las restricciones ambientales, en España, el abastecimiento a la población es **el uso, prioritario del conjunto del sistema de gestión del agua** que tiene como componente básico los **usos domésticos**: aquellos “en los que el agua se utiliza exclusivamente para atender las necesidades primarias de la vida”, de acuerdo con el Reglamento del suministro domiciliario de agua en Andalucía (Decreto 120/1991, de la Consejería de Presidencia de la Junta de Andalucía). A éstos **se añaden la provisión a servicios públicos locales e institucionales y el servicio de agua para actividades económicas que se encuentran conectadas a la red** de suministro. También forman parte de la demanda urbana el **baldeo de calles y el riego de parques y jardines**, que en ocasiones emplean recursos distribuidos por las redes urbanas.

En cuanto a los requerimientos de calidad y como ya se ha comentado en el apartado correspondiente, la actual normativa, la Directiva Marco del Agua que establece el marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de agua, tiene como uno de sus objetivos básicos salvaguardar los abastecimientos. Además, en nuestro país, los niveles de calidad garantizados deben cumplir los requisitos establecidos por el Real Decreto 140/2003 sobre criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

Los abastecimientos urbanos **necesitan también mayores niveles de garantía** o, lo que es lo mismo, menores probabilidades de *fallo aceptado* en el suministro. En términos generales, la normativa de ámbito nacional establece que la demanda sólo se considera satisfecha cuando el déficit de un año no excede el 10% de la demanda anual y en diez años la suma de los déficits no excede el 30% de la demanda anual (Reglamento de la Planificación Hidrológica, Real Decreto 907/2007).

“A escala estatal destaca la Ley 11/2005 de Modificación del Plan Hidrológico Nacional, cuyo artículo 25 plantea la necesidad de coordinar la planificación hidrológica con la territorial y urbanística para reducir los impactos sobre el dominio público hidráulico y garantizar la disponibilidad de agua para consumo humano. El artículo mencionado incluye la exigencia de que el informe que las Confederaciones Hidrográficas deben emitir de manera preceptiva sobre los

planes de ordenación territorial y urbanística se pronuncie sobre la existencia o no de recursos suficientes para satisfacer las nuevas demandas derivadas de aquéllos. (Aqua-Riba, 2015)”

Posteriormente, a nivel municipal, aparecen otro tipo de herramientas legales como Reglamentos que son los que “establecen la obligatoriedad de la prestación del suministro por las entidades dentro del área de cobertura (...) en lo que se refiere a la garantía de presión y caudal, continuidad del servicio, suspensiones temporales, reservas de agua y restricciones en el suministro” (Aqua-Riba, 2015).

En cuanto a las **dotaciones medias** en nuestro país, se puede generalizar y decir que, aproximadamente, “el consumo de *agua bruta* (...) supone una dotación media de en torno a 250 litros/habitante/año de suministro urbano total, incluyendo todos los usos conectados a las redes de abastecimiento urbano y pérdidas de la redes (...); los consumos domésticos netos (...) en torno a 125 litros/habitante/año, con notables contrastes entre diferentes tipologías sociodemográficas, urbanísticas y arquitectónicas” (Sampedro y Del Moral, 2014).

Es cierto que **los requerimientos de agua han seguido aumentando a la vez que crece la población del área, pero también empiezan a observarse reducciones de los consumos unitarios en determinados lugares**. Por ejemplo, en Andalucía, cabe señalar la tendencia decreciente del consumo de agua en términos unitarios (dotaciones en l/p.día) y absolutos (hm³/año), teniendo en cuenta que la población se ha incrementado, sin menoscabo de la calidad de vida de la ciudadanía, lo cual ha sido constatado con estudios realizados al respecto. “La evolución reciente de estas dotaciones se caracteriza en muchas poblaciones por el descenso de entre un 20% y 35% desde los picos alcanzados a comienzos de la década (1990-1991) hasta el presente” (Sampedro y Del Moral, 2014).

Las razones por las que se ha producido esa disminución de las demandas unitarias son muchas, **destacando la concienciación** de la escasez del recurso que, en parte, ha coincidido con la puesta en **práctica de políticas de uso eficiente del agua** durante las últimas décadas. En concreto, en Andalucía, las iniciativas desarrolladas en los últimos años se han concretado en “actuaciones enfocadas a la reducción de la demanda interior/ exterior de las viviendas (equipamientos y dispositivos ahorradores); en medidas destinadas a la reducción de la demanda a nivel urbano (mejora de redes, mejor control y medición del consumo); y en medidas de carácter socioeconómico (tarificación progresiva por bloques, normativas y programas de concienciación y educación social)”(Navarro *et al*, 2009). De acuerdo con dicho estudio, la mayoría de las iniciativas (63%) se han desarrollado a través de mecanismos económicos (subvenciones, facilidades de financiación) y sociales (concienciación, información, divulgación). Entre las restantes medidas se encuentran las de tipo más específicamente técnico (un 8% a nivel de edificación y un 30% a nivel urbano). Es de destacar la falta de evaluación sistemática de la eficacia de las medidas aplicadas.

Según los autores que acabamos de mencionar, “el impacto duradero en la conciencia social de los efectos de la sequía de 1992-1995, las mejoras en la gestión, el aumento de la eficiencia en las instalaciones domésticas, las redes

urbanas y los usos industriales, la individualización de contadores y los cambios en el sistema tarifario explican esta evolución. En los últimos cinco años, esta tendencia se ha intensificado, tanto por la continuación de los factores estructurales que la motivan, como coyunturales (reducción de la actividad industrial y terciaria debido a la crisis económica)” (Del Moral, 2007) y (Sampedro y Del Moral, 2014). Y es que, en muchos casos, la aplicación de medidas en conjunto es mucho más efectiva por el efecto multiplicador de algunas de éstas.

Así, la mayor parte de la población de los países desarrollados, cuenta, casi en su totalidad, con un servicio regular, garantizado y a domicilio de en torno a 120-130 l/p.día.

Pero, partiendo de esta positiva realidad, ha de señalarse que, al analizar en detalle la gestión del abastecimiento de agua en los núcleos urbanos, se detectan **algunos fallos en el sistema** como:

- Crecimiento de la demanda, fundamentalmente por parte del turismo residencial y de la industria del ocio.
- Déficits de infraestructuras o de gestión que afectan fundamentalmente a pequeñas y medianas poblaciones y, ocasionalmente, a grandes aglomeraciones, consecuencia del fuerte y rápido proceso de expansión urbana experimentado en las últimas décadas.
- Pérdidas y fugas en las redes de distribución.
- Problemas de calidad de las fuentes de recursos hídricos, que se multiplican y agravan como consecuencia de la intensificación de los usos agro-pecuarios, turístico-residenciales e industriales del territorio, así como por la emergencia de nuevos procesos de contaminación.

Por tanto, aunque en Europa el suministro de agua para consumo está garantizado en la mayoría de los casos y con agua de calidad, a pesar de los avances conseguidos hasta la fecha mediante la concienciación social y otras medidas técnicas, económicas y sociales, es necesario seguir realizando mejoras en el sector.

- **El saneamiento urbano. Aguas pluviales *versus* aguas residuales.**

En el caso de las redes de saneamiento, es fundamental **empezar distinguiendo claramente dos ámbitos según los tipos de agua: el de las aguas residuales y el de las pluviales**. Esta **división no ha sido clara en los modelos de gestión convencional** -reflejados en muchas publicaciones sobre el ciclo urbano del agua que tratan de manera similar la eliminación de las aguas pluviales y las aguas residuales- pero las corrientes actuales obligan a distinguir entre ambos tipos de agua.

Efectivamente, pocas publicaciones “tradicionales” tratan de manera adecuada la gestión de las aguas pluviales como una de las soluciones más importantes en la habitabilidad de los núcleos urbanos, limitándose a considerarlas como una posibilidad de aumentar los recursos disponibles, pero olvidando la importancia que tienen en la recuperación de acuíferos y su específica gestión para evitar inundaciones.

Por otro lado, en el modelo de gestión convencional del ciclo urbano del agua, **la red de saneamiento ha tenido por objeto la evacuación rápida de las aguas sobrantes de todo tipo** dirigiéndolas, por el camino más corto, **hacia el punto de vertido**. El planteamiento ha sido prácticamente el mismo en ambos tipos de agua y este aspecto ha sido, con mucho, una de las causas más importantes de los problemas existentes en el campo de las aguas procedentes de las precipitaciones.

- **En el caso de las aguas pluviales**, en general, su calidad es bastante buena en comparación con otro tipo de aguas que se pueden recoger en los núcleos urbanos. **El problema es que**, en los últimos años y como ya se ha dicho, **la gestión ha estado dirigida a deshacerse de ella porque resultaba problemática y difícil de gestionar**. Y es que, hasta hace muy poco, en los núcleos urbanos las aguas pluviales han sido un elemento que dificultaba la vida cotidiana por lo que **la tendencia ha sido, durante muchos años, facilitarle la salida** a través de “rampas impermeables” por las que la escorrentía discurriese de manera rápida hasta los distintos sumideros que llevaban el agua a la red de saneamiento –que, además, en su mayoría son de tipo unitario donde se mezclan con otras aguas de peor calidad- evitando así, en el ámbito de captación, charcos e incluso inundaciones, sin tener en consideración, junto al desaprovechamiento del recurso en la zona, otras consecuencias en otros ámbitos más lejanos. De esta manera, las nuevas urbanizaciones se han ido impermeabilizando poco a poco para resultar más “cómodas y seguras” para sus exigentes habitantes. Pero esos procesos de urbanización que se han desarrollado en las últimas décadas han tenido importantes consecuencias sobre el sistema hidrológico natural, como son la canalización, soterramiento y ocupación de cauces, o la impermeabilización de superficies” (Aqua-Riba, 2015).

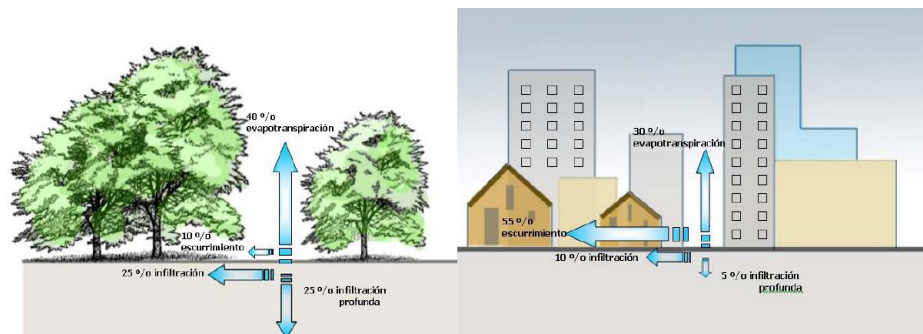


Fig.1. Diferencias entre modelos de gestión sostenible *versus* tradicional. (Aqua-Riba, 2015)

De esta manera, **los problemas más importantes en el ámbito de la gestión de las aguas de lluvia tienen que ver con el sellado creciente de las superficies** generado por los desarrollos urbanísticos, el cual **ha modificado la capacidad natural del suelo para retener e infiltrar** las aguas pluviales. Esta alteración tiene como consecuencia inmediata un **aumento importante del volumen, los caudales punta y la velocidad de las aguas de escorrentía**, - que **sobrecarga las redes unitarias** -con el consecuente aumento de gastos económicos y energéticos- y se convierte en una fuente de **contaminación difusa**.

- y que **incrementa el número y gravedad de las inundaciones** -sobre todo de las zonas más vulnerables- con los consiguientes costes asociados a las mismas.

De nuevo, tomando como ejemplo el territorio andaluz, podemos recordar que “la incidencia de las inundaciones es particularmente frecuente en Andalucía, donde las pérdidas económicas por las inundaciones acaecidas en los últimos treinta años ascienden como media a 150 millones de euros anuales” (Aqua-Riba, 2015).

- En cuanto a las **aguas residuales**, si analizamos la situación actual, podemos observar los avances realizados en las últimas décadas, pero también sigue habiendo problemas sin solucionar, sobre todo en relación con la falta de depuración, que son los retos a los que nos enfrentaremos en años venideros.

En cuanto a los **requerimientos normativos**, “la depuración es una obligación legal y una responsabilidad del Estado Español que debe cumplir con los compromisos adquiridos en la Directiva 91/271/CEE (modificada por la Directiva 98/15/CE), traspuesta al ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto Ley 11/1995, desarrollado por otros reales decretos posteriores. Según esta normativa, ya en el año 2006 todas las aglomeraciones urbanas de más de 2.000 habitantes equivalentes (h.e.) debían contar con un tratamiento secundario de sus aguas residuales (domésticas, aguas de lluvia y aguas residuales industriales) y, para aquellas aglomeraciones de menos de 2.000 habitantes equivalentes (h.e.), con un *tratamiento adecuado* de las mismas. Mediante estas actuaciones deberían haberse conseguido unos niveles adecuados de depuración, un objetivo que en la actualidad aún está pendiente de completar.

Los **problemas** fundamentales en este ámbito son:

- La deficiente depuración de las aguas. Como ya se ha comentado, muchas aglomeraciones urbanas de menos de 2.000 habitantes equivalentes (h.e.) aún no cuentan con sistemas de depuración adaptados a la normativa.
- El deterioro de las masas de agua receptora y, en general, de los ecosistemas asociados al agua, como consecuencia de lo anterior.
- La falta de aprovechamiento de determinados recursos del sector como el compost o las aguas regeneradas.

- **La propiedad del agua. Competencias administrativas y modelos de gestión.**

El tema del **reparto de competencias de la gestión del agua es un tema complejo**. Como ya predijo Martínez Blanco (1982) sobre la “Repercusión de la Constitución Española de 1978 en el régimen de aprovechamiento de las aguas”: “(...) la Constitución de 1978 ha hecho aparecer un nuevo factor de aparente perturbación en la regulación y gestión de las aguas, cual es la región política o Comunidad Autónoma. Surge así un nuevo y descentralizador punto de mira, cualitativamente distinto y dialécticamente enfrentado al poder central, aunque dentro del juego de la unidad nacional y la solidaridad entre las diversas Comunidades Autónomas.(...) En adelante, la competencia sobre las aguas va a estar repartida entre Estado y Comunidades Autónomas”.

Sobre el tema, el abogado especialista en derecho ambiental Abel de la Calle Marcos en su artículo “¿Quién manda en la política del agua? La política del agua: Unión Europea, España, Comunidades Autónomas y Entidades locales” (De la Calle, 2015) aclara cómo se organizan dichas competencias:

- **Sociedad Internacional:** Al tratarse de una sociedad donde el poder se encuentra descentralizado (193 Estados soberanos) la creación del **derecho se realiza por el consentimiento y consenso de los Estados y las Organizaciones Internacionales**. Por tanto, en materia de aguas y ecosistemas asociados, los Estados habrán de regirse por aquellos tratados y costumbres internacionales que les sean de aplicación. Recuérdese que los tratados internacionales ratificados por España están sometidos a la Constitución pero tienen primacía sobre el resto de la legislación española. Existe un considerable número de tratados que son aplicables a la política de aguas en España.
- **Unión Europea:** Los **Estados miembros tienen atribuida a la Unión el ejercicio de las competencias en materia de medio ambiente** (incluida la protección de las aguas y sus ecosistemas asociados) de manera compartida. Así lo establecen los tratados constitutivos. Esto implica que **las normas comunitarias en materia de política de aguas de la Unión tienen primacía sobre las normas y decisiones de los Estados miembros**. Ello explica que ante incumplimientos de una norma comunitaria se acuda a la Comisión Europea, guardiana del Derecho comunitario, para solicitar su corrección.
- **España (Administración General del Estado):** La Constitución española de 1978 creó un **sistema de reparto de competencias compartidas** entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas. Esto implica, de un lado, que el Estado establece normas básicas en materia de aguas que las Comunidades Autónomas pueden desarrollar. De otro lado, en materia de planificación y gestión de las cuencas hidrográficas, supone la atribución de las competencias según dichas cuencas hidrográficas comprendan o no a más de una Comunidad Autónoma. Comprenden más de una Comunidad Autónoma y, por tanto, son competencia de la Administración General del Estado las demarcaciones hidrográficas delimitadas en el Real Decreto 125/2007.
- **España (Comunidades Autónomas):** Las Comunidades Autónomas son competentes para dictar normas de desarrollo de las normas básicas del Estado y también pueden serlo para la planificación y gestión de las cuencas hidrográficas que se encuentran íntegramente en su territorio. Así, hay Comunidades Autónomas que han dictado sus propias leyes de aguas y que han asumido la competencia de las cuencas que se encuentran íntegramente en su territorio.
- **España (Entidades locales):** La Constitución de 1978 también establece la autonomía local aunque no precise qué competencias en materia de aguas le corresponden. La legislación sí ha precisado **las competencias en esta materia que se centran en los servicios de abastecimiento y saneamiento de las aglomeraciones urbanas**, sin perjuicio de las competencias que ostentan las Comunidades Autónomas que han sido utilizadas con cierta amplitud en materia de saneamiento.

De la Calle continua aclarando que: “El esquema que antecede no pretende ser exhaustivo; sólo menciona los aspectos más relevantes del reparto de competencias. **Esta división de ámbitos de poder** donde se producen normas en materia de aguas y sus ecosistemas asociados, **así como la transversalidad de la política de aguas respecto de otras políticas públicas, hace que sea imprescindible la coordinación de todas las competencias del agua en la unidad principal de gestión que es la demarcación hidrográfica”.**

“En cualquier caso, las relaciones entre los distintos ámbitos de poder señalados no están ajenas a los problemas y así se pueden identificar al menos las siguientes **tensiones entre ellos**:

- Existe una tensión **entre los intereses ambientales** establecidos por el conjunto de la Unión Europea y vigilados por la Comisión y las Organizaciones No Gubernamentales de carácter ambiental, **y los intereses productivistas** de determinados grupos de presión que han influido notablemente en la política de aguas española y entre los que se encuentran las oligarquías de regantes, las grandes compañías hidroeléctricas y constructoras, y el cuerpo de ingenieros.
- Existe igualmente una tensión **entre los intereses de aquellos grupos que consideran que el Estado debe mantener el máximo de competencias** en materia de aguas **y aquellos otros que consideran que el Estado debe mantener el mínimo imprescindible** para ceder el máximo de competencias a las Comunidades Autónomas.
- Por último, y sin pretender tampoco exhaustividad, también existe una tensión **entre las Comunidades Autónomas corresponsables del incumplimiento de las obligaciones comunitarias** en materia de saneamiento **y las Entidades locales reacias a asumir el coste político de aumentar las tarifas de uso** del agua para mantener las infraestructuras de depuración de las aguas usadas” (De la Calle, 2015).

Por otra parte, partiendo del hecho de que **el agua es propiedad de todos**, o sea “de titularidad pública”, **es importante el debate del carácter público o privado de los organismos encargados de su gestión.**

Como ya hemos visto de manera resumida, en cuanto a la distribución de competencias de la gestión, “La Ley 7/1985, reguladora de las Bases de Régimen Local, modificada por Ley 27/2013, de Racionalización y Sostenibilidad de la Administración Local, asigna a las corporaciones locales la titularidad pública de determinadas actividades, entre las que se incluye el servicio domiciliario de agua, el alcantarillado, el tratamiento y la depuración de aguas residuales. Las corporaciones locales tienen capacidad para ordenar discrecionalmente su gestión (...)”. Por su parte, “las Diputaciones Provinciales, reforzadas por la Ley de 2013, y las Administraciones Autonómicas tienen competencias en materia de auxilio técnico y financiero a los municipios. La Administración General del Estado puede también intervenir, ejecutando obras declaradas de interés general o participando en la financiación de actuaciones“. Por último, “los Ayuntamientos pueden gestionar directamente el ciclo urbano del agua, a través de la creación de organismos autónomos locales o a través de sociedades mercantiles cuyo capital social pertenezca íntegramente a la Entidad local. **Pero la legislación de la Administración local permite, también, que la gestión del**

servicio domiciliario de agua se realice a través de gestión indirecta, por medio de una entidad privada, alternativa que ofrece la reciente Ley de Racionalización y Sostenibilidad de la Administración Local de 2013” (Aqua-Riba, 2015).

“El debate sobre modelos de gestión, a favor o en contra de la privatización de servicios municipales de agua, es en la actualidad de la mayor importancia. Sea cual sea el modelo de gestión, deben garantizarse los *derechos sociales ciudadanos* de bienestar y cohesión social, por encima de criterios de rentabilidad mercantil. En cualquier caso, deben existir *instituciones públicas de regulación* que aseguren con eficacia la transparencia, incentiven la participación y el control ciudadano y garanticen los objetivos del servicio, por encima de intereses privados, políticos o burocráticos” (Aqua-Riba, 2015).

- **Coste del agua y estructuras tarifarias.**

Actualmente, según Leandro del Moral, **“el coste de la totalidad del servicio del ciclo urbano del agua** (captación, potabilización, distribución, alcantarillado, saneamiento, depuración) para una familia de cuatro miembros con un consumo de 15.000 litros al mes, es de 20-25 euros al mes, IVA incluido, en una población con servicio moderno y tarifas medias. Este precio incluye el suministro y evacuación de 500 litros de agua al día, generalmente con un nivel de garantía y de control de calidad elevado. El precio comentado traslada, parcialmente, los costes de la amortización y mantenimiento de las infraestructuras y de operación del sistema. **Pese a no ser elevados, la conflictividad alrededor de cualquier modificación de esos precios es alta**, lo que refleja percepciones y valores sociales muy acendrados culturalmente”. Y es que **el precio de los servicios urbanos de agua es una tema muy sensible en el debate ciudadano.**

También detalla que, en cuanto a los sistemas de **configuración de las tarificación del agua**, se utilizan, de una manera muy generalizada, criterios ausentes en otros servicios. Por ejemplo:

- Es general la existencia de **una cuota fija y otra variable** en función del consumo, al que se aplica una **estructura de bloques con precios unitarios crecientes que penalizan los consumos elevados.**
- Es frecuente también la existencia de **bonificaciones** por ‘familias numerosas’ y empiezan a aparecer sistemas tarifarios que aplican bonificaciones individualizadas por consumo eficiente (en torno a menos de 100 litros/persona/día).

Es decir, **“en la cultura empresarial de este sector está presente**, de manera más o menos contradictoria, **la práctica, atípica desde una perspectiva comercial, de desincentivar el consumo”** (Aqua-Riba, 2015).

2.1.2.1.2.3. LA PROBLEMÁTICA DE LA GESTIÓN CONVENCIONAL Y LOS RETOS A SUPERAR POR LOS NUEVOS MODELOS DE GESTIÓN.

Es cierto que en las últimas décadas ha habido avances importantes, pero aún queda mucho por hacer para enfrentarse a los **desafíos actuales: algunos nuevos** -como solucionar los desequilibrios que los recientes procesos de expansión urbanística han generado- **y otros que vienen de atrás y están aún sin resolver.**

Entre otras cosas, las nuevas alternativas y estrategias deberían:

- En relación a la **salud pública**:
 - Solucionar el problema de la falta de calidad de las aguas.
- En relación a la **seguridad del suministro**:
 - Enfrentarse a la creciente presión producida por las cada vez mayores demandas de agua.
 - Garantizar las condiciones de suministro a los usuarios dentro de límites adecuados de caudal y presión para asegurar el confort.
 - Dar respuesta al deterioro de las infraestructuras que están en mal estado o han quedado obsoletas.
- En relación a la **economía** y a la necesidad de **cohesión social**:
 - Introducir criterios de eficiencia hídrica y energética que se traduzcan en ahorros económicos.
 - Garantizar el suministro equitativo y solidario para todos los sectores de la población.
 - Solucionar los conflictos en relación al aumento de costes de los servicios relacionados con el agua con criterios de equidad y solidaridad.
- En relación al **medio ambiente**:
 - Aumentar la eficiencia en la gestión de los recursos medioambientales disponibles, fundamentalmente hídricos, pero también energéticos, para afrontar la crisis energética mundial.
 - Aplicar estrategias que mejoren problemas globales como el cambio climático y la emisión de gases invernadero.
 - Paliar y corregir los costes territoriales y ambientales, especialmente sobre los ecosistemas acuáticos y los paisajes del agua, que ha producido lo realizado en épocas anteriores.

En resumen, el gran reto es plantear nuevos criterios y estrategias con los que intervenir sobre nuestras ciudades para frenar los desequilibrios mencionados que serán, a su vez, **los que nos servirán de base para seleccionar las tecnologías apropiadas** para una gestión del ciclo urbano del agua planteada desde el principio de la Sostenibilidad. Las estrategias derivadas de ellos, serán el hilo conductor que nos permitirá distinguir aquellas tecnologías que interesan para implementar la herramienta objeto del presente trabajo.

2.1.2.1.3. LOS NUEVOS MODELOS DE GESTIÓN DEL CICLO URBANO DEL AGUA. ALGUNAS CLAVES, OBJETIVOS Y CARACTERÍSTICAS.

2.1.2.1.3.1. LA NECESIDAD DE UN NUEVO ENFOQUE. EL CONCEPTO AMPLIO DE “INTEGRACIÓN”. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS DESDE LA SOSTENIBILIDAD.

- **La necesidad de un cambio profundo de mentalidad.**

A la vista del anterior análisis de la gestión “tradicional”, parecía evidente que era necesario un cambio de rumbo en las políticas de agua y medioambientales que limitasen las tendencias estructuralistas y permitiesen una recuperación del estado ecológico del agua y de su entorno inmediato. Y era necesario que este cambio de rumbo se marcara desde las “más altas esferas” para que realmente fuese efectivo.

En el caso de la Unión Europea, la contundencia de la Directiva 2000/60/CE, más conocida como **Directiva Marco del Agua (DMA)**, ha sido fundamental para **potenciar la necesaria “nueva cultura del agua”²³ que priorizase la Sostenibilidad en la gestión del agua.** Al menos, conceptualmente, plantea la revisión del modelo de gestión mediante criterios sostenibles:

- Centrándose en el **agua como recurso ecológico** y no productivo.
- Postulando la introducción de «nuevos criterios de racionalidad económica en la gestión del agua basados en el **principio de recuperación de costes**, incluyendo los costes medioambientales y el valor de la escasez (oportunidad)».

Es cierto que la aplicación de estos planteamientos no está exenta de problemas que supondrán un **necesario proceso de adaptación** como, por ejemplo, en el caso del *principio de la recuperación de costes* que “unido a los crecientes costes de potabilización y requerimientos más rigurosos de tratamiento de vertidos, **augura tendencias al alza de los precios del agua**” (Del Moral). Pero, a pesar de todo, estos cambios son necesarios para alcanzar la soñada e imprescindible *Sostenibilidad*.

- **El concepto amplio de “integración”.**

Es especialmente importante recalcar la **necesidad de integración en el más amplio sentido de la palabra**. En relación a este tema, Del Moral (2009)²⁴ opina que la Directiva Marco del Agua, consciente de esta necesidad, adopta “como idea nuclear el concepto de *integración*, que supone la incorporación de distintas disciplinas, enfoques y experiencias en los distintos niveles de decisión y la coordinación entre administraciones.”

Pero, en función del objeto del presente trabajo, se insistirá en la primera de las ideas que es **la integración de disciplinas, en este caso referida a las tecnologías**. Por un lado, ya se ha adelantado la importancia de una gestión conjunta de todos los ámbitos del ciclo urbano del agua, pero, por otro, también hay que recordar la de una gestión conjunta en relación al resto de los recursos presentes en los núcleos urbanos. En general, todas las soluciones que impliquen integración y coordinación son estratégicamente adecuadas por el ahorro de recursos de todo tipo que supone.

²³ “Esta situación ha llevado a la Unión Europea a promover una *Directiva Marco del Agua* muy avanzada, que se fundamenta en la que se ha llamado «nueva cultura del agua». La nueva cultura abandona la idea del agua como un recurso productivo más y se centra en su papel como recurso ecológico, priorizando la sostenibilidad. La preocupación por la supervivencia y calidad de vida de los humanos sigue siendo, obviamente, máxima, pero ello no parece reñido con «el objetivo central de recuperar el buen estado ecológico de ríos, lagos, aguas de transición, aguas costeras y la protección de los humedales, así como el buen estado cuantitativo y cualitativo de los acuíferos, redefiniendo el concepto de cuenca, que ahora incluye deltas, estuarios y ecosistemas costeros», en palabras de la Declaración Europea. Ésta, asimismo, postula la introducción de «nuevos criterios de racionalidad económica en la gestión del agua basados en el principio de recuperación de costes, incluyendo los costes medioambientales y el valor de la escasez» (Delibes, 2015).

²⁴ “(...) la Directiva 2000/60/CE, más conocida como Directiva Marco del Agua (DMA), se ha constituido en un instigador del cambio. El objetivo de la DMA es salvaguardar las masas de agua superficiales, subterráneas, costeras y de transición, manteniendo o restaurando en todas ellas el *buen estado ecológico*. Para ello, la DMA adopta como idea nuclear el concepto de *integración*, que supone la incorporación de distintas disciplinas, enfoques y experiencias en los distintos niveles de decisión y la coordinación entre administraciones”(Del Moral, 2009).

- **Definición de objetivos planteados desde el principio de la Sostenibilidad.**

Los objetivos planteados para los nuevos modelos enfocados bajo el criterios de Sostenibilidad serían:

- En relación a la **salud pública**, para solucionar el problema de la demanda de aguas de calidad hay que:
 - **Reducir los niveles de contaminación** de las masas de agua que hay en la Naturaleza.
- En relación a la **seguridad del suministro**, se plantea:
 - Mentalizar a los ciudadanos de que el recurso es limitado **sustituyendo la “estrategia de oferta” por “estrategias de demanda y conservación”**, para hacer frente a la creciente presión producida por las cada vez mayores demandas de agua, reduciéndolas al máximo y limitando también la oferta.
 - **Priorizar el ahorro y mejorar la eficacia** en la utilización del recurso mediante tecnologías que fomenten **un uso inteligente y optimizado del mismo que aproveche los diferentes niveles de calidad de las aguas para los distintos usos** que tienen distintas necesidades (*fit for purpose*).
 - **Garantizar las condiciones de suministro** a los usuarios dentro de límites adecuados de **caudal y presión** para asegurar el confort, cumpliendo los parámetros marcados por las normativas, mediante la aplicación de las tecnologías disponibles y **aumentando las labores de vigilancia y mantenimiento**.
 - **Dar respuesta al deterioro de las infraestructuras** que están en mal estado o han quedado obsoletas mediante la reparación y sustitución de muchas de ellas y mediante la implementación de sistemas que faciliten el mantenimiento, aplicando las tecnologías disponibles actualmente.
- En relación a la **economía** y a la necesidad de **cohesión social**, es necesario:
 - **Reducir los gastos económicos -y energéticos- asociados a la gestión directa del agua**, mediante la elección de tecnologías más baratas y no menos efectivas. En este sentido todas las **soluciones que impliquen integración y coordinación** van en una buena dirección.
 - **Solucionar los conflictos surgidos a partir del aumento de costes de los servicios relacionados con el agua a consecuencia de la aplicación de nuevos criterios de racionalidad económica en la gestión del agua basados en el “principio de recuperación de costes”** -necesario para cubrir el verdadero coste hasta ahora no aplicado- con criterios de equidad y solidaridad mediante políticas de información claras y de medidas que ayuden a una financiación equitativa.
 - **Asegurar el suministro a todos los sectores de la población**, incluidas las clases más desfavorecidas, mediante medidas de apoyo justas para todos a fin de garantizar el suministro equitativo y solidario para todos.
 - **Incorporar a todos los agentes afectados en la toma de decisiones** para que adquieran una actitud activa y comprometida en relación con los servicios, modificándose las relaciones entre los distintos actores sociales al generarse y aprovecharse nuevas energías del nuevo capital social.
- En relación al **medio ambiente**, se plantea:
 - **Aumentar la eficiencia en la gestión de los recursos medioambientales** disponibles, fundamentalmente hídricos, pero también otros como los

energéticos, para afrontar la crisis energética mundial mediante alternativas tecnológicas que busquen la **optimización de la energía en el ámbito del agua y el uso del agua en el ámbito energético.**

- Aplicar soluciones que **mejoren problemas globales, como el cambio climático y la emisión de gases invernadero, reduciendo las actuaciones de gran envergadura** que puedan propiciar alteraciones climáticas y de nuestro entorno más cercano y catástrofes naturales como las inundaciones.
- **Paliar y corregir los costes territoriales y ambientales**, especialmente sobre los **ecosistemas acuáticos** –para lo cual es básica la conservación de aguas subterráneas- **y los paisajes del agua**, que ha producido lo realizado en épocas anteriores.

2.1.2.1.3.2. LA IMPORTANCIA DE LA GESTIÓN INTEGRAL Y CIRCULAR DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL CICLO URBANO DEL AGUA Y LA RELACIÓN CON LOS OTROS RECURSOS PRESENTES EN LOS NÚCLEOS URBANOS.

- **Gestión integral y circular del conjunto de los recursos hídricos en los núcleos urbanos y la edificación.**

La **gestión global de todos los ámbitos del ciclo urbano del agua a partir de la comprensión del ciclo socio-hidrológico en su conjunto** –teniendo en cuenta también la relación de las aguas urbanas con los sistemas naturales- **es una de las claves básicas de la nueva gestión** para la adaptación de las soluciones planteadas a la realidad concreta del contexto físico y social del área. De hecho, muchos autores, como Luis Jesús Arizmendi (1991), han defendido este modelo desde hace décadas.

Es necesario el **paso de una gestión lineal del ciclo a una gestión circular** donde las estrategias de recirculación, reutilización, regeneración o reciclaje de los diferentes tipos de agua son primordiales.

Pero, a pesar de sus diferencias, lo importante es el objetivo final de todos estos procesos que no es otro que la **optimización del agua potable** que se introduce en el ciclo urbano del agua –mediante el uso de fuentes de agua alternativas a las tradicionales- **permitiendo también, como consecuencia, una clara disminución de la demanda y de la presión sobre los ecosistemas acuáticos.** Para su implantación real, estas estrategias se concretan en tecnologías de distinto tipo -más de una en algunos casos- que adquieren un papel fundamental en los nuevos modelos de gestión.

Por último, es importante recalcar que esta visión global del ciclo no tiene por qué suponer la utilización de infraestructuras a gran escala. Se insiste de nuevo en que muchas nuevas tecnologías suponen la aplicación, en muchos casos, de **criterios de descentralización** de las soluciones.

- **Gestión integral de todos los recursos de los núcleos urbanos para el máximo aprovechamiento de flujos. La ciudad como organismo metabólico.**

En un momento en el que la optimización de los recursos disponibles en los núcleos urbanos es una prioridad como una de las vías para alcanzar la sostenibilidad, se están potenciando mucho las acciones dirigidas a la mejora de las relaciones y sinergias entre todos ellos.

Y es que el agua no es el último recurso que tenemos que gestionar sino, que es necesario **optimizar sus relaciones con otros recursos como la energía, los materiales y los residuos –tanto RSU como los residuos de la construcción- o la superficie disponible en la ciudad**, el espacio urbano. La mayoría de ellos son recursos escasos –excepto los residuos que crecen sin parar- y, sin un estudio conjunto de los mismos, seguiremos generando gastos innecesarios tanto de los propios recursos físicos como en el ámbito económico.

Algunos de los proyectos de investigación europeos más destacados en la actualidad, como el Proyecto SWITCH (2006-2011), llaman la atención sobre la vinculación de la gestión del agua con otros sectores de la gestión de los núcleos urbanos y sobre las relaciones entre todos los recursos que interactúan con el elemento “agua”.

Según Krauze, Zalewski y Wagner (2008), “es crucial que situemos a las ciudades en el papel que desempeñan en este sentido, comenzando por **entender el medio urbano como un ecosistema cuyas funciones metabólicas están ligadas al territorio en el que se inserta**, el cual a su vez proporciona una gran cantidad de servicios imprescindibles para nuestra supervivencia. Las áreas verdes y los ecosistemas acuáticos urbanos se convierten así en bienes vitales considerando su potencial en la provisión de servicios ecológicos a la sociedad”.

Esta visión integral nos obliga a ir más allá también en el campo de las tecnologías del agua, intentando facilitar la gestión de otros recursos a la vez.

A continuación, se tratan dos recursos que tienen una especial relevancia en los núcleos urbanos y que son los que más relación tienen con el ámbito hídrico: la energía y los residuos.

- **La relación del agua con la energía:**

La mejora de la ya innegable e importante relación entre el agua y la energía en el campo del urbanismo y de la edificación y la necesidad de una consideración conjunta de ambos elementos **se ha convertido en un tema recurrente en la investigación y en los debates sobre gestión del agua** en la actualidad. Por ejemplo, Jiménez Beltrán (2015) opina que “**El futuro está en: (...) ligar de forma inexorable las políticas, la gestión y la planificación del patrimonio y recursos hídricos a la sostenibilidad y a los escenarios deseables socioeconómicos y territoriales a medio y largo plazo, que ya se concretan a nivel de la UE y que hay que trasladar y replicar a nivel español, y muy en particular a los escenarios energéticos, ya que con las exigencias del CC la sostenibilidad energética se convierte en el vector del cambio.** (...) Los desafíos en España en materia de recursos hídricos y energéticos son una llamada a la innovación buscando las sinergias entre ambos recursos:

“Amarillo (Energía Solar) + Azul (Agua del mar) = ¡Verde ambiental!”, rompiendo finalmente la asociación creciente “mucho sol, poca agua” en el Mediterráneo y sustituirlo en parte por otros: “A más o suficiente energía solar, más o suficiente agua” o “Energía renovables=Agua renovable”.

En relación a la gestión integrada de recursos, la relación entre agua y energía es crucial y cobra una **especial importancia por estar presente en todos los ámbitos en los que el hombre se desenvuelve**. Para la selección de tecnologías interesa, especialmente, analizar cómo es esa relación en los núcleos urbanos y cómo puede afectar a su gestión, para **aprovechar las sinergias entre ambos recursos, que es ya una necesidad apremiante**.

En esa línea no hay que olvidar que la **relación se produce en ambos sentidos**. Determinadas medidas en el ámbito energético pueden reducir la demanda de agua y el ahorro en el consumo de agua produce, a su vez, ahorro de energía –sobre todo, en fases posteriores a la recogida-. Es decir, a través del ahorro de agua se ahorra energía y ahorrando energía también ahorraremos agua. Es fundamental, por tanto, la sinergia entre ambos.

“De todas las medidas, las que suponen ahorro de agua son, desde el punto de vista de la energía, las medidas más eficientes, debido a los efectos multiplicadores que tiene a lo largo de todo el ciclo urbano. El ahorro de un m³ de agua significa un m³ menos que hay que captar, tratar, potabilizar, transportar, calentar, bombear, depurar y evacuar. Por tanto, con la incorporación de criterios de sostenibilidad a la gestión conjunta del agua y la energía se pueden obtener resultados muy significativos en el conjunto del ciclo sumando los beneficios obtenidos en las distintas fases” (Aqua-Riba, 2015).

“La gestión conjunta agua-energía se debería abordar considerando cuatro variables principales: caudal, calidad, presión y temperatura. (...) En cada una de estas fases se modifican una o varias variables, lo que comporta una variación de la energía asociada” (Aqua-Riba, 2015). Esta, a su vez, dependerá de la tecnología y los dispositivos utilizados que establecen las distintas condiciones que relacionan al agua con la energía.

- **La relación del agua con los residuos en los núcleos urbanos:**

Aunque en la actualidad la relación del agua con la energía es la más estudiada, hay otros recursos que conviene tener en cuenta de manera importante en la gestión de los núcleos urbanos, como **los residuos sólidos urbanos (R.S.U.) o los de la construcción**.

También en este caso se produce una relación en ambas direcciones y podemos dividir la problemática en dos grupos: la de los residuos que afectan a los recursos hídricos y la del agua que afecta a los residuos.

- **Actuaciones en la gestión de los residuos que afectan a los recursos hídricos:**

- Por un lado, existe una problemática importante con los **vertederos ilegales situados en las afueras de las ciudades** donde se produce la acumulación de ingentes cantidades de residuos sin control de sus consecuencias. Si los vertederos no están bien acondicionados, los

lixiviados producidos por los residuos que allí se vierten -generalmente en cuencas que, a menudo, se inundan en época de lluvias- atraviesan las diferentes capas del terreno pudiendo llegar a los acuíferos que alimentan a dichos núcleos, contaminándolos.

- Por otro lado, el **simple arrojado de muchos de estos residuos a canales o cauces** cercanos -con o sin agua en su interior- o zonas poco vigiladas cercanas a las cuencas han convertido esas áreas con el tiempo en “pequeños vertederos ilegales” que entorpecen el paso de la corriente e influyen también de manera importante en los ecosistemas ligados a esas masas de agua.
- Por último, no podemos olvidar los **gastos de agua asociados a la gestión de residuos**, asociados generalmente a la fase de limpieza de las infraestructuras de recogida de los mismos. Es mayor en los sistemas tradicionales de recogida, en los que los contenedores y las zonas cercanas a los mismos son limpiados con mangueras, que en los sistemas de recogida neumática de R.S.U., donde parte de la limpieza se produce, generalmente, aprovechando la capacidad de extracción del sistema -las cuales, en ocasiones, pueden hacer alcanzar a los residuos, más de 100 km/h- aunque con un mayor consumo energético. Posteriormente, todas las aguas recogidas tras esa fase de limpieza pasan a las redes de saneamiento.
- **Actuaciones en la gestión del ciclo urbano del agua que afecta al ámbito de los residuos:**
 - Por un lado, es muy común el **uso del agua para vehicular y deshacerse de residuos urbanos e industriales**, teniendo que hacer posteriormente un gran esfuerzo para separarlos.
 - Otro caso muy significativo es el de la enorme cantidad de **fangos producidos en los procesos de tratamiento de aguas residuales**. En ese sentido, es importante destacar **las plantas de compostaje** que han sido desarrolladas para el aprovechamiento de los mismos como abonos para la agricultura. En este caso, también se obtiene energía que suelen aprovechar las propias plantas depuradoras para disminuir sus demandas energéticas.

Tanto los **sistemas de recogida neumática de RSU** como las **plantas de compostaje** son procesos que se realizan a gran escala, casi territorial, por lo que no se han considerado en el presente trabajo en el que se recogen sistemas adecuados a la escala de barrios, edificios y viviendas.

2.1.2.1.3.3. LA NECESIDAD DE LA INTRODUCCIÓN DE TECNOLOGÍAS ECOLÓGICAS, SOSTENIBLES E INNOVADORAS.

Como se puede observar al revisar las estrategias y objetivos propuestos, el enfoque sostenible propugnado por la DMA **no sería posible sin la introducción de tecnologías más ecológicas** que apoyen, de manera concreta, todas estas líneas de trabajo.

En la elección de dichas tecnologías, se proponen los siguientes criterios:

- **Recuperación de principios, estrategias y tecnologías del conocimiento popular.**

Una de las claves para una mejora de la gestión del agua y de los ecosistemas acuáticos es la limitación de las grandes intervenciones que producen desequilibrios hídricos a medio y largo plazo y, para ello, es necesario recuperar tecnologías que fueron utilizadas durante siglos, en la mayoría de los casos de tipo local. Podemos poner como ejemplos: la recogida y aprovechamiento directo del agua de lluvia, el ajardinamiento de espacios que permite la infiltración de las aguas de lluvia en el terreno o el aprovechamiento de la materia orgánica de las aguas residuales,... En general, podemos hablar de la recuperación de soluciones tecnológicas **más flexibles, mucho menos agresivas y, además, descentralizadas** que suponían un ahorro de la demanda de agua y de la energía necesaria para el traslado de estos recursos de un lado a otro.

Por otro lado, “las denominadas **tecnologías «blandas» o «verdes»** de gestión del agua, cuentan con la ventaja de que, contando con las instrucciones adecuadas, permiten que las labores de gestión y mantenimiento puedan ser llevadas a cabo con cierto grado de autonomía por parte de la comunidad, contando siempre con profesionales de la fontanería, la jardinería, etc... para la realización de ciertas tareas, pero sin generar una dependencia tecnológica respecto a los proveedores de los sistemas” (Aqua-Riba, 2015).

Como concluye Miguel Delibes de Castro²⁵: “Guste o no, la época de las «soluciones tradicionales de ingeniería a gran escala» ha quedado atrás”.

- **Aprovechamiento de las nuevas tecnologías disponibles en la actualidad.**

No podemos negar que estamos en el siglo XXI y existen actualmente muchos conocimientos que han permitido el desarrollo de nuevas alternativas tecnológicas a las que no sería inteligente dar la espalda y aprovechar para permitir el avance en la dirección propuesta por las estrategias anteriores.

Así, el **aprovechamiento de las nuevas tecnologías del agua** suponen una ayuda fundamental que **permite la consecución de los objetivos de los nuevos modelos de gestión.**

Según Jiménez Beltrán (2015), “**el futuro está en la innovación para**, en primer lugar, **mejorar la eficacia** (para lo necesario, no para lo superfluo ni excedentario), **eficiencia** (menor uso y sobre todo consumo unitario) **y valor añadido del agua**, o desacoplamiento entre uso del agua y desarrollo económico, como base para reducir el “estrés hídrico” social y económico del sistema. **Hay suficiente saber común, conocimiento y tecnologías, para hacer frente a los desafíos en gestión del agua, pero no se aplican comúnmente”.**

²⁵“Debemos entender el agua como un recurso limitado, necesario también para otros, no sólo humanos, y acostumbrarnos a adecuar nuestras necesidades al agua disponible en donde vivimos: «Al igual que no tiene sentido argumentar déficits estructurales de sol en los países nórdicos (...) o déficits de terrenos llanos cultivables en las áreas de montaña, tampoco lo tiene entender la diversidad pluviométrica como un desequilibrio a corregir, cueste lo que cueste, bajo financiación y subvención pública». Guste o no, la época de las «soluciones tradicionales de ingeniería a gran escala» ha quedado atrás” (Delibes, 2015).

Y continúa concretando algunas de las tecnologías de mayor importancia: “Es posible que cuando se nos mire desde el 2020, y ciertamente desde el 2050, se diga: ¿a quién no se le ocurrió?:

- Dejar de usar el agua para vehicular y deshacerse de residuos urbanos e industriales y tener que hacer enormes esfuerzos para luego separarlos en lo posible y finalmente verter gran parte a los cauces y al medio marino.
- Realizar *saneamiento urbano en seco*, con tratamientos térmicos y otros de mineralización *in situ*.
- Separar, en las redes de abastecimiento, el agua de boca o potable de otras aguas de menor calidad.
- Separar, en las redes de saneamiento, las aguas residuales urbanas e industriales y las pluviales, almacenando y reutilizando las aguas pluviales y tratando y reciclando a la red no potable las residuales.
- Tender a la llamada *autosuficiencia conectada* también en el agua, lo que ya es viable para la electricidad, sólo a la espera de la normativa para el autoconsumo y balance neto.
- Utilizar más el *agua verde* y menos la *azul* en agricultura.”

2.1.2.1.3.4. CARACTERÍSTICAS DEL NUEVO MODELO DE GESTIÓN.

En resumen, para conseguir mejoras en la gestión del Ciclo Urbano del Agua **son necesarios modelos planteados desde un nuevo enfoque** donde prime la aplicación de criterios de **Sostenibilidad**.

Una **gestión sostenible del ciclo urbano del agua** debe hacer frente eficazmente a todos los tipos de retos –de salud pública, seguridad, economía, cohesión social y medio ambiente- que el mundo del agua implica, trabajando con los recursos técnicos, humanos, económicos y sociales disponibles en la actualidad.

Por tanto, frente a la situación actual, es necesario buscar soluciones que concreten y configuren el nuevo modelo de gestión y que deberían cumplir los objetivos antes sugeridos planteados bajo criterios sostenibles.

A continuación se exponen las **características** que se proponen en el *enfoque sostenible e integrado de la gestión*:

- **Una “nueva cultura del agua”**: Es necesario mentalizar a la sociedad de que los recursos son limitados y hay que limitar la demanda, terminándose con la “política de oferta” convencional.
- **Cambio de escala y carácter de los sistemas**: Deben plantearse **sistemas descentralizados, flexibles y basados en infraestructuras o tecnologías “blandas”, “verdes”, ecológicas y sostenibles**. Las llamadas “infraestructuras verdes incluyen suelo y vegetación, además de cemento, metal y plástico”. Muchas de ellas, por su **menor envergadura y menor coste**, serán además “posibles” en lugares con pocos recursos. Se deben reducir las infraestructuras basadas en grandes inversiones.

En este caso, Jiménez Beltrán (2015) opina que “para la regulación de las cuencas, habría que aplicar, desde ya, lo mismo que se debate para nuevo suelo urbano: criterios de sostenibilidad fuerte, el *status quo*, o congelación, sin nuevas infraestructuras de regulación y progresiva reversión de las

existentes, como ya ocurre en EEUU. En todo caso, que las **nuevas centrales reversibles, o de turbinado y bombeo**, de posible interés para una gestión en firme de un sistema de generación eléctrica básicamente renovable, se hagan sobre las existentes”.

- **La integración, gestión integral o gestión conjunta del ciclo urbano del agua:** Es fundamental que los diferentes elementos del sistema de agua urbana trabajen de manera integrada con objetivos comunes. Además, si es posible, la gestión debería poder incluir al resto de los recursos, objetivo que parece que tienen las nuevas *empresas de servicios energéticos*.
- **La diversificación de la calidad de la demanda en abastecimiento:** Empieza a ser prioritaria la **“adecuación de calidades a los usos (*fit for purpose*)** para un ahorro del recurso, siempre cumpliendo los niveles de calidad preceptivos marcados por la legislación.
- **La separación de tipos de efluentes en la evacuación de aguas y el máximo aprovechamiento de las aguas de lluvia:** Es fundamental la **separación entre aguas residuales y aguas pluviales**. En el caso de las residuales, a veces también será necesaria la separación de los residuos sólidos que llevan, en la primera fase de la evacuación. En el caso de las pluviales, es necesario aprovechar su excelente calidad pero también gestionar de otra manera las aguas de escorrentía permitiendo drenajes sostenibles, mediante las tecnologías de los SUDS²⁶. Las aguas pluviales constituyen un recurso que puede ser captado, retenido o infiltrado aumentando el caudal de los acuíferos y los ríos del entorno, a la vez que favorecen la revegetación de los espacios urbanos.

En este sentido, Jiménez Beltrán (2015) insiste en el cambio del tipo de recursos que se deberían consumir afirmando que “el futuro está en reducir los usos y consumos de la llamada *agua azul*, o fluyente, superficial o subterránea²⁷ y en incrementar el uso de la llamada *agua verde*, o agua de lluvia, recuperando la llamada *cultura del seco*”²⁸.

- **El proceso cíclico de la gestión de los recursos hídricos:** Las empresas suministradoras deben cambiar el proceso de gestión para posibilitar el ciclo integral aprovechando los diferentes tipos de efluentes e introduciendo procesos de reciclaje, reutilización, regeneración, etc.... “El agua se puede reciclar y reutilizar múltiples veces, en un proceso en cascada desde usos con mayores a menores demandas de calidad” (Aqua-Riba, 2015).
- **Mínimo uso de energía e integración de agua y energía:** En general, los planteamientos en los proyectos de gestión hídrica deben enfocarse para conseguir la máxima eficiencia energética reduciendo los consumos y las emisiones de CO₂ -mediante uso de técnicas basadas en la captación y uso de

²⁶ SUDS es el acrónimo de *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*.

²⁷ “En el 2000 se usaba ya más del 54 % de las aguas fluyentes a nivel global y su uso sigue creciendo fuertemente, mientras que según la Agencia Europea de Medio Ambiente, regulaciones de caudales superiores al 30% en una cuenca no son sostenibles -ligadas a la agricultura intensiva y el regadío, difícil de compatibilizar con una agricultura y alimentación sostenible” (Jiménez, 2015).

²⁸ “(...) lo que se llama cosechar el agua del cielo (sólo usada actualmente en un 26% a nivel global) recuperando la llamada *cultura del seco*, que no lo es tal, hoy perdida. Hay que darle la vuelta al aforismo de “agua del cielo no quita el riego”, debido a la dependencia del regadío, del goteo, para que sea más bien “el agua del cielo me libra del riego” (Jiménez, 2015).

energías renovables- a la vez que se aumenta su captación -favorecida por el aumento de vegetación en las ciudades- reduciendo así también sus repercusiones en el cambio climático.

- **Minimización de daños ambientales mediante la contextualización del ciclo urbano del agua respecto al sistema hidrológico y ambiental:** Esta contextualización debe ser clara y profunda en el marco de los **ecosistemas acuáticos** de los que depende el ciclo urbano del agua para la obtención de recursos y para el vertido de efluentes.
- **Introducción de innovadores programas de *software*:** Es fundamental aprovechar las nuevas tecnologías para el diseño, dimensionado y modelización de sistemas, así como para la toma de decisiones en la gestión del ciclo urbano del agua. Programas como los GIS (Sistemas de Información Geográfica) o los SADs (Sistemas de Ayuda a la Toma de Decisiones) son capaces de gestionar ingentes cantidades de datos, además de permitir la construcción de diferentes escenarios futuros que permiten actuar con flexibilidad en casos de variación de las hipótesis de partida y ante una mayor incertidumbre.
- **La regeneración de las estrategias y la renovación de los organismos de gestión:** Son necesarias la apertura a nuevos enfoques en las "viejas" estructuras de la Administración y las instituciones, la máxima coordinación entre ellas, la apertura a la participación de todos los agentes implicados - que deben tener una actitud activa, comprometida y de implicación-, la introducción en los proyectos de equipos multidisciplinares y el apoyo por parte del ámbito legislativo y el marco constitucional en general para favorecer la innovación.
- **Soluciones más justas y que aumenten de la cohesión social:** Se debe conseguir mediante la integración "de criterios de eficiencia y **responsabilidad de costes**, combinados con valores de **solidaridad y equidad**"(Aqua-Riba, 2015).
- **Soluciones a medio y largo plazo:** Debe afrontarse con "tecnologías **innovadoras y flexibles**, seleccionadas en base a una evaluación integral del ciclo del agua y a la sostenibilidad a largo plazo del sistema en conjunto" (Aqua-Riba, 2015), siendo conscientes de las consecuencias en el hábitat del hombre y de otros seres vivos que conforman los diferentes ecosistemas terrestres.

La mayoría de estas soluciones ya fueron propuestas desde el Proyecto SWITCH en el que se afirma que "en la actualidad, el reto de la planificación consiste en plantear una gestión integrada del agua y el territorio, un nuevo paradigma hidrológico basado en la conservación de la función ecosistémica del agua y el uso sostenible de los recursos, la gestión integrada de la oferta y la demanda, la consideración global de ciclo hidrológico, la integración con la política energética y la acción preventiva"²⁹.

Para acabar esta exposición acerca de los modelos de gestión, es importante comentar, como se aclara en el Proyecto Aqua-Riba (2015), que en la realidad no existe siempre una división tan clara entre los modelos de gestión tradicionales y los nuevos, sino que dicha realidad "se caracteriza por un panorama más complejo y matizado, formado por situaciones mixtas y procesos de transición."

²⁹ (Comisión Europea, 2012, *Sustainable Water Management in the City of the Future*, SWITCH, 2012)

2.1.2.2. NORMATIVA Y LEGISLACIÓN SOBRE GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS.

2.1.2.2.1. A ESCALA GLOBAL: DERECHO HUMANO AL AGUA Y AL SANEAMIENTO.

Para realizar una revisión completa del ámbito normativo, no podemos dejar de recalcar la importancia del agua y el saneamiento como derechos fundamentales para la vida del hombre y el hecho de que así lo hayan reconocido los organismos internacionales de mayor influencia y prestigio como:

- La **Asamblea General de la Naciones Unidas, en su Resolución núm. 64/292 de julio de 2010 sobre el derecho humano al agua y el saneamiento**, reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento, reafirmando que un agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos
- El Consejo de Europa, en el Párrafo 5º de la **Carta Europea de Recursos Hídricos (REC 2001, 17 de Octubre de 2001)**, dice que “Toda persona tiene derecho a disponer de una cantidad de agua suficiente para atender sus necesidades básicas”.
- La **Iniciativa Ciudadana Europea "El derecho al agua y el saneamiento como derecho humano" (2013)** propugna que la Unión Europea debe hacer realidad el derecho humano al agua, en la medida en que los servicios de agua y saneamiento se rigen por el Derecho Comunitario (como servicios de interés general).

2.1.2.2.2. A NIVEL EUROPEO.

2.1.2.2.2.1. DIRECTIVA MARCO DEL AGUA (DMA).

La primera normativa que hay que destacar en el vasto sector de la legislación sobre las políticas de agua adoptadas por parte de los países miembros de la Unión Europea es, sin duda alguna, la Directiva 2000/60/CE, más conocida como Directiva Marco del Agua (DMA) la cual, según algunos autores como Del Moral (2008), es “el acto normativo más ambicioso y completo jamás aprobado en el ámbito de la política de aguas en la Unión”. Su importancia radica en el cambio de rumbo total que ha marcado apoyando esa “nueva cultura del agua” por tantos demandada durante años.

Un aspecto fundamental que recoge esta normativa es la identificación (tipo y magnitud) de las presiones antropogénicas significativas a las que están expuestas las masas de agua, incluidas, obviamente, aquellas masas identificadas como fuentes de abastecimiento para el consumo humano, siendo un objetivo prioritario salvaguardar las aguas subterráneas y superficiales para el cual se define incluso un límite temporal para alcanzar un «buen estado ecológico» de las mismas, que es el final del 2015.

También establece la obligación de aplicar medidas orientadas a reducir progresivamente los vertidos, las emisiones y las pérdidas de las sustancias prioritarias (peligrosas) e interrumpir o suprimir gradualmente las emisiones, los vertidos y las pérdidas de sustancias peligrosas prioritarias. Trata la contaminación significativa por fuentes puntuales, entre las que se encuentran los vertidos de aguas residuales urbanas y los de tormenta procedentes de poblaciones, zonas industriales, carreteras u otro tipo de estructuras, a través de aliviaderos y otras canalizaciones o conducciones.

2.1.2.2.2.2. OTRAS DIRECTIVAS EUROPEAS DE INTERÉS PARA EL ÁMBITO DE LAS TECNOLOGÍAS.

- **Directiva 76/464/CEE, de 4 de mayo de 1976, relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas en el medio acuático.**
- **Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.** Introduce la obligación de aplicación de tratamiento adecuado en todas las aglomeraciones urbanas europeas superiores a 2.000 habitantes equivalentes antes del año 2005.
- **Directiva 98/83/CE, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.** Establece los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, que se comenta con detalle más adelante.
- **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.** Tiene como principal objetivo reducir el riesgo de estos fenómenos naturales, tanto en las cuencas de los ríos como en las zonas costeras, así como minimizar las consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y las actividades económicas, asociadas a tales inundaciones.
- **Directiva 2008/105/CE, de 16 diciembre de 2008, relativa a las normas de calidad ambiental (NCA) en el ámbito de la política de aguas.** Su objeto es establecer normas de calidad ambiental para las sustancias prioritarias (peligrosas) y para otros contaminantes, con el objetivo de conseguir un buen estado químico de las aguas superficiales. Como complemento a la regulación establecida hasta la fecha en relación con el seguimiento del estado químico de las aguas, se ha adoptado la **Directiva 2009/90/CE, de 31 de julio de 2009**, por la que se establecen, de conformidad con la Directiva Marco del Agua, las especificaciones técnicas del análisis químico y del seguimiento del estado de las aguas.

En general, la Comisión Europea (European Commission, 2012), en relación con la gestión del agua en los espacios habitados, insiste en que **“es prioritario** generar herramientas metodológicas e instrumentales de las que los profesionales puedan servirse para intervenir sobre el patrimonio arquitectónico y urbano, impulsando la transformación paulatina de nuestros entornos cotidianos hacia una gestión integrada y sostenible del agua, avanzando hacia **la elaboración de normativas similares a las relativas a la eficiencia energética de los edificios para controlar su eficiencia hídrica”**.

2.1.2.2.3.A NIVEL ESTATAL.

2.1.2.2.3.1. LEGISLACIÓN GENERAL: NORMATIVA BÁSICA, SOBRE DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO, NORMATIVA SANITARIA DE CALIDAD Y RELATIVA A LA EDIFICACIÓN.

- La **Ley de Aguas, 2001. Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, que aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA)**, modificada por el artículo 129 de la **Ley 62/2003 de medidas fiscales, administrativas**

y de orden social, constituye una modificación del TRLA, por medio de la cual se incorpora (Transposición) al derecho español la Directiva Marco del Agua (DMA). Posteriormente, dicha ley fue otra vez modificada por la **Ley 11/2005 de Modificación del Plan Hidrológico Nacional**. La disposición final primera de esta ley modifica el texto refundido de la ley de aguas TRLA de 2001. Especialmente significativa es la nueva redacción del artículo 25, que plantea la necesidad de coordinar la planificación hidrológica con la territorial y urbanística con el fin de garantizar la aceptabilidad de las actuaciones sobre el dominio público hidráulico y la disponibilidad de agua para consumo humano en condiciones de cantidad y calidad adecuadas. El artículo mencionado incluye la exigencia de que el informe que las Confederaciones Hidrográficas deben emitir de manera preceptiva sobre los planes de ordenación territorial y urbanística se pronuncie sobre la existencia o no de recursos suficientes para satisfacer las nuevas demandas derivadas de aquéllos. Por último, destacamos el **Real Decreto-Ley 4/2007, de 13 de abril, por el que se modifica el Texto Refundido de la Ley de Aguas** que define a qué Administración hidráulica competente corresponden las diferentes autorizaciones de vertido.

- **Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RDPH)**. A los efectos que más interesan en este trabajo, el RDPH establece las normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas, a la gestión de inundaciones y a los nuevos valores de los cauces fluviales. Esta normativa del año 1986 sufrirá una serie de modificaciones desde el año 2000 hasta el 2013 con una serie de Reales Decretos como el **RD 995/2000, de 2 de junio, por el que se fijan objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes** -en el que destaca la actualización el Anejo I “Sustancias preferentes (peligrosas) y objetivos de calidad” -, el **RD 606/2003, de 23 de mayo** –con novedades en el capítulo referente a los vertidos-, el **RD 9/2008, de 11 de enero** –en el que destaca la incorporación de las determinaciones de la **Directiva 2007/60/CE relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación**-, el **RD 1290/2012, de 7 de septiembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas** –que regula el tratamiento de aguas de tormentas e introduce la necesidad de laminación de las mismas (pensando en los tanques de tormentas) para evitar desbordamientos de sistemas de saneamiento-, y el **RD 670/2013, de 6 de septiembre, en materia de registro de aguas y criterios de valoración de daños al dominio público hidráulico** –que plantea nuevos criterios de valoración de daños al DPH y normas de toma de muestras-.
- En noviembre de 2013 se presentó en las instituciones europeas (Comisión y Parlamento) el “**Informe sobre depuración en España**”³⁰ realizado por la Marea Azul del Sur y la Asociación Española de Operadores Públicos de Abastecimiento y Saneamiento (AEOPAS). Dicho informe describe la situación de nuestro país en materia de saneamiento y depuración, destacando los avances en esta materia desde la aprobación en 1995 del Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de

³⁰ Informe sobre depuración en España: <http://www.ecologistasenaccion.es/IMG/pdf/depuracion.pdf>

Aguas Residuales. Aun así, **a España le queda mucho por hacer para poder cumplir con el objetivo marcado por la Unión Europea** a través de la Directiva 91/271/CE.

- El **Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano** supone la trasposición de los requisitos de la Directiva 98/83/CE, de 3 de noviembre de 1998, a la legislación española por la última modificación del 11 de octubre 2013.
- El **Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación** que ha sufrido recientemente una última modificación conforme a la **Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas**. Sus contenidos más significativos en relación con el suministro de agua se recogen en las **Exigencias básicas HS 1: Protección frente a la humedad, HS 4: Suministro de agua y HS 5: Evacuación de aguas** (siendo HS el acrónimo de *Higiene y Salubridad*).

Podemos decir que, en general, la mayor parte de la normativa desarrollada en los últimos 15 años en nuestro país se enmarca dentro de un proceso de incorporación de las directrices de la Directiva Marco del Agua a nuestro territorio. Figueroa (2011) concreta aún más, incluyendo de nuevo en su análisis el caso autonómico de Andalucía: “Desde el año 2000 se viene desarrollando un largo proceso de incorporación de las directrices de la DMA en las diferentes escalas de la legislación estatal y autonómica, destacando en nuestro territorio el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA), la Ley 8/2007 de Suelo, el Plan de Ordenación del Territorio de Andalucía, o la Ley 9/2010 de Aguas de Andalucía”.

Por otro lado, destaca el hecho de que **estas legislaciones asumen, en términos generales, la “necesidad de realización de informes por parte de las administraciones hidráulicas competentes para la aprobación de nuevos desarrollos urbanos**. No obstante, en el caso andaluz, no será hasta la aprobación de la Ley de Aguas de Andalucía en el año 2010, que estos informes se hagan vinculantes” (Aqua-Riba, 2015).

En la misma línea podríamos mencionar el **Decreto 169/2014, de 9 de diciembre, por el que se establece el procedimiento de la Evaluación del Impacto en la Salud de la Comunidad Autónoma de Andalucía (BOJA de 15 de diciembre de 2014)** en el cual están sometidos a esta evaluación determinados planes y programas con incidencia en la salud elaborados por la Administración autonómica, diversos instrumentos de planeamiento y muchas actividades y obras que se recogen en el Anexo I del decreto. Entre las actividades y obras de competencia profesional del arquitecto figuran, como sometidas a EIS (Evaluación del Impacto en la Salud), determinadas obras vinculadas a la urbanización, como plantas de tratamiento de aguas residuales y de tratamiento y gestión de residuos, y estaciones de servicio con carburantes, parques zoológicos, crematorios, etc...

2.1.2.2.3.2. LEGISLACIÓN SOBRE REUTILIZACIÓN DE AGUAS DEPURADAS Y SOBRE REUTILIZACIÓN DE AGUAS PLUVIALES Y GRISES.

Esta legislación se analiza de manera independiente por la importancia que tiene para la presente tesis y la influencia que tendrá, posteriormente, en la selección de tecnologías.

- La **Ley de Aguas, 2001**, antes mencionada, también trata el tema de las aguas depuradas, siendo modificada en determinados artículos por la **Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional («B.O.E.» 23 junio)**, quedando de la siguiente manera:

Capítulo III. De la reutilización de aguas depuradas. Artículo 109. Régimen jurídico de la reutilización.

1. El Gobierno establecerá las condiciones básicas para la reutilización de las aguas, precisando la calidad exigible a las aguas depuradas según los usos previstos. El titular de la concesión o autorización deberá sufragar los costes necesarios para adecuar la reutilización de las aguas a las exigencias de calidad vigentes en cada momento.

2. La reutilización de las aguas procedentes de un aprovechamiento requerirá concesión administrativa como norma general. Sin embargo, en el caso de que la reutilización fuese solicitada por el titular de una autorización de vertido de aguas ya depuradas, se requerirá solamente una autorización administrativa, en la cual se establecerán las condiciones necesarias complementarias de las recogidas en la previa autorización de vertido.

Se suprimen los apartados 3, 4 y 5 del artículo 109.

- Posteriormente, el **Real Decreto 1620/2007 que establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas**, en su artículo 2, define el concepto de **reutilización** y de **aguas depuradas y regeneradas**, más acorde con las posibilidades de reutilización que la norma establece.

También determina los requisitos necesarios para llevar a cabo la actividad de utilización de aguas regeneradas, los procedimientos para obtener la concesión exigida en la ley así como disposiciones relativas a los usos admitidos y exigencias de calidad precisas en cada caso. Esta normativa también comenta los usos en los que **prohíbe la reutilización** de aguas e incorpora dos anexos de interés: el Anexo I recoge los criterios de calidad para la utilización de las aguas regeneradas según los usos. Estos criterios tendrán la consideración de mínimos obligatorios exigibles. Por su parte, en el Anexo II, se detallan los **usos admitidos para las aguas regeneradas** que se pueden observar en el siguiente cuadro:

Usos urbanos autorizados

USO AL QUE SE VA A DESTINAR EL AGUA REGENERADA	
USO URBANO	
Calidad 1.1. residencial	a) Riego de jardines privados b) Descarga de aparatos sanitarios
Calidad 1.2. servicios urbanos	a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares) b) Baldeo de calles c) Sistemas contra incendios d) Lavado industrial de vehículos

Fuente: R. D. 1620/2007, BOE núm. 294 (Sábado, 8 diciembre 2007)

Tras esta revisión, es de destacar que, **en relación al aprovechamiento de aguas pluviales, no existe normativa de la UE y, a nivel estatal o local, no**

existe legislación sobre criterios de calidad sanitaria para el mismo. En cuanto a **criterios de calidad sanitaria para la reutilización de aguas grises en edificios o espacios urbanos tampoco hay una normativa estatal, autonómica o local** que los defina. En el propio Código Técnico de la Edificación no se contemplan las instalaciones de reutilización de aguas grises o de aprovechamiento de pluviales.

2.1.2.2.4. A NIVEL AUTONÓMICO.

2.1.2.2.4.1. LEGISLACIÓN GENERAL.

En algunas normativas autonómicas se observa que existe ya una sintonía con los principios básicos de la Directiva Marco del Agua apreciándose una evolución hacia planteamientos de mayor respeto y defensa de los ríos y arroyos, así como al resto de los recursos naturales, como en el caso de la Ley de Agua para Andalucía, 9/2010 de 30 de julio³¹.

En la misma línea, también se observa que, en algunos casos, se intenta contribuir al Plan Nacional de Calidad de las Aguas 2007-2015, en el que se establecen convenios bilaterales con cada una de las distintas CC.AA., para alcanzar los nuevos objetivos planteados por la DMA. Un ejemplo sería también el caso andaluz de la **Estrategia de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Junta de Andalucía**³².

Otra normativa interesante es la que presta atención a la problemática de las aguas pluviales en el territorio. De nuevo, tenemos como ejemplo un caso andaluz: el **Plan de Prevención de Avenidas e Inundaciones en Cauces Urbanos Andaluces** (Junta de Andalucía, 2002)³³.

También hay **normativas específicas para hacer frente a las situaciones de sequía** como:

- **Decreto 240/2005, de 2 de noviembre, por el que se regulan medidas excepcionales ante la situación de sequía en diversos municipios de Málaga**, aplicable al entorno metropolitano de Málaga y la Costa del Sol Occidental que ha permitido alcanzar tasas históricas en el uso de agua reciclada al prohibirse expresamente el uso de otros recursos para actividades turísticas (campos de golf) o recreativas (jardinería pública y privada).

³¹ En la Ley 9/2010 se dice: "El cuidado del medio ambiente implica la utilización racional de los recursos naturales y dentro de ellos es, sin duda, el agua el bien más relevante por su característica de medio indispensable para la vida, sustento mismo de la vida".

³² Estrategia de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Junta de Andalucía que aboga por un plan de saneamiento y depuración de aguas sostenible en todos los ámbitos: ambiental, social y territorialmente. En este nuevo enfoque prima la conservación ecológica de las masas de agua, en lugar de regenerar la calidad del agua en función de su uso posterior. La sostenibilidad planteada en esta estrategia repercute también en el ámbito económico y financiero.

³³ "El Plan de Prevención de Avenidas e Inundaciones en Cauces Urbanos Andaluces nace con el objetivo de que las acciones antrópicas, en general, y la actividad urbanística, en particular, reduzcan la presión sobre los cauces y, aun protegiendo de las crecidas a las poblaciones colindantes, se recuperen en lo posible las llanuras de inundación para usos compatibles con sus funciones ecológicas y de evacuación de avenidas. La antropización del medio ha generado, en muchas ocasiones, un mayor riesgo frente a las avenidas e inundaciones, por lo que se hace necesario "un nuevo acercamiento de la sociedad a nuestros ríos, integrándolos en el planeamiento de nuestros pueblos y ciudades y en nuestras actividades socioeconómicas" (Junta de Andalucía, 2002).

2.1.2.2.4.2. LEGISLACIÓN SOBRE REUTILIZACIÓN DE AGUAS. DEPURADAS Y SOBRE REUTILIZACIÓN DE AGUAS. PLUVIALES Y GRISES.

En relación a la reutilización de aguas grises o de aprovechamiento de pluviales, a nivel autonómico, **hay casos específicos**, como el de la Comunidad Autónoma Andaluza, donde existe una normativa especial, que se comenta a continuación:

- En el **Decreto 47/2004 de Establecimientos Hoteleros** es especialmente interesante el Artículo 49 sobre Requisitos de instalación de aguas grises, regeneradas y pluviales para hoteles y hoteles-apartamentos.
 1. Los hoteles y los hoteles-apartamentos deberán estar dotados de instalación para la utilización de aguas regeneradas y pluviales para servicio de los inodoros y, en su caso, para las instalaciones de riego.
 2. El suministro de este tipo de agua provendrá de la utilización de la red municipal de agua terciaria, en su caso, o de las aguas grises y pluviales debidamente filtradas y desinfectadas, siendo en este segundo caso responsabilidad de los titulares la desinfección de las instalaciones. En el diseño de la instalación de aguas grises o regeneradas se garantizará la imposibilidad de confundirla con la de agua potable así como la imposibilidad de contaminar el suministro de la misma. A tal efecto, ambas redes deberán ser totalmente independientes y fácilmente diferenciables por color y calidad de los materiales empleados en ellas.
 3. Los referidos establecimientos hoteleros dispondrán de un depósito para el almacenamiento de sus propias aguas grises.
 4. Asimismo, los hoteles y los hoteles-apartamentos dispondrán de un depósito para almacenamiento de las aguas pluviales recogidas en cubiertas que se destinarán al riego y a reserva para el sistema de protección contra incendios. El depósito tendrá una alimentación independiente desde la red municipal, sin que en ningún momento puedan juntarse las aguas de ambos orígenes.
 5. En todo caso, los aljibes de agua potable y de agua de lluvia habrán de guardar la distancia suficiente con las redes de aguas negras para evitar cualquier tipo de contaminación.
 6. Las instalaciones a las que se refieren los apartados anteriores deberán cumplir las determinaciones que establezcan la normativa sectorial y el ordenamiento urbanístico.

Este Decreto, se modificó más tarde con el **Decreto 492/2008 de modificación del Decreto 47/2004 de Establecimientos Hoteleros**.

- **Estrategia de Reutilización de las Aguas Residuales en Andalucía (Marzo 2007)**. La Consejería de Medio Ambiente está analizando las potencialidades presentes y futuras de la reutilización de estas aguas, así como los requerimientos técnicos y tecnológicos necesarios para ello. Los objetivos de esta estrategia, en aras a contribuir a la mejora del estado ecológico de las masas de agua, son:
 - Fomentar y promover el uso del agua regenerada para usos recreativos y agrícolas como fuente sustitutoria de agua de mayor calidad en zonas con alta demanda y escasa disponibilidad de recursos.
 - Establecer los tipos de tratamiento terciario necesarios según el destino final del agua regenerada.
 - Definir las líneas de financiación de las actuaciones propuestas.

2.1.2.2.5. A NIVEL LOCAL

A nivel local, se están realizando algunos documentos de carácter normativo como es el caso de las ordenanzas. En concreto, destacamos **la Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid**, adoptada por el Ayuntamiento de Madrid en 2006, por ser el documento normativo de mayor rigor de entre todos los analizados.

Otro tipo de figuras, aunque no tienen carácter legislativo, son los **Planes Municipales de Gestión de la Demanda** que se han realizado en algunas ciudades españolas. Por ejemplo, destaca el **Plan Municipal de Gestión de la Demanda del Agua de Madrid por su propuesta de crear disposiciones normativas y mecanismos de mercado** que potencien el ahorro y la eficiencia desde la Administración local, entre otras medidas. El plan incluye también **propuestas, alguna de las cuales se podrían incluir en documentos con carácter normativo**, para conseguir una mejor gestión y uso eficiente del agua como:

- La implantación de un sistema de tarificación del agua reutilizada que genere el Ayuntamiento.
- El establecimiento de diferentes programas de eficiencia para uso residencial, dotacional y de los sectores productivos.
- Control de la erosión y contaminación del agua en áreas que se encuentran en construcción y obras en la vía pública.
- Limitación de caudales máximos de riego de parques, jardines y zonas verdes, limitación de horarios o medidas específicas para los campos de golf.
- Creación de un registro municipal de piscinas tanto públicas como privadas.
- Regulación del consumo y mejor mantenimiento para fuentes, estanques e instalaciones hidráulicas ornamentales.
- La creación de la “Casa del Agua”, un foro temático dedicado a la reflexión, divulgación y promoción de esa nueva cultura del agua para conseguir la concienciación de los agentes socioeconómicos y de los ciudadanos de la necesidad de ahorrar agua.

Como otros objetivos de dicho Plan, se pueden citar: el aumento de la eficiencia del consumo de recursos hídricos a medio plazo promoviendo el ahorro de agua potable mediante la reutilización de aguas pluviales y de aguas depuradas para usos compatibles con su calidad, asegurar la calidad y cantidad que se suministra a los ciudadanos o **la disminución del consumo energético asociado al ciclo del agua en la ciudad.**

El Plan **contempla una extensa serie de líneas de actuación que se articulan en programas de gestión, ahorro, eficiencia y reutilización.** Todas estas medidas persiguen no sólo la identificación de consumos sino que también contemplan una serie de previsiones que afectan al diseño y construcción de los nuevos desarrollos urbanos y a la planificación urbanística, promoviendo el uso de materiales permeables en la pavimentación o impulsando el establecimiento de redes de recogida, a través de estudios de viabilidad de la reutilización de aguas pluviales y regeneradas.

2.1.3. TECNOLOGÍAS HIDROEFICIENTES Y SOSTENIBLES EN EDIFICACIÓN Y URBANISMO. REFERENTES EN EL CAMPO DE LA INVESTIGACIÓN, FUENTES DE INFORMACIÓN Y NUEVAS HERRAMIENTAS PARA SU GESTIÓN.

2.1.3.1. PROYECTOS Y PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN RECIENTES EN RELACIÓN AL ÁMBITO DE LAS TECNOLOGÍAS.

Existe un amplio conjunto de programas, proyectos y estudios que suponen un interesante punto de referencia para acometer la investigación. Es importante aclarar que, muchos de ellos, no tienen un carácter estrictamente tecnológico pero se han seleccionado porque, en algún momento, tratan temas en relación a nuevas estrategias y tecnologías, objeto de estudio del apartado.

2.1.3.1.1. SOBRE TECNOLOGÍAS EN GENERAL.

2.1.3.1.1.1. REFERENTES INTERNACIONALES.

A nivel internacional, esta investigación tiene como referencia trabajos de mucho interés, como son:

- **El proyecto SWITCH** (*Managing Water for the City of the future /Gestión del Agua para la Ciudad del Futuro*): Es una importante investigación, financiada por la Unión Europea, en la que han participado instituciones de 15 países y en la cual **se realiza un profundo estudio comparado entre la gestión convencional del ciclo urbano del agua y la nueva visión de la gestión desde una perspectiva integral**. Es una **referencia muy actual del tema desde el punto de vista instrumental y metodológico**, siendo su objetivo desarrollar y mostrar las prácticas urbanas más sostenibles en relación al agua a través del estudio de casos.

El proyecto ha estado organizado en **6 etapas**, con sus correspondientes **módulos de trabajo**. De todos ellos, **los que más interesan** en el presente trabajo de investigación **son los que están más relacionados con las diferentes estrategias y tecnologías**, que son los siguientes:

- Módulo 3: Abastecimiento de agua: problemas, objetivos, alternativas, tecnologías y soluciones para el abastecimiento.
- Módulo 4: Aguas pluviales: opciones, potencialidades, tecnologías, propuestas.
- Módulo 5: Aguas residuales: diagnóstico, eficiencia energética, integración de ecosistemas acuáticos.

Como se puede observar, y **frente a la división tradicional en dos ámbitos de gestión** que son el “abastecimiento de agua” y el “saneamiento de agua”, **este proyecto distingue claramente tres que son el “abastecimiento de agua”, las “aguas pluviales” y las “aguas residuales”**. Esta división se basa fundamentalmente en la caracterización de las aguas y sus calidades en cada uno de los sectores, cuestión crucial a aprovechar en los nuevos modelos de gestión en los que el reciclaje o la reutilización de las aguas son claves.

Además, destacan **entre los recursos** elaborados en el marco del proyecto un kit de herramientas que pretende maximizar los impactos del proyecto

a nivel local, denominado **Kit de Capacitación SWITCH**, así como varios **programas de software en relación a gestión de la demanda, gestión de tormentas y SADs**.

Por último, comentar que este es uno de los casos más claros de los proyectos que no son puramente tecnológicos pero que sí tratan el tema y desarrollando herramientas muy útiles para el desarrollo del trabajo.

- **El programa IHP** (*International Hydrological Programme/ Programa Hidrológico Internacional*): Coordinado y financiado por la UNESCO, es un programa intergubernamental de las Naciones Unidas **dedicado a la investigación sobre el agua, la gestión de los recursos hídricos y la educación y creación de capacidades** y que ha realizado una serie de publicaciones dirigidas al estudio del rol del agua en las ciudades y a los efectos de la urbanización en el ciclo hidrológico y los recursos de agua. Es uno de los programas internacionales más importantes desarrollados a nivel global, que ha propiciado un entramado de relaciones entre los principales centros de investigación del mundo. En sus trabajos **destaca el proyecto “Integrated urban drainage modelling in different climates: tropical, arid and semi-arid and cold”** y ha realizado **publicaciones sobre drenaje urbano** como “Vol. III : Urban drainage in arid and semi-arid climates” o “Guidelines on non-structural measures in urban flood management”.
- **Cities of the Future Programme/Programa Ciudades del Futuro**: Desarrollado por la Asociación Internacional por el Agua (IWA): Es un programa **enfocado hacia la seguridad del agua en las ciudades y en cómo el diseño urbano y la gestión del agua pueden ser repensadas de cara a minimizar el consumo de los escasos recursos naturales y a incrementar la cobertura de los servicios** de agua y saneamiento en los países en desarrollo. Además, estudia específicamente la Huella hídrica y energética para comunidades sostenibles. Tiene **tres horizontes de actuación que, de alguna manera, tienen relación con el ámbito tecnológico**:
 - Corto Plazo: optimización del diseño y operación de los sistemas existentes en el espacio construido.
 - Medio Plazo: implementación de nuevos sistemas de diseño que permitan sistematizar la reutilización del agua y la recuperación de energía en los nuevos crecimientos periurbanos.
 - Corto y Largo Plazo: replanteamiento de los espacios construidos para alcanzar niveles significativos de eficiencia en el uso de nuevas tecnologías y principios de diseño.
- **El proyecto NOVIWAM** (*Novel Integrated Water Management Systems for Southern European Regions/Sistemas de Gestión Integral del Agua para regiones del Sur de Europa*): Liderado por la antigua Secretaría General de Aguas de la Junta de Andalucía y financiado también por el 7º Programa Marco de la Unión Europea, tiene **como objetivo establecer vínculos entre autoridades, investigadores y empresas del sector de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) e identificar y priorizar esfuerzos de investigación y desarrollo en áreas científicas estratégicas** de la GIRH.

El Plan de Acción ha priorizado cinco **acciones** a realizar inicialmente, **dos de las cuales tienen cierta relación con el ámbito tecnológico de esta tesis:**

- Sistema Integral para el diagnóstico de las pérdidas en redes de distribución basados en GIS (SIG-Sistemas de Información Geográfica).
- Desarrollo de modelos de predicción de la respuesta en áreas urbanas, a causa de episodios de tormentas.
- **Water Life:** Son una serie de proyectos insertos dentro del Programa LIFE de la Unión Europea específicamente destinados a contribuir a la implementación de políticas europeas en relación al agua a través de la financiación de proyectos piloto que desarrollen nuevas tecnologías y demuestren su viabilidad en la mejora la calidad del agua.
Destaca **EU-WATER European Comission Water Policies**. Existen una gran cantidad de programas, proyectos y acciones que están siendo liderados y financiados desde la Unión Europea con el **objetivo general de proteger los recursos hídricos y racionalizar el uso del agua**.
Trabajan en **varias líneas de investigación**, de las que algunas de las cuales **tienen relación con el ámbito de esta tesis doctoral:**
 - Gestión de riesgo de inundación: Programa de Acción y Directiva europea sobre Inundaciones.
 - Escasez de agua y sequía: con especial relevancia en las regiones del Sur. Destacan en este programa las actividades encaminadas a la eficiencia en el uso del agua en la edificación.
- **El proyecto AQUAENVEC** (*Evaluación y mejora de la eco-eficiencia del ciclo urbano del agua a través de LCA y LCC*): Es un proyecto financiado por EU Life que se propone combinar la evaluación ambiental (LCA) y el análisis del impacto económico (LCC) en un estudio exhaustivo de la eco-eficiencia del ciclo urbano del agua, de manera que sirva como soporte para una mejor toma de decisiones por parte de los agentes implicados. En él **se generarán como resultados un conjunto de indicadores ambientales, económicos y de eco-eficiencia** que ayuden a la toma de decisiones, **así como una herramienta de fácil manejo para la evaluación ambiental y económica dirigida a usuarios no expertos** en LCC y LCA del ámbito de la política y los gestores de agua.
Se **pretende así identificar aquellos procesos y tecnologías con una mejor relación coste-efectividad y menores impactos ambientales** en ciudades europeas medianas y pequeñas, así como un conocimiento compartido y metodologías comunes para la evaluación del CUA.
Será aplicada a dos casos de estudio: uno en la cuenca Atlántica (Galicia) y otro en la Mediterránea (Cataluña).
- **El proyecto MELIA Community of Practice:** Financiado por la Unión Europea, **pretende estructurar el diálogo entre los actores afectados y los responsables de la gestión del agua**, tales como científicos, profesionales, responsables de la toma de decisiones técnicas y políticas, proveedores, educadores y ciudadanos, y así crear las condiciones para proponer escenarios de consenso que promuevan la convergencia de las políticas de agua en la región Euro-Mediterránea.

Como **áreas de trabajo de interés** para el presente proyecto de investigación destacan:

WP2. Evaluación de las perspectivas tecnológicas en la gestión del agua.

WP3: Uso racional de los recursos de agua.

WP10: Indicadores de sostenibilidad, sociales y de eficiencia.

- **El proyecto WaND** (*Water Cycle Management of New Development /Gestión del ciclo del agua en Nuevos Desarrollos*): Coordinado por la University of Exeter (UK) pretende generar una guía con directrices y herramientas para el diseño, implementación y gestión integrada y sostenible del agua en nuevos desarrollos urbanos. El proyecto no incluye la intervención en edificios existentes, la eficiencia energética de las opciones de gestión consideradas, ni la gestión del riesgo de inundaciones, que es trabajada en otro proyecto específico. Su **objetivo era la “Guía sobre gestión del ciclo del agua en nuevos desarrollos” que servirá para sugerir herramientas, tecnologías y enfoques que ayuden a desarrollar los planes para la gestión sostenible del agua en los nuevos desarrollos.** Se pensó en el año 2001 para nuevos crecimientos a desarrollarse en el Reino Unido.

En esta tesis **interesa especialmente la línea de trabajo sobre Tecnologías de gestión sostenible del agua: uso eficiente, captación de pluviales, reciclaje de aguas grises y SUDS.**

- **El proyecto TRUST** (*Transition to the urban water services of the Future*): Financiado por la Unión Europea, **su objetivo central es generar una base de conocimiento que permita la transición hacia los Servicios de Agua Urbana del futuro**, permitiendo así a las comunidades alcanzar la sostenibilidad y bajar las emisiones de CO₂ sin comprometer la calidad del servicio.

Se pretende alcanzar el objetivo principal **a través de la investigación en la gobernanza, la tecnología, la modelización, las herramientas de toma de decisiones y los nuevos enfoques para integrar la evaluación de la gestión del agua, la energía y las infraestructuras.**

Una línea de trabajo de especial interés para esta tesis es **“Opciones tecnológicas y operacionales”**, que tendrá como objetivo el desarrollo de tecnologías y mecanismos de gestión que proporcionen herramientas, métodos y modelos que mejoren la planificación y gestión del ciclo integral del agua urbana, así como la relación agua-energía.

También realizan varios estudios de caso, siendo el principal el de Oslo. También estarán Algarbe (Pt); Atenas (Gr); Comunidad de Madrid (Es); Ámsterdam (PB); Hamburgo (Al); Schiphol (PB); Ciudades de Scotland (UK) y Bucarest (Ro).

- **El proyecto SANITAS** (*Sustainable and Integrated Urban Water System Management*): Financiado por el 7º Programa Marco de la Unión Europea y coordinado por la Universidad de Girona, **pretende detectar las deficiencias existentes en la gestión de los Sistemas Urbanos de Agua (SUA) en Europa y la necesidad de implementar nuevas tecnologías sostenibles** a través del desarrollo de una base que integre la tecnología, el conocimiento y la acción.

Los **objetivos del proyecto** son:

- 1) Introducir nuevas metodologías para la **preparación de la próxima generación de profesionales de los SUA**.
- 2) **Extender el conocimiento base y la aplicación de la innovación en las necesidades y requerimientos tecnológicos** y sociales del futuro.
- 3) Generar estructuras de formación para el conocimiento intersectorial compartido.
- 4) Proporcionar conocimiento científico que asegure **que las políticas públicas se enmarcan dentro del contexto de la innovación tecnológica**.
- 5) **Explorar potencialidades y requerimientos tecnológicos**, políticos y del conocimiento que posibiliten la integración supradisciplinar necesaria en los modelos avanzados de SUA.

El proyecto, **compuesto a su vez de 14 proyectos de investigación individuales**, todos ellos vinculados a la gestión de los SUA, alcanzará sus objetivos en base a **tres estrategias principales**:

- 1) **Capacitando a los científicos en las metodologías, tecnologías y habilidades complementarias** que sean consideradas más apropiadas para posibilitar la transformación de las prácticas existentes en la actualidad (estado del arte).
- 2) **Proporcionando tecnologías mejoradas** para su aplicación práctica.
- 3) Proporcionando herramientas para el perfeccionamiento de las políticas públicas en relación a la innovación y el medio ambiente que permitan transformar las prácticas de gestión de SUA y garantizar la llegada de nuevos profesionales preparados y motivados.

Las **líneas de trabajo** de interés para esta tesis doctoral son:

ER2. **Tecnologías integrales avanzadas para la reutilización del agua.**

ER3. **Desarrollo de herramientas para el control del coste-efectividad de SUA**

ER4. **Investigación avanzada en sistemas de reutilización del agua y sus impactos en el medio receptor.**

- **El proyecto PREPARED (*Prepared Enabling Change*):** Financiado por la Unión Europea, **pretende demostrar que la adaptación a las modificaciones producidas como consecuencia del Cambio Climático de los sistemas de abastecimiento y saneamiento urbano de diez ciudades europeas, a nivel tecnológico, político y de gestión, puede resultar efectiva a nivel de costes, eficiente energéticamente y exportable a otras áreas urbanas de Europa o del resto del mundo.**

El proyecto clasifica para su análisis los **factores de riesgo en tres categorías**:

- Escasez de agua y sequía; incremento de la temperatura y urbanización.
- Inundaciones, subida del nivel del mar e incremento de las precipitaciones.
- Calidad del agua y otros factores de riesgo; incremento de la temperatura, subida del nivel del mar y urbanización.

En base a estos factores de riesgo y a una serie de estrategias de adaptación propuestas, el proyecto genera una "Matriz de Iniciativas" donde se recogen ejemplos de buenas prácticas desarrolladas en todo el mundo como mecanismos para mitigar las consecuencias del Cambio Climático.

Centrándose en la resolución de las problemáticas que en la actualidad más preocupan a nivel local y global en relación a la gestión de los sistemas de agua, **el proyecto proporciona una gran batería de recursos bibliográficos y ejemplos de aplicación de las nuevas tecnologías del agua.** Las ciudades que participan en el proyecto son: Aarhus (Di); Barcelona (Es); Berlín (Al), Eindhoven (PB); Genova (It); Gliwice (Po); Estambul (Tk); Lisboa (Pt); Lyon (Fr); Oslo (No); Simferopol (Uc) y Gales (UK).

- **El proyecto Ecocity:** Financiado por la Comisión Europea y coordinado por la University of Economy in Viena, **consistió en el desarrollo simultáneo de siete proyectos piloto en siete ciudades europeas** con realidades muy diferentes -Trinitat Nova en Barcelona (España), Tübingen (Alemania), Umbertide (Italia), Tampere (Finlandia), Trnava (Eslovaquia), Gyor (Hungría), Bad Ischl (Austria)-, con el fin de dilucidar qué criterios y qué instrumentos comunes podían constituir la base de unas directrices europeas para el desarrollo de ciudades sostenibles **para, finalmente, desarrollar un Manual para el diseño de Ecociudades en Europa** que plantea los procesos de desarrollo urbano como procesos integrales, complejos y cíclicos. Esto supone la superación de planteamientos sectoriales en favor de otros más holísticos, la incorporación de la participación como proceso de intervención de abajo a arriba y la identificación de las fases de mantenimiento y obsolescencia como parte del proceso.

Uno de los sectores analizados fue el relacionado con flujos de energía y materiales y dentro de estos flujos se considera de manera concreta el agua.

2.1.3.1.1.2. REFERENTES NACIONALES.

Como **proyecto** de mucho interés a nivel autonómico, en la que la doctoranda ha tomado parte muy activa, se cita a continuación:

- **El proyecto AQUA-RIBA** (Aqua-Riba 2013-2015): Podemos destacar el carácter innovador de este proyecto desarrollado en el ámbito andaluz que **propone**, por su ausencia en Andalucía, **herramientas metodológicas que faciliten la incorporación de criterios de gestión sostenible del agua en la realización de proyectos arquitectónicos y urbanos.** El proyecto surge de la necesidad de incorporar, de una manera concreta y contextualizada, la Nueva Cultura del Agua en las políticas públicas de intervención sobre el patrimonio urbano de las ciudades andaluzas.

La compatibilidad entre la función ecológica del ciclo del agua y la satisfacción de las necesidades sociales en el espacio habitado en relación a este recurso se convierten en la piedra angular de esta investigación. La Gestión Integral del Ciclo Urbano del Agua (GICUA) plantea entender los procesos vinculados a la gestión del agua en el espacio habitado como un solo sistema, cuya eficiencia se debe considerar en las diversas escalas donde interviene (arquitectónica, urbana y territorial), incorporando tecnologías innovadoras y flexibles que permitan la descentralización de una parte importante de estos procesos, minimizando así sus cargas ambientales.

Es un **proyecto pionero en la sistematización de soluciones tecnológicas y constructivas que**, a partir de una comprensión integral de los ciclos hídricos, **mejoren la eficiencia de su gestión** en el diseño y configuración de los espacios habitados.

Todo el trabajo realizado **se ha materializado en una guía** para su utilización por técnicos, responsables políticos, sector empresarial y demás agentes implicados en los procesos de planificación y diseño de proyectos arquitectónicos y urbanos.

Por otro lado, si analizamos a nivel nacional o autonómico los **grupos de trabajo e investigación** que están tratando, en alguna de sus líneas, el uso eficiente de los recursos hídricos, la gestión del ciclo urbano del agua en general o las tecnologías sostenibles, podemos destacar los siguientes:

- **El Instituto Tecnológico del Agua (ITA)** dependiente de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV): Realiza sus investigaciones en relación a la gestión urbana del agua, **centrando muchas de sus investigadores en tecnologías concretas**, destacando en gestión de pluviales y, especialmente, en estudios sobre SUDS.
- **La Fundación Ecología y Desarrollo (ECODES)**: Está formada por un grupo de profesionales que desean contribuir a un desarrollo sostenible mediante la generación de alternativas ecológicamente sostenibles, socialmente justas y económicamente viables, y una de sus líneas de trabajo es “eficiencia del agua” habiendo participado en muchas publicaciones sobre el tema.
- **La Fundación Nueva Cultura del Agua (FNCA)**: Está formada por un grupo de personas de España y Portugal que promueve un cambio en la política de gestión de aguas para conseguir actuaciones más racionales y sostenibles. En concreto, son profesionales procedentes de diferentes ámbitos (académico, empresarial, cultural, social...) que, a través del conocimiento científico y con sensibilidad social, defienden una Nueva Cultura del Agua dirigida hacia la sostenibilidad ambiental, trabajando para recuperar los ecosistemas acuáticos (fuentes, ríos, riberas, lagos, humedales...) que son la máxima expresión de la vida en nuestro planeta, defendiendo la recuperación del valor patrimonial, cultural, emocional, estético y lúdico de nuestros ríos en una sociedad que, según ellos, ha confundido progreso con negocio creyendo preciso introducir cambios profundos en las escalas de valores y en los modelos de vida. Defienden la necesidad de una nueva ética que reoriente las relaciones sociales en torno a los usos y la percepción del agua y de la naturaleza en general. Han trabajado, sobre todo, desde un punto de vista educativo y divulgativo, incluso en el ámbito tecnológico.

La cuestión es que en ninguno de los casos anteriores se ha recogido el conjunto de todas las tecnologías de gestión sostenible del agua para la realización de proyectos en Arquitectura y Urbanismo. Sólo en el caso de la guía del Proyecto Aqua-Riba (2015), se realiza una recopilación completa de tecnologías pero sin llegar a analizar en profundidad las repercusiones constructivas, espaciales o económicas de las mismas.

2.1.3.1.2. SOBRE LA GESTIÓN DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA.

2.1.3.1.2.1. REFERENTES INTERNACIONALES.

Los trabajos o proyectos localizados no se han considerado de interés para el desarrollo del presente trabajo.

2.1.3.1.2.2. REFERENTES NACIONALES.

Como proyectos donde se traten tecnologías en relación con el abastecimiento destacan:

- **El proyecto RENOVEA:** Desarrollado por ZINNAE (acrónimo de “Zaragoza Innova en Agua y Energía”) que es un “Clúster Urbano para el uso eficiente del agua” promovido por el Ayuntamiento de Zaragoza, cuyo **objetivo era cuantificar el impacto económico y ambiental de la renovación de tecnología para el uso del agua en las viviendas** (grifería, duchas, inodoros e instalaciones comunes de edificios –depósitos).

Pero este proyecto sólo es uno de los muchos que desarrolla ZINNAE, una Agrupación Empresarial Innovadora (AEI) cuya vocación es la demostración y el impulso de la I+D+i en el uso eficiente y sostenible del agua y del consumo de energía en el ámbito urbano.

Para el cumplimiento de los objetivos, se han definido **cuatro ejes de actuación** con sus correspondientes líneas de trabajo de los cuales nos interesan especialmente las siguientes:

1. Proyectos demostrativos:

- Estudios sobre la demanda urbana de agua en Zaragoza.
- Proyectos demostrativos para la mejora de la eficiencia y la sostenibilidad de la demanda urbana de agua.

2. I+D+i, nuevas tecnologías y experimentación:

- Impulso y apoyo de proyectos de I+D+i.
- Identificación y difusión de nuevo conocimiento y tecnologías emergentes.
- **Capacitación de los profesionales del sector** (arquitectos, instaladores, comerciantes, etc.).

En cuanto a **otros grupos de trabajo e investigación**, podemos destacar los siguientes:

- **El Instituto Tecnológico del Agua (ITA)**, dependiente de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV): Es de destacar el trabajo realizado en la Línea de trabajo “**Uso Eficiente del Agua en el suministro urbano**” y en la Línea de Investigación de su Escuela de Doctorado “**PROPT-ED 10: Las galerías de servicios como estrategia sostenible en el espacio subterráneo urbano**”.
- **La Fundación Ecología y Desarrollo (ECODES)**: Ha trabajado en el área de la Eficiencia Hídrica, desarrollando varias publicaciones sobre las que destacan las dedicadas a los **dispositivos de ahorro** o a la **jardinería eficiente**.

2.1.3.1.3. SOBRE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.

2.1.3.1.3.1. REFERENTES INTERNACIONALES.

- **El proyecto DAYWATER:** Financiado por la Unión Europea y coordinado por CEREVERE (Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Eau, la Ville et l'Environnement) (Francia), tiene como **objetivo principal la elaboración de una herramienta de Adaptada de Apoyo a la toma de Decisiones para la integración del control de las aguas de escorrentía en estrategias de diseño urbano sostenible.** Para ello se elabora el prototipo **Hydropolis**, un interface de usuario de fácil uso y accesible desde la web del proyecto, en el que se recopilan los resultados obtenidos.

El resultado del proyecto lo componen herramientas, documentos y bases de datos que han sido recopiladas en el interface desarrollado, el cual se ha puesto a prueba en cuatro estudios de caso realizados en Alemania, Francia, Suiza y Reino Unido.

Las aportaciones principales han sido:

- Asistencia para un enfoque integral en la gestión urbana de pluviales.
- Soporte para el proceso de toma de decisiones a través de SADs.
- Impulso de la transparencia en los procesos de toma de decisiones
- Gestión del conocimiento con posibilidad de actualización a partir de las experiencias de los usuarios.
- Adaptación a cada proyecto específico.

Destaca el Catálogo de tecnologías y herramientas de dimensionado de SUDS.

2.1.3.1.3.2. REFERENTES NACIONALES.

- **El proyecto AQUAVAL para la gestión eficiente del agua de lluvia en entornos urbanos:** Coordinado por Ayuntamiento de Xátiva y financiado por EU Life + 2008 Community Initiative y la Diputación de Valencia, **pretende dar soluciones innovadoras a problemas relacionados con la cantidad y la calidad de las escorrentías urbanas en la provincia de Valencia,** integrando parte de la infraestructura hídrica en el paisaje y morfología de los municipios **con el empleo de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS),** disminuyendo así los impactos del desarrollo urbanístico y aportando valores sociales y ambientales a las actuaciones programadas.

Con ello el proyecto **plantea visibilizar, tanto en España como en la Región Mediterránea, la viabilidad de este tipo de soluciones,** así como la importancia de incorporarlos en los procesos de planificación urbana. Además, el proyecto tiene en especial consideración las particularidades de la Región Mediterránea tales como los largos periodos secos combinados con episodios de precipitaciones fuertes, ciudades densas y muy impermeabilizadas y sistemas unitarios de saneamiento, que diferencian a sus ciudades de las de otras regiones europeas. **El proyecto resulta pionero en la implementación de SUDS en España,** especialmente en su cuenca mediterránea. Se prevé que sus resultados puedan servir de base para la implementación de estas infraestructuras en otros lugares del territorio español y de la región.

Las líneas de acción son:

- Análisis de la situación actual y propuestas para la implementación de instalaciones de SUDS.
- Diseño, construcción y monitorización de 6 experiencias demostrativas de SUDS.
- Redacción de 2 Planes de Gestión Sostenible de Pluviales.
- Redacción de Ordenanzas y normativas municipales de pluviales.
- Difusión y promoción del uso de SUDS.

Se han construido instalaciones experimentales en municipios valencianos como Xàtiva y Benaguasil como estudios de caso del funcionamiento de este tipo de instalaciones en las regiones del Sur de Europa.

2.1.3.1.4. SOBRE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

2.1.3.1.4.1. REFERENTES INTERNACIONALES.

- **El proyecto NaWaTech** (*Natural water systems and treatment technologies to cope with water shortages in urbanized areas in India*): Es un **proyecto de colaboración y cooperación entre India y Europa** compuesto por entidades de ambos lugares cuyo **objetivo es explorar, evaluar y mejorar el potencial de los sistemas naturales de tratamiento de aguas** con el fin de mejorar su eficiencia y fiabilidad para hacer frente a la escasez de agua en la India. La idea de NaWaTech se basa en un **uso optimizado de los flujos de agua urbana, desde un enfoque de “barreras múltiples”**. Teniendo en cuenta la distinta naturaleza y el grado de contaminación, **cada flujo de agua es gestionado, tratado y reutilizado de forma individual, complementando así las fuentes tradicionales de agua** para hacer frente a la escasez en los asentamientos urbanos de la India.

Pretende desarrollar un sistema que utilice un enfoque integral de la gestión del agua. Este enfoque debe incorporar diferentes acciones:

- Intervenciones sobre el ciclo integral del agua
- **Optimización del uso del agua a través de la reutilización de aguas residuales** y la prevención de la contaminación de las fuentes de agua.
- **Priorización de sistemas de baja escala con tecnologías naturales, flexibles, con buenas relaciones coste – eficiencia, y de fácil operación y mantenimiento.**

Los **objetivos científicos** concretos son los siguientes:

- **Pre-tratamiento de las aguas residuales de alta resistencia** (es decir, aguas negras) antes de introducirlas en humedales artificiales.
- **Humedales artificiales** para mejorar la calidad de las diferentes fuentes de agua urbana (es decir, aguas negras, aguas grises y aguas pluviales); **acoplamiento potencial con el tratamiento del acuífero del suelo** (por ejemplo, estanques de infiltración).
- Capacidad de filtración del suelo a través **del tratamiento de acuíferos del suelo o el Banco Filtración** para la generación de fuentes de agua (indirectas), con **potencial de combinación con otros sistemas de tratamiento de aguas naturales para la mejora de la calidad global.**
- Las **soluciones técnicas de tratamiento compactas adaptadas a cargas elevadas**, especialmente en las zonas urbanas.

- **Unidades de postratamiento potenciales** (por ejemplo, filtros de arena, filtros de membrana y de desinfección con radiaciones UV).

2.1.3.1.4.2. REFERENTES NACIONALES.

En nuestro contexto más cercano es interesante destacar determinados **grupos** que están trabajando en el ámbito de las tecnologías de depuración:

- **El CENTA** (Centro de Nuevas Tecnologías del Agua): Es una entidad que ha estudiado de manera especial las **tecnologías blandas de depuración de aguas**.
- **La Escuela Internacional de Ingeniería del Agua de Andalucía (EIA)**: Coordinada por el Grupo TAR de la Universidad de Sevilla y dirigido por el Dr. Julián Lebrato Martínez, su actividad se centra sobre todo en **proyectos de desarrollo de tecnologías del agua posible**.

2.1.3.2. CASOS DE BUENAS PRÁCTICAS SOBRE APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS.

2.1.3.2.1. SOBRE TECNOLOGÍAS EN GENERAL.

A continuación, se exponen casos ejemplares donde se ha realizado la aplicación de nuevas tecnologías de manera global, y bajo criterios de sostenibilidad, a la mayor parte de las cuales se hace referencia en la guía elaborada en el marco del Proyecto Aqua-Riba (Aqua-Riba, 2015), donde se realizó una interesante prospección en este sentido:

2.1.3.2.1.1. EXPERIENCIAS A NIVEL INTERNACIONAL.

Entre esas experiencias, se pueden destacar las siguientes:

- **El proyecto SWITCH** (*Managing Water for the City of the future /Gestión del Agua para la Ciudad del Futuro*): Ya mencionado anteriormente, su objetivo era desarrollar y mostrar las prácticas urbanas más sostenibles en relación al agua, y destaca por realizarse dicha demostración a través del **estudio de casos ejemplares desarrollados en una serie de ciudades** como Lima, Alejandría, Zaragoza, Tel Aviv, Beijing, Lodz, Birmingham, Accra, Hamburgo, Bogotá, Cali y Belo Horizonte.
En concreto, en la ciudad de Alejandría (Egipto) el proyecto SWITCH ha realizado una experiencia piloto para intentar gestionar el agua en países en vías desarrollo con actuaciones como:
 - **Control de consumo de agua mediante dispositivos de ahorro de agua en viviendas** como la sustitución de cabezales de ducha, la colocación de aireadores en los grifos para reducir la velocidad de flujo, el montaje de un dispositivo de desplazamiento en los sanitarios para reducir el volumen utilizado durante el lavado o el reemplazo de inodoros en los hogares (pasando de cisternas de 12 litros a otras de 4,5 o 3 litros de doble descarga).
 - **Uso de recursos hídricos alternativos** para conservar el agua potable de calidad, utilizando las aguas subterráneas para el riego de zonas verdes y parques infantiles.
- **El proyecto en Artheton Gardens en Melbourne (Australia)**: Ha sido promovido por el Gobierno de Australia en los años 2005-2006 en Artheton Gardens que es una urbanización de vivienda pública construida en los años

70. Antes de la remodelación, el barrio disponía de un solar vacío degradado con escasos arbustos que generaba problemas de seguridad. El proyecto supuso una reconversión del paisaje, **incorporando cuatro sistemas de diseño urbano adaptados a la buena gestión del agua, y un modelo de jardín basado en el uso de plantas con requisitos bajos de agua (Xerojardinería).**

Llama la atención que se desarrolla un plan para motivar a los inquilinos a utilizar detergentes ecológicos, menos perjudiciales para el riego del jardín, dado que éste se riega con aguas regeneradas.

Con respecto a la gestión del agua, el proyecto incorporó diferentes tecnologías sostenibles como:

- **Instalaciones de aprovechamiento del agua de lluvia para riego**, en la que el agua se dirige directamente a las raíces de las plantas por goteo.
- **Zonas de biorretención-jardines de lluvia**, que permiten un tratamiento efectivo de la escorrentía, la mejora de la calidad del agua de escorrentía y la creación de un elemento atractivo para el paisaje.
- Tratamiento del agua de escorrentía del agua de lluvia procedente de un aparcamiento: Ésta se recoge por un sistema de bajantes cuyas salidas en la base del edificio se desvían hacia un separador de grasas, seguido de un **swale (canal vegetado)** de 55 m y un **sistema de biorretención** con suelo arenoso, que evacúa finalmente en un colector de aguas pluviales.
- **Sistema de tratamiento de aguas grises alternativo**: Las aguas grises de lavanderías comunitarias ubicadas en cada planta de cada bloque se desvían a un sistema compuesto por un filtro de pretratamiento, un tanque de detención y un **humedal subsuperficial**, que actúa como el sistema de tratamiento y forma un elemento característico del paisaje. Se prevé que en el futuro, el agua almacenada ofrezca un recurso continuo para el riego de los jardines, aunque en la actualidad no existe un sistema de monitorización que permita garantizar la calidad del agua y por tanto el cumplimiento de la normativa.
- **Xerojardinería**: Se remodelan los jardines bajo el uso de plantas *xerófilas*, mejorando el paisaje y disminuye el uso del agua para su mantenimiento.

Como resultados destacan el aumento del rendimiento del sistema con una reducción de la demanda de agua potable para riego en 2.500 m³/año y, además, el sistema de tratamiento de aguas pluviales elimina unos 250 Kg de sedimentos al año, evitando que alcancen el sistema de saneamiento.

- **La experiencia en Beddington Zero Energy Development (BedZED)**: Se realiza en un conjunto residencial de Energía Cero ubicado en Hackbridge (Londres), que responde a la necesidad de nuevas viviendas sociales y ha reconvertido 1,6 hectáreas de terrenos baldíos de una antigua depuradora abandonada en un ejemplo atractivo y asequible de vivienda sostenible. La ecoeficiencia de BedZED supone que todo el barrio sea casi autosuficiente en términos de energía eléctrica y de consumo de agua. **La integración de una instalación de recogida de las aguas pluviales junto a un sistema de tratamiento de las aguas residuales *in situ***, del tipo *living-*

machine, ha permitido una notable reducción de la demanda de agua potable.

Para llegar a reducir el 50% el consumo de agua con relación a la media nacional (150 l/p/d), en BedZED se han dado soluciones como:

- **Instalación de dispositivos ahorradores de agua** en los hogares, con electrodomésticos eficientes (lavadoras, lavavajillas), cisternas de bajo consumo y reductores de caudal en duchas.
- **Planta de tratamiento de agua residuales “Living Machine”**, combinación innovadora de los enfoques tradicionales y modernos para el tratamiento de aguas residuales, consistente en una planta de lodos activados con aireación extendida. El proceso consta de dos tanques sépticos subterráneos en línea, seguidos de una serie de tanques de tratamiento que tratan el agua biológicamente.
- **Instalación de recogida de las aguas pluviales** que ahorra agua, mediante la recogida, el tratamiento y su posterior utilización del agua de lluvia.
- **Incorporación de gravas en el revestimiento** de la superficie de los aparcamientos, con el fin de minimizar la escorrentía.
- La distribución a todos los residentes de una **guía que contiene consejos para reducir el consumo de agua** en los hogares y anima a la población a adoptar buenos hábitos de selección de los residuos.

Está previsto que el 18% del consumo diario de Bedzed provenga de la utilización del agua de lluvia (recogida de los tejados, calles y aceras), reciclada en la planta de tratamientos y almacenada en tanques de almacenamiento colocadas bajo las viviendas. Esta agua se utiliza para el inodoro y riego del jardín.

- **El Distrito de Augustenborg en Malmö (Suecia):** Es el ámbito de aplicación de un Programa de Renovación Urbana en el que se aplica la estrategia de *Ekostaden (Ecociudad)*, abordando la zona como un todo integrado para transformarla en un distrito ecológico. Se trata de una zona castigada por el desempleo y las inundaciones estacionales debido a un inadecuado sistema de drenaje, que a su vez provocan una alta tasa de problemas de salud. El objetivo era acabar con ambos problemas.

En el proyecto se incorporan, además de los **sistemas para la mejora del drenaje urbano**, otras estrategias de sostenibilidad como los **centros para el reciclaje de basuras, cubiertas vegetales, sistemas de energías renovables**, etc.

El proyecto ha incorporado:

- Un **sistema abierto de gestión de agua de lluvia** que incorpora **canales de flujo y recolección de agua**. Existe un total de 6 km de canales artificiales y naturales de agua en Augustenborg, que recogen un 90% de la escorrentía de agua lluvia de techos y otras superficies duras.
- El **sistema de cubiertas vegetales**, siendo el primer jardín botánico del mundo construido en un tejado, con una zona de demostración de unos 9.000 m² en la que se muestra el hábitat local y que ayuda a retener el agua de lluvia. El espacio verde total en la Ecociudad ha aumentado en

un 50% desde el inicio del proyecto, atrayendo pequeños animales silvestres y aumentando la biodiversidad en un 50%.

- **Contadores de agua individuales.** Permiten controlar el uso del agua por parte de los usuarios, así como **importantes ahorros energéticos** al disminuir el consumo de agua caliente, que es la responsable de la tercera parte del consumo energético en las viviendas.

Los canales, combinados con las cubiertas verdes, han frenado eficazmente las inundaciones en la zona, además de aumentar la biodiversidad y dar a Augustenborg un aspecto atractivo único.

- **El Programa de Mejoramiento del Sistema de Aguas (*Water System Improvement Program, WSIP*):** Fue instaurado por la Comisión de Servicios Públicos de San Francisco/San Francisco Public Utilities Commission (**SFPUC**) -organismo público de la Ciudad y Condado de San Francisco que se encarga del abastecimiento, depuración y servicios de energía eléctrica de la ciudad- y tiene como objetivo reparar y mejorar sistemáticamente el sistema de agua local y regional, con el ambicioso objetivo de convertirse en una “ciudad de emisión cero” en 2030, implementando soluciones innovadoras centradas en dos ámbitos principales como son el agua y la energía. Para los intereses del presente trabajo de investigación, se pueden destacar las siguientes iniciativas:

- **Programa de Reducción de la Demanda y Recursos Alternativos**

- **Proyectos de Infraestructuras Verdes (SUDS)** que facilitan la integración de pavimentos permeables y jardines drenantes en el paisaje urbano para gestionar las aguas pluviales a través de la infiltración, reduciendo presión sobre el sistema de alcantarillado y contribuyendo con ello a la disminución del riesgo de inundaciones y vertidos no depurados.

Como herramienta de apoyo a los planificadores la SFPUC ofrece revisiones de proyectos, directrices de apoyo, asistencia técnica y **guías entre las que destaca la de *Diseño de la Gestión de Pluviales (Stormwater Design Guidelines)* o la *Guía de Uso Eficiente del Agua (Water Efficient Landscape)*.** También ha elaborado un ***Manual de Diseño para riego con aguas grises***. Estas publicaciones han sido una fuente de información importante para el presente proyecto.

En relación con los **sistemas de gestión del agua y la aplicación de tecnologías**, la SFPUC ha puesto en marcha:

- La instalación de **sistema de recogida de aguas pluviales** en el hogar, que entre otras ventajas, proporciona un recurso alternativo para usos domésticos de menor exigencia como el riego.
- El **uso de aguas grises** supone la reducción del uso de agua potable y de los flujos al sistema de alcantarillado. El agua gris procedente del aseo personal se destinará al riego de jardines. A su vez, en otoño de 2015 se pondría en marcha un Programa de Lavandería (Laundry-to-Landscape) que reutilizará las aguas grises provenientes de las lavadoras para el riego de jardines.
- El uso de **jardines de lluvia con vegetación y pavimento permeable en las áreas de estacionamiento** ha embellecido y modificado visualmente

el espacio urbano, haciéndolo más acogedor para los peatones y los ciclistas.

- Ha realizado **experiencias de utilización de agua reciclada para riego de parques y campos de golf.**

Por último, y teniendo en cuenta la importancia en este proyecto de la relación agua-energía, es de destacar que el sistema ofrece un **agua potable que se distribuye por gravedad** casi en su totalidad, lo que requiere un consumo mínimo de energía.

2.1.3.2.1.2. EXPERIENCIAS A NIVEL NACIONAL.

- **La Ecociudad de Sarriguren (Navarra):** Se trata de un proyecto basado en los principios del llamado EcoUrbanismo, en el que se plantea, entre otras muchas estrategias, la **gestión responsable de los recursos y residuos urbanos, incluyendo la gestión del ciclo completo del agua.** En concreto, la edificación también está construida bajo criterios bioclimáticos y medioambientales, lo que reduce la demanda energética con estrategias y soluciones arquitectónicas de carácter pasivo, como por ejemplo la cubierta vegetal.

Uno de los principios de esta Ecociudad es la gestión completa del ciclo del agua, siendo las **estrategias llevadas a cabo** en el proyecto las siguientes:

- Control del consumo de agua mediante la **implantación de sistemas de ahorro de agua en viviendas**, como dispositivos de difusión de agua para duchas, pulsadores automáticos y reducción del tamaño de las cisternas, y programas de concienciación del uso del agua.
- **Depuración de las aguas residuales** procedentes de la Ecociudad de Sarriguren, a través del **sistema separativo de aguas grises y negras.**
- **Recogida y utilización de aguas pluviales.**
- **Retención de las aguas de escorrentía.**
- **Aliviar el efecto de “isla de calor”** en la zona urbana gracias al papel singular que cumple el Lago, regulando el caudal ecológico del Barranco Grande y sirviendo de toma de agua para el sistema de riego. La vegetación, especialmente los árboles, han contribuido de forma positiva a mejorar las condiciones térmicas.
- **Xerojardinería** mediante la elección de especies autóctonas adecuadas a las condiciones climáticas, buscando sistemas eficientes de riego, como el goteo y la microaspersión, y utilizando recubrimientos que reducen las pérdidas por evaporación.
- **El Ecobarrio de Trinitat-Nova:** Se trata de un proyecto de regeneración urbana integral que ha supuesto la creación del primer Ecobarrio de Barcelona, el «Barrio del Agua».

El **conjunto de medidas** que se propusieron para una utilización sostenible del recurso agua son las siguientes:

- Consumo racional de agua, mediante el **control de pérdidas de agua potable**, la implantación de **instalaciones de agua según criterios de ahorro de agua y de energía**, así como la **implantación de aparatos sanitarios ahorradores de agua.**

- **Reciclaje de las aguas grises** mediante un sistema de doble tubería tanto para su recogida como para el suministro. Como algo especial, llama la atención que para conseguir un buen rendimiento, se propone conectar al sistema las duchas/bañeras, los lavamanos y los bidés y un **sistema semicentralizado con una planta depuradora cada dos bloques** de viviendas.
- **Depuración natural de aguas grises.**
- **Cubiertas verdes.**
- **Pavimentos permeables**, diseñándose zonas de aparcamientos para vehículos con un pavimento empedrado de mosaico consistente en un 50 % de losas muy resistentes y un 50% de tierra vegetal.
- **Xerojardinería** que pretende obtener espacios verdes de alta calidad urbana y a la vez de bajo mantenimiento y consumo de agua.

2.1.3.2.2. SOBRE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

En el campo de las aguas residuales, en nuestro país, se han desarrollado varias prácticas interesantes.

Como experiencias en las que se han probado y comparado diferentes tecnologías de tratamiento de aguas de tipo sostenible y no convencional, destacan:

- **La Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (PECC)** en Carrión de los Céspedes (Sevilla). En esta planta se han experimentado varias tecnologías que se enumeran a continuación:
 - La **Fosa Anaerobia de Alta Velocidad (FAV)** usada para el tratamiento primario de aguas residuales urbanas, mediante reactor de flujo pistón, compartimentado en tres cámaras a mezcla completa.
 - El **Canal Autoconstruible de Saneamiento (CAS)** que es un sistema de saneamiento basado en zanjas rellenas de un lecho de piedra, debidamente organizadas, para el transporte subsuperficial de aguas residuales y mejora de su calidad. Se ha aplicado, también, a la modificación del diseño para la mejora de la fiabilidad de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal.
 - El **Sistema Baccou** como sistema terciario de desinfección natural por sobreoxigenación mediante el empleo de microalgas. Se ha plantado el estudio de otra forma de naturalización de cauces.
- Los **Campos Experimentales Blanco White** en el Complejo Educativo BW en Bellavista (Sevilla). En este caso se han experimentado:
 - El **Canal Autoconstruible de Saneamiento (CAS)**. En concreto, se están estudiando nuevos materiales de relleno para los CAS y la mejora de los circuitos de aireación.
 - La **Fosa Anaerobia de Alta Velocidad (FAV)**. En este caso, se está estudiando la modificación de la compartimentación de la FAV para la separación de las fases hidrolítica, acidogénica y acetogénica con respecto a la metanogénica y para conseguir un aumento de la velocidad de la digestión anaerobia y de la producción de biogás.

- La **laguna de naturalización**. Se está estudiando la reutilización de aguas residuales urbanas para la cría de peces y para cultivos. Además, se plantea la regeneración de estos espacios para ocio.
- El **Sistema Baccou** como sistema terciario de desinfección natural por sobreoxigenación mediante el empleo de microalgas.
- La **aireación natural en lechos bacterianos modificados**.
- La **oxigenación de aguas en escalera**. En concreto, se analizan los efectos de la energía potencial y la modificación del régimen hidráulico en la oxigenación de aguas.

Por otro lado, destaca, una experiencia realizada en la Universidad de Murcia en la que se ha estudiado más detenidamente una única tecnología:

- **La Depuración Simbiótica de Aguas Residuales:** Es una experiencia desarrollada en la **Universidad de Murcia** que estudia en módulos de escala un tratamiento de aguas residuales del Campus de Espinardo mediante un sistema patentado por el geólogo Javier Fábrega González denominado “depuración simbiótica”. Visto los excelentes resultados del sistema y dada la necesidad de construir una estación depuradora en el Campus, se solicita la colaboración de Esamur para llevar a cabo una experiencia a tamaño real. La Depuración Simbiótica combina simultáneamente dos procesos: la depuración de las aguas residuales mediante un sistema subterráneo de goteo sobre lechos de grava, y la generación de espacios verdes asociados a las instalaciones de depuración, especialmente en la zona que cubre los lechos, además de otros detalles técnicos propios de esta tecnología. El proyecto tiene, igualmente, una orientación paisajística y medioambiental, ya que **permite el desarrollo de nuevas tecnologías de depuración compatibilizándolo con la reutilización de las aguas y la creación de espacios verdes sostenibles**.

Adicionalmente, el sistema incorpora humedales artificiales donde el proceso autodepurador mejora la calidad del agua tratada.

La implantación del sistema de depuración simbiótica es un **ejemplo de proyecto de reutilización descentralizada de agua urbana** en una de las regiones más áridas de Europa y ha supuesto:

- El tratamiento de las aguas residuales con una mejora en la calidad de las aguas.
- Un alto rendimiento hidráulico al reducir la pérdida de agua por evaporación, dado que el sistema es subterráneo.
- Ha facilitado la creación de humedales y contribuye a su mantenimiento, beneficiando a la flora y a la fauna.
- Creación de zonas verdes, aumentando la biodiversidad con un nulo coste ambiental.
- Menor consumo energético frente a una EDAR convencional.
- La reducción casi total en las aguas de la materia orgánica originada en el Campus.

2.1.3.3. BIBLIOGRAFÍA Y OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN SOBRE TECNOLOGÍAS.

Como se puede observar en las siguientes referencias, a pesar de que muchas son del máximo interés y, de hecho, han sido una fuente fundamental para la elaboración de este trabajo de investigación, ninguna de las publicaciones encontradas recogen en su totalidad las tecnologías para una gestión sostenible del agua y, además, en algunas publicaciones no se observa ningún tipo de orden o sistematización de las mismas y la información encontrada está muy diseminada.

En general, la mayoría de las publicaciones encontradas realizan un estudio parcial de las tecnologías. Además, algunas se limitan a recomendaciones poco científicas aisladas sobre algunos recursos técnicos.

2.1.3.3.1. SOBRE TECNOLOGÍAS EN GENERAL.

Fuera de nuestro país, como libros que pretenden sistematizar las diferentes tecnologías para una gestión sostenible del agua, destacan *The Green Studio Handbook. Environmental Strategies for Schematic Design* de Kwok y Grondzik (2007 y 2011), *Sustainable Infrastructures: the guide to green engineering and design* (Sarte, 2010) y *Strategies for sustainable architecture* (Sassi, 2006), aunque en ninguna de ellas están recogidas todas las tecnologías.

En nuestro país, entre las publicaciones que estudien el conjunto de las tecnologías de los ámbitos del ciclo urbano del agua destacan las de Arizmendi Barnes (1991, 1996 y 2007) -que, aunque de mucho interés en sus planteamientos, no detallan todas las tecnologías de interés para el presente trabajo-, la de Rubio Requena (1979), Trapote (2011) o el curso de López Patiño (2008) en la que nombra algunas de las tecnologías (dispositivos de ahorro, sistemas de aprovechamiento de pluviales o reutilización de aguas grises).

2.1.3.3.2. SOBRE LA GESTIÓN DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA.

Los **dispositivos de ahorro** es uno de los temas sobre los que más se ha publicado desde el año 2000, destacando varias guías: en Valencia, *la Guía de sistemas de ahorro de agua en la edificación*; en Madrid, *la Guía de Hidroeficiencia Energética* (2012); en Barcelona, *El ahorro de agua doméstica. Guía del usuario* (2010) o, en el País Vasco, *la Guía práctica de tecnologías ahorradoras de agua para viviendas y servicios públicos* (Viñuales et al, 2002).

Otro de los campos más estudiado es la **Xerojardinería** destacando dos guías: una de la Fundación Ecología y Desarrollo (Viñuales et al, 2002) y el *Manual de Xerojardinería. Guía pràctica per a l'ús eficient de l'aigua al jardí a les Illes Balears* (Barceló Roig y Uyá Martín, 2011).

2.1.3.3.3. SOBRE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES.

En general, hay mucha bibliografía sobre la **gestión de aguas de tormenta**, como *Stormwater management practices and detention for water quality, drainage and CSO management* (Urbonas y Stahre, 1993). También abundan los manuales de diseño, como *Storm Water Design Guide Lines* (San Francisco Public Utilities Commission, 2009), *Low impact Development Manual for South* (California Low impact Development Center, 2010), *Low Impact Development: a design manual for urban areas* (University of Arkansas Community Design Center, 2010) o la

Guía de diseño y especificaciones de elementos urbanos de infraestructura de aguas de lluvias (Gobierno de Chile, 2005).

Pero, sobre todo, destaca la enorme proliferación en los últimos años de publicaciones sobre **SUDS**. A nivel internacional, destacan las publicaciones de CIRIA (1996, 2000 y 2004): *Infiltration drainage-Manual of good practice*, *Sustainable urban drainage systems: A design manual for England and Wales* o *Sustainable drainage systems: Hydraulic, structural and water quality advice o The SUDS Manual* (Woods-Ballard et al, 2007). A nivel nacional, es fundamental el trabajo realizado por el ITA de la Universidad de Valencia, destacando la obra de Sara Perales y su equipo sobre el uso de SUDs.

En otra línea, más centrada en el **aprovechamiento de aguas de lluvia**, destaca la *Guía técnica de aprovechamiento de aguas pluviales en edificios* (AQUAESPANA, 2011), pero limitándose a una única tecnología y en el ámbito de los edificios.

2.1.3.3.4. SOBRE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

En este apartado, **a nivel de edificación**, destaca por su rigor, la publicación *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y Técnicas de Reciclaje*, de Palma Carazo (2003). También es de interés la *Guía técnica española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios* (AQUAESPANA, 2011). Ambas publicaciones, de mucho interés, no entran en tecnologías a nivel de espacio urbano. A escala de edificio, pocas publicaciones nombran el *saneamiento seco* aunque también hay ejemplos como el de Castillo (2012).

A escala de espacio urbano, es de un enorme interés la recopilación que se ha hecho en el *Manual de implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones* (CEDEX-CENTA, 2010) que ha sido de gran ayuda para la elaboración de este trabajo de investigación o el *Manual de tecnologías no convencionales para depuración de aguas residuales* (CENTA, 2009). También, a nivel nacional, destaca el trabajo realizado por el Grupo TAR como *Investigación y desarrollo tecnológico en ingeniería del agua posible. Desarrollo de canales abiertos de saneamiento (CAS)* (2008) o por algunos de sus integrantes como *Tratamientos convencionales y posibles del agua* (Lebrato y Pozo-Morales, 2011) u otros de Pozo-Morales et al (2013 y 2014).

También a nivel nacional hay varias publicaciones dedicadas al estudio de los humedales artificiales y la depuración: *Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: La EDAR de Los Gallardos en Almería* (Lahora) o *Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales* (Lara, 1999) o sobre otro tipo de tecnologías sostenibles usadas en depuración como el *Manual para la construcción de biojardineras. Iniciativa Integrada para un Ambiente Urbano Sostenible* (Rosales, 2006).

También se pueden destacar, como publicaciones de interés a nivel urbano, realizadas fuera de nuestras fronteras: *Procesos extensivos de depuración de aguas residuales* (Comisión Europea, 2001), *Pond Treatment Technology*

(Shilton, 2005) o *Constructed Wetlands Manual* (United Nations Human Settlements Programme, 2008).

2.1.3.3.5. SOBRE LA GESTIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-ENERGÍA.

Hay publicaciones de todo tipo que se centran en la relación agua-energía, tanto a **nivel internacional**, como en *California's Water- Energy Relationship* (California Energy Commission, 2005), *Integrated Policy and Planning for Water and Energy* (Wang, 2009) o *Water Conservation = Energy Conservation* (Tellinghuisen, 2009), como **en nuestro país**, como es el caso de *El binomio agua -energía. ¿Un asunto de moda o de interés real?* (Cabrera, 2011), *Eficiencia energética y regulación económica en los servicios de agua potable y alcantarillado* (Ferro y Lentini, 2015) o *Estudio de la huella energética del abastecimiento urbano de agua de la provincia de Almería* (Martínez Rodríguez, 2011).

Es evidente que este tema está adquiriendo una gran importancia y cada vez está más presente en los debates sobre la gestión de los recursos hídricos en la actualidad. De hecho, la ONU (2014a y 2014b) está dándole una importancia especial últimamente mediante conferencias e informes en relación a este tema.

2.1.3.4. NUEVAS HERRAMIENTAS DE GESTIÓN: LOS SADS EN EL ÁMBITO TECNOLÓGICO.

Es importante llamar la atención sobre la existencia de programas de Ayuda a la Toma de Decisiones (SADs), como buenas herramientas para gestionar grandes cantidades de datos y modelar el impacto de estrategias y escenarios plausibles.

Los SADs “se basan habitualmente en programas informáticos que pueden ser utilizados para recopilar, evaluar y presentar la información referente a un sistema donde las actividades humanas y procesos naturales interactúan. Estos programas no toman decisiones por sí mismos, sino que administran y presentan la información para servir de soporte a aquellos que han de tomarlas, permitiéndoles aprender de acciones pasadas y explorar las posibles intervenciones. La disponibilidad de información es, sin duda, el factor que más restringe el éxito de una modelización de este tipo. La principal ventaja de utilizar diferentes técnicas de modelado es la oportunidad de analizar al mismo tiempo la complejidad de un gran número de interacciones dentro del sistema, de acuerdo con los diferentes parámetros de entrada. Las combinaciones de opciones se pueden analizar también simultáneamente en lugar de analizar cada opción de manera aislada” (Aqua-Riba, 2015).

En este apartado del Estado de la Cuestión, únicamente se van a enumerar aquellos que tienen alguna relación con el ámbito tecnológico de manera general, pues los específicos de cada uno de los ámbitos (Abastecimiento, Pluviales o Residuales) serán comentados en las Fichas Tecnológicas, resultado del presente trabajo.

De todos los programas disponibles, **interesa destacar cuatro por su afectación respecto al ámbito de las tecnologías:**

- **El UWOT** (*Urban Water Optioneering Tool/Herramienta de estudio de opciones del agua urbana*): Es una herramienta muy útil desarrollada por miembros del grupo de investigación ITIA, perteneciente al Departamento de Ingeniería Ambiental y Recursos Hídricos de la Universidad Técnica Nacional de Atenas, sometida a un

proceso continuo de desarrollo a través de proyectos como el SWITCH. Con ella se pueden realizar modelizaciones del conjunto del ciclo urbano del agua, incorporando todos los usos del agua y las tecnologías disponibles para su gestión. UWOT permite un análisis y evaluación de los efectos combinados de las diferentes alternativas de intervención en múltiples escalas, a través de una serie de indicadores (económicos, sociales y ambientales).

UWOT simula tanto flujos de agua convencionales (abastecimiento, pluviales y residuales), como aquellos que se corresponden **con intervenciones integradas (aguas grises, escorrentía, captación de pluviales)**, caracterizando cada uno de ellos según su calidad y caudal, y produciendo su agregación desde la escala de la vivienda, la barriada y el sistema en su conjunto. Permite asimismo introducir datos ambientales (temperatura y pluviometría) y realizar simulaciones en base a diferentes periodos temporales.

Una vez construido el modelo, UWOT permite evaluar en base a una serie de indicadores (cantidad y calidad del agua, gasto energético, costes, etc.), **diferentes combinaciones de tecnologías aplicables**, así como la respuesta de éstas a diferentes escenarios futuros.

Es de destacar, por cuanto tiene que ver con aspectos relacionados con este trabajo, que **es posible realizar una estimación de la energía requerida por las instalaciones de agua.**

- **AQUA CYCLE (e-Water Tool Kit):** Es un programa que sirve también para la modelización del ciclo del agua. Se comenta en el presente trabajo porque tiene **como objetivo integrar las opciones de reutilización de las aguas pluviales y residuales dentro del sistema urbano** como alternativa a los principales usos del agua potable. La integración de estos diferentes elementos permite la elaboración de un balance detallado del ciclo urbano del agua, útil como herramienta principal para evaluar el impacto de las diferentes estrategias en la gestión urbana del agua, pudiendo especificarse el resultado diaria, mensual o anualmente. Permite un amplio rango de soluciones para ser investigadas a diferentes niveles, variando desde viviendas individuales a opciones centralizadas que sirvan a desarrollos enteros. Algunos ejemplos de **opciones alternativas que se incluyen en el modelo son: captación de agua, reutilización de aguas grises y almacenamiento en los acuíferos.**
- **Urban Developer (e-Water Urban Tool):** Es otro programa de modelado y toma de decisiones para el diseño del ciclo urbano del agua, basado en todos los elementos del sistema (pluviales, residuales y de consumo) y considerando un amplio rango de opciones que **incluyen el reciclaje de aguas, recursos alternativos y dispositivos eficientes de ahorro.**
- **COFAS:** Desarrollado dentro del proyecto SWITCH, permite la comparación de la flexibilidad de las diferentes alternativas de planeamiento usando sistemas de evaluación multi-criterio. **Es especialmente útil en el planeamiento de sistemas de drenaje urbano, gestión de aguas residuales** y planeamiento de desarrollo urbano, evaluando la flexibilidad que cada sistema proporciona para poder adaptarse a los retos futuros.

Tras este repaso al estado actual de la cuestión y a partir de él, se pasa a desarrollar la presente tesis doctoral.

2.2. METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Este apartado pretende situar la presente investigación dentro de una determinada corriente epistemológica y exponer los métodos de razonamiento utilizados para la obtención de los resultados.

El trabajo de investigación se ha desarrollado siguiendo el *método inductivo* en el cual, partiendo de una serie de conocimientos sobre tecnologías obtenidos en diferentes bases de información, se ha pretendido sistematizarlas mediante una investigación, a su vez, de los diferentes sistemas de organización existentes para lo que se ha realizado adicionalmente un análisis de fuentes de datos desde el punto de vista metodológico. Así, con ambos análisis previos –de las posibilidades tecnológicas y de los métodos o criterios de organización- se ha pretendido llegar a unos resultados o conclusiones de carácter general.

Además, también se ha seguido un *método racional* en el sentido de que se ha partido de una serie de conocimientos con el objetivo de llegar a su sistematización mediante el uso de la razón y la lógica, con la pretensión final de mejorar la transmisión de éstos a sus destinatarios finales que son los técnicos implicados en la planificación urbana, facilitándoles así la aplicación real en sus proyectos.

En el trabajo se han combinado el *método analítico* y el *método sintético*. Este último no es posible sin el primero, que permite un buen conocimiento de la realidad estudiándola en toda la complejidad para después poder sacar conclusiones. De esta manera, se ha empezado con un *análisis* exhaustivo de las fuentes de datos para terminar el proceso con una *síntesis* de los conocimientos en el proceso de la sistematización.

Por último, se estudian también las posibles combinaciones de los elementos de estudio –las tecnologías, en este caso- analizando sus posibles relaciones o conexiones que nos permiten obtener una serie o conjunto más o menos homogéneo de conclusiones que se pretenden útiles para el objetivo del proyecto.

A partir de la exposición de estos aspectos, a continuación se enumeran las **fases o etapas de las que consta el método** desarrollado:

- **Fase 1:** Selección y justificación de tecnologías hidroeficientes y sostenibles actualmente disponibles.
- **Fase 2:** Selección y justificación de parámetros de interés de las diferentes tecnologías para su caracterización.
- **Fase 3:** Elaboración de modelo para recogida de información. Propuesta de modelo de *ficha*.
- **Fase 4:** Definición de criterios de clasificación o sistematización de las tecnologías.
- **Fase 5:** Reorganización y ordenación de la información seleccionada. *Manual de tecnologías*.
- **Fase 6:** Análisis y revisión crítica de las tecnologías y sus repercusiones espaciales, constructivas y económicas en la edificación y en los espacios libres de nuestras ciudades.
- **Fase 7:** Valoración global de resultados. Evaluación del impacto de su aplicación en el ámbito arquitectónico y urbano.

A partir del desglose del método, se pretende explicar de manera sucinta en qué consiste cada una de estas siete fases o etapas.

2.2.1. FASE 1: SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS HIDROEFICIENTES Y SOSTENIBLES ACTUALMENTE DISPONIBLES.

En esta fase, se ha realizado una selección de las tecnologías sostenibles aplicables hoy día en el ámbito de los edificios y los espacios urbanos que conforman nuestros núcleos de población a partir de la información localizada en la revisión que se ha hecho de la materia en el Estado de la Cuestión, previamente expuesto.

Como primer paso, para llevar a cabo dicha elección, se ha considerado **indispensable la definición previa de los criterios de selección de dichas tecnologías** a partir de la concreción de las líneas estratégicas que es indispensable seguir para la posible implantación de los nuevos modelos de gestión del Ciclo Urbano del Agua. Por un lado, se han definido las estrategias o líneas de trabajo del conjunto del ciclo del agua y, posteriormente, las de cada uno de los ámbitos que lo forman, terminando con la enumeración de medidas concretas en las que se enmarcarían las diferentes tecnologías. Por último, **se finalizaría la etapa con la enumeración de** aquellas tecnologías que se enmarcan de alguna manera en estas líneas de trabajo y que serán las que constituirán el núcleo central de la investigación: **las tecnologías sostenibles**. Además, como ya se ha indicado, **se aclara y justifica específicamente la no elección de otras** por no cumplir alguno de los criterios o condiciones de partida del presente trabajo.

2.2.2. FASE 2: SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE INTERÉS DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA SU CARACTERIZACIÓN.

En esta etapa, se analizan los diferentes parámetros que caracterizan a las tecnologías intentando **seleccionar aquellos que puedan ser más interesantes a la hora de facilitar la elección** de las mismas en los proyectos.

Aunque, en el apartado correspondiente, se concretarán las características específicas seleccionadas, a continuación se enumeran los *campos de información* en los que dichas características se han agrupado, para una mejor comprensión de las mismas:

1. Denominación de la tecnología.
2. Descripción de la tecnología.
3. Requisitos, condicionantes y criterios de aplicación de la tecnología.
4. Resultados previsibles de su aplicación a nivel medioambiental y de la salud.
5. Costes.
6. Recomendaciones para su inserción en proyectos.
7. Otras fuentes de información específicas.

2.2.3. FASE 3: ELABORACIÓN DE MODELO PARA RECOGIDA DE INFORMACIÓN. PROPUESTA DE MODELO DE FICHA.

Se plantea, en esta fase, una **propuesta de organización de los parámetros** que se decidió recoger en la anterior fase sobre cada una de las tecnologías para una presentación clara y útil a los técnicos destinatarios de la información.

2.2.4. FASE 4: DEFINICIÓN DE CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN O SISTEMATIZACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS.

En este caso, se trataba de concretar los **criterios que permitiesen un sistema de organización de la información útil para los técnicos**, para lo que se ha tenido muy en cuenta las nuevas formas

de clasificación de los proyectos de investigación nacionales e internacionales más recientes por ser acordes a las nuevas tendencias encaminadas al cambio de los modelos de gestión.

Finalmente, entre todos los que se han analizado, **se han seleccionado únicamente dos** por considerarse suficientemente aclaratorios y, en concreto, son:

- El *sector* al que pertenece la tecnología (abastecimiento, pluviales, residuales, etc...) pues permite su rápida ubicación en el Ciclo Urbano del Agua sin que esto signifique, en ningún caso, su aislamiento del resto.
- El tipo de *medida* de intervención porque permite entender el tipo de actuación de que se trata (medidas no estructurales *versus* estructurales) y a qué línea estratégica concreta pertenece.

Por otro lado, se ha pretendido facilitar la rápida localización de las tecnologías mediante el **uso de códigos** que las sitúan en los diferentes niveles de clasificación.

2.2.5. FASE 5: REORGANIZACIÓN Y ORDENACIÓN DE LA INFORMACIÓN SELECCIONADA. MANUAL DE TECNOLOGÍAS.

En esta fase, se presenta la información elaborada mediante los criterios anteriormente seleccionados a modo de *manual*.

Se comienza con la **presentación de su estructura** definitiva, continuando con una **descripción de las medidas o estrategias comunes en las que se enmarcan las diferentes tecnologías divididas ya por ámbitos de actuación** -y donde ya se aporta información común a los diferentes grupos de tecnologías que se enmarcan en cada uno de dichos ámbitos y en cada una de las medidas estratégicas- y se termina con la **información detallada de las tecnologías** presentada en forma de *fichas*.

2.2.6. FASE 6: ANÁLISIS Y REVISIÓN CRÍTICA DE LAS TECNOLOGÍAS Y SUS REPERCUSIONES ESPACIALES, CONSTRUCTIVAS Y ECONÓMICAS EN LA EDIFICACIÓN Y EN LOS ESPACIOS LIBRES DE NUESTRAS CIUDADES.

Se analizará y profundizará en las consecuencias de la implantación de las tecnologías en los ámbitos urbano, edificatorio y del usuario.

Se pretende realizar dicho análisis en dos niveles:

- Aplicación de tecnologías de manera individual.
- Aplicación de tecnologías de manera conjunta o en bloque. La interacción entre tecnologías.

2.2.7. FASE 7: VALORACIÓN GLOBAL DE RESULTADOS. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO DEL USUARIO Y EN LOS ÁMBITOS ARQUITECTÓNICO Y URBANO.

A partir del análisis anterior, se intentará analizar el impacto global que la aplicación de este tipo de tecnologías supone en la arquitectura y el urbanismo y en la concepción de los espacios habitados, las formas de proyectar y construir, así como de ocupar estos últimos.

2.3. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL MATERIAL ELABORADO. PRESENTACIÓN Y VALORACIÓN DE RESULTADOS

2.3.1. SISTEMATIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS HIDROEFICIENTES Y SOSTENIBLES.

En esta fase, como se ha comentado en el apartado de la Metodología, se ha realizado una selección de las tecnologías sostenibles aplicables hoy día en el ámbito de los edificios y los espacios urbanos que conforman nuestros núcleos urbanos.

2.3.1.1. SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS HIDROEFICIENTES Y SOSTENIBLES ACTUALMENTE DISPONIBLES.

Como primer paso, para llevar a cabo dicha elección, se ha considerado indispensable la definición previa de los criterios de selección de dichas tecnologías **a partir de la concreción de las líneas estratégicas** que es indispensable seguir para la posible implantación de los nuevos modelos de gestión del Ciclo Urbano del Agua.

Inicialmente, se han definido las **estrategias o líneas de trabajo del conjunto del ciclo del agua y, posteriormente, las de cada uno de los ámbitos** que lo conforman, a partir de las cuales se han enumerado medidas concretas en las que se enmarcarán las diferentes tecnologías.

2.3.1.1.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN. LA DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS. MEDIDAS CONCRETAS EN LOS DISTINTOS ÁMBITOS DE GESTIÓN.

2.3.1.1.1.1. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS GENERALES PARA LA GESTIÓN CONJUNTA DEL CICLO URBANO DEL AGUA.

Para seleccionar las tecnologías más “ecológicas” de gestión del Ciclo Urbano del Agua, se ha partido de una serie de estrategias generales planteadas desde el principio de la Sostenibilidad acorde con lo explicado en la exposición de los nuevos modelos de gestión en el Estado de la Cuestión.

De esta manera, las tecnologías deben ir dirigidas a:

- **Minimizar las demandas de agua potable del sistema y el coste energético asociado a ellas –así como el económico derivado de ambas-**, incrementando la eficiencia en el consumo y aumentando el uso de recursos alternativos (aguas pluviales, aguas recicladas o reutilizadas, fuentes alternativas, etc...). En relación al aprovechamiento de pluviales, es esencial, como ya se ha justificado en varias ocasiones en el Estado de la Cuestión, insistir en la separación, desde las primeras instancias del ciclo, de las aguas residuales respecto de las pluviales.
- **Reducir el caudal destinado al saneamiento urbano** mediante sistemas descentralizados de tratamiento y reutilización de las aguas, así como mediante la reducción de la escorrentía urbana.
- **Conseguir el mantenimiento y recuperación de los flujos naturales del agua**, tanto de infiltración como de escorrentía superficial, promoviendo la recuperación de los balances hídricos naturales.

- **Reducir la emisión de CO₂, aumentando su captación en los núcleos urbanos, para luchar contra el cambio climático,** fomentando la implementación de soluciones, siempre bajo criterios de eficiencia, que potencien la **reducción del consumo energético** o/y que favorezcan la **naturalización de las ciudades.**

Estos criterios se han constituido en hilo conductor a la hora de distinguir aquellas tecnologías que interesan o no para implementar la herramienta objeto del presente trabajo.

2.3.1.1.1.2. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS EN LOS DISTINTOS ÁMBITOS DE GESTIÓN DEL CICLO URBANO DEL AGUA Y DEFINICIÓN DE MEDIDAS CONCRETAS.

Tras la exposición de las líneas estratégicas generales, se definen en el presente apartado las estrategias específicas dentro de cada uno de los ámbitos del ciclo urbano del agua.

En ese sentido, es fundamental aclarar que ya se parte de la **propuesta de división en 3 ámbitos** -abastecimiento, aguas pluviales y aguas residuales-, básica en las tendencias de investigación y actuación actuales, frente a la de 2 -abastecimiento y saneamiento- que caracterizaba a los modelos convencionales de gestión.

Por otro lado, también es importante dejar claro desde el principio que, **en ocasiones, hay medidas comunes a distintos campos o que relacionan algunos de ellos.** En ese sentido, a la hora de clasificar las tecnologías, para no repetir información, se ha tenido que optar por asignarlas a aquel donde es mayor la posibilidad de actuación.

Por último y antes de entrar a repasar cada uno de los ámbitos de actuación, comentar que, aunque el núcleo de la investigación son las tecnologías, en este apartado en el que se habla ya de medidas concretas donde se enmarcarán cada una de ellas, **se ha considerado importante añadir en la definición de las líneas estratégicas una serie de ellas, complementarias a las más tecnológicas,** que favorecerían la implementación de las primeras y que tienen que ver con la concienciación de la población de la necesidad de conseguir todos los objetivos anteriores para reducir los daños en el Medio Ambiente así como mejorar su calidad de vida y la de las siguientes generaciones, **que conformarán lo que más adelante denominaremos “medidas no estructurales”.**

- **En el ámbito del abastecimiento**

Son necesarias, fundamentalmente, **estrategias concretas que ayuden a ajustar la demanda a la oferta** obteniendo, si es posible, otros beneficios económicos, sociales y medioambientales. A continuación, se exponen las siguientes:

- **Potenciar,** desde los diferentes ámbitos de la sociedad (legislativo, político, social o educativo), una **nueva forma de plantearse el consumo de agua,** necesaria para la optimización del ciclo del agua en su conjunto.
- **Completar la incorporación de dispositivos y electrodomésticos hidroeeficientes en la totalidad de los edificios** para seguir reduciendo la demanda de agua por parte de éstos.

- **Utilizar recursos alternativos** a las fuentes hídricas tradicionales que reduzcan la presión sobre los ecosistemas naturales. Para ello, se propone la optimización del consumo de agua potable potenciando la **“adecuación de calidades” a los usos (“fit for purpose”)**, mediante la **reutilización y/o reciclaje de las aguas** aprovechando flujos antes desperdiciados (aguas pluviales, aguas grises, etc...).
- **Aumentar el control y el mantenimiento de las redes** para la reducción de la demanda debida a pérdidas o fugas.
- **Mejorar la eficiencia en el uso del agua en los espacios exteriores**, a través de estrategias propias de la **jardinería hidroeeficiente** aplicables a los espacios libres y vegetados de nuestras ciudades y **que permitan un aumento de la naturalización de las mismas**.

A partir de estas líneas de trabajo estratégicas, se exponen los grupos de **medidas concretas** que se han definido en el ámbito del abastecimiento en las que, a su vez, se enmarcarán las diferentes tecnologías:

- Medidas sociales y educativas.
- Medidas económicas y normativas.
- Dispositivos de ahorro de agua.
- Gestión activa de fugas.
- Recursos hídricos alternativos.
- Jardinería hidroeeficiente.

- **En el ámbito de las aguas pluviales**

Por todas las consecuencias comentadas en el apartado del Estado de la Cuestión donde se describe la gestión actual de pluviales, es evidente que hay que buscar nuevas formas de gestión de las aguas pluviales que han sido las grandes olvidadas del siglo XX, además de muy desaprovechadas, entendiendo que es uno de los campos con más posibilidades de actuación.

Las medidas de mejora propuestas en este sector parten de un planteamiento de descentralización en la gestión de las mismas y **pretenden reducir las captaciones de agua de las fuentes naturales** –lo que, claramente, disminuiría la presión sobre los correspondientes ecosistemas- **así como la cantidad de agua a transportar a través de las redes de saneamiento y depurar** posteriormente, en las EDARs **o su posible efecto contaminante por vertidos incontrolados** - fundamentalmente en el caso de las redes unitarias-.

Se plantearían, en ese sentido, cinco líneas estratégicas fundamentales:

- **Potenciar** desde los diferentes ámbitos de la sociedad (legislativo, político, social o educativo) **una nueva forma de entender las aguas pluviales como fuente de riqueza y no como un residuo más del que hay que deshacerse rápidamente**, lo cual mejoraría de manera importante, y por muy diferentes vías, el entorno más cercano al ciudadano y a los ecosistemas acuáticos en su conjunto. Para ello, también es fundamental fomentar desde el ámbito normativo la implantación de medidas tecnológicas que lo faciliten (redes separativas, etc...).
- **Aprovechar el enorme potencial del agua de lluvia como recurso hídrico “alternativo”** –que permite reducir la presión sobre los sistemas naturales-

mediante el principio de “**adecuación de calidades**” a los diferentes usos (“*fit for purpose*”) captándola y usándola en origen, si es posible.

La recogida de agua en depósitos o aljibes (“*rainwater harvesting*”) es una estrategia fundamental en esta línea.

- Permitir **soluciones que incorporen, gradualmente, las aguas a los cauces y acuíferos naturales en las cercanías a las áreas de captación** de pluviales evitando así, además del deterioro de aquellos, la sobrecarga de las redes de saneamiento.

En este caso, una solución fundamental es la aplicación de sistemas de drenaje más ecológicos y más integrados en los sistemas naturales de la zona. Esa es la filosofía de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible o SUDS cuya implantación es una necesidad primordial en nuestros núcleos urbanos al obtenerse múltiples beneficios. Como afirma Sara Perales:

“La necesidad de afrontar este reto desde una perspectiva diferente a la tradicional, que combine aspectos hidrológicos, medioambientales y sociales, está favoreciendo un rápido aumento a nivel mundial del uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

La filosofía de los SUDS consiste en reproducir, en la medida de lo posible, el ciclo hidrológico natural previo al proceso urbanizador, tratando con ello de disminuir la cantidad y mejorar la calidad de la escorrentía, maximizando la integración paisajística y el valor social y ambiental de las intervenciones realizadas.

Estos sistemas de drenaje de agua superficial, que han sido concebidos siguiendo las pautas del desarrollo sostenible, se caracterizan por atenuar el flujo de agua y retenerlo a través de soluciones que permiten que se incorpore gradualmente a los cuerpos de agua receptores. Así, las aguas son infiltradas para alimentar a los acuíferos cercanos, las vías fluviales próximas y la vegetación circundante, incorporando sistemas naturales de depuración que mejoran la calidad ambiental de la ciudad” (Perales, 2014).

Por otro lado, habría que añadir que, en algunos casos, su retención en determinadas zonas accesibles permite, a su vez, su utilización para riego aunque no sea este su objetivo más importante.

- Aplicar soluciones que permitan **reducir las aguas de escorrentía y eviten su acumulación en los espacios urbanos en forma de encharcamientos o inundaciones**, favoreciendo su laminación.

También los sistemas de drenaje sostenibles -comentados en el punto anterior- tienen esa misión por lo que, además de muy interesantes y útiles, son multifuncionales.

Por otro lado, la recogida de agua en depósitos o aljibes (*rainwater harvesting*) ayuda al mismo cometido.

- **Aplicar soluciones cuyo objetivo sea descargar las redes de saneamiento para no sobrecargar las depuradoras y para impedir la posibilidad de contaminación del entorno de las mismas con vertidos inconvenientes** si se sobrepasan los caudales punta.

Las soluciones que permiten la captación o infiltración de las pluviales en las zonas cercanas a las áreas de captación consiguen ese efecto. De nuevo, se recuerda el papel de los aljibes y de los SUDS en este aspecto.

También los lagos y estanques pueden realizar perfectamente esta labor estabilizadora y laminadora de los caudales.

Frente a las soluciones anteriores, se ha estado fomentando -desde una perspectiva más estructuralista- la construcción de *tanques de tormentas* – también llamados *depósitos de retenida o reguladores*- que permiten la laminación de los caudales como respuesta a los *aliviaderos de crecida* en los que el resultado era el vertido al medio natural de los caudales sobrantes “sin ningún tipo de depuración previa” (Arizmendi, 1991). El problema de los *tanques de tormentas* -depósitos reguladores cerrados construidos en hormigón en el subsuelo de calles y plazas situados en puntos críticos- es que se trata de grandes infraestructuras con muchas repercusiones en diferentes ámbitos como, por ejemplo, en lo que se refiere a los altos costes de inversión inicial y de mantenimiento o a los costes energéticos derivados de los bombeos de agua pues, una vez pasado el aguacero y en los casos en que las conducciones se encuentran más elevadas, se vacía el contenido de los mismos achicando con bombas. Estos depósitos son, en realidad, asimilables a las cámaras de decantación o desarenadores.

En este sentido, es importante destacar que, recientemente, el **Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RD 1290/2012), que regula el tratamiento de aguas de tormentas**, ha introducido la necesidad de laminación de las mismas para evitar desbordamientos de sistemas de saneamiento. Esta modificación del reglamento establece que se deben desarrollar los estudios técnicos de detalle que, definan las buenas prácticas y actuaciones básicas para reducir el impacto de los desbordamientos de los sistemas de saneamiento en episodios de lluvia.

En este sentido, el equipo del proyecto Aqua-Riba (2015) opina que “la interpretación que se está haciendo de esta normativa tiende a defender la construcción de *tanques de tormentas*, estrategia que se sitúa en la línea del modelo convencional de gestión del ciclo urbano del agua”.

A partir de estas líneas de trabajo estratégicas, se exponen las **medidas concretas** que se han definido en este ámbito, en las que se enmarcarán las diferentes tecnologías:

- Medidas en el campo del planeamiento y el diseño urbano.
- Medidas en el mantenimiento de los espacios urbanos.
- Medidas sociales y educativas.
- Sistemas de captación y almacenamiento directo de aguas pluviales.
- Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS).

• En el ámbito de las aguas residuales

En este campo, las líneas estratégicas de mejora planteadas, también desde el punto de vista de la descentralización, van **enfocadas a la reducción de la contaminación ambiental** -para conseguir el consiguiente cumplimiento de las directivas europeas- por sus devastadoras consecuencias en los ecosistemas naturales (terrenos, acuíferos, cuencas naturales, etc...) y en el ámbito de la salud. Se enumeran a continuación:

- **Potenciar** desde los diferentes ámbitos de la sociedad (legislativo, político, social o educativo) **la importancia de la separación de las aguas residuales respecto a las pluviales así como la distinción entre los diferentes**

componentes de las primeras en las primeras instancias del ciclo (sólidos y líquidos), que facilitaría también la gestión del ciclo del agua en las ciudades y mejoraría en gran medida los ecosistemas acuáticos y al Medio Ambiente en su conjunto.

- **Conseguir que todas las aglomeraciones urbanas tengan su sistema de depuración** buscando soluciones adaptadas a su tamaño y naturaleza.

En el caso de aglomeraciones urbanas de menos de 2.000 habitantes equivalentes –que son una parte importante de las que aún no cuentan con sistemas de depuración adaptados a la normativa- las **tecnologías no convencionales de tratamiento de agua representan una solución adecuada en muchos casos**. Este tipo de tecnologías son también muy adecuadas para la implementación de sistemas de depuración en aquellas edificaciones y asentamientos ubicados en suelo no urbanizable (SNU), normalmente aislados de los núcleos de población, que pretendan adaptarse a la normativa para regularizar su situación a través del Decreto 2/2012, de 10 de enero, de la Junta de Andalucía.

Aumentar el control y el mantenimiento de las redes de saneamiento para reducir los vertidos ilegales y/o las fracturas de conductos a lo largo del recorrido hacia las depuradoras y los puntos de vertido que puedan suponer puntos de contaminación directa o difusa.

- La **utilización de determinados tipos de agua** (residuales urbanas regeneradas,...), **hasta ahora consideradas de desecho, como recursos alternativos**, mediante sus correspondientes tratamientos que permiten dar otro uso al agua ya utilizada **mediante sistemas de reutilización y reciclaje**. Estos últimos constituyen una importante estrategia de intervención que **puede aplicarse en diferentes escalas:**

- **Reutilización directa de las aguas grises:** Aplicable en el interior de la vivienda.
- **Reutilización de aguas residuales regeneradas:** Aplicable en el riego de parques y jardines, en campos de golf o en la agricultura.
- **Reciclaje de aguas grises a nivel urbano:** Se puede aplicar a nivel de edificios y barriadas y, en este campo, las tecnologías no convencionales tienen un papel importante que cubrir, incluso en grandes aglomeraciones.

En todos los casos, el cumplimiento de la normativa vigente en cuanto a calidades será fundamental.

A partir de estas líneas de trabajo estratégicas, se exponen las **medidas concretas** que se han definido en este ámbito, en las que se enmarcarán las diferentes tecnologías propuestas:

- Medidas en el campo del planeamiento y el diseño urbano.
- Medidas en el mantenimiento de los espacios urbanos.
- Medidas sociales y educativas.
- Sistemas separativos.
- Sistemas compactos de depuración.
- Pretratamientos de aguas residuales.
- Tratamientos primarios.
- Tratamientos secundarios.
- Tratamientos terciarios.

- **En el ámbito de la relación agua-energía**

No hay que olvidar que la **relación entre agua y energía se produce en ambos sentidos**. Determinadas medidas en el ámbito energético pueden reducir la demanda de agua y el ahorro en el consumo de agua produce, a su vez, ahorro de energía -sobre todo, en fases posteriores a la recogida-.

A partir de esta aclaración, se han definido tres líneas estratégicas de intervención:

- **Potenciar** desde los diferentes ámbitos de la sociedad (legislativo, político, social o educativo) **la importancia de promover las sinergias entre ambos recursos** que permitan su aplicación concreta en el ámbito urbanístico y edificatorio por los enormes beneficios que supone para el medio ambiente, en general, y para los ciudadanos, en particular.
- Fomentar las **medidas con las que se obtiene ahorro de agua** y el consiguiente ahorro energético (control de la presión en los puntos de consumo, limitación de las distancias de los puntos de consumo de ACS, etc...).
- Fomentar las **medidas cuyo objetivo es el ahorro de energía** en el ámbito de la gestión del agua (redes partidas, uso de fuentes de energía alternativas, etc...).

Las **medidas concretas** seleccionadas deben buscar el ahorro de ambos recursos y su optimización:

- Medidas en el campo del planeamiento y del diseño urbano y arquitectónico.
- Medidas en el mantenimiento de los espacios urbanos.
- Medidas sociales y educativas.
- Medidas de ahorro de agua en el ámbito energético.
- Medidas de ahorro energético en el ámbito hidráulico.

2.3.1.1.2. SELECCIÓN DEFINITIVA DE LAS TECNOLOGÍAS Y JUSTIFICACION DE LA ELECCIÓN.

En el presente apartado se enumeran ya las tecnologías que se enmarcan, de alguna manera, en las líneas de trabajo anteriores y que serán las que constituirán el núcleo central de la investigación: las tecnologías sostenibles. Además, se aclara y justifica específicamente la no elección o descarte de otras por no cumplir alguno de los criterios o condiciones de partida del presente trabajo.

2.3.1.1.2.1. TECNOLOGÍAS ELEGIDAS.

Las tecnologías enumeradas a continuación son las que se han considerado más adecuadas para una gestión sostenible del ciclo urbano del agua en las escalas consideradas en el presente trabajo: vivienda, edificio y barriada. Por lo tanto, serán aplicables en el ámbito de los edificios y de los espacios urbanos que conforman nuestros núcleos urbanos.

En cada uno de los ámbitos se han introducido aquellas tecnologías que se enmarcan en las medidas seleccionadas dentro de cada uno de ellos, recordando que, en ocasiones, alguna tecnologías puede estar relacionada directamente con más de un sector.

ABASTECIMIENTO

- Dispositivos de bajo consumo para grifos y rociadores
- Griferías hidroeficientes
- Inodoros y urinarios hidroeficientes
- Electrodomésticos de bajo consumo hídrico
- Galerías de servicios
- Sistemas de detección de fugas
- Individualización de contadores en los edificios
- Almacenamiento y recuperación de acuíferos (ARA)
- Xerojardinería
- Sistemas de riego hidroeficientes

AGUAS PLUVIALES

- Captación y almacenamiento de pluviales en aljibes
- Cubiertas vegetadas
- Superficies permeables
- Pozos de infiltración
- Zanjas de infiltración
- Drenes filtrantes o franceses
- Franjas filtrantes
- Cunetas verdes
- Áreas de bioretención
- Depósitos de infiltración
- Depósitos de detención
- Estanques de retención
- Humedales artificiales para aguas pluviales

AGUAS RESIDUALES

- Inodoro seco
- Biojardinería
- Canal de saneamiento aireado.
- Sistema compacto automatizado.
- Arqueta de pretratamiento
- Sistema de desbaste
- Desarenador
- Desengrasador
- Fosa séptica
- Tanque *Imhoff*
- Fosa anaerobia de alta velocidad
- Lagunaje
- Humedales artificiales de aguas residuales urbanas
- Drenes de aireación forzada
- Lechos de turba
- Lechos bacterianos
- Filtros verdes (suelo)
- Sistema de infiltración rápida (suelo)
- Escalera de oxigenación
- Filtros de arena
- Reactor Baccou

AGUA Y ENERGÍA

- Optimización de la presión de suministro
- Agua Caliente Sanitaria termosolar

2.3.1.1.2.2. TECNOLOGÍAS DESCARTADAS.

Como se comentó en el Estado de la Cuestión, por tanto, no están en la lista las tecnologías de ámbito territorial y, específicamente, las que tienen que ver con la mejora del agua para consumo humano.

Por la escala territorial de la tecnología, no se han incluido en las fichas tecnológicas:

- Las **plantas de compostaje**.
- Sistemas de **recogida neumática de residuos sólidos urbanos**.

Por tratarse de tecnologías que tratan de la mejora de la calidad del agua para consumo humano, no se han seleccionado:

- Las **plantas desaladoras o desalinizadoras**.
- **Otras técnicas de potabilización** como determinados tratamientos químicos (oxidación, coagulación-floculación, corrección de pH, etc...) o físicos (sedimentación, filtración y adsorción, desinfección química o radiación).

Por último, hay otras tecnologías que tampoco se han incluido porque, aunque pueden considerarse también sostenibles y tienen cierta relación con el agua, realmente no forman parte del ciclo urbano del agua como determinadas **técnicas de naturalización** que se pueden desarrollar en el ámbito de los edificios y los espacios urbanos que reducen específicamente el efecto "isla de calor" en las ciudades y aumentan la captación de CO₂ evitando contribuir al efecto invernadero causa del cambio climático tan denunciado en la actualidad.

El ejemplo más significativo es el siguiente:

- **Los jardines verticales, jardines murales, fachadas verdes o fachadas vegetadas**. Es una tecnología, muy de actualidad, que los no especialistas confunden a menudo con un SUDS siendo un sistema que no cumple ninguna de las funciones y objetivos de éstos (retención, infiltración, laminación, tratamiento, etc...). Tampoco es una solución que permita un ahorro de agua específico sino que son las técnicas de riego utilizadas las que lo hacen. Las nuevas mejoras proporcionan un control individual de riego sobre cada planta, aumentando la eficiencia, permitiendo cambios de diseño y un fácil acceso a los componentes de riego.

Realmente, es una técnica muy interesante, conformada por unos recipientes a modo de jardineras, que permite introducir la vegetación en los edificios con todas las ventajas que ello conlleva a nivel de acondicionamiento higrotérmico, acústico, etc... Con el aumento del aislamiento de los espacios cubiertos del edificio, se reduce de manera importante el consumo energético de las instalaciones de climatización y calefacción. Con una conciencia a nivel global cada vez más preocupada por la gestión sostenible y el medio ambiente los jardines verticales suponen elementos de descontaminación, biofiltración, aislación térmica y acústica.

Estos sistemas permiten a los diseñadores y usuarios instalar jardines verticales tanto en condiciones de exterior como interior con un completo acceso y control.

Con la naturalización urbana se busca, cada vez más, integrar la vegetación en nuestras ciudades y edificios. Los jardines verticales son ya una realidad

que mejoran la calidad del aire y el aspecto del lugar donde se instalan. Pueden instalarse en diferentes climas creando superficies verdes que mejoran la calidad paisajística de nuestras ciudades. Ello, evidentemente, también supone un aumento de la calidad de vida de los ciudadanos, tan demandada en la actualidad.

2.3.1.2. SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE INTERÉS DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA SU CARACTERIZACIÓN.

Para facilitar el conocimiento y las comparativas entre todas estas tecnologías se ha considerado fundamental hacer una **selección de las características o parámetros** que tienen más interés para los técnicos destinatarios de la información.

Desde el principio, **dichas características se han agrupado, a su vez, en una serie de campos de información** que se enumeran a continuación:

1. Denominación de la tecnología.
2. Descripción de la tecnología.
3. Requisitos, condicionantes y criterios de aplicación de la tecnología.
4. Resultados previsibles de su aplicación a nivel medioambiental y de la salud.
5. Costes.
6. Recomendaciones para su inserción en proyectos.
7. Otras fuentes de información específicas.

Los primeros campos permiten a los técnicos ponerse en contacto con la tecnología y conocerla ofreciendo además datos que pueden ser definitivos a la hora de tomar la decisión de elegirla o no. Los últimos están dirigidos a, una vez se ha decidido aplicar la tecnología en cuestión, ayudar a su puesta en práctica y/o permitir profundizar en ella, si fuese necesario.

2.3.1.2.1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA.

Es **fundamental para su localización e identificación.**

Para ello, **se ha considerado fundamental introducir la denominación en un segundo idioma** y se ha elegido **el más habitual y propio en el campo científico**, ya que aproximadamente “el 75% de la bibliografía científica está en inglés” y “hoy en día, cualquier investigador o profesional que quiera estar al día o acceder a libros especializados necesita irremediablemente saber inglés para estar informado de los rápidos avances que están teniendo lugar en su área de conocimiento”³⁴.

³⁴ En el artículo “La popularidad del inglés en el siglo XXI”, Carolina Quezada Narváez, perteneciente al Departamento Universitario de Inglés de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (México), comenta: “El auge del inglés en este siglo ha sido considerable. Esto se debe a las tendencias globales en tecnología, demografía y economía. Dado que el inglés es uno de los idiomas más usados alrededor del mundo, muchas veces se hace referencia a él como el “idioma global”, la “lengua franca” de la era moderna. Cientos de millones de personas están aprendiendo inglés, el idioma del planeta para el comercio, la tecnología y, cada vez más, para el poder. (...) Es la herramienta que permite la comunicación con personas de otros países, dentro del mundo globalizado en que vivimos. En el campo económico, la industria, los negocios, el comercio internacional, todo el universo productivo se escribe, se habla y se lee en inglés. El Consejo Británico también enfatiza que un tercio de los libros del mundo son publicados en inglés y que **el 75% de la bibliografía científica igualmente está en inglés. Por lo tanto, hoy en día, cualquier investigador o profesional que quiera estar al día o acceder a libros especializados necesita irremediablemente saber inglés para estar informado de los rápidos avances que están teniendo lugar en su área de conocimiento.** Además, el inglés es la lengua de las telecomunicaciones (con el 80% de la información almacenada electrónicamente). Del total estimado de 40 millones de usuarios de Internet, un 80% se comunica

De esta manera, se proponen como características de este grupo o campo:

- Otros términos utilizados en castellano.
- Términos utilizados en inglés.

2.3.1.2.2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA.

Es primordial el **conocimiento exhaustivo de la tecnología para decidir sobre su posible uso o no en un caso concreto**, entendiendo en qué consiste y cómo es. Para ello es importante conocer el fin, propósito u objetivo de la misma, su definición, composición, su forma de funcionamiento, la distinción entre las diferentes tipologías existentes o clasificación y todas aquellas consideraciones que puedan ayudar a su mejor conocimiento. Además, esta información, para ser realmente útil, debe ser completada con una descripción gráfica de la misma a nivel constructivo y mediante algún documento (fotográfico o no) que permita ver el resultado final o mejore su entendimiento.

En este campo, por tanto, destacamos las siguientes características:

- Definición y objetivos de la tecnología.
- Componentes de la tecnología.
- Forma de funcionamiento.
- Definición constructiva.
- Imagen del resultado.
- Clasificación en tipologías.

2.3.1.2.3. REQUISITOS, CONDICIONANTES Y CRITERIOS DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA.

A partir del conocimiento concreto de la solución tecnológica, es fundamental el **conocimiento de sus posibilidades y limitaciones de aplicación según las condiciones del proyecto o factores de tipo legislativo** (según normativas internacionales, nacionales, autonómicas y locales), **ambiental** (condiciones climatológicas -como la pluviometría o las condiciones de soleamiento necesarias-, del terreno -como la capacidad de infiltración o el coeficiente de escorrentía- o de las especies vegetales -como las necesidades de riego de cada una de ellas-), **urbanístico** (usos del suelo donde son adecuados, tamaños mínimos de las parcelas, proporción de espacios libres frente a espacio construido, edificabilidad y otros parámetros urbanísticos, etc...), **arquitectónico** (tipología edificatoria donde tiene sentido aplicarla, altura de la edificación y número de plantas, configuración vertical u horizontal del edificio, existencia o no de sótano, número de viviendas y/o usuarios, existencia o no de espacio necesario para posibles depósitos, etc...) **y constructivo** (tipología, material, pendientes y tamaño de cubiertas u otros pavimentos que conformen superficies de captación, estructura y tipología de las instalaciones existentes, etc...). En cuanto a los requisitos espaciales y constructivos, se

actualmente en este idioma. La mayoría de los sitios se encuentran editados en inglés. Además, el porcentaje de usuarios de la red que no son hablantes nativos del inglés está incrementándose rápidamente, especialmente en Asia.”

Como ejemplo de esta afirmación en nuestro país podemos destacar como, en el artículo “Competencias genérica y discursiva y alfabetización académica. Propuestas para el análisis de necesidades en inglés científico y académico en el ámbito universitario español”, de Piedad Fernández Toledo (Universidad de Murcia), “se presenta la formación en Inglés con Fines Académicos Específicos como elemento fundamental para conseguir la participación de los investigadores jóvenes en la comunidad discursiva científica”

comentan, de manera global, pues se realiza un análisis más detallado en el apartado de “Análisis y revisión crítica de las tecnologías y sus repercusiones espaciales constructivas y económicas en la edificación y en los espacios libres de nuestras ciudades”.

En definitiva, hay que saber si se cumplen los requisitos para la aplicación de la tecnología en cuestión y conocer sus limitaciones.

Sí es importante destacar, entre todos los condicionantes, el ámbito legislativo y normativo de aplicación del caso del estudio pues este puede llegar a anular cualquier otra posibilidad. Se considera un aspecto de primera magnitud por lo que se plantea su análisis en un grupo aparte y que debe conocerse en primer lugar, antes que cualquier otro.

De esta manera, se han seleccionado como características de este grupo o campo:

- Normativa de aplicación.
- Posibilidades y limitaciones de uso.

2.3.1.2.4. RESULTADOS PREVISIBLES DE SU APLICACIÓN A NIVEL MEDIOAMBIENTAL Y DE LA SALUD.

En este apartado se pretende dar una **idea sucinta del impacto que las tecnologías tienen en el medio ambiente y la salud** de los ciudadanos. Para analizar dichos impactos es fundamental el estudio específico del ahorro de agua y de energía, que se considera con suficiente entidad como para analizarlo de manera independiente.

Se detallarían en el presente campo:

- En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos).
- En el ámbito de la salud de la población.

2.3.1.2.5. COSTES.

También es **necesario conocer los costes unitarios de las tecnologías para tener una referencia previa**, conociendo, las fuentes de donde se han obtenido los datos. En este sentido, hay que destacar que no hay mucha información al respecto de muchas de ellas por ser relativamente novedosa su aplicación. En muchos casos, no ha sido posible encontrar datos en bancos de precios o en bases de costes de la construcción oficiales y se ha tenido que acudir a precios de mercado.

Así, destacaríamos las siguientes características:

- Coste unitario de la tecnología.
- Fuentes de referencia.

2.3.1.2.6. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS.

Una vez analizada la posibilidad de aplicación de la tecnología, es fundamental tener unas **recomendaciones que nos guíen a la hora de introducirlo en los proyectos reales** teniendo en cuenta las diferentes fases del mismo (diseño, cálculo, construcción, mantenimiento, etc...). En la parte del dimensionado, será importante identificar los parámetros que hay que considerar, posibles métodos de predimensionado y métodos de cálculo más exactos de los cuales se ofrecerán, al menos, las fuentes y referencias para que el técnico que quiera profundizar tenga una vía de acceso a ellos.

Destacarían en este campo dos grupos de recomendaciones:

- Recomendaciones de diseño, constructivas y de mantenimiento.
- Recomendaciones de predimensionado y cálculo.

2.3.1.2.7. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS.

Este apartado **permite la profundización en el conocimiento de la tecnología** a nivel profesional o desde el punto de vista de la investigación.

En él se recogerían las referencias, recursos y herramientas específicas de la tecnología en cuestión como son los siguientes:

- Programas y proyectos de investigación.
- Bibliografía.
- Webs.
- Otras herramientas.
- Ejemplos de aplicación.

Resumiendo, las características que se han seleccionado por considerarse de mayor interés y que, por tanto van a analizarse y exponerse sobre cada una de las tecnologías son las que se recogen, separadas por campos, en el siguiente cuadro:

CAMPO DE INFORMACIÓN	CARACTERÍSTICAS A ANALIZAR
1.DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA	- (Otros) Términos utilizados en castellano - Términos utilizados en inglés
2.DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA	- Definición y objetivos de la tecnología - Componentes de la tecnología - Forma de funcionamiento - Definición constructiva - Imagen del resultado - Clasificación en tipologías
3.REQUISITOS, CONDICIONANTES Y CRITERIOS DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA	- Normativa de aplicación - Posibilidades y limitaciones de uso
4.RESULTADOS PREVISIBLES DE SU APLICACIÓN A NIVEL MEDIOAMBIENTAL Y DE LA SALUD	- En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos). - En el ámbito de la salud de la población.
5.RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS	- Recomendaciones de diseño, constructivas y de mantenimiento - Recomendaciones de predimensionado y cálculo
6.COSTES	- Coste unitario de la tecnología - Fuentes de referencia
7.OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS	- Programas y proyectos de investigación - Bibliografía - Webs - Otras herramientas - Ejemplos de aplicación

2.3.1.3. ELABORACIÓN DE MODELO PARA RECOGIDA DE INFORMACIÓN. PROPUESTA DE MODELO DE FICHA.

A partir del cuadro-resumen del apartado anterior, donde se recoge toda la información que se pretendía incorporar en relación a cada tecnología, se planteó en este apartado un modelo de **ficha** para cada una de ellas que tendrá un esquema similar al del cuadro precedente pero, como se verá a continuación, con algunas modificaciones que pretenden facilitar la rápida localización y ágil lectura de la información, en ocasiones muy extensa, del documento.

Desde el principio, en cada una de las *fichas* -previo a toda la información anterior y a modo de referencia general- **se planteó la incorporación de un encabezamiento para facilitar la rápida localización de las tecnología conformado por un código de clasificación** (cuyo criterio se explicará en el apartado de los criterios de sistematización) **y un título genérico** (que pretende ser la denominación más común y conocida o *término más utilizado en castellano*). Finalmente, tras dicho encabezamiento, se desarrollarían los apartados fundamentales del cuadro antes citado.

2.3.1.3.1. MODELO INICIAL

Así, en las primeras fases de la investigación, se elaboró un **primer borrador de la ficha** que se presenta a continuación:

CÓDIGO: TÍTULO DE TECNOLOGÍA (TÉRMINO MÁS UTILIZADO EN CASTELLANO)

- 1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA**
 - 1.1. Otros términos utilizados en castellano
 - 1.2. Términos utilizados en inglés
- 2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA**
 - 2.1. Definición y objetivos de la tecnología
 - 2.2. Componentes de la tecnología
 - 2.3. Forma de funcionamiento
 - 2.4. Definición constructiva
 - 2.5. Imagen del resultado
 - 2.6. Clasificación en tipologías
- 3. REQUISITOS, CONDICIONANTES Y CRITERIOS DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA**
 - 3.1. Normativa de aplicación
 - 3.2. Posibilidades y limitaciones de uso
- 4. RESULTADOS PREVISIBLES DE SU APLICACIÓN A NIVEL MEDIOAMBIENTAL Y DE LA SALUD**
 - 4.1. En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos).
 - 4.2. En el ámbito de la salud de la población.
- 5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS**
 - 5.1. Recomendaciones de diseño, constructivas y de mantenimiento
 - 5.1.1. Recomendaciones de diseño
 - 5.1.2. Recomendaciones constructivas
 - 5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento
 - 5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo
 - 5.2.1. Método de predimensionado o de cálculo
 - 5.2.2. Referencias para el dimensionado
- 6. COSTES**
 - 6.1. Coste unitario de la tecnología
 - 6.2. Fuentes de referencia
- 7. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS**
 - 7.1. Programas y proyectos de investigación
 - 7.2. Bibliografía
 - 7.3. Webs
 - 7.4. Otras herramientas
 - 7.5. Ejemplos de aplicación

2.3.1.3.2. MODELO DEFINITIVO

Posteriormente, durante el proceso de recopilación, análisis y sistematización de la información de las tecnologías, **se han planteado modificaciones justificadas, en gran parte, por la repetición de determinada información** en todas las tecnologías enmarcadas dentro de un mismo sector, en alguna ocasión, o en una misma medida, en la mayoría de los casos donde eso ha ocurrido.

A partir de ello, **se ha considerado una mejor solución para el documento definitivo trasladar la información “común” de estos apartados a niveles superiores de la estructura de organización** y dejar en las *fichas* la información más específica de la tecnología tratada en ellas. En algunos casos, pasaría a un nivel superior el apartado completo y, en otros, sólo parte de ella, manteniéndose el apartado correspondiente en la *ficha* ya que, evidentemente, en determinadas ocasiones y aunque la mayor parte de la información sea común, hay algunas diferencias significativas entre tecnologías recogiendo en estos casos dicha especificidad en la *ficha* correspondiente.

A continuación se especifican los apartados que están en un caso o en otro:

- **Pasan a otro nivel superior en su totalidad desapareciendo de la *ficha***: el apartado referido a la “Normativa específica de aplicación” que pasa al Nivel 1 (*Sectores* o *ámbitos*) y el referente a los “Resultados previsibles de su aplicación en el medio ambiente y la salud” que pasa al Nivel 2 (*Medidas* o *líneas estratégicas de actuación*).
- **Pasa sólo la información común, manteniéndose la característica en la *ficha***: los apartados referidos a la “Definición y objetivos de la tecnología”, a las “Posibilidades y limitaciones de uso” y a las “Recomendaciones para su inserción en proyectos”.

De esta manera, finalmente, se propone presentar la información de cada una de las tecnologías siguiendo el siguiente **modelo definitivo para la *ficha***:

CÓDIGO: TÍTULO DE TECNOLOGÍA (TÉRMINO MÁS UTILIZADO EN CASTELLANO)

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

1.2. Términos utilizados en inglés

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos de la tecnología

2.2. Componentes de la tecnología

2.3. Forma de funcionamiento

2.4. Definición constructiva

2.5. Imagen del resultado

2.6. Clasificación en tipologías

3. REQUISITOS Y CRITERIOS ESPECÍFICOS DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

4.2. Fuentes de referencia

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, constructivas y de mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

5.1.2. Recomendaciones constructivas

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o de cálculo

5.2.2. Referencias para el dimensionado

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

6.2. Bibliografía

6.3. Webs

6.4. Otras herramientas

6.5. Ejemplos de aplicación

2.3.1.4. DEFINICIÓN DE CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN O SISTEMATIZACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS.

Para llegar a uno de los objetivos fundamentales del presente trabajo de investigación que es la sistematización de las tecnologías, **es importante definir los criterios** que se han manejado en la misma.

Dichos criterios **permiten agrupar las tecnologías con características comunes** pudiendo asignar un **código** o clave a cada uno de ellos de manera que el documento final sea más ágil a la hora de localizar las tecnologías que cada técnico necesita al situar cada tecnología dentro del ámbito o sector correspondiente y del tipo de medida.

Los *códigos* propuestos para facilitar la búsqueda de las tecnologías se especificarán en los apartados siguientes. Hay que aclarar que no todos los criterios se trasladarán al código de las “fichas” para no complicar la búsqueda. Sólo aquellos que den alguna información sobre su ubicación.

2.3.1.4.1. ÁMBITO AL QUE PERTENECE LA TECNOLOGÍA DENTRO DEL CICLO DEL AGUA: ABASTECIMIENTO, GESTIÓN DE PLUVIALES, GESTIÓN DE RESIDUALES O GESTIÓN DE AGUA Y ENERGÍA.

Desde el principio, se ha considerado fundamental la sistematización por ámbitos de actuación -en referencia al sector o fase del ciclo urbano del agua donde se sitúa la tecnología- siguiendo las tendencias de los últimos trabajos y proyectos de investigación realizados al respecto, como el Proyecto SWITCH (2006-2011), que dividen las estrategias y tecnologías en 3 campos de trabajo en función de las diferentes características y calidad de los flujos con los que se trabaja: abastecimiento, gestión de pluviales y gestión de residuales. Además, por la importancia que tiene como se ha recalado en la Introducción del presente trabajo, se ha añadido el campo de las tecnologías que relacionan o asocian el agua y la energía.

Por ello, la clasificación de las tecnologías se estructura según esta división, como ya se ha ido adelantando en capítulos anteriores del trabajo.

En concreto, los **códigos que se ha utilizado** en el encabezamiento de las *fichas* para distinguir entre estos apartados son los siguientes:

CÓDIGOS DE SISTEMATIZACIÓN DE LOS SECTORES O ÁMBITOS DEL CICLO URBANO DEL AGUA

- **AB:** Tecnologías del ámbito del **Abastecimiento**
- **AP:** Tecnologías del ámbito de la gestión de **Aguas Pluviales**
- **AR:** Tecnologías del ámbito de la gestión de **Aguas Residuales**
- **AE:** Tecnologías que relacionan el **Agua con la Energía**

2.3.1.4.2. TIPO DE MEDIDAS DE INTERVENCIÓN: MEDIDAS NO ESTRUCTURALES *VERSUS* MEDIDAS ESTRUCTURALES.

Para la clasificación final, y una vez localizadas en los diferentes ámbitos o fases del ciclo urbano del agua, se ha considerado también importante agrupar las tecnologías según los grupos de medidas que se vieron al definir los criterios de elección de dichas tecnologías y que surgieron de las estrategias de los diferentes ámbitos.

Conviene, a su vez, **diferenciar estos grupos de medidas según su carácter**, es decir, si son “medidas de tipo preventivo que no requieren de la construcción de una infraestructura para ser llevadas a cabo, no estando sujetas a una localización específica y que tiene más que ver con la planificación o incluso la concienciación sobre determinadas líneas de trabajo estratégicas” o si se trata de “soluciones constructivas que suponen una implementación física”. En esa línea, se ha decidido utilizar para la clasificación de las diferentes medidas los términos siguientes: ***Medidas no estructurales*** y ***Medidas estructurales***. Esta clasificación se ha tomado de la literatura científica donde están siendo muy utilizados.

Un caso muy significativo es la continua referencia a esta clasificación en la gestión de pluviales con SUDS donde, por ejemplo, en su artículo “Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en la hidrogeología urbana”, Perales, Doménech y Fernández Escalante (2008) afirman que “aunque no existe un consenso universal para la clasificación de las diferentes tipologías de SUDS (ni menos aún para su denominación en castellano), una de las más recurrentes en la literatura es la que se muestra a continuación: Medidas estructurales (...) y Medidas no estructurales (...)”. Posteriormente, en el mismo artículo, Perales, Doménech y Fernández Escalante las definen de la siguiente manera:

1. ***Medidas no estructurales***: Son las que “previenen por una parte la contaminación del agua reduciendo las fuentes potenciales de contaminantes y por otra evitan parcialmente el tránsito de las escorrentías hacia aguas abajo y su contacto con contaminantes”.
2. ***Medidas estructurales***: Son “aquellas que gestionan la escorrentía contaminada mediante actuaciones que contengan en mayor o menor grado algún elemento constructivo o supongan la adopción de criterios urbanísticos *ad hoc*”.

A partir de ahí, **se han repartido o ubicado las medidas que se enumeraron** al definir los criterios de elección de las tecnologías **según esta clasificación** -*medidas no estructurales* o *medidas estructurales*-, quedando de la siguiente manera:

MEDIDAS “MARCO” EN LAS QUE SE UBICAN LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS

AB: ABASTECIMIENTO

- **MEDIDAS NO ESTRUCTURALES**
 - MNE 1. Medidas sociales y educativas
 - MNE 2. Medidas económicas y normativas
- **MEDIDAS ESTRUCTURALES**
 - ME 1. Dispositivos de ahorro de agua
 - ME 2. Gestión activa de fugas
 - ME 3. Recursos hídricos alternativos
 - ME 4. Jardinería hidroeeficiente

AP: AGUAS PLUVIALES

- **MEDIDAS NO ESTRUCTURALES**
 - MNE 1. Medidas en el campo del planeamiento y el diseño urbano
 - MNE 2. Medidas en el mantenimiento de los espacios urbanos
 - MNE 3. Medidas sociales y educativas
- **MEDIDAS ESTRUCTURALES**
 - ME 1. Sistemas de captación y almacenamiento directo de aguas pluviales
 - ME 2. Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)

AR: AGUAS RESIDUALES

- **MEDIDAS NO ESTRUCTURALES**
 - MNE 1. Medidas en el campo del planeamiento y el diseño urbano
 - MNE 2. Medidas en el mantenimiento de los espacios urbanos
 - MNE 3. Medidas sociales y educativas
- **MEDIDAS ESTRUCTURALES**
 - ME 1. Sistemas separativos
 - ME 2. Sistemas compactos de depuración
 - ME 3. Pretratamientos de aguas residuales
 - ME 4. Tratamientos primarios
 - ME 5. Tratamientos secundarios
 - ME 6. Tratamientos terciarios

AE: AGUA Y ENERGÍA

- **MEDIDAS NO ESTRUCTURALES**
 - MNE 1. Medidas en el campo del planeamiento y del diseño urbano y arquitectónico
 - MNE 2. Medidas en el mantenimiento de los espacios urbanos
 - MNE 3. Medidas sociales y educativas
- **MEDIDAS ESTRUCTURALES**
 - ME 1. Medidas de ahorro de agua en el ámbito energético
 - ME 2. Medidas de ahorro energético en el ámbito hidráulico

Por último, es importante aclarar que será dentro de las **medidas estructurales** donde se **enmarcarán definitivamente las diferentes tecnologías** por lo que, aunque en el *manual* se comentan las medidas de tipo *no estructural*, las *fichas* desarrollan sólo las primeras.

Es por ello que, en referencia a los **códigos de los tipos de medidas**, independientemente de la organización anterior en MNE y ME, **sólo se les ha asignado un código específico a las medidas de tipo estructural** que se ha intentado que tenga alguna referencia con dicha línea de trabajo.

En concreto, los **códigos que se ha utilizado** en el encabezamiento de las *fichas* para distinguir entre las distintas medidas, tras el *código de sector*, son los siguientes:

CÓDIGOS DE SISTEMATIZACIÓN DE LOS MEDIDAS O LÍNEAS ESTRATÉGICAS DE ACTUACIÓN

AB: ABASTECIMIENTO

- **DA:** Dispositivos de ahorro de agua
- **GF:** Gestión activa de fugas
- **HA:** Recursos hídricos alternativos
- **JH:** Jardinería hidroeeficiente

AP: AGUAS PLUVIALES

- **AD:** Sistemas de captación y almacenamiento directo de aguas pluviales
- **DS:** Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)

AR: AGUAS RESIDUALES

- **SS:** Sistemas separativos
- **SC:** Sistemas compactos de depuración
- **PT:** Pretratamientos de aguas residuales
- **TP:** Tratamientos primarios
- **TS:** Tratamientos secundarios
- **TT:** Tratamientos terciarios

AE: AGUA Y ENERGÍA

- **AE:** Medidas de ahorro de agua en el ámbito energético
- **EA:** Medidas de ahorro energético en el ámbito hidráulico (agua)

Finalmente, dentro de cada uno de estos grupos, **las tecnologías se numerarán con un número de 2 cifras** y, de esta manera, el **código final** que le corresponderá a cada una de ellas **estará formado por 3 pares de dígitos** separados por un guión (**XX-XX-XX**), que se corresponderán a **Sector-Medida-Tecnología**, tras el cual irá **el término más utilizado en castellano de la tecnología de que se trate**, quedando de la siguiente manera:

XX-XX-XX Denominación más común en castellano

2.3.1.5. ORDENACIÓN DE LA INFORMACIÓN SELECCIONADA. “MANUAL DE TECNOLOGÍAS”.

A partir de los criterios mencionados hasta ahora, la organización de la información seleccionada **se va a organizar en el manual según los siguientes niveles:**

- Nivel 1: **Sectores o ámbitos** del ciclo urbano del agua o relacionados con él.
- Nivel 2: **Medidas o líneas estratégicas de actuación** concretas.
- Nivel 3: **Tecnologías** específicas.

Las razones de dicha estructuración por niveles son, fundamentalmente, dos:

- **Facilitar la localización de las tecnologías según su ámbito y su objetivo principal** de manera ágil y rápida.
- Por otro lado, y como se ha comentado ya también, se ha decidido repartir la información localizada acerca de las tecnologías por niveles para **evitar repeticiones inútiles de información.**

A partir de ello, la **propuesta de reparto de la información sobre las tecnologías**, en función de la coincidencia o repetición de planteamientos o procedimientos de la misma, sería la siguiente:

- **NIVEL 1: SECTORES O ÁMBITOS DEL CICLO URBANO DEL AGUA O RELACIONADOS CON ÉL.**

En este nivel se detallará:

- **Normativa específica de aplicación:** Se analiza a nivel global porque la mayor parte de la normativa existente afecta a sectores completos del ciclo urbano del agua, salvo alguna excepción que se comentará en el apartado correspondiente. En este caso, se ha seleccionado a partir de la normativa recogida en el Estado de la Cuestión la que más afecta a cada uno de los ámbitos, ampliándose con la información relativa a la relación del agua con la energía.
- **Enumeración de posibles medidas:** A partir de las estrategias necesarias en cada sector, se definen una serie de medidas concretas a tomar que, además, pueden ser de diferente carácter (*medidas no estructurales* o *medidas estructurales*) que serán descritas en el Nivel 2.

- **NIVEL 2: MEDIDAS O LÍNEAS ESTRATÉGICAS DE ACTUACIÓN CONCRETAS.**

En este caso, se enumerarán todas -tanto las *medidas no estructurales* como las *medidas estructurales*- pero mientras que, en el primer caso, sólo se explicarán de manera genérica, en el segundo y debido a que son en estas *medidas estructurales* en las que realmente se enmarcan las tecnologías, se detallarán determinados apartados que son comunes a todas las tecnologías de esa medida en cuestión:

- **Definición y objetivos comunes de las tecnologías:** Se tratarán, en conjunto, todas las tecnologías que se enmarquen en la medida analizada.
- **Requisitos, condicionantes y criterios de aplicación del conjunto de tecnologías:** En este caso, el apartado se centra en las *Posibilidades y limitaciones de uso* del conjunto de tecnologías enmarcadas en una misma medida.
- **Resultados previsibles de su aplicación a nivel medioambiental y de la salud:** Se analizarán sus beneficios para el medio ambiente (partiendo de un análisis específico, en los casos donde sea posible, de los posibles ahorros de recursos hídricos y energéticos, sin olvidar los recursos materiales necesarios y los aspectos

referidos a residuos) y para la salud de los usuarios. Las repercusiones específicas en los campos de la arquitectura y el urbanismo (espaciales, constructivas, etc...) se valorarán independientemente, constituyendo el segundo de los objetivos del proyecto de investigación.

Se distinguirían dos tipos de información:

- En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos).
- En el ámbito de la salud de la población.

- **Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar:** En algunos casos, existirá una serie de factores fundamentales para la aplicación del grupo de tecnologías, comunes a todas ellas que se explicarán en este apartado. También, en ocasiones, el procedimiento de diseño o de cálculo es común a todas ellas y se explica en este apartado para no repetir la información.

Se distinguirían dos tipos de información:

- Factores a considerar.
- Procedimiento de diseño y/o dimensionado

- **Tecnologías de aplicación:** En este punto se enumeran todas las que están enmarcadas en la medida en cuestión que, finalmente, se detallarán en las *fichas tecnológicas* del Nivel 3. Es importante recordar que, al tener que ver algunas tecnologías con más de un sector o medida, se ha asignado a la que más le afecta pero no ha dejado de enumerarse en las otras medidas, aunque para distinguirlas de las realmente ubicadas en esa medida se han puesto de color gris.

Es importante aclarar también que, en algunos casos, algunos de los apartados no tendrán sentido y no estarán, por tanto, presentes.

- **NIVEL 3: TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS**

En este caso, se recogerá la información en forma de *ficha* siguiendo el modelo comentando en el capítulo correspondiente. La explicación de cada característica también se recogió en un capítulo anterior:

CÓDIGO: TÍTULO DE TECNOLOGÍA (TÉRMINO MÁS UTILIZADO EN CASTELLANO)
1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA
1.1. Otros términos utilizados en castellano
1.2. Términos utilizados en inglés
2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA
2.1. Definición y objetivos de la tecnología
2.2. Componentes de la tecnología
2.3. Forma de funcionamiento
2.4. Definición constructiva
2.5. Imagen del resultado
2.6. Clasificación en tipologías
3. REQUISITOS Y CRITERIOS ESPECÍFICOS DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA
3.1. Posibilidades y limitaciones de uso
4. COSTES
4.1. Coste unitario de la tecnología
4.2. Fuentes de referencia
5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS
5.1. Recomendaciones de diseño, constructivas y de mantenimiento
5.1.1. Recomendaciones de diseño
5.1.2. Recomendaciones constructivas
5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento
5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo
5.2.1. Método de predimensionado o de cálculo
5.2.2. Referencias para el dimensionado
6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS
6.1. Programas y proyectos de investigación
6.2. Bibliografía
6.3. Webs
6.4. Otras herramientas
6.5. Ejemplos de aplicación

2.3.1.5.1. ESTRUCTURA DEL **MANUAL**.

A continuación, se presenta la estructura definitiva del **manual** resultado de la sistematización de las tecnologías:

AB: ABASTECIMIENTO

- MEDIDAS NO ESTRUCTURALES
 - MNE 1. **Medidas sociales y educativas**
 - MNE 2. **Medidas económicas y normativas**
- MEDIDAS ESTRUCTURALES
 - ME 1. **DA: Dispositivos de ahorro de agua**
 - **AB-DA-01** Dispositivos de bajo consumo para grifos y rociadores
 - **AB-DA-02** Griferías hidroeficientes
 - **AB-DA-03** Inodoros y urinarios hidroeficientes
 - **AB-DA-04** Electrodomésticos de bajo consumo hídrico
 - ME 2. **GF: Gestión activa de fugas**
 - **AB-GF-05** Galerías de servicios
 - **AB-GF-06** Sistemas de detección de fugas
 - **AB-GF-07** Individualización de contadores en los edificios
 - ME 3. **HA: Recursos hídricos alternativos**
 - **AB-HA-08** Almacenamiento y recuperación de acuíferos (ARA)
 - ME 4. **JH: Jardinería hidroeficiente**
 - **AB-JH-09** Xerojardinería
 - **AB-JH-10** Sistemas de riego hidroeficientes

AP: AGUAS PLUVIALES

- MEDIDAS NO ESTRUCTURALES
 - MNE 1. **Medidas en el campo del planeamiento y el diseño urbano**
 - MNE 2. **Medidas en el mantenimiento de los espacios urbanos**
 - MNE 3. **Medidas sociales y educativas**
- MEDIDAS ESTRUCTURALES
 - ME 1. **AD: Sistemas de captación y almacenamiento directo** de aguas pluviales
 - **AP-AD-01** Captación y almacenamiento de pluviales en aljibes
 - ME 2. **DS: Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)**
 - **AP-DS-02** Cubiertas vegetadas
 - **AP-DS-03** Superficies permeables
 - **AP-DS-04** Pozos de infiltración
 - **AP-DS-05** Zanjas de infiltración
 - **AP-DS-06** Drenos filtrantes o franceses
 - **AP-DS-07** Franjas filtrantes
 - **AP-DS-08** Cunetas verdes
 - **AP-DS-09** Áreas de bioretención
 - **AP-DS-10** Depósitos de infiltración
 - **AP-DS-11** Depósitos de detención
 - **AP-DS-12** Estanques de retención
 - **AP-DS-13** Humedales artificiales para aguas pluviales

AR: AGUAS RESIDUALES

- MEDIDAS NO ESTRUCTURALES
 - MNE 1. **Medidas en el campo del planeamiento y el diseño urbano**
 - MNE 2. **Medidas en el mantenimiento de los espacios urbanos**
 - MNE 3. **Medidas sociales y educativas**

- MEDIDAS ESTRUCTURALES
 - ME 1. **SS: Sistemas separativos**
 - AR-SS-01 Inodoro seco
 - ME 2. **SC: Sistemas compactos de depuración**
 - AR-SC-02 Biojardinera
 - AR-SC-03 Canal de saneamiento aireado
 - AR-SC-04 Sistema compacto automatizado
 - ME 3. **PT: Pretratamientos de aguas residuales**
 - AR-PT-05 Arqueta de pretratamiento
 - AR-PT-06 Sistema de desbaste
 - AR-PT-07 Desarenador
 - AR-PT-08 Desengrasador
 - ME 4. **TP: Tratamientos primarios**
 - AR-PT-09 Fosa séptica
 - AR-TP-10 Tanque Imhoff
 - AR-TP-11 Fosa anaerobia de alta velocidad
 - ME 5. **TS: Tratamientos secundarios**
 - AR-TS-12 Lagunaje
 - AR-TS-13 Humedales artificiales de aguas residuales urbanas
 - AR-TS-14 Sistema de drenes de aireación forzada
 - AR-TS-15 Lechos de turba
 - AR-TS-16 Lechos bacterianos
 - AR-TS-17 Filtros verdes (suelo)
 - AR-TS-18 Sistema de infiltración rápida (suelo)
 - AR-TS-19 Escalera de oxigenación
 - ME 6. **TT: Tratamientos terciarios**
 - AR-TT-20 Filtros de arena
 - AR-TT-21 Reactor Baccou

AE: AGUA Y ENERGÍA

- MEDIDAS NO ESTRUCTURALES
 - MNE 1. **Medidas en el campo del planeamiento y del diseño urbano y arquitectónico**
 - MNE 2. **Medidas en el mantenimiento de los espacios urbanos**
 - MNE 3. **Medidas sociales y educativas**
- MEDIDAS ESTRUCTURALES
 - ME 1. **AE: Medidas de ahorro de agua en el ámbito energético**
 - AE-AE-01 Optimización de la presión de suministro
 - ME 2. **EA: Medidas de ahorro energético en el ámbito hidráulico**
 - AE-EA-02 Agua Caliente Sanitaria termosolar

Resumiendo, se han seleccionado **4 sectores o ámbitos** de trabajo sobre los que actuar proponiéndose en cada uno de ellos una serie de estrategias específicas a seguir para conseguir un verdadero cambio en los modelos de gestión. Posteriormente, dichas **líneas estratégicas de cada uno de los sectores se han concretado en una serie de 25 medidas, de las cuales 14 son medidas estructurales en las que se enmarcarán definitivamente las 46 tecnologías sostenibles**, objeto central del trabajo.

De esta manera, en el presente documento o *manual*, se sintetiza un importante volumen de información, estructurada y sistematizada de una manera que pretende ser útil para sus destinatarios finales.

2.3.1.5.2. DESCRIPCIÓN DE LAS *MEDIDAS* O LÍNEAS ESTRATÉGICAS DE ACTUACIÓN ORGANIZADAS POR *SECTORES* O ÁMBITOS DEL CICLO URBANO DEL AGUA. CARACTERÍSTICAS COMUNES DE LAS TECNOLOGÍAS ENGLOBADAS EN CADA UNA DE ELLAS.

En este apartado se aporta la información relativa a cada *sector* y a cada una de las *medidas* o líneas estratégicas de actuación y mejora planteadas hasta el momento en el trabajo, siendo información común a las distintas tecnologías que se enmarcan en cada una de estas unidades.

Por otro lado, hay que recordar que se describirán de manera más detallada las características de las *medidas estructurales* por ser donde se enmarcan las diferentes soluciones tecnológicas que son el objeto central del trabajo de investigación.

2.3.1.5.2.1. ABASTECIMIENTO

1. NORMATIVA ESPECÍFICA DE APLICACIÓN

- **Normativa europea**

- [Directiva 98/83/CE relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.](#) Establece los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- [Directiva 2008/105/CE relativa a las normas de calidad ambiental \(NCA\) en el ámbito de la política de aguas.](#) Su objeto es establecer normas de calidad ambiental para las sustancias prioritarias y para otros contaminantes, con el objetivo de conseguir un buen estado químico de las aguas superficiales. Por ella, se modifica la Directiva 2000/60/CE.
- [Directiva 2009/90/CE por la que se establecen las especificaciones técnicas del análisis químico y del seguimiento del estado de las aguas.](#) Complemento a la regulación establecida hasta la fecha en relación al seguimiento del estado químico de las aguas.
- [Consulta sobre la revisión de la Directiva relativa al Agua Potable \(DAP\).](#) Ha sido lanzada recientemente por la CE. La organización Agua Pública Europea (APE) participa como grupo de expertos.

- **Normativa Estatal**

- [Real Decreto 140/2003 por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.](#) Transposición de la Directiva 98/83/CE.
- [Real Decreto 60/2011 sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.](#) Relativa a las normas de calidad ambiental (NCA), también incorpora los requisitos técnicos sobre análisis químicos. Transposición de las Directivas 2008/105/CE y 2009/90/CE.
- [Real Decreto 1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.](#) Establece las condiciones básicas para la reutilización de las aguas, precisando la calidad exigible a las aguas depuradas según los usos previstos.
- [Real Decreto 907/2007 por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.](#) Entre otras cuestiones de interés para la ordenación del Ciclo Urbano del Agua, el Reglamento y con mayor detalle la Instrucción definen los estándares de referencia para las dotaciones según características de la población, las garantías y los niveles de eficiencia (*ratio* de agua no facturada sobre agua suministrada total) que deben alcanzar los sistemas.
- [Real Decreto 314/2006 por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación](#)
- Normas UNE. Las que afectan más directamente a este sector son: “Abastecimiento de agua. Especificaciones para redes exteriores a los edificios y sus componentes”, “Especificaciones para instalaciones de conducción de agua destinada al consumo humano en el interior de edificios” y “Dimensionado de Instalaciones de agua para consumo humano dentro de los edificios”.

2. MEDIDAS PROPUESTAS

- **MEDIDAS NO ESTRUCTURALES**

- **MNE 1. Medidas sociales y educativas**

- **Campañas para cambio de hábitos, de concienciación, información, divulgación, difusión y educación.**

Esta es una de las prácticas más extendidas para fomentar la *nueva cultura del agua*, tanto a nivel nacional como internacional, y es que es importante llamar la atención sobre el hecho de que el éxito en la implantación de las *medidas de tipo estructural* dependerá, en muchos casos, de la aceptación inicial del usuario. Las campañas de sensibilización pueden ayudar a superar el escepticismo y destacar, entre otros, los beneficios medioambientales y financieros de la mayoría de ellas.

En general, para una mayor efectividad, estas campañas suelen ir acompañadas de guías de diferente tipo, fundamentalmente las “Guías para usuarios”.

Fuera de nuestras fronteras existen ejemplos reconocidos como el de la ciudad de Melbourne (Australia).

Como medidas de este tipo, en nuestro país, destacan la propuesta realizada por parte del Plan Municipal de Gestión de la Demanda del Agua de Madrid de la “Casa del Agua” como foro temático dedicado a la reflexión, divulgación y promoción de esa *nueva cultura del agua* y la propuesta similar en el “Barrio del Agua” de Trinitat Nova (Barcelona) en la cual el agua se convierte en un elemento de identidad del barrio gracias a la rehabilitación de una antigua estación de bombeo que se convirtió también en otra “Casa del Agua” –equipamiento de referencia que funcionará como centro de interpretación del agua y de educación ambiental- con lo que se pretende fomentar un mejor entendimiento del ciclo del agua para crear una nueva relación más consciente y responsable con el agua como elemento natural.

En España tenemos también otros ejemplos como la Campaña de Ahorro del Agua del Consorcio de Aguas de Asturias, el Plan Agua Dulce en Zaragoza o la desarrollada por el Proyecto AQUAMAC de Canarias, sin olvidar las desarrolladas en otras ciudades españolas como alguna en el País Vasco o las realizadas por más de 20 compañías suministradoras y ayuntamientos andaluces entre las que destaca la *Campaña de Ahorro de Agua PLANCINCO de EMASESA* en Sevilla, destinada a usuarios en general, o los programas educativos/escolares de EMASESA, Aljarafesa, Aguas del Condado, EMACSA y APRESA (Navarro *et al*, 2009: 33-38).

- **Campañas de asesoramiento técnico para usuarios y profesionales.**

Es importante destacar, junto con este tipo de campañas de asesoramiento, la necesidad de elaborar también material enfocado a los técnicos implicados en los procesos de planificación y gestión urbana, como guías y otro tipo de herramientas (programas de cálculo, etc...).

A nivel internacional, algunos programas y proyectos de investigación, nombrados ya en otros apartados, tienen como objetivo la elaboración de herramientas para facilitar a los técnicos la implementación de todo este tipo de soluciones. Un ejemplo interesante es el proyecto WIZ cuya actividad principal es el desarrollo de un sistema de información en línea que permita a ciudadanos, gestores y empresas disponer de información sobre la disponibilidad de agua para facilitar la toma de decisiones y mejorar la gestión.

Como ejemplos en nuestro país, podemos destacar las iniciativas realizadas en el Comunidad Autónoma Andaluza. En relación a campañas de asesoramiento técnico al usuario, destacan la campaña *Un buen uso del agua* de Aguas de Cádiz S.A. y la de *Información sobre el Plan de Individualización y Centralización de Contadores* de EMASA Y AJEMSA. Dentro de los Programas de Apoyo, Formación y Asesoramiento Técnico, podemos destacar iniciativas como la *Aplicación Informática para el Cálculo del Consumo Individual* dentro de la Campaña de Ahorro PLANCINCO de EMASESA o la *Aplicación Informática para Lectura de Consumos por el propio Usuario* de Mijagua S.A. (Navarro *et al*, 2009: 33-38). También, en el asesoramiento y preparación de técnicos, destaca la *Guía para la incorporación de la gestión sostenible del agua en áreas urbanas. Aplicación a la rehabilitación de barriadas en Andalucía* (Aqua-Riba, 2015), desarrollada en el proyecto de investigación Aqua-Riba.

- **Fomento de seminarios, publicaciones y trabajos de investigación sobre el tema.**

Destacan, a nivel internacional, varios proyectos de investigación ya nombrados en el apartado correspondiente, entre los que podemos destacar los proyectos WaND, SWITCH y TRUST que destacan por el nuevo enfoque sobre las interacciones agua y ciudad desde la perspectiva de la planificación estratégica para la gestión integral del ciclo urbano del agua.

A nivel nacional, destaca el Proyecto Eco-City, con interesantes manuales en los que se incorpora la gestión del ciclo urbano del agua como elemento fundamental en el proceso del proyecto y el Proyecto Energy TIC cuyo fin es poner en práctica soluciones TIC, innovadoras y disponibles, con el objetivo común de proveer a los usuarios finales de soluciones intuitivas que les permita motorizar y adaptar sus necesidades de consumo de energía y agua.

A nivel autonómico, de nuevo, podemos poner como ejemplo a Andalucía donde diferentes organismos gestores del agua también han invertido en trabajos de investigación destacando la Fundación de EMASAGRA con su participación en una Convocatoria Ayudas de I+D+I referidas al Ciclo Integral del Agua o GESTAGUA invirtiendo en Investigación y Desarrollo de Servicios de Control Medioambiental. Otras, como Aqualia o Aquagest Sur, han compartido sus experiencias en diferentes foros a través de Ponencias. (Navarro *et al*, 2009: 33-38).

Por otro lado, seminarios como el Seminario Habitabilidad Básica están prestando especial atención a estos aspectos hídricos. En este caso, el Grupo de Cooperación de la UPM "ICHaB" y la ONG "CESAL" acordaron trabajar conjuntamente en materia de "Educación para el Desarrollo" dentro de una convención con la AECI sobre "Mejora de la habitabilidad básica y del desarrollo humano de la población afectada por el terremoto de Agosto de 2007, Perú".

Además, se están publicando junto a las *Guías de Recomendaciones*, mucha bibliografía sobre el tema como el *Cuaderno del Agua. Agua y medio hídrico en los entornos urbanos. Uralsarea21 (Red vasca de municipios hacia la sostenibilidad)*. En Andalucía, las empresas suministradoras (EMASESA, EMASA, AQUAGEST SUR S.A.,...) incluso han realizado publicaciones entre las que destaca la Publicación de EMASESA "Uso sostenible del agua: De la discusión a la decisión".

MNE 2. Medidas económicas y normativas

- **Subvenciones y ayudas a la financiación para reformas en la edificación.**

Hasta ahora, han sido llevadas a cabo generalmente por organismos municipales. Por ejemplo, en el caso de Andalucía, se pueden destacar los casos de financiación para Planes de Individualización y Centralización de Contadores de empresas suministradoras como EMACSA y AJEMSA (Navarro *et al*, 2009: 33-38).

- **Tarifación por bloques mediante bonificación por uso eficiente y penalización por consumos excesivos.**

Estas políticas se han llevado a cabo por un número importante de compañías suministradoras. De nuevo, poniendo de ejemplo a Andalucía, como ejemplos de bonificación, hay iniciativas de empresas como las de ACCIONA AGUA, S.A.U., Aguas del Condado, Aguas de Baena o EMACSA y, como ejemplos de penalización, se encuentran las iniciativas de EMASESA, Aljarafesa o Aguas del Torcal. (Navarro *et al*, 2009: 33-38).

- **Elaboración de normativas y planes para la reducción de la demanda.**

A nivel internacional, desde hace años se están elaborando Planes de Gestión de Recursos Hídricos como el *NYC Green Infrastructure Plan* en la ciudad de Nueva York o el australiano *South East WaterPlan (2013-2018)*.

En España, hay casos de elaboración de legislación a nivel autonómico como la *Ley 6/2006 sobre incremento de las medidas de ahorro y conservación de agua en la Comunidad Autónoma de la región de Murcia*. También hay normativa a nivel municipal como los *Planes Municipales de Gestión de la Demanda* de Madrid o de Alicante, los *Planes Integrales de Ahorro de Agua (PIAA)* como el *Plan Futura de Vitoria* o las Ordenanzas Municipales como la *Ordenanza Municipal para la Ecoeficiencia y la Calidad de la Gestión de Zaragoza* y la *Ordenanza Municipal para el Ahorro de Consumo de Agua de Alcobendas*.

En Andalucía, también hay ejemplos específicos como la *Ordenanza Municipal para el Ahorro de Agua de Antequera* o la de la *Mancomunidad de Municipios de la Sierra de Cádiz*, la *Ordenanza Municipal de Medidas contra la Sequía del Ayuntamiento de Coria del Río* o la *Ordenanza Fiscal Reguladora de la Tasa por Prestación de Servicio de EMASESA* (Navarro et al, 2009: 33-38).

Un tema fundamental es el control de los recursos aplicados a usos exteriores (*outdoors*), como piscinas y riego de jardines, así como la demanda del sector del ocio y del turismo, de manera especial, la referida a los campos de golf.

- **Elaboración de guías de recomendaciones a usuarios para la mejora de la gestión del agua.**

Encontramos ejemplos tanto a nivel de comunidades autónomas como en los municipios. En el primer caso estarían la *Guía sobre Hidroeficiencia Energética* de la Comunidad de Madrid, la *Guía de Edificación Sostenible para la Vivienda* en la Comunidad Autónoma del País Vasco o la *Guía de Medidas de Ahorro de Agua en Viviendas* de EPA Murcia. En el segundo, la *Guía del usuario sobre el ahorro de agua doméstica* de la Diputación de Barcelona o la *Guía para un Consumo Sostenible* perteneciente a la Campaña de Ahorro PLANCINCO de EMASESA.

- **Certificaciones de productos.** Esta práctica introduce controles de calidad en un campo relativamente nuevo como es la Gestión Sostenible del Agua. Existe un buen ejemplo en Australia como el *Water Efficiency Labelling and Standards (WELS) scheme*.

- **MEDIDAS ESTRUCTURALES**

- ME 1. **DA: Dispositivos de ahorro de agua**

- **Definición y objetivos comunes de las tecnologías.**

Se trata de mecanismos, dispositivos o aparatos que ubicados en las instalaciones de tipo hidráulico de los edificios o en sus núcleos húmedos reducen la demanda de agua potable sin reducir en ningún caso la calidad del servicio.

- **Requisitos, condicionantes y criterios de aplicación del conjunto de tecnologías. Posibilidades y limitaciones de uso.**

Las tecnologías de este bloque se aplican, fundamentalmente, en el **ámbito edificatorio** y, en general, es **posible usarlas en edificios de cualquier uso y escala**

siendo las medidas llevadas a cabo más frecuentemente por las razones que se explican a continuación.

La **alta viabilidad** de estas propuestas se basa en que no necesitan un espacio adicional fuera de los núcleos húmedos de los edificios para su implantación pero, también, en que se puede desarrollar en edificios residenciales a nivel particular, es decir, de manera individual por parte de cada usuario, al no ser necesario ningún acuerdo con el resto de los vecinos. Esta gran ventaja, junto con su relativo bajo coste, permite su implantación sin grandes esfuerzos y sin pérdida de confort.

El hecho ventajoso de que, algunas de estas tecnologías, simplemente consistan en la *adición de componentes* sencillos sin necesidad de sustituir todo el aparato supone, además, que dichas tecnologías sean muy útiles y apropiadas en obras donde los presupuestos de partida sean bajos. Además, existen tecnologías que ya suponen la *sustitución* de aparatos o partes de ellos que son también de bajo coste en relación al resto de las tecnologías del *manual*, aunque algo mayor que los *dispositivos adicionales*.

También facilita su gran aceptación social el hecho de que la complejidad de su implantación sea baja. En el caso de los *sistemas adicionales* –los que se colocan en aparatos ya existentes– suponen operaciones que pueden ser realizadas por el propio usuario. En aquellos casos en los que se produce la *sustitución de un aparato o alguno de sus componentes*, en cambio, se suele precisar de personal especializado, pero nunca es un proceso complejo y largo pudiéndose realizar en un periodo pequeño de tiempo y sin necesidad de desalojo de los usuarios del edificio. Por último, comentar que son tecnologías que, por sus características, permiten también su fácil implantación en obras de rehabilitación.

- **Resultados previsibles de su aplicación a nivel medioambiental y de la salud.**

- **En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos).**

En relación a los **recursos hídricos**, se consigue una reducción importante del consumo de agua, sin disminuir en ningún momento la calidad de vida del usuario, mediante un uso más eficiente del recurso y con la consecuente reducción de la explotación de las fuentes primarias de agua (acuíferos, etc...).

Según diferentes fuentes, estos dispositivos pueden disminuir el consumo doméstico de agua entre 20 y 40 % sin una gran inversión inicial y sin pérdida de confort.

En concreto, destacan en el ahorro las medidas en *inodoros y urinarios*, tecnologías del grupo con mayor influencia en el ahorro a nivel doméstico, pues los inodoros normalmente representan hasta un tercio del consumo del agua de un hogar. También, en el caso de las *lavadoras* y los *lavavajillas*, cualquier mejora que realicemos tendrá una repercusión inmediata en los valores totales.

Las previsiones de ahorro con estos mecanismos, a partir de los datos del IDAE analizados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente³⁵, son las siguientes:

³⁵ Programa “Hogares Verdes” del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, 2015)

Sistema	Ahorro (l/lavado)	Ahorro %
Lavadoras (capacidad de carga de 7 Kg)	Hasta 15 l/lavado	Aprox. 25 %
Lavadoras (capacidad de carga de 5 Kg)	Hasta 8 l/lavado	Aprox. 15 %
Lavavajillas (de 12 o 13 cubiertos)	Hasta 8 l/lavado	Aprox. 45 %

Nota: Las nuevas etiquetas energéticas (obligatorias ya en 2012 en la Unión Europea) no incluyen el dato de consumo de agua por ciclo de lavado sino un nuevo dato denominado "consumo anual", que se proporciona en litros/año. En el caso de las lavadoras, el cálculo de este "consumo anual" se hace multiplicando el agua que el aparato consume en un ciclo por 220. En el caso de los lavavajillas, por 280. Por tanto, si deseamos conocer cuánto consume un modelo por lavado debemos ejecutar la operación inversa: dividir entre 220 (lavadoras) o entre 280 (lavavajillas).

Por otro lado, el ahorro de agua va unido a un **ahorro energético**, ya que las infraestructuras necesarias para su captación, bombeo, transporte, tratamiento y almacenamiento, al trabajar con menos caudal, consumen menos energía. Es especialmente relevante, en el uso doméstico, la reducción del consumo de energía producido a través del ahorro de agua caliente sanitaria (ACS), obtenido principalmente a través de la reducción de la demanda de agua en bañeras y duchas.

En relación a los **materiales** y a los **residuos**, dentro de la línea de la Sostenibilidad, hay que valorar bien el estado real de los elementos que se plantea sustituir. La sustitución innecesaria de elementos supone un gasto de material y económico no necesario y la acumulación de nuevos residuos en los vertederos, destacando el mayor tamaño del caso de los *electrodomésticos*. La sustitución de estos aparatos suponía hasta hace poco la aparición de residuos de gran volumen en ellos. La tendencia actual es que se acumulen en los Puntos Limpios de los municipios con la intención de poder reciclar parte de sus componentes.

En conclusión, es necesario valorar, a la hora de plantear esta medida, el impacto ambiental en materiales generado por la sustitución de los equipos tanto por la generación de residuos como por el consumo en el proceso de producción de los nuevos aparatos.

- En el ámbito de la salud de la población.

El uso de las diferentes tecnologías de este grupo no tiene ningún efecto perjudicial en la salud. En todo caso, la colocación de *dispositivos en grifos y duchas* puede mejorar algunos aspectos. La posibilidad de combinar objetivos en algunos dispositivos que se colocan en los grifos, como la reducción de caudal con el filtrado

1- LAVADORAS: Para una capacidad de carga de 7 Kg de ropa, las lavadoras que se ofrecen actualmente en el mercado consumen desde 42 a 62 litros de agua, mientras que para una capacidad de carga de 5 Kg, el consumo declarado varía entre 39 y 52. Los modelos de lavadora de bajo consumo serían los que utilizan un máximo de 47 litros si tienen 7 kilos de capacidad de carga o hasta 44 litros por lavado para 5 Kg de capacidad de carga.

Si analizamos el consumo de agua por kilo de ropa lavado, las lavadoras de 7 Kg de capacidad resultan, en general, más eficientes que las de 5, consumiendo menos de 6,5 litros por kilo de ropa lavada.

2- LAVAVAJILLAS: Los modelos con capacidad para 12-13 servicios tienen consumos de agua que van desde 6,5 hasta 18 litros por lavado. Considerando la oferta existente, un lavavajillas consume poco agua si su gasto de agua por lavado es inferior a 10 litros.

Nota importante: El dato de consumo aportado por cada modelo es, habitualmente, el del programa "Eco" o de bajo consumo. Otros programas pueden tener consumos más elevados.

del agua, puede mejorar las condiciones del agua de consumo con el consiguiente efecto en la salud de los consumidores.

- **Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar.**

- **Factores a considerar.**

Demanda real y su distribución

El volumen total del consumo doméstico y su desglose en diferentes usos pueden variar según el clima, la tipología de vivienda, las tasas de ocupación, los hábitos, el poder adquisitivo, etc. En ese sentido, será de **gran utilidad conocer datos reales de consumo en el área de estudio para poder evaluar adecuadamente las potencialidades de ahorro.**

Lo ideal es partir de los valores de distribución de la demanda en los diferentes “micro-componentes” en las viviendas del lugar en cuestión, siendo este un dato que difícilmente estará disponible. Existen en España dos estudios importantes al respecto:

- El realizado por el Instituto Tecnológico del Agua de la Universidad Politécnica de Valencia, recogido en el artículo *Urban water demand in Spanish cities by measuring end uses consumption patterns* (Demanda de agua urbana en ciudades españolas a través de la medida de patrones de consumo de usos finales) (Gascón, L. et al, 2004). Estudio realizado mediante la medición real de los consumos en un total de 64 edificios de viviendas (sin jardín) de cuatro ciudades de la costa mediterránea española.
- Estudio del Canal de Isabel II (empresa gestora de agua de Madrid), denominado “Microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid” (Cubillo F. et al, 2008). Monitorización de consumos reales de un total de 983 viviendas de la comunidad de Madrid de distintas tipologías.

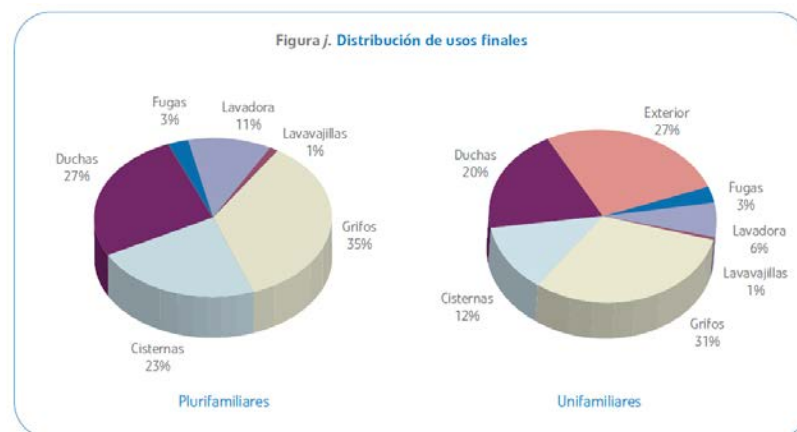


Fig.2. Distribución de usos finales de la demanda doméstica por tipologías de vivienda.
Fuente: Canal de Isabel II (Cubillo et al, 2008)

Además, una buena comprensión de los usos finales, en función de los diferentes usuarios y del uso del edificio (públicos, viviendas, hoteles, etc.), permite a los programas de eficiencia de agua identificar dónde se conseguirá una mejor relación coste-eficiencia.

Tipo de instalaciones existentes

También es recomendable hacer un estudio detallado del estado actual del objeto de estudio en relación a la antigüedad de las instalaciones de agua existentes, así como de los dispositivos instalados en los cuartos húmedos (tipo de grifos, de cisternas, cabezales de ducha, etc.) que nos **permitirá conocer las posibilidades de inserción de los nuevos dispositivos de ahorro y, por tanto, la capacidad de disminución de la demanda total** en el área de estudio.

Cálculo del ahorro de agua y el periodo de retorno de la inversión

Por último, comentar que la “Guía de sistemas de ahorro de agua en la edificación” (López Patiño *et al*, 2012) propone un **método para el cálculo del ahorro de agua que cada tipo de mecanismo puede proporcionar y otro para el cálculo del periodo de retorno de la inversión** que se pretende realizar.

Según dicha guía, dicho **ahorro de agua** se obtiene como diferencia entre el gasto original y la reducción prevista por el mecanismo en cuestión.

También, es posible calcular el **periodo de retorno de la inversión a realizar** para seleccionar aquellas inversiones que resulten más rentables.

Para ello se calculará el *periodo de retorno ponderado*, como cociente entre el periodo de retorno de la inversión y la vida útil:

$$PBP_i = \frac{PB_i}{VU_i}$$

El *periodo de retorno de la inversión* se calculará a su vez como cociente entre el coste de inversión y el ingreso económico (suma del ahorro en agua y energía).

$$PB_i = \frac{CIV_i}{IEA_i}$$

- **Tecnologías de aplicación.**

- **AB-DA-01** Dispositivos de bajo consumo para grifos y rociadores
- **AB-DA-02** Griferías hidroeficientes
- **AB-DA-03** Inodoros y urinarios hidroeficientes
- **AB-DA-04** Electrodomésticos de bajo consumo hídrico

ME 2. **GF: Gestión activa de fugas**

- **Definición y objetivos comunes de las tecnologías.**

Se trata de medidas que se aplican en las instalaciones de tipo hidráulico, tanto a nivel urbano como edificatorio, y cuya finalidad es disminuir la demanda de agua potable de las redes urbanas mediante la reducción de las pérdidas del fluido a lo largo de su recorrido desde los depósitos de almacenamiento urbano hasta los grifos de los usuarios finales.

Algunas medidas tienen carácter preventivo, para evitar que se produzcan las fugas en el futuro (estudio previo del terreno en redes enterradas, proyecto de galerías de servicios o sistemas similares -cámaras de instalaciones, suelos y techos técnicos-, ajuste de las presiones, elección de materiales y sistemas de juntas

adecuados, etc...), **otras permiten mejorar la capacidad de detección** (dichas galerías de servicios, mayor frecuencia del mantenimiento, utilización de métodos físicos-organolépticos, contabilización de consumos, etc...) y, **por último, hay medidas para facilitar la reparación y sustitución de redes** (dichas galerías de servicios y sistemas similares).

En relación a este último grupo de medidas, una vez detectadas las fugas concretas, son necesarias medidas de acción *in situ* para evitar que se siga produciendo la salida del agua. Entonces, se trata de mejorar las condiciones de la red mediante:

- **Reparación:** Pueden repararse fisuras concretas o juntas entre conductos.
- **Renovación o sustitución.** Esta puede ser a su vez:
 - Parcial: Se sustituyen elementos concretos (bombas, llaves,...) o se renuevan ramales determinados (o bien por limitaciones económicas o porque es la única que está en mal estado)
 - Completa: Se sustituye la instalación completa, pudiéndose modificar su estructura (redes partidas, etc...).

En general, cuando se sustituye la red total o parcialmente, se puede aprovechar para cambiar los materiales por otros de mayor durabilidad o que tengan mejor comportamiento ante las diferentes acciones. Además, se ajustan los diámetros a los nuevos materiales y a los posibles cambios demográficos que se hayan podido producir desde su puesta en obra.

Es una medida típica de obras de rehabilitación.

También, hay que decir que un porcentaje significativo, aunque difícilmente cuantificable, del *agua no contabilizada* una gran cantidad de fugas se debe a desvíos ilegales, problema cuya solución es más compleja que una simple reparación.

- **Requisitos, condicionantes y criterios de aplicación del conjunto de tecnologías. Posibilidades y limitaciones de uso.**

Se pueden aplicar estas técnicas **a nivel urbano y a nivel de la edificación** y, en este último caso, en **edificios de cualquier uso y escala**, excepto en el caso de la implementación de la *individualización de contadores* que sólo tiene sentido, evidentemente, en los edificios donde haya más de un usuario, como es el caso de los edificios residenciales.

En aquellos casos en los que las tuberías discurren enterradas bajo rasante, es muy importante conocer las características del terreno pues algunos pueden originar tensiones en la red que generen fugas en el futuro, como los terrenos de arcillas expansivas. También la profundidad del nivel freático es importante.

Para reducir problemas en el futuro, el hecho de que las instalaciones discurren por ***galerías de servicio*** u otro equivalente en los edificios (cámaras de instalaciones, suelos técnicos, techos técnicos, etc.) es una buena solución, pues supone una protección adicional de las mismas que, además de evitar el sometimiento de las redes a determinadas tensiones, facilitará la detección de fugas así como la sustitución o renovación de las redes cuando llegue el momento. No obstante, estos sistemas requieren de un espacio adicional que hay que reservar y deben ser

considerados desde la fase de proyecto, por lo que es una solución complicada para intervenciones de Rehabilitación, tanto de edificios como de barrios.

Lo que sí es fundamental, sobre todo en las *galerías de servicios* a nivel urbano, para que sea rentable y eficiente es una importantísima coordinación entre las diferentes empresas que participan e implementar soluciones para evitar problemas de sabotajes entre empresas en competencia que es una de las razones por las que muchas compañías suministradoras se resisten a su participación en este tipo de proyectos. Para ello, cada vez se están diseñando más sistemas de protección específicos para las galerías a base de rejillas o cajones de diferente tipo.

La introducción de **contadores individuales** también es una medida de control de fugas con una alta efectividad en la reducción de consumos (en parte por lo que suponen de concienciación del ciudadano) y es muy recomendable realizarla, aunque teniendo muy en cuenta la limitación de sus necesidades espaciales que, a veces, pueden ser importantes y decisivas en los casos de Rehabilitación, casos típicos donde se suele aprovechar para renovar y sustituir las redes hidráulicas.

Por otro lado, la política de aumento de contadores se está aplicando también a nivel urbano, no tanto para un aumento de la facturación, sino para la localización de fugas mediante un mayor control de los consumos por sectores.

En cuanto al uso de **sistemas de detección**, hay que analizar las compatibilidades espaciales de los diferentes sistemas (cámaras, robots,...) para decidir si es posible o no su uso.

- **Resultados previsibles de su aplicación a nivel medioambiental y de la salud.**
 - **En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos).**

En relación a los **recursos hídricos**, el *agua no contabilizada*, que incluye las pérdidas de agua potable por fugas, pero también otros conceptos (mermas por operación, usos no facturados, subregistro de contadores, etc...) es uno de los problemas más graves que se dan en algunas de nuestras redes, pudiendo situarse hasta en el 40% del agua tratada procedente de las ETAPs (incluso el 60% o más, según fuentes extraoficiales). Es de destacar que, en las últimas dos décadas, se han hecho avances significativos en este tema: algunos sistemas de abastecimiento, de grandes y medianas ciudades, principalmente, han mejorado 15 o 20 puntos su nivel de agua contabilizada (Del Moral, 2007). En este sentido, la disminución de la demanda a través de sistemas de prevención, una buena detección y sistemas adecuados de reparación de fugas, es una importante estrategia a implementar, junto con la necesidad de sustituirlos en los casos en que sea necesario. Como resultado se reduciría de manera importante la presión sobre las fuentes de recursos naturales.

En concreto, y según algunos estudios realizados por Emasesa, tras la aplicación del Plan Cinco -y según recoge la *Guía práctica de tecnologías ahorradoras de agua*-, el consumo de agua en un edificio donde se colocan *contadores individuales* se reduce un 20% respecto al consumo del mismo edificio con un contador comunitario.

Por otro lado, como ya se ha comentado en otros casos, el ahorro de agua va unido a un **ahorro energético**, ya que las infraestructuras necesarias para su captación, bombeo, transporte, tratamiento y almacenamiento, al trabajar con menos caudal, consumen menos energía.

Además, la solución de las *galerías de servicio*, al evitar el levantamiento de pavimentos, supone la reducción de los costes energéticos ligados a aquellos. Por último, si en edificios de más de un usuario, se fuese a un modelo de contabilización de agua descentralizado mediante uso de contadores de telelectura, la estructura de la red de suministro se simplificaría y también supondría un menor consumo energético en el edificio.

En lo referente a los **materiales**, hay que tener especial cuidado con la utilización en redes de determinados materiales poco ecológicos, como el PVC, por las graves consecuencias medioambientales de su fabricación y eliminación.

También en el caso de que se modificase la normativa y fuese posible la descentralización de los contadores en los edificios mediante el uso de contadores con telelectura, se abaratarían los costes debido al material usado en las instalaciones de suministro en edificios de más de un usuario.

Por otro lado, la sustitución de redes supone un **volumen de residuos** considerable. Dependiendo del material, será necesario estudiar el posible reciclado de los mismos. También, con la solución de las *galerías de servicio*, al reducirse los levantamientos de pavimentos de las calles y su sustitución posterior debido al mal estado, la cantidad de residuos generados debidos a este tipo de obras es menor también y la energía necesaria para su traslado.

- **En el ámbito de la salud de la población.**

El uso de sistemas de alojamiento para instalaciones en la ciudad, además de proteger a éstas del posible vandalismo, permite proteger a los usuarios de contactos indebidos y, al reducirse las obras de apertura de los pavimentos, se reduce el riesgo de posibles caídas y accidentes de todo tipo.

Por otro lado, en el caso de los edificios, la situación de estos sistemas de alojamiento accesibles desde las zonas comunes del edificio con portillos de acceso reduce la posibilidad de que se produzcan molestias de tipo acústico por no ser necesarias aperturas de huecos y utilizarse los previstos en proyecto.

En cuanto a la *individualización de contadores*, como se obliga a la colocación de válvulas antirretorno junto a los contadores individuales, sigue presente una medida que evita posibles contagios entre usuarios en caso de contaminación del agua en el entorno de alguno de ellos.

En cuanto a las técnicas en relación a las fugas, uno de los resultados de la *reparación de redes* es la eliminación de fisuras o posibles puntos de contaminación de las aguas de consumo (juntas en mal estado,...), reduciéndose también las posibilidades de intoxicación de los usuarios. Por otro lado, la *sustitución de conducciones* de determinados materiales que puedan resultar tóxicos también representa una mejora de la calidad del líquido que repercute positivamente en la salud de los consumidores.

• **Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar.**

- **Procedimiento de diseño y/o dimensionado.**

Inicialmente, **en la fase de proyecto** y dentro del campo de las instalaciones hidráulicas, deberían elegirse soluciones que eviten problemas de fugas posteriores con alojamiento de instalaciones en espacios adecuados y accesibles.

Posteriormente, **durante la vida útil del edificio**, una *mayor accesibilidad* de las redes junto con un *aumento de la frecuencia de las labores de mantenimiento*, permitirán una detección rápida de las fugas que evite el agravamiento de determinadas patologías. En el caso de redes enterradas o metidas en cámara sin accesibilidad, se propone utilizar determinados *sistemas de detección* tecnológicamente avanzados para detectar las posibles pérdidas lo antes posible y disminuir los daños. Por último, tras la detección de las fugas, es necesaria la *reparación y sustitución de las redes*.

En los casos de las obras de rehabilitación, se suele aprovechar y corregir malas prácticas anteriores (materiales y diámetros inadecuados, etc...) para evitar a su vez problemas futuros.

- **Tecnologías de aplicación.**

- **AB-GF-05** Galerías de servicios
- **AB-GF-06** Sistemas de detección de fugas
- **AB-GF-07** Individualización de contadores en los edificios

ME 3. HA: Recursos hídricos alternativos

- **Definición y objetivos comunes de las tecnologías.**

Se trata de manejar fuentes diferentes a las tradicionales utilizando recursos hídricos que, hasta hace poco, eran considerados de desecho, con el objetivo final de optimizar el agua potable consumida a partir de la “*adecuación de calidades*” a los distintos requerimientos (“*fit for purpose*”), consiguiendo así reducir la demanda sobre la red urbana de abastecimiento y reducir los vertidos a la de saneamiento.

- **Requisitos, condicionantes y criterios de aplicación del conjunto de tecnologías. Posibilidades y limitaciones de uso.**

Estas tecnologías se pueden usar **a escala urbana o edificatoria**, pero habrá que valorar en todos los casos su eficiencia hidráulica y económica así como su viabilidad espacial.

Para empezar, es necesario valorar las fuentes disponibles y las demandas de agua en el área de estudio.

Se plantean, como recursos, dos **fuentes alternativas** fundamentales:

- Las **aguas blancas**: pluviales, superficiales y subálveas, subterráneas, etc. Son de muy buena calidad y mínimas necesidades de tratamiento y se pueden aprovechar en una gran cantidad de usos pudiendo ser almacenadas largos periodos de tiempo.
- Las **aguas regeneradas**: aguas grises de los edificios y aguas depuradas o regeneradas procedentes de EDARs. Hasta hace muy poco consideradas como inservibles, son potencialmente reutilizables en otros usos menos exigentes en cuanto a calidad, tras un tratamiento adecuado. No se recomiendan en este caso largos periodos de almacenamiento.

Las **demandas de agua no potable** que pueden ser cubiertas por recursos alternativos son muy diversas y están principalmente delimitadas por la calidad del recurso, así como por la normativa vigente en este sentido (principalmente el R.D.

1620/2007). Según López Patiño (2008), los usos o aplicaciones recomendados en edificación en función de la calidad del agua resultante son los siguientes:

- **Calidad baja** ($\text{pH} < 5,6$ y/o que contiene partículas contaminantes): Se usaría para riego de zonas verdes urbanas públicas o privadas.
- **Calidad media** ($\text{pH} > 5,6$ y que no contiene partículas contaminantes): Se emplearía para limpieza (lavadoras, lavaderos), baldeos y saneamiento en inodoros. También para usos de abastecimiento y limpieza de instalaciones como cámaras de saneamiento, infraestructuras para recolección de residuos urbanos o para limpieza de vehículos.
- **Calidad elevada** (agua obtenida después de un proceso de desinfección y/o potabilización del agua de calidad media): Sería aplicable a cualquier uso. Es necesario considerar que someter el agua a dicho tratamiento puede suponer un encarecimiento importante del recurso, por lo que será necesario valorar la conveniencia de usarlo como alternativa al abastecimiento convencional de agua. No obstante, consideraríamos dentro de este grupo, por ejemplo, las aguas de pozo, recurso muy utilizado para usos exigentes como las piscinas.

Hay que recordar que todos estos sistemas se pueden implantar en casos de **rehabilitación de edificios**, aunque en su viabilidad dependerá de la capacidad de generar acuerdos entre los distintos agentes sociales y usuarios implicados. Además, pueden suponer obras de importancia en las zonas comunes de los edificios que encarecen la actuación.

- **Resultados previsibles de su aplicación a nivel medioambiental y de la salud.**

- **En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos).**

La utilización de recursos alternativos puede generar disminuciones de la demanda de **agua** potable que pueden llegar a alcanzar entre un 30% y un 50 %. En determinados sistemas, los costes de mantenimiento y explotación de la instalación resultan relativamente bajos, aunque los costes de inversión inicial deben de ser valorados.

De nuevo, junto al ahorro de agua obtenido, se debe considerar el **ahorro energético** consecuente.

No obstante, habrá que considerar, en este caso, la necesidad extra de bombeos para elevar las aguas desde los depósitos a los puntos de consumo en los casos en los que los primeros estén en una cota inferior.

En el caso de los ARA, en los que se prevé almacenar en el acuífero todo el excedente de aguas en las épocas de mayor oferta para que pueda ser utilizado en las épocas en las que pueda haber cierta escasez del recurso, también hay un gasto energético en el proceso de infiltración que hay que tener en cuenta.

En referencia a los **materiales** y a los **residuos**, la cantidad de ellos utilizados y desechados dependerá, totalmente, de la tecnología utilizada.

- **En el ámbito de la salud de la población.**

El aspecto de la calidad el agua es el más preocupa en la reutilización de recursos alternativos lo que explica la insistencia en las diferentes normativas sobre el posible contacto de los usuarios con dichas aguas.

Por otro lado y más concretamente, en el uso de los ARA hay que tener un cuidado especial con la posible intoxicación de las aguas. En los casos en los que el acuífero no sea de buena calidad como en el caso de los los acuíferos salinos o contaminados simplemente, no serían considerados para el suministro de agua, evitándose así problemas de salud.

- **Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar.**

- **Procedimiento de diseño y/o dimensionado.**

Teniendo en cuenta el ciclo urbano del agua desde una visión integral, consideramos que la gestión de todos los recursos alternativos debe ser conjunta, realizando estudios de la oferta total de recursos hídricos alternativos disponibles (grises, pluviales, subterráneas,...) y también de la demanda total de agua, para seleccionar la mejor combinación de tecnologías disponibles.

El proceso constaría de los siguientes pasos:

1. **Cálculo de la demanda:** Será necesario calcular las necesidades existentes tanto en las unidades residenciales como en otros usos de las edificaciones y espacios urbanos como riego, limpieza de superficies, etc.
2. **Cálculo de la oferta:** Hay que identificar los recursos alternativos disponibles y calcular la cantidad que se puede conseguir.
 - La oferta de aguas grises se calculará a partir de los datos que se tengan sobre el reparto de los consumos en la vivienda, cuyos porcentajes se aplicarían al consumo total de la vivienda estudiada (ya sea a partir dato del consumo medio real o estimado para el área de estudio).
 - Las aguas pluviales dependerán directamente de los datos pluviométricos del lugar. En este caso, es fundamental tener en cuenta no sólo la pluviometría media anual, sino la distribución de esa pluviometría a lo largo del año. Por otro lado, la superficie disponible, sus coeficientes de escorrentía y la topografía del área, también serán fundamentales a la hora de calcular la capacidad de captación.
 - En cuanto a la recogida de aguas de drenaje o de aguas subálveas, será necesario un estudio hidrogeológico que contemple el tipo de terreno presente (arcilla, limo, arena o grava), así como su capacidad de infiltración, recarga y almacenamiento para determinar qué disponibilidad de aguas puede existir.
 - Las aguas subterráneas presentes también deben ser consideradas, valorando la necesidad de tener que realizar nuevos pozos para poder acceder a ellas o aprovechar pozos existentes.
3. **Análisis de la correlación entre oferta y demanda en el tiempo:** Es fundamental hacer este análisis para evaluar la capacidad de cubrir la demanda existente a partir de la oferta y su distribución en el tiempo, así como para estimar los tiempos y volúmenes de almacenamiento necesarios, y su viabilidad. En el caso de aguas regeneradas, esta correlación deberá ser diaria. En el caso de aguas blancas, el análisis se realizará por periodos anuales.
4. **Análisis de la viabilidad a nivel espacial y económico:** Tanto la relación coste-eficiencia como los requerimientos espaciales, serán factores decisivos a valorar en la evaluación de las distintas medidas de intervención posibles.

5. **Selección los recursos alternativos óptimos y diseño de la intervención.** Es importante seleccionar la opción más sencilla y económica dentro de las posibles, pudiendo ésta pasar, a veces, por recurrir a más de una fuente de recursos.

- **Tecnologías de aplicación.**

- **AB-HA-08** Almacenamiento y recuperación de acuíferos (ARA)
- **AP-AD-01** Captación y almacenamiento directo de pluviales en aljibes
- **AR-SC-02** Biojardinera
- **AR-SC-03** Canal de saneamiento aireado
- **AR-SC-04** Sistema compacto automatizado

ME 4. **JH: Jardinería hidroeficiente**

- **Definición y objetivos comunes de las tecnologías.**

Aunque en porcentajes muy variables, una parte considerable del agua consumida en las ciudades se utiliza para riego. Dependiendo de las diferentes tipologías urbanísticas y constructivas este porcentaje fluctúa entre un 5% (en zonas residenciales densas con escasa superficie de zonas verdes) y un 50% (en espacios urbanos de edificación aislada y muy ajardinados). En todos los casos, aunque evidentemente más en estos últimos espacios, las potencialidades del aumento de la eficiencia hídrica en la jardinería son muy elevadas.

Todas las tecnologías que están enmarcadas en esta medida de **jardinería hidroeficiente** añaden al objetivo de reducción del consumo de agua, la disminución de gastos de energía y, en muchas ocasiones, una mejora de las cualidades estéticas del paisaje urbano. Y es que todas estas tecnologías, aplicadas según las condiciones, necesidades y potencialidades de cada lugar, permiten un diseño paisajístico más rico y una mejora de la calidad del espacio urbano con un aumento importante de la vegetación que reduce las emisiones de CO₂ a la atmósfera lo que fomenta la naturalización de los núcleos urbanos como solución frente al cambio climático.

- **Requisitos, condicionantes y criterios de aplicación del conjunto de tecnologías. Posibilidades y limitaciones de uso.**

La aplicación de estas tecnologías está **recomendada para cualquier jardín o zona verde del sistema urbano**, aunque es más recomendable aún en lugares donde el suministro de agua sea escaso, de poca garantía (sequías o restricciones) o el recurso sea especialmente caro.

Para la aplicación de estas técnicas, se tendrán en cuenta todos los factores que definen el área de actuación ajustando el tipo de intervención (especies, diseño, tipo de riego, etc...). Además, es importante saber que todas las tecnologías son plenamente compatibles entre sí y admiten combinaciones y graduaciones diversas.

Algunos de los sistemas propuestos pueden suponer inversiones iniciales importantes que eventualmente limitarían su aplicabilidad. El balance económico, en cualquier caso, vendrá definido por los valores del agua ahorrada, que

dependerá de su origen (agua de la red o de otras fuentes) y de la estructura tarifaria concreta del área de abastecimiento objeto de la intervención.

Aunque es una medida fundamentalmente aplicable a espacios libres de edificación y jardines, **en determinadas zonas libres ligadas a los edificios también serán aplicables algunas de las tecnologías**, como es el caso de las cubiertas vegetadas.

Por último, recordar que el mantenimiento del sistema por personal especializado es fundamental en esta medida.

- **Resultados previsibles de su aplicación a nivel medioambiental y de la salud.**

- **En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos).**

La consecuencia más importante de la jardinería hidroeeficiente, y de hecho es su objetivo fundamental, es la **reducción de consumo de agua**. En concreto, se estima que el ahorro de agua por los *sistemas de riego hidroeeficientes* es del 20 % aproximadamente.

Energéticamente, como ya se ha repetido, ese ahorro hídrico repercute en un ahorro energético por la reducción de los caudales a transportar y tratar.

Además, el hecho de reducir el riego reduce el consumo de energía correspondiente a las bombas y otros elementos de los sistemas de irrigación. La eliminación total de riego, que es posible con técnicas de *xerojardinería* rigurosas, se reflejará en menores costes de la instalación.

Por otro lado, hay que valorar el tipo de terreno existente en el área de intervención y la necesidad de incorporar o no otro tipo de terreno con mayor cantidad de nutrientes. Esta posible modificación de la topografía también puede suponer añadir o retirar tierra que habrá que transportar y supondría un gasto energético más. De todas maneras, lo ideal es no modificar las condiciones originales del espacio verde.

En relación a los **recursos materiales**, se parte de un terreno, una serie de especies vegetales -a la que se puede añadir, además, una capa de *mulching*- y un sistema de riego. En principio, teóricamente la filosofía de esta medida es que todos ellos sean los mínimos posibles y conseguir el resultado más eficiente con ellos.

En cuanto a los **residuos**, se producirán una gran cantidad de residuos de tipo vegetal que se podría aprovechar como biomasa.

- **En el ámbito de la salud de la población.**

Todas las tecnologías que aumenten la vegetación en las ciudades, aumentan la captación de CO₂ con los beneficios medioambientales que ello supone además para la salud de los ciudadanos.

También, la presencia de vegetación de los espacios urbanos disminuye el efecto de "isla da calor" permitiendo la creación de sombras y pequeños microclimas con menores temperaturas que, junto con la mayor belleza del entorno, afecta positivamente a la salud de los ciudadanos.

Por otro lado, la creación de barreras vegetales protege de los ruidos y de otro tipo de ondas en ocasiones más dañinas para la salud y que pueden provocar enfermedades graves.

- **Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar.**

- **Factores a considerar.**

Para comenzar, es fundamental el conocimiento de los siguientes factores locales:

- Condiciones climáticas de la zona: pluviometría (estacionalidad, irregularidad, extremos), temperaturas, insolación, características de los vientos (dirección e intensidad).
- Topografía del terreno: tamaño (área) y configuración del área de actuación, siendo fundamental el dato de las pendientes.
- Características edafológicas: tipo de suelo (arcilla, limo, arena o grava), capacidad de retención de humedad, capacidad de infiltración o su coeficiente de escorrentía.

Estas circunstancias, unidas a la magnitud espacial de la intervención que se pretenda, condicionan el espectro de especies que se pueden cultivar sin necesidad de riego adicional o con el menor posible, así como el sistema de riego aplicable.

- **Procedimiento de diseño y/o dimensionado.**

Para acometer un diseño de un jardín ecoeficiente, se requiere una planificación previa que defina qué uso va a tener ese espacio verde. Es fundamental saber los tipos e intensidades de uso, el tipo de usuario, los posibles itinerarios, las zonas que no van a ser pisadas, las perspectivas posibles desde dichos itinerarios o los horarios de uso. Todos estos datos darán las claves para elegir los diferentes elementos del conjunto (especies vegetales, sistema de riego, etc...).

Una vez establecido el punto de partida, es necesario diseñar un plan de actuación que incorpore los siguientes conocimientos técnicos:

- Elección y distribución correcta de las especies vegetales, priorizando especies autóctonas de la zona en cuestión, que estén adaptadas al régimen local de precipitaciones y temperaturas. Por otro lado, al distribuir las plantas en el jardín, se deben agrupar las especies según necesidades de agua para optimizar los sistemas de riego.
- Una buena gestión agronómica de la plantación y del mantenimiento de los jardines, adaptando las especies a las condiciones edafoclimáticas del lugar a partir de un buen conocimiento de su fisiología y origen.
- Estudio y adaptación de las características de humedad del suelo. En este aspecto el *mulching* constituye una herramienta de gran utilidad, al evitar que el terreno quede expuesto al contacto con el aire, reduciendo la evaporación excesiva, protegiendo los cultivos y ofreciendo importantes posibilidades ornamentales en el diseño de jardines.
- Una buena gestión de los recursos naturales (agua, fertilizantes) utilizando las más nuevas tecnologías en la gestión del riego, manejo de la reserva hídrica del sustrato y minimización de la aportación de *inputs* (nitratos, fosfatos, etc.).

- **Tecnologías de aplicación.**

- **AB-JH-09** Xerojardinería
- **AB-JH-10** Sistemas de riego hidroeficientes

2.3.1.5.2.2. AGUAS PLUVIALES

1. NORMATIVA ESPECÍFICA DE APLICACIÓN

En general, a pesar del aumento en los últimos años de legislación específica para la gestión de pluviales como respuesta al aumento de las inundaciones y otros efectos, en la normativa de saneamiento no se mencionan específicamente los SUDS, ya que está desarrollada para sistemas de drenaje urbano convencionales. No obstante, los SUDS son aplicables en el diseño del drenaje urbano de cualquier sistema de saneamiento, y por lo tanto, además de la legislación específica sobre aguas pluviales, le es de aplicación la normativa de saneamiento urbano.

- **Normativa europea**

- [Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas](#). Modificada por la [Directiva 98/15/CE](#), que define los sistemas de recogida, tratamiento y vertido de las aguas residuales urbanas.
- [Directiva 2006/118/CE relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro](#).
- [Directiva 2007/60/CE relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación](#).
- [Directrices sobre mejores prácticas para limitar, mitigar o compensar el sellado del suelo](#), Comisión Europea 2012.

- **Normativa Estatal**

- [Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales](#). Secretaría de estado de Medio Ambiente y Vivienda 1995.
- [Real Decreto Ley 11/1995](#), por el que se aprueban las normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas. Este decreto se desarrolla a través del [Real Decreto 509/1996](#), y es modificado por RD 2116/1998, y con la correspondiente [corrección de errores](#)
- Real Decreto 903/2010. [Real Decreto de Evaluación y Gestión de Riesgos de Inundación](#)
- [Real Decreto 1290/2012](#), por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, y que modifica el [Reglamento del Dominio Público Hidráulico](#) y el Real Decreto 509/1996. Regula el tratamiento de aguas de tormentas e introduce la necesidad de laminación de las mismas para evitar desbordamientos de sistemas de saneamiento.
- [Real Decreto 233/2013](#) por el que se regula el Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas. En su artículo 26, como actuaciones subvencionables incluye cubiertas verdes, las de reducción del uso de agua potable y riego, las de gestión sostenible de las escorrentías urbanas. [Instrucciones 5.2.-IC Drenaje Superficial. MOPU 1990](#)
- [Máximas Lluvias en la España Peninsular. Secretaría General de Carreteras. 1999](#)
- RD 314/2006 por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, modificado conforme a la [Ley 8/2013](#), de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas. Exigencias básicas [HS-4: Suministro de agua](#) y [HS 5: Evacuación de aguas](#). En la primera de ellas, se recogen criterios básicos para la reutilización del agua de lluvia.

2. MEDIDAS PROPUESTAS

Para comenzar, hay que **insistir en la necesidad de la gestión independiente de las aguas pluviales respecto a las residuales**, por las enormes diferencias de características.

En el caso de las aguas pluviales, la **elección de las tecnologías a implantar va a depender del objetivo** que se plantee. Será distinto si se plantea el aprovechamiento de las aguas blancas como como recurso hídrico “alternativo” o si se pretende devolver el agua poco a poco a los sistemas naturales.

Por otro lado, las estrategias propuestas en este sector se caracterizan por la **descentralización del recurso** pero el **momento y lugar de entrada o salida del recurso puede variar**. Es posible aplicar las estrategias en origen, en el recorrido a través de espacios libres urbanos o en puntos de recogida final o cuencas urbanas. Se plantea, pues, la necesidad de considerar en cuál de las diferentes etapas de la *cadena de gestión* se quiere actuar, la cual también considera una fase previa a la recogida en origen que son las medidas de carácter preventivo. Según Sara Perales (2014), las fases de dicha *cadena de gestión* serían:

- 1- Prevención: En esta fase se situarían las *medidas no estructurales* para controlar la escorrentía y evitar que la contaminación entre en contacto con el agua.
- 2- Gestión en origen: Es el control de la escorrentía lo más cerca posible del lugar donde se genera.
- 3- Gestión en entorno urbano: Se trata de medidas de gestión de la escorrentía procedente de áreas mayores (barrios o pequeñas ciudades), a través de sistemas de retención, infiltración y laminación, o infraestructuras de transporte.
- 4- Gestión en cuencas: Son las técnicas que gestionan la escorrentía proveniente de grandes áreas y que, generalmente, requieren de un mayor espacio para ponerlas en práctica como en el caso de grandes estanques de retención o detención y humedales artificiales.

▪ MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

MNE 1. Medidas en el campo del planeamiento y el diseño urbano

- **Control del planeamiento urbanístico y del crecimiento de las ciudades.**
El agua de escorrentía se ha de considerar necesariamente en la gestión municipal urbana, por lo que ha de integrarse dentro de ésta y ser tenida en cuenta en las fases iniciales del desarrollo urbanístico.
- **Disminución de la escorrentía.**
Se conseguiría mediante una buena combinación de áreas permeables e impermeables. Esta solución puede ir acompañada de una reducción de la compactación del suelo en las zonas permeables.
- **Incorporación los Sistemas Drenaje Urbano Sostenible y la recogida de agua pluvial en aljibes en los estadios tempranos del planeamiento.**
Hay que potenciar las soluciones en las que se reducen los caudales de pluviales en las propias áreas de captación.
- **Protección de las áreas sensibles.**
Supone respetar y recuperar, en la medida de lo posible, los sistemas de drenaje natural de la zona, quebradas y cauces naturales existentes.
- **Formación y asesoramiento a los técnicos municipales y proyectistas.**

MNE 2. Medidas en el mantenimiento de los espacios urbanos

- **Mantenimiento del viario.**
Son necesarias:
 - Eliminación regular de contaminantes de la calle antes de su entrada al caudal de escorrentía.
 - Limpieza de las redes de drenaje.

- **Mantenimiento de otras zonas libres de los núcleos urbanos.**
 - Evitar los vertidos ilegales de residuos de todo tipo.
 - Minimizar los solares con suelo degradado y con malas hierbas.
- **Riego y mantenimiento de zonas verdes.**
 - Minimizar el uso de fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos en la gestión de zonas verdes.

MNE 3. Medidas sociales y educativas

- **Campañas de sensibilización o concienciación ciudadana.**
 - Campañas sobre buenas prácticas para no desechar residuos ni aceites por los sumideros, realizar limpiezas periódicas de superficies impermeables, etc...
 - Incorporación de cartelería explicativa junto a las nuevas obras de drenaje sostenible donde se explique el funcionamiento de las mismas.
- **Campañas educativas y de divulgación**
 - Fomento de publicaciones y trabajos de investigación sobre el tema.

■ MEDIDAS ESTRUCTURALES

Teniendo en cuenta el problema de la falta de recursos hídricos en nuestros edificios y en los núcleos urbanos, surge la necesidad de buscar nuevas soluciones al abastecimiento convencional, recuperando en ocasiones técnicas tradicionales de gestión de aguas pluviales.

ME 1. AD: Sistemas de captación y almacenamiento directo de aguas pluviales

- **Definición y objetivos comunes de las tecnologías.**

Se trata de la recogida o captación en origen de las aguas pluviales en depósitos o aljibes para su almacenamiento y posible uso directo en el área próxima a la de captación.

No hay que olvidar que el simple hecho de recogerla de manera separada para su uso directo, con o sin tratamiento previo, permitiría su aprovechamiento en el mismo lugar de la recogida como se ha hecho durante siglos de manera “sostenible” hasta que los planteamientos estructuralistas se impusieron de manera rotunda, suponiendo un ahorro energético y económico importante.

Podemos considerar 2 sistemas diferentes:

- **Recogida directa:** el agua se recoge directamente en los aljibes correspondientes, teniendo que contemplar, en caso de que queden a la vista, soluciones para reducir los impactos medioambientales de tipo estético.
- **Recogida indirecta:** el agua resbala por las áreas de captación expuestas y, mediante dispositivos y conductos llevan el agua, por gravedad, hasta los aljibes preparados para su almacenamiento que, en este caso suelen quedar más disimulados –generalmente en la zona inferior de los edificios, siendo los enterrados los más comunes- aprovechando su separación respecto a las zonas de captación. Esta solución supone, en el caso de los edificios, la separación de los diferentes flujos hídricos con condiciones diferentes en conductos independientes entre sí (sistemas separativos, semi o pseudo-separativos, etc...).

- **Requisitos, condicionantes y criterios de aplicación del conjunto de tecnologías. Posibilidades y limitaciones de uso.**

Este tipo de soluciones son aplicables, **en principio, a todo tipo de edificios**, pero lo ideal es que siempre que haya una relación elevada de superficie de captación en relación a su altura y, sobre todo, respecto a necesidades de consumo. En ese sentido, según López Patiño (2008), son ideales para su implantación las viviendas unifamiliares y los edificios administrativos y educativos de hasta 3 plantas aproximadamente, que suelen tener grandes superficies de planta.

También hay que tener en cuenta que pueden aprovechar tanto las áreas de captación de las cubiertas como las de las áreas libres circundantes, lo cual abre un poco más el abanico de posibilidades.

Es compatible con las obras de rehabilitación pero siempre que haya superficie de captación suficiente para cubrir unas mínimas necesidades y exista espacio suficiente para el depósito de almacenamiento. De todas maneras, en el caso de pretender una recogida directa con el depósito en las plantas superiores, evidentemente, en obra nueva se debe considerar desde el inicio la carga del depósito en los cálculos estructurales, lo cual no es posible en los casos de rehabilitación. Por ello, en este último caso, al encontramos el posible problema de sobrecarga estructural, se recomienda la colocación en la planta baja o bajo rasante (en sótano o enterrado).

Siguiendo con las posibles limitaciones, además de no ser rentable en edificios de gran altura y con poca superficie de cubierta o patios donde se pueda producir la recogida, la escasez en la cuantía de las lluvias (pluviometría) puede ser un problema. No es habitual disponer de suficiente lluvia para atender todo el consumo y lo usual es poder abastecer sólo una fracción de la demanda.

En cuanto a la frecuencia de las lluvias, si son poco frecuentes, aun cuando sean de un volumen suficiente, obliga a un sobredimensionado del depósito de almacenamiento para retener la elevada pluviometría puntual. En comparación con otros sistemas de suministro alternativo a la red, el tamaño del depósito de almacenamiento de agua para consumo es mayor que en el resto. Esto es así porque el recurso se obtiene de una forma más intermitente en el tiempo que en el resto de sistemas y ello exige mayores volúmenes de regulación.

Es un recurso que suele ser de buena calidad, excepto en los núcleos urbanos muy contaminados en los que podría requerir, posteriormente, una depuración que aumentaría el coste de manera importante. Por ello, López Patiño (2008) recomienda como algo fundamental controlar la calidad del agua de lluvia antes de que lleguen a las superficies de captación:

- La presencia de CO₂ en el aire y su reacción con el H₂O hace que se genere ácido carbónico lo que produce que la lluvia sea ligeramente ácida, pero no contaminada.
- En zonas donde se generan humos procedentes de la combustión de productos del petróleo, con contenidos en dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NOx), su reacción con el agua produce ácido sulfúrico y ácido nítrico, que se precipita y recoge junto con el agua de lluvia. En este caso, resulta desaconsejable el aprovechamiento de agua de lluvia.

También hay que tener en cuenta que, durante su paso por la superficie de captación -tanto por el material de la misma como por los contaminantes

atmosféricos depositados sobre ella que el agua arrastra- y por el depósito de almacenamiento, puede modificarse también la calidad del agua.

- **Resultados previsibles de su aplicación a nivel medioambiental y de la salud.**

- **En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos).**

Desde el **punto de vista hídrico**, se dan varios beneficios (comunes con los sistemas de drenaje sostenible) y es que estos sistemas permiten una reducción de la escorrentía promedio anual y una reducción importante de los caudales punta en episodios de tormenta, lo cual redundará en la disminución de las inundaciones y un mejor cumplimiento del RD 1290/2012 sobre desbordamientos de los sistemas de saneamiento.

Desde el **punto de vista de la energía**, la reducción del volumen total de agua que llega a las depuradoras, permite el ahorro económico y de la energía necesaria para el transporte y depuración de dichas aguas ya que el sistema trata de aprovecharlas en el mismo lugar de la recogida como se ha hecho durante siglos de manera “sostenible”.

Por otro lado, sí que habría que considerar el consumo energético necesario en el caso de los depósitos enterrados que necesitan un sistema de bombeo para llevar las aguas hasta los puntos de consumo.

En cuanto a **materiales y residuos**, no hay nada que destacar.

- **En el ámbito de la salud de la población.**

Se puede producir contaminación debido a la proliferación de insectos en el agua almacenada. Este fenómeno puede ser especialmente importante en zonas cálidas. Por ello en este tipo de aljibes, y siempre en función del uso que se le vaya a dar al agua, hay que controlar la calidad del agua e incluso tratarla mínimamente pues, en determinadas situaciones, puede convertirse en foco de enfermedades y es por lo que la normativa es muy estricta en ese sentido. En ese sentido, hay muchos especialistas del campo de las instalaciones que son reticentes a este tipo de soluciones y, por otro lado, las compañías suministradoras, no se hacen responsables de las aguas no tratadas por ellos.

- **Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar.**

- **Factores a considerar.**

- Características climáticas

Es fundamental conocer las características de la pluviometría de la zona de estudio que vienen definidas por las gráficas de *precipitaciones totales anuales* y el *régimen pluviométrico mensual* (medio, máximo y mínimo). Estas gráficas deberán obtenerse a partir de las series de datos de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio.

A partir de ellas, será necesario caracterizar la *precipitación de proyecto*, definida como el patrón de comportamiento habitual de las lluvias en la zona de estudio. Para definir la altura y la duración de la precipitación de proyecto, se suele recurrir como información de base a las *curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)*, que se generan a partir de los datos de precipitación recopilados. A partir de estos datos se puede obtener el *hietograma del aguacero*, es decir, la distribución de la

intensidad de lluvia durante la duración del evento característico referido a un periodo de retorno determinado.

Características de las superficies de captación

El *área de las superficies y su naturaleza* (caracterizada por el uso de las mismas y su *coeficiente de escorrentía*), la configuración de las *pendientes* y la *ubicación de los elementos de desagüe* de la red, serán factores determinantes.

- **Procedimiento de diseño y/o dimensionado.**

El dimensionado del aljibe se realizará tras un análisis pormenorizado de la oferta, para lo cual es clave conocer el clima –caudales y distribución de la pluviometría durante el año-, y la demanda, que responderá a las necesidades que se van a cubrir con el agua de dicho depósito.

• **Tecnologías de aplicación.**

- **AP-AD-01** Captación y almacenamiento directo de pluviales en aljibes.

ME 2. **DS: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)**

• **Definición y objetivos comunes de las tecnologías.**

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) se pueden definir, a partir de las diferentes interpretaciones que recoge Perales (2014) de la literatura específica, como elementos que tienen como **objetivo principal** la minimización de los impactos que la urbanización produce sobre la cantidad y calidad del agua de escorrentía en los entornos urbanos, disminuyendo con ello los riesgos de inundación y mejorando la capacidad de recarga de los acuíferos, además de producir beneficios en términos paisajísticos y de biodiversidad.

Si desglosamos en objetivos más concretos, es conveniente tener claro el **orden de prioridad** entre ellos a la hora de seleccionar las diferentes alternativas técnicas. En este sentido, la propuesta de priorización de Perales (2014) es la siguiente:

1. **Proteger y mantener las condiciones naturales:** Preservar e integrar en el diseño la topografía y los elementos de la red natural de drenaje existentes; aprovechar la posibilidad de disponer canales abiertos adecuadamente estabilizados y protegidos de la erosión; conservar especies vegetales autóctonas, cursos de agua, humedales, etc...
2. **Disminuir la escorrentía:** Reducir al máximo la superficie de las áreas impermeables; desconectar las superficies impermeables, favoreciendo el drenaje hacia zonas que permitan la retención e infiltración; promover el drenaje de cubiertas de edificios hacia elementos de infiltración (pozos, zanjas o jardines); evitar cunetas y conductos de rápido escurrimiento y sustituirlos por elementos vegetados donde sea posible.
3. **Favorecer la retención:** Tratar de captar el agua de lluvia en el punto donde se produce la escorrentía, favoreciendo su tratamiento en el lugar mediante la retención, sedimentación e infiltración; disponer de elementos de retención que permitan la laminación del caudal antes de que los excesos lleguen a la red; disponer áreas verdes en las zonas más bajas para que reciban las aguas de

lluvia de zonas impermeables superiores por gravedad; proveer espacio para ubicar elementos alternativos como jardines de infiltración, estanques y lagunas de retención u otros.

4. **Usar cadenas de tratamiento para la eliminación de contaminantes:** Identificar adecuadamente el tipo de contaminantes que pueden arrastrar las aguas de escorrentía; disponer elementos de pretratamiento que permitan tratar especialmente las primeras aguas, las cuales contienen una mayor carga contaminante; combinar distintas tipologías de SUDS que permitan remover cada uno de los contaminantes detectados; disponer distintas etapas de tratamiento para asegurar una calidad de las aguas adecuada en su llegada al cuerpo receptor.

Según Perales (2014), los **principales procesos** que tienen lugar en los sistemas de SUDS son: aprovechamiento de agua, transporte, detención, evapotranspiración, sedimentación, infiltración, filtración, biofiltración, adsorción, biodegradación, precipitación, absorción por las plantas y nitrificación. Algunos métodos implican el uso de bacterias de suelo, hongos y plantas concretas para eliminar determinados contaminantes (como aceites, por ejemplo) presentes en las aguas pluviales. Muchos sistemas, además de tener capacidad de tratar la contaminación disuelta, también tienen capacidad para minimizar los efectos de la contaminación térmica sobre los medios receptores, puesto que la temperatura del agua se temple con el ambiente antes de ser vertida.

En general, todos estos procesos están presentes en la naturaleza consiguiendo así que la cuenca urbana se comporte de un modo más parecido a como se comportaba en su estado natural, además de reducirse de manera importante la cantidad de aguas que llega a las redes de saneamiento tanto a nivel edificatorio como urbano.

- **Requisitos, condicionantes y criterios de aplicación del conjunto de tecnologías. Posibilidades y limitaciones de uso.**

Este tipo de tecnologías son aplicables **en espacios exteriores**, que es donde se captan las aguas pluviales, y, **fundamentalmente, a nivel de espacio urbano**. Sólo las cubiertas vegetadas tienen una aplicación directa en la edificación.

La **decisión entre los distintos tipos de SUDS dependerá de las características de la zona de estudio** (tamaño, topografía, tipo de terreno, presencia o no de vegetación,...), **del clima** (caracterización de la pluviometría, temperatura, soleamiento directo,...) **y del objetivo** que se pretenda conseguir con él (infiltración del agua, filtración, transporte, retención, detención, depuración, etc...), siempre intentando priorizar según los criterios expresados en el apartado anterior. De hecho, por esta razón, los SUDS se suelen clasificar, fundamentalmente, según su función. Como segundo criterio de clasificación, es muy usual dividirlos por la presencia o no de vegetación. Esta segunda característica debe ser compatible con el clima (pluviometría, soleamiento, etc...) para que dicha vegetación no necesite de un aporte extra de agua.

En el caso de los depósitos de detención, puede suponer una fuente alternativa de recursos hídricos -como lo eran los aljibes de los edificios pero a nivel urbano- que pueden ser utilizados para limpieza o riego de manera económica.

- **Resultados previsible de su aplicación a nivel medioambiental y de la salud.**

- **En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos).**

En el caso de los **recursos hídricos**, con el uso de los SUDS, se consigue una reducción de la escorrentía promedio anual y una reducción importante de los caudales punta en episodios de tormenta, lo cual redundará en la disminución de los encharcamientos e inundaciones y un mejor cumplimiento del RD 1290/2012 sobre desbordamientos de los sistemas de saneamiento.

En concreto, en las tecnologías donde se produce un proceso de filtrado, como las cubiertas vegetadas, se retiene el polvo o sedimentos finos, los contaminantes y los metales pesados contenidos en el aire así como las concentraciones de sólidos en suspensión (fundamentalmente, materia orgánica pero también bacterias y nutrientes), fósforo, nitrógeno (incluidos los nitritos y nitratos) y metales contenidos en el agua de lluvia y de escorrentía, produciéndose una mejora importante de la calidad de ésta tras su paso por el elemento. En sistemas utilizados a nivel urbano, también se eliminan los hidrocarburos muy presentes en lugares donde hay tráfico. Esto protege la calidad del agua de los acuíferos que son el destino final de muchos de estos sistemas, teniendo incluso la posibilidad de utilizar los que también tienen entre sus funciones la de transporte para alejar los puntos de infiltración de las zonas más sensibles de los mismos, si fuese necesario.

La reducción de los caudales de escorrentía, además de evitar encharcamientos en el lugar de captación (apoyando a superficies impermeables adyacentes, entre otros mecanismos), evitan la sobrecarga de las redes y el posible vertido incontrolado de aguas sin ningún tipo de tratamiento previo al terreno circundante, en caso de saturación de las mismas.

En el ámbito de la **energía**, se consigue la reducción del volumen total de agua que llega a las depuradoras, con el consiguiente ahorro energético y económico porque se evita el transporte y depuración de una cantidad importante de agua. En las cubiertas vegetadas no hay que olvidar su función aislante mejorando las condiciones acústicas e higrotérmicas de los interiores reduciéndose las necesidades energéticas de los edificios.

En cuanto a **materiales**, en aquellas tecnologías que sea necesaria una capa de áridos para la infiltración, es recomendable utilizar los de una zona geográfica próxima para un menor coste energético y económico producto del transporte de dichos elementos.

En relación a los **residuos**, las tecnologías con presencia de vegetación, es muy importante el mantenimiento de esta y, con mucha probabilidad, se obtendrán restos vegetales que pueden ser aprovechados como biomasa.

- **En el ámbito de la salud de la población.**

El aumento de la infiltración del agua de lluvia permite la recarga de los acuíferos y el aumento de su flujo base así como un mayor nivel de evapotranspiración con la consiguiente reducción del efecto "isla de calor" que permite reducir las temperaturas en los espacios exteriores de las ciudades, suponiendo ello un menor riesgo para la salud de los ciudadanos.

Además, todos los sistemas SUDS de tipo vegetados aumentan la naturalización de las ciudades con todas las ventajas que lleva asociada la presencia de vegetación en los espacios urbanos, incluida la reducción de emisiones de CO₂ al Medio ambiente.

- **Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar.**

- **Factores a considerar**

- Características climáticas

Las características de la pluviometría en la zona de estudio vienen definidas por las gráficas de *precipitaciones totales anuales* y el *régimen pluviométrico mensual* (medio, máximo y mínimo). Estas gráficas deberán obtenerse a partir de las series de datos de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio.

A partir de ellas, será necesario caracterizar la *precipitación de proyecto*, definida como el patrón de comportamiento habitual de las lluvias en la zona de estudio. Para definir la altura y la duración de la precipitación de proyecto, se suele recurrir como información de base a las *curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)*, que se generan a partir de los datos de precipitación recopilados. A partir de estos datos se puede obtener el *hietograma del aguacero*, es decir, la distribución de la intensidad de lluvia durante la duración del evento característico referido a un periodo de retorno determinado.

- Características del suelo

La profundidad de la capa freática o *nivel freático*, el *coeficiente de permeabilidad* del suelo y el *espesor* de las capas drenantes superiores, condicionarán en gran medida la tipología de SUDS que podrán ubicarse en cada intervención.

Tanto la permeabilidad de las capas superiores de suelo, como el espesor de las mismas, condicionarán la capacidad de infiltración de éste. También la profundidad de la capa freática será un factor determinante en este sentido, siendo necesario evaluar la sensibilidad de las aguas subterráneas para aplicar criterios más restrictivos a la hora de favorecer este tipo de procesos.

- Características de las superficies urbanas

El *área de las superficies y su naturaleza* (caracterizada por el uso de las mismas y su *coeficiente de escorrentía*), la configuración de las *pendientes* y la *ubicación de los elementos de desagüe* de la red, serán factores determinantes para definir el caudal de drenaje que debemos gestionar en cada punto.

- **Procedimiento de diseño y/o dimensionado**

- Selección y localización de las tecnologías a implementar

Es importante recordar que, a partir del concepto de *cadena de gestión*, podemos establecer una selección de las medidas a implementar en cada una de las escalas de la intervención. Disponer además de elementos de pretratamiento, o de diferentes dispositivos consecutivos en la cadena de tratamiento, nos permitirá poder atender diferentes objetivos (sedimentación, tratamiento de contaminantes, retención, infiltración, etc.).

En base a las condiciones del contexto y los objetivos que hemos priorizado, seleccionaremos aquellas tecnologías SUDS que mejor se adaptan a estos requerimientos.

En esta fase, es necesario tener en consideración la necesaria integración de los SUDS en el resto de elementos de la urbanización.

Dimensionado y diseño de los SUDS

Para el **dimensionamiento de los elementos de gestión de la escorrentía urbana**, partimos del cálculo del *caudal punta* para definir la *precipitación de proyecto*. Existen diferentes métodos que, a falta de datos de aforo, simulan el proceso de transformación de la precipitación en escorrentía. El más sencillo es el Método Racional, aunque asume una serie de hipótesis que lo limitan a un determinado tipo de cuencas, siempre menores a 50 Km². Según este método, el caudal aportante de una cuenca urbana se calcula como:

$$Q = \frac{CiA}{3600}$$

Siendo: Q = caudal en l/s; C = Coeficiente de escorrentía; i = intensidad de lluvia (mm/hr) y A = área en m²

Para aproximaciones más detalladas al cálculo del *caudal punta* se puede consultar Arizmendi (1991) y Herce *et al* (2002).

Por otro lado, cabe mencionar que el **dimensionamiento de los elementos de infiltración**, según Ciria (156, 1996), puede realizarse a partir de una *superficie* dada, calculando su *profundidad* mediante la siguiente expresión:

$$h_{\max} = a \cdot (e^{-b \cdot t_d} - 1)$$

Siendo:

$$a = \frac{A_p}{P} - \frac{A_b \cdot i}{P \cdot K} \quad b = \frac{P \cdot K}{n \cdot A_p}$$

Los parámetros son los siguientes:

- A_p: área a drenar (m²)
- A_b: área base del elemento (m²)
- n: porosidad del material de relleno
- i: intensidad pluviométrica (m/h)
- t_d: duración de la tormenta (h)
- P: perímetro del sistema de infiltración
- K: coeficiente de infiltración (m/h)

En cualquier caso, cada una de las tecnologías de SUDS están definidas en sus fichas correspondientes, en las que podremos encontrar referencias concretas para su dimensionamiento. Así mismo, en los manuales referidos en el apartado de recursos, encontraremos también procedimientos para un adecuado dimensionamiento y diseño de estos elementos. Concretamente, el sistema de ayuda a la decisión DayWater proporciona una serie de documentos y tablas de cálculo para el dimensionamiento de SUDS.

- **Tecnologías de aplicación.**
 - **AP-DS-02** Cubiertas vegetadas
 - **AP-DS-03** Superficies permeables
 - **AP-DS-04** Pozos de infiltración
 - **AP-DS-05** Zanjas de infiltración
 - **AP-DS-06** Drenes filtrantes o franceses
 - **AP-DS-07** Franjas filtrantes
 - **AP-DS-08** Cunetas verdes
 - **AP-DS-09** Áreas de bioretención
 - **AP-DS-10** Depósitos de infiltración
 - **AP-DS-11** Depósitos de detención
 - **AP-DS-12** Estanques de retención
 - **AP-DS-13** Humedales artificiales para aguas pluviales

2.3.1.5.2.3. AGUAS RESIDUALES

1. NORMATIVA ESPECÍFICA DE APLICACIÓN

- **Normativa Europea**

- [Directiva 76/464/CEE de 4 de Mayo, relativa a la contaminación causada por ciertas sustancias peligrosas vertidas al medio acuático por la comunidad.](#)
- [Directiva 86/280/CEE de 12 de Junio, relativa al vertido de aguas interiores o al mar de efluentes que contengan o puedan contener sustancias peligrosas.](#)
- [Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas.](#) Modificada por la [Directiva 98/15/CE](#) que define los sistemas de recogida, tratamiento y vertido de las aguas residuales urbanas.
- [Directiva 2000/60/CE Marco del Agua \(DMA\)](#) por la que se establece el marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Esta directiva establece los objetivos ambientales de calidad de las masas de agua que han de alcanzarse en el año 2015.
- [Directiva 2006/118/CE relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.](#)

- **Normativa Estatal**

- [Real Decreto Ley 11/1995](#), por el que se aprueban las normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas. Este decreto se desarrolla a través del [Real Decreto 509/1996](#), y es modificado por [RD 2116/1998](#), y con la correspondiente [corrección de errores](#).
- [Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales](#). Secretaría de estado de Medio Ambiente y Vivienda 1995.
- [RD Legislativo 1/2001. Texto refundido de la Ley de Aguas \(TRLA\)](#). Modificado por el artículo 129 de la [Ley 62/2003 de medidas fiscales, administrativas y de orden social](#), por la [Ley 11/2005 de Modificación del Plan Hidrológico Nacional](#) y por [Real Decreto-Ley 4/2007, por el que se modifica el texto refundido de la ley de aguas](#).
- [RD 314/2006 por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación](#), modificado conforme a la [Ley 8/2013](#), de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas. [Exigencia básica HS 5: Evacuación de aguas](#).
- [Real Decreto 1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas](#). Establece las condiciones básicas para la reutilización de las aguas, precisando la calidad exigible a las aguas depuradas según los usos previstos.
- [Real Decreto 1290/2012](#), por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, y que modifica el [Reglamento del Dominio Público Hidráulico](#), y el [Real Decreto 509/1996](#).

2. MEDIDAS PROPUESTAS

Por un lado, y al igual que se comentó en el apartado de aguas pluviales, **se insiste en la necesaria separación de los diferentes efluentes que discurren por las redes de saneamiento** separando, lo antes posible, las aguas pluviales y gestionando de otra manera las residuales en las que, también, cabe la posibilidad de separar los sólidos de los líquidos.

Por otro lado, una **depuración adecuada de las aguas residuales** las somete a procesos físicos, químicos y biológicos con el fin de reducir sus contaminantes y **permitir su vertido en condiciones adecuadas o bien su reutilización** para determinados usos cuyas exigencias de calidad tengan determinadas características, y todo ello **minimizando los riesgos para el medio ambiente** -al contribuir a la preservación de la calidad de los ecosistemas naturales- **y para la salud**.

La eliminación de los contaminantes se realiza de forma secuencial y ordenada a través de **diferentes etapas** que, aplicadas de forma sucesiva, proporcionan un grado de tratamiento creciente de las aguas.

▪ MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

MNE 1. Medidas en el campo del planeamiento y el diseño urbano

- **Control del planeamiento urbanístico y del crecimiento de las ciudades.**
- **Planteamiento descentralizado de las infraestructuras de tratamiento de aguas residuales en la fase de planeamiento.**
Este es posible, sobre todo, en pequeños núcleos urbanos con menos de 2.000 habitantes equivalentes.
- **Protección de las áreas sensibles.**
Supone tomar medidas legislativas y de control real sobre los vertidos de las aguas residuales a los cauces naturales, evitando la ausencia de tratamientos previos a los mismos.
- **Incorporación a la normativa relativa al agua la obligatoriedad de la implantación de tecnologías sostenibles** como las redes separativas y los diferentes sistemas de aprovechamiento de aguas grises y de aguas regeneradas.
- **Formación y asesoramiento de los técnicos municipales y proyectistas.**

MNE 2. Medidas en el mantenimiento de los espacios urbanos

- **Limpieza periódica de los sistemas de saneamiento** como medida de prevención de obstrucciones y/o generación de olores.
- **Reducción al mínimo del uso de productos agresivos en la gestión de las zonas verdes** como fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos.

MNE 3. Medidas sociales y educativas

- **Campañas de sensibilización o concienciación ciudadana.**
 - Campañas sobre buenas prácticas para no desechar residuos ni aceites por los sumideros, etc...
 - Incorporación de cartelería explicativa junto a los sistemas de tratamiento y reutilización de aguas grises o residuales.
- **Campañas educativas y de divulgación.**
 - Fomento de publicaciones y trabajos de investigación sobre el tema.

▪ MEDIDAS ESTRUCTURALES

ME 1. SS: Sistemas separativos

- **Definición y objetivos comunes de las tecnologías.**

Esta estrategia pretende **la separación de los diferentes tipos de flujos/efluentes que están presentes en las redes de saneamiento**, tanto de los edificios como de los espacios urbanos.

En este sentido, hay que distinguir dos planteamientos diferentes:

- **Sistemas separativos de aguas.** Son los que pretenden la distinción entre los diferentes tipos de aguas presentes con el fin de obtener aguas de distintas calidades para utilizarlas en distintos usos según los requerimientos de éstos (*adecuación de calidades/fit for purpose*), evitando la mezcla de todas ellas que deteriora la calidad de las mejores obligando al tratamiento exhaustivo de todo el conjunto con los consiguientes gastos energéticos y económicos.

En el caso de la **edificación**, donde hay aguas blancas, grises y negras, se puede distinguir, a su vez, entre dos líneas:

- **(Puramente)³⁶ separativo:** En este sistema, únicamente se separan las aguas pluviales de las residuales sin distinguir las distintas calidades de estas últimas. La implantación de este sistema, aunque supone un mayor número de bajantes, entre otras ventajas, flexibiliza la posición de los bajantes de pluviales que no están obligados a discurrir junto a los de residuales.
- **Doblemente separativo:** En este caso, se plantea la separación a su vez de las aguas residuales en dos tipos: las grises y las negras y es, por tanto, necesaria una *red terciaria*. Con las tecnologías disponibles hoy en día, es posible y altamente recomendable la separación de dichas aguas grises, con bajos niveles de contaminantes y casi ausencia de materia orgánica, susceptible de alcanzar, con relativa facilidad, las condiciones adecuadas para su reutilización en usos poco exigentes de calidad, generando el consecuente ahorro de agua potable.

Por otro lado, no hay que olvidar que, también, son posibles los sistemas de reutilización de aguas grises dentro de los mismos núcleos húmedos siendo, en este caso, las repercusiones mucho menores en todos los sentidos.

A nivel urbano, también se puede distinguir entre los diferentes sistemas en función de las posibles mezclas de agua en las redes. En el caso de Arizmendi (1991), distingue entre los siguientes sistemas:

- **Sistema unitario:** La recogida es común en una conducción única de todos los tipos de aguas sean blancas, negras o grises y de drenajes de los terrenos libres. Es la solución más habitual en España.
- **Sistema (puramente) separativo:** En este sistema, se efectúa la recogida de aguas pluviales en una conducción y el resto por otra conducción.
- **Sistema semiseparativo o pseudoseparativo:** En este caso, se recogen todas las aguas de los edificios (fecales y pluviales) en un sólo colector y pozo de salida, mientras que las pluviales de espacios no edificados se incorporan al sistema de saneamiento en otro conducto exclusivo. Se corresponde con el sistema semiseparativo de los edificios (bajantes separativas y colectores unitarios), cuando ya existe un parque edificado con redes de este tipo.
- **Sistema doblemente separativo:** Es cuando se realiza una separación de las aguas según sean pluviales, fecales o industriales respectivamente.
- **Sistema mixto:** es aquel que incluye en determinados tramos soluciones de algunos o todos de entre los sistemas anteriormente enunciados.

³⁶ Se quiere aclarar que, de manera poco ortodoxa y para no crear confusión en este trabajo, se ha utilizado el término “puramente separativo” para los sistemas que separan las aguas pluviales de las residuales frente a “doblemente separativo” que se refiere a los que incluyen, además, las aguas grises, por estar ambos tipos dentro de un grupo ya denominado, en sí mismo, “sistemas separativos”.

En este caso, destacaríamos como soluciones más sostenibles para los casos de nuevos desarrollos, según haya presencia o no de aguas grises, los siguientes:

- **(Puramente) separativo**
- **Doblemente separativo.**

En cambio, en el caso de rehabilitación de espacios urbanos y barriadas, lo más probable es que se tenga que optar por los otros que son los que responden a la situación real.

- El **saneamiento seco**. En estos sistemas, aplicables fundamentalmente en el ámbito edificatorio, se separan los líquidos de los sólidos. Su objetivo es el reciclado de nutrientes (N, P, K) y materia orgánica para las plantas en origen – es decir, en los propios edificios-. Están constituidos por inodoros que permiten la separación de heces y orina, en los que la materia orgánica fermenta anaeróbicamente de forma controlada mediante adición de material seco e inerte. Se genera un residuo sólido valorizable como abono y permite la utilización de la orina como fertilizante natural. Por tanto, los residuos sólidos y líquidos se transformarán en recursos útiles en todo caso. Este planteamiento se realiza fundamentalmente a nivel de la edificación pero tendría sus consecuencias en las redes urbanas.

- **Requisitos, condicionantes y criterios de aplicación del conjunto de tecnologías. Posibilidades y limitaciones de uso.**

En el caso de las **redes separativas**, el agua puede tener diferentes destinos y usos dependiendo del origen y del tratamiento realizado, tanto a nivel de la edificación como del espacio urbano.

Las **redes puramente separativas** en la que se obtienen *aguas pluviales*, pueden implementarse simplemente para facilitar la gestión de las aguas de tormentas - habitualmente con unos caudales y cargas contaminantes muy diferentes a los de las aguas residuales-, o para su aprovechamiento posterior.

En la actualidad, la normativa estatal (Código Técnico de la Edificación) ha incorporado en los edificios un primer paso hacia las redes totalmente separativas obligando que, al menos, en la red vertical de la instalación de saneamiento se distinga entre bajantes de pluviales y residuales pero, en la red horizontal, no ha sido posible dicha obligatoriedad por los pocos casos existentes de redes urbanas separativas en los que desembocarían aquellas. A pesar de ello, recomienda que, en el diseño de dichas redes horizontales, se separen ambos flujos lo máximo posible y hasta cerca de la acometida, si es posible, para permitir más fáciles adaptaciones en el futuro.

En el caso de **redes doblemente separativas**, las *aguas grises*, una vez separadas y tratadas adecuadamente, pueden ser utilizadas. En el caso de los edificios, se aplicarían en la recarga de cisternas del inodoro, riego de zonas verdes y limpieza de exteriores.

Dichas aguas deben tratarse y reutilizarse lo antes posible para evitar la aparición de malos olores a causa de procesos anaerobios.

En cuanto al **saneamiento seco**, genera un residuo sólido valorizable como abono y permite la utilización de la orina como fertilizante natural.

Este sistema tiene mucha utilidad en:

- Zonas rurales en las que se adolece de sistemas urbanos de saneamiento.
- Lugares aislados como complejos residenciales o turísticos con especial atención a la Sostenibilidad.
- En lugares y tipologías con presencia de vegetación donde se puedan aprovechar los abonos y fertilizantes obtenidos del sistema.

Por otro lado, comentar que es aplicable a cualquier tipo de edificio aunque es importante valorar el grado de implicación del usuario en el mantenimiento o la necesidad de contratar un servicio específico para ello.

En cuanto a limitaciones, aparte de la necesidad de implicación del usuario, a nivel técnico es importante saber que es un sistema que precisa espacio para alojar los depósitos de compostaje, así como un sistema de ventilación. En caso de ubicarlos en edificios en altura e implementar un *sistema con tanque remoto* deberá atenderse especialmente la ubicación de conductos de todo tipo.

También es importante conocer los plazos de funcionamiento del sistema para obtener los abonos y fertilizantes a la hora de decidirse por el sistema:

- En el caso de los sólidos, cuando la cámara esté llena (aproximadamente 6 meses) se le echa otra capa de material secante de unos 20 cm de espesor. Se deben dejar otros 6 meses antes de emplearlos como material de compostaje. Entonces, se introducirá en el suelo cerca del tronco de los árboles, realizando un agujero previamente que se cubrirá con la tierra del propio agujero.
- En el caso de los líquidos, si se quiere utilizar la orina como fertilizante, se recomienda antes de verterla sobre la planta dejarla un mes en un depósito y diluirlo con agua (una parte de orina por una parte de agua).

Por último, es importante saber que los incrementos de temperatura aceleran los procesos de descomposición de los residuos al igual que la exposición al sol que facilita la deshidratación de las heces.

• **Resultados previsibles de su aplicación a nivel medioambiental y de la salud.**

- **En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos).**

En relación a los **recursos hídricos**, las *redes separativas* proporcionan la posibilidad de tratar de manera diferenciada cada uno de los efluentes, ya sea para la reutilización de aguas grises (en cuyo caso pueden generar ahorros de aproximadamente 50 l/hab.día) o para el tratamiento diferenciado de las aguas pluviales. En este caso, se pueden generar importantes ahorros en relación a las necesidades de depuración de grandes volúmenes de agua, así como mejorar la calidad del efluente en el caso de descargas puntuales.

En cuanto al *saneamiento seco*, teóricamente, el aporte de agua es mínimo pues sólo se necesitaría agua para la limpieza del inodoro y esto, también, reduce la demanda del recurso.

A **nivel energético**, la reducción de consumo de agua de ambas medidas supone la reducción del consumo energético correspondiente.

De todas maneras, no hay que olvidar que los *sistemas separativos* donde se produzca el aprovechamiento de recursos alternativos necesitarán de un sistema

de bombeo que consume energía y los tratamientos depuradores correspondientes también.

El sistema de *saneamiento seco*, en el edificio y al funcionar por gravedad, no supone gasto energético ninguno y, a nivel urbano, supone la desaparición de los conductos de aguas residuales en los nuevos desarrollos donde se implanten disminuyendo drásticamente el caudal que llega a las depuradoras con el consiguiente ahorro energético. Además, en los procesos de compostaje es posible la obtención de biogás que, bien aprovechado, reduciría también la demanda energética.

En cuanto a consumo de **materiales**, las *redes separativas* aumentan la cantidad de material inicialmente requerido de manera importante, mientras que el sistema de *saneamiento seco* supone una sofisticación de los inodoros y la introducción de tanques, en su caso. En el caso del *compostaje in situ*, se eliminan además los bajantes aunque siguen quedando los conductos de recogida de líquidos y los conductos de ventilación. Estos sistemas *in situ*, por tanto, son sistemas de coste relativamente bajo y con un bajo mantenimiento siendo el material inerte que se necesita para crear las diferentes capas también barato.

A nivel de **residuos**, los *sistemas separativos* no suponen una diferencia importante respecto a los tradicionales. En el caso de los sistemas de *saneamiento seco*, el tema de los residuos es básico, pudiendo ser tratados y estabilizados en los propios edificios y eliminando su recorrido hasta las depuradoras. En todo caso, todos los tratamientos de compostaje, permiten la transformación de esos residuos en *compost* que es un producto apto para la mejora del terreno en agricultura, es decir, como abonos. En el caso de la orina, también es utilizada como fertilizante.

- **En el ámbito de la salud de la población.**

Los sistemas separativos no tienen repercusiones importantes en este campo. En cambio, el sistema de *saneamiento seco* sí puede tenerlos en los casos en los que el usuario es el que gestiona los residuos sólidos si no lo hace de manera correcta y debe prestar mucha atención al tomar las medidas higiénicas.

• **Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar.**

No hay nada que reseñar.

• **Tecnologías de aplicación**

- **AR-SS-01** Inodoro seco
- **AP-AD-01** Captación y almacenamiento directo de pluviales en aljibes

ME 2. SC: Sistemas compactos de depuración

• **Definición y objetivos comunes de las tecnologías.**

En general, son sistemas de depuración constituidos por una unidad indivisible que permite el saneamiento y depuración autónomos para un número reducido de habitantes.

Existen modelos prefabricados en el mercado, aunque también pueden ser contruidos *in situ*.

Constan de pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario en etapas físicamente independientes o en un solo sistema compacto conjunto.

Con ellos se consiguen niveles de calidad aptos tanto para vertido como para reutilización, caso en el cual todos estos sistemas requieren también de tratamiento terciario para la desinfección.

Estos sistemas pueden ser **automatizados** o **naturalizados**, como la biojardinera o el canal de saneamiento aireado (CAS), que eliminan, de forma natural, las arenas y las grasas que el agua lleva incorporadas.

Los *sistemas compactos automatizados* proporcionan garantías suficientes para niveles de calidad de vertido mientras que los *sistemas naturalizados* son tratamientos secundarios que aportan resultados similares pero que requieren de un tratamiento primario previo. En concreto, las *biojardineras*, que utilizando un medio natural para la creación de jardineras y pequeños jardines urbanos, necesitan antes un pretratamiento de eliminación de grasas.

En cuanto al *canal de saneamiento aireado* tiene, además, la función de transportar y evacuar, subsuperficialmente, las aguas residuales domésticas en situaciones en las que no sea posible o apropiada la utilización de tuberías convencionales mediante un sistema ecológico que además mejora la calidad del agua mientras es transportada.

- **Requisitos, condicionantes y criterios de aplicación del conjunto de tecnologías. Posibilidades y limitaciones de uso.**

Estos sistemas son **ideales para pequeñas poblaciones, urbanizaciones, hoteles e, incluso, viviendas aisladas** donde una depuración ecológica no sea de aplicación por limitaciones de espacio, principalmente.

Los *sistemas automatizados*, con más probabilidades de usarse dentro de la edificación, requieren espacios reducidos aunque incorporan consumos eléctricos, reactivos químicos y conllevan algunas necesidades de mantenimiento. En cambio, los *sistemas naturalizados* no tienen tantos requerimientos adicionales, aunque sí ocupan más espacio por lo que son usados en exteriores y, por tanto, sobretodo en espacios urbanos. Frente a ello, son sistemas sencillos y de bajo coste que permite su uso en comunidades con pocos recursos tecnológicos.

Los *sistemas compactos automatizados*, constituidos por un único depósito, cada vez están más extendidos por su reducida ocupación en viviendas unifamiliares, existiendo cada vez más modelos homologados. Su uso cada vez es más generalizado en urbanizaciones en las que no hay sistema de alcantarillado. Además, está siendo muy usado en hoteles, restaurantes, bares, residencias, lavanderías o en la industria alimentaria. Es muy importante, para su buen funcionamiento, el respetar el número máximo de personas a las que se sirve, dato aportado en los catálogos donde se puede elegir entre diversas formas y tamaños. Un terreno blando y un nivel freático bajo facilitará el proceso de excavación por medios manuales.

En el caso de las *biojardineras*, se pueden utilizar también, perfectamente, a nivel individual en viviendas, aunque no son recomendables en viviendas de uso temporal, a no ser que se disponga de sistema de riego alternativo para las biojardineras. Cuando aumentan las lluvias, aumenta evidentemente el caudal en el sistema pero, también, la cantidad de arenas arrastradas.

En cuanto a la presencia de sol, favorece el proceso fotosintético de las plantas y las altas temperaturas favorecerán o no los procesos según la especie elegida.

En relación al tipo de terreno, éste debe tener pendientes no superiores al 5% y ser blando para permitir la excavación por medios manuales. Además, el nivel freático debe ser bajo para no dificultar los trabajos.

Finalmente, comentar que el agua tratada con este sistema está perfectamente indicada para riego de jardines y de cultivos agrícolas.

En cuanto al *canal de saneamiento aireado*, es apropiado en situaciones en las que no sea posible la utilización de tuberías convencionales como en el caso de la conservación de espacios naturales o en el que, simplemente, no haya otras tecnologías disponibles o no se disponga de recursos económicos suficientes para conseguirlos. Se trata, por tanto, de un saneamiento no convencional, con función de transporte y evacuación del agua residual urbana, para entornos protegidos o vulnerables o carentes de sistemas tradicionales de alcantarillado.

Por último, es importante resaltar que requiere un agua debidamente pretratada y un tratamiento primario.

El número de habitantes ideal para este sistema depende de muchos factores (si son viviendas unifamiliares o no, del tipo de vía donde se instala, de la configuración de las acometidas, etc...).

El terreno ideal es un terreno blando, consistente e impermeable y el nivel freático deseable debe estar a 5 m.

- **Resultados previsibles de su aplicación a nivel medioambiental y de la salud.**

- **En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos).**

En cuanto a los **recursos hídricos**, la depuración de aguas grises con su posterior reutilización en riego de jardines o campos de cultivo reduce el consumo de agua potable. Todos estos sistemas, además, eliminan las arenas y las grasas de las aguas, produciendo un efluente libre de ser devuelto al terreno, en caso de no reutilizarse.

En cuanto a la calidad del agua, en el caso de la implementación de *sistemas compactos automatizados*, se espera conseguir en conjunto una reducción del 90% de los sólidos en suspensión y del 93% de la DBO₅.

En relación a los **recursos energéticos**, el ahorro va asociado al ahorro de agua pero, en el caso de los *sistemas compactos automatizados*, será necesario un gasto extra, aunque mínimo, para el funcionamiento del sistema. En cambio, los *sistemas naturalizados* no generan gasto energético eliminando, de forma natural y con el uso de la gravedad, las arenas y las grasas que el agua lleva incorporados. Su aireación natural hace innecesario un consumo energético específico para este fin.

En cuanto a **materiales**, los *sistemas naturalizados* conllevan una construcción sencilla y económica pues no requieren maquinaria y se pueden realizar con los materiales del entorno lo cual es ideal para su aplicación en entornos con pocos recursos. En cambio, los *sistemas automatizados* son más complejos y caros.

En cuanto a **residuos**, los *sistemas compactos automatizados* no generan muchas cantidades de fango. Los *naturalizados* producirán los residuos normales en las tecnologías donde está presente la vegetación, con la posibilidad de su tratamiento posterior.

- **En el ámbito de la salud de la población.**

Los sistemas compactos están diseñados para evitar el contacto del agua con los usuarios preservándolos de posibles problemas de salud, incluido el *canal de saneamiento aireado* al permitir el transporte y evacuación del agua residual urbana de manera subsuperficial.

• **Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar**

- **Procedimiento de diseño y/o dimensionado.**

Los procedimientos de diseño se basan en criterios microbiológicos basados en la cinética bacteriana de los microorganismos que intervienen en la depuración, así como en parámetros físicos de carga hidráulica superficial (m^3/m^2h), cargas orgánicas/sólidos volumétricas y superficiales (kg/m^3h , kg/m^2h) y tiempos de retención hidráulicos.

Sus valores son establecidos en función de los rendimientos deseados y permiten el cálculo de volúmenes y superficies.

La geometría completa de los tanques es función del diseño del reactor, existiendo recomendaciones específicas para cada tecnología.

• **Tecnologías de aplicación.**

- **AR-SC-02** Biojardinera
- **AR-SC-03** Canal de saneamiento aireado
- **AR-SC-04** Sistema compacto automatizado

ME 3. PT: Pretratamientos de aguas residuales

• **Definición y objetivos comunes de las tecnologías.**

En general, el *desbaste*, el *desarenado* y el *desengrasado* son fases de un proceso y tienen como objetivo común el retirar del agua aquellos contaminantes que puedan interferir en el buen funcionamiento de los tratamientos primario y secundario. Según su tipología, eliminan con suficiente garantía los grandes sólidos transportados por el agua como grasas, flotantes y arenas.

Por otro lado, podemos encontrar elementos que tengan más de una función como es el caso de las *arquetas de pretratamiento* que, incluso, se pueden llegar a usar, simplemente, como paso previo de las aguas pluviales hacia la red de saneamiento separativa. En concreto, las *arquetas de pretratamiento* son sistemas unitarios en los que se suelen eliminar sólidos de tamaño superior a 1mm, además de las grasas y aceites contenidos en el agua.

• **Requisitos, condicionantes y criterios de aplicación del conjunto de tecnologías. Posibilidades y limitaciones de uso.**

Es usado el pretratamiento en poblaciones de cualquier tamaño, eligiéndose los sistemas de tipo estático, en general, para poblaciones menores de 2.000 h.e., excepto en el caso de los desengrasadores estáticos su utilización está limitada a poblaciones inferiores a 500 h.e.

En concreto, los *canales desarenadores de flujo constante* no son recomendables en el caso de pequeñas poblaciones debido a los bajos caudales y su variabilidad que impiden mantener una velocidad de paso de 0,3 m/s constante, acumulándose arenas con alto contenido en materia orgánica.

Otras consideraciones técnicas a tener en cuenta a la hora de elegir entre los diferentes sistemas a usar son:

- En el caso de implantar *desarenadores estáticos*, la extracción de la arena es manual por lo que se deben diseñar dos canales en paralelo. De esta manera, siempre hay uno en funcionamiento.
- El *desengrasador aireado* no se suele usar a menos que se combine con un sistema de desarenado.
- En caso de que el sistema de depuración requiera un bombeo en la cabecera de la instalación depuradora, se realizará tras la etapa de desarenado y desengrasado. De no ser posible, se incluirá una reja de desbaste de gruesos de limpieza manual o automática de luz menor que el paso del rodete de las bombas instaladas.
- Como caso particular, para la reutilización de aguas grises, el pretratamiento puede quedar reducido a un *desengrasado*.

Las *arquetas de pretratamiento*, por su doble función como elemento desarenador y desengrasador son muy comunes en redes de pluviales de sistemas separativos y en calzadas de tráfico rodado. En general, en lugares donde el arrastre de tierras o arenas pueda ser importante tienen un papel preponderante y, si las lluvias son frecuentes, aún más.

En la *fase de desbaste* y en los *desarenadores de flujo variable*, la pluviometría se considera también un factor fundamental porque aumentan las velocidades de acercamiento a las rejillas y las lluvias transportan mayores cantidades de arenas.

En cuanto a las altas temperaturas también influyen, sobre todo en verano, ya que en sistemas abiertos favorece los malos olores. Y es que, tanto las arenas como las grasas, pueden contener residuos orgánicos que pueden desprender olores desagradables.

Por último y en relación al tema de los posibles olores desagradables, en el caso de grandes instalaciones, es fundamental conocer la dirección e intensidad de los vientos dominantes.

Un terreno o suelo blando y un bajo nivel freático facilitará las excavaciones por medios manuales y abaratará los costes, en general.

- **Resultados previsibles de su aplicación a nivel medioambiental y de la salud.**

- **En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos).**

En referencia a los **recursos hídricos**, en este caso, no hay un ahorro de agua como tal sino que estos pretratamientos suponen una primera mejora de la calidad del agua para evitar problemas en fases sucesivas. En concreto:

- El *tamizado*, en general, retiene los sólidos de tamaño superior a 3 mm.
- En los *sistemas de desbaste*, para luces de paso comprendidas entre 1 y 6 mm, el rendimiento de eliminación de sólidos en suspensión es del orden del 10-15%, la reducción de DBO₅ se encuentra entre el 15-25% y la de arenas en un 10-80%.

- Los *desarenadores aireados* logran reducir el contenido en materia orgánica de las arenas hasta el 5%. La reducción de arenas es del 90%.
- Los *desengrasadores* eliminan del orden del 80% de las grasas procedente de las aguas residuales. La reducción de grasas de un 80%.
- Los *sistemas desarenado-desengrasado aireados* consiguen mejores rendimientos que los comentados en el resto de los sistemas.

En cuanto a la repercusión en el **ámbito energético**, dependerá de los sistemas utilizados y de los sistemas de limpieza. Por ejemplo, en el caso de los sistemas automáticos de limpieza requieren siempre de energía adicional y, al contrario, casos como las arquetas cuya limpieza es manual suponen un consumo energético nulo. Si se emplean *desengrasadores aireados*, existe consumo energético adicional de la soplante.

Por último, será importante tener en cuenta la producción de **residuos** esperada en cada uno de los sistemas. En los sistemas estáticos se pueden dar problemas de decantación, acumulándose residuos con altos contenidos en materia orgánica. En otros casos, sobre todo, se recogerán arenas que simplemente hay que retirar.

En el *desbaste* se suelen producir la siguiente cantidad de residuos:

- Para la reja de gruesos: 2 - 5 l/h.e. • año,
- Para reja de finos: 5 - 15 l/h.e. • año,
- Para tamices: 15 - 40 l/h.e. • año.

En el proceso de *desarenado*, la acumulación de arenas es la siguiente:

- En sistemas unitarios: de 8-80 litros/100 m³ agua residual
- En sistemas separativos: 6-20 litros/100 m³ agua residual.

- **En el ámbito de la salud de la población.**

En general, estos procesos de pretratamiento forman parte de una cadena más compleja que, generalmente, no están en el entorno más cercano del usuario, por lo que no es probable el contacto directo con las aguas residuales que pueda provocar algún tipo de problema en este sentido.

Sólo las *arquetas de pretratamiento* pueden estar más cerca del usuario pero son elementos cerrados que también impiden el contacto.

• **Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar.**

- **Procedimiento de diseño y/o dimensionado.**

El diseño se realiza en base a cargas hidráulicas (m³/m²h) y tiempos de retención hidráulicos (min). En los sistemas de desbaste, las velocidades de paso y de acercamiento son también determinantes, ya que han de evitarse valores demasiado bajos que puedan generar problemas de sedimentación, mientras que superar ciertos límites de velocidad genera elevadas pérdidas de cargas y posibles arrastres, con la consiguiente pérdida de rendimientos en cuanto a calidad y a eficiencia energética.

• **Tecnologías de aplicación.**

- **AR-PT-05** Arqueta de pretratamiento
- **AR-PT-06** Sistema de desbaste
- **AR-PT-07** Desarenador
- **AR-PT-08** Desengrasador

ME 4. TP: Tratamientos primarios

- **Definición y objetivos comunes de las tecnologías.**

Permiten la eliminación de los sólidos en suspensión sedimentables en casi su totalidad por acción exclusiva de la gravedad, lo cual representa más de la mitad de los sólidos presentes en el agua. Aprovechando la diferencia de densidades, se produce también una eliminación importante de grasas y flotantes. Además de fenómenos físicos, simultáneamente se producen procesos biológicos, que fermentan anaeróbicamente la materia orgánica.

Su principal aplicación es servir de tratamiento previo a tratamientos secundarios.

En concreto, con la *fosa anaerobia de alta velocidad* se pretende aumentar la velocidad de los procesos de purificación a igualdad de resultados de calidad de efluente que los sistemas anaerobios de bajo coste tradicionales.

- **Requisitos, condicionantes y criterios de aplicación del conjunto de tecnologías. Posibilidades y limitaciones de uso.**

Estas tecnologías se usan en pequeñas aglomeraciones urbanas, residencias aisladas, grupos de viviendas, campings o gasolineras, etc..., carentes de alcantarillado cercano.

En concreto, las *fosas sépticas* son recomendables en pequeñas aglomeraciones, con una población de aproximadamente 200 habitantes equivalentes (h.e.) y se deben ubicar a unos 30 metros aguas abajo de pozos y fuentes de agua potable cercanas, para evitar posibles contaminaciones.

La capacidad máxima del *Tanque Imhoff*, debido a sus características constructivas, está limitada a unos 500 habitantes equivalentes (h.e.), aunque si se ve útil, se pueden poner varios tanques en paralelo, repartiendo entre ellos el total del caudal. Por otro lado, comentar que, cuando se usa en poblaciones pequeñas, puede no contar con pretratamiento mientras que, en las grandes, es necesario que cuente con un pretratamiento consistente en *desbaste* y *desarenado*.

La capacidad máxima de la *fosa anaerobia de alta velocidad* (FAV), debido a sus características constructivas, está limitada a unos 250 habitantes equivalentes (h.e.) aunque, también en este caso, se pueden poner varios tanques en paralelo repartiendo entre ellos el total del caudal. Tiene menores requisitos espaciales que la *fosa séptica* pero más que el *tanque Imhoff* que no digiere fangos y trabaja con tiempos de retención de 2 o 3 horas.

En general, los *tratamientos primarios* están especialmente influenciados por la temperatura. Valores de 6 a 12º en agua afectan mucho a los rendimientos que pueden verse disminuidos por ralentización de la cinética bacteriana. En concreto en lugares fríos los *tanques Imhoff* debe ir enterrados.

A estos sistemas les afecta la lluvia, únicamente, en el caso de sistemas de *saneamiento unitario*.

En cuanto al tipo de terreno, lo ideal son los suelos blandos, fáciles de excavar, de naturaleza impermeable y un bajo nivel freático. En el caso de las *fosas anaerobias de alta velocidad*, mejor si está a más de 10m

- **Resultados previsible de su aplicación a nivel medioambiental y de la salud.**

- **En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos).**

En relación a los **recursos hídricos**, se produce una mejora de la calidad respecto a las fases previas, consiguiendo rendimientos aproximados de entre el 65 y el 80% en sólidos en suspensión y 25-35% en materia orgánica, aunque depende de la tecnología empleada.

En relación a la **energía**, ninguna de las tecnologías requiere de consumo energético.

En relación a los **materiales**, los terrenos deben ser impermeables y también los materiales utilizados en la construcción de las *fosas sépticas*. Como ventaja pueden usarse materiales o escombros de los alrededores para su construcción.

En cuanto a los **residuos**, con las *fosas sépticas* se produce acumulación y estabilización de fangos en exceso generados. La reducción de volumen de los fangos permite espaciar el tiempo de operación de purgas periódicas de los mismos. Con las *fosas anaerobias de alta velocidad* la producción de fangos es más escasa.

- **En el ámbito de la salud de la población.**

Las *fosas sépticas* se deben ubicar a unos 30 metros aguas abajo de pozos y fuentes de agua potable cercanas, para evitar posibles contaminaciones. Además hay riesgo de contaminación de aguas subterráneas, en caso de construcción deficiente. Por otro lado, se produce un alto riesgo de malos olores, debido a los compuestos azufrados.

Los *tanques Imhoff* y las *fosas anaerobias de alta velocidad* tampoco implican riesgos para la salud, si se gestionan correctamente. También pueden ser origen de malos olores, pero no de ruidos.

- **Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar.**

- **Procedimiento de diseño y/o dimensionado.**

Los diseños se realizan en base a criterios de carga orgánica ($\text{kg}^3/\text{m}^2\text{d}$) o volumétrica ($\text{kg}^3/\text{m}^2\text{d}$) siempre que se garanticen suficientes tiempos de retención hidráulicos.

- **Tecnologías de aplicación.**

- **AR-TP-09** Fosa séptica
- **AR-TP-10** Tanque Imhoff
- **AR-TP-11** Fosa anaerobia de alta velocidad

ME 5. TS: Tratamientos secundarios

- **Definición y objetivos comunes de las tecnologías.**

Estos tratamientos permiten, por medios físicos, químicos y biológicos, la eliminación de la materia orgánica y los sólidos en suspensión hasta niveles de calidad acordes con los requisitos de vertido establecidos por la normativa vigente. Los procesos biológicos son los principales, pudiéndose distinguir según las distintas tecnologías: sistemas *de biopelícula* y *de cultivo en suspensión*.

Son todas ellas *tecnologías extensivas* frente a las intensivas tradicionales.

- **Requisitos, condicionantes y criterios de aplicación del conjunto de tecnologías. Posibilidades y limitaciones de uso.**

El campo de aplicación de estos sistemas o tecnologías son, principalmente, pequeñas aglomeraciones urbanas.

Sus posibilidades de aplicación se ven limitadas por la disponibilidad de espacio pues, como tecnologías extensivas que son, requieren de bastante superficie. Los *sistemas de alta velocidad* incorporan diseños más eficientes que permiten atenuar este problema. Las distintas tecnologías disponibles requieren de valores variables de superficie, estableciéndose un rango de entre 2 y 7 m²/h.e.

Al ser procesos naturales con ausencia de aportes energéticos externos, son más sensibles a las condiciones meteorológicas con lo que, especialmente, elevados índices de pluviometría y/o bajas temperaturas, pueden limitar sus rendimientos.

- **Resultados previsibles de su aplicación a nivel medioambiental y de la salud.**

- **En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos).**

En referencia a los **recursos hídricos**, tampoco en este caso hay ahorro de agua sino mejora de su calidad. Estos tratamientos garantizan rendimientos suficientes para la adecuación de la calidad del agua a los límites de vertido legalmente establecidos siendo, en cualquier caso, todos ellos superiores a 85 % tanto en eliminación de sólidos en suspensión como en reducción de la materia orgánica. Esto evita la contaminación de los cauces de los ríos y, además, permite la reutilización del agua. Específicamente, en la *escalera de oxigenación* se produce un aumento del oxígeno disuelto en el agua muy importante y, probablemente, la reducción de metales disueltos, principalmente hierro, y de algunos gases lo cual es debido a que por el aumento del oxígeno disuelto es posible la precipitación de metales, especialmente hierro y manganeso.

En cuanto a los **recursos energéticos**, al tratarse de tecnologías extensivas, el uso energético asociado al tratamiento es casi nulo o insignificante, frente a las intensivas tradicionales. En la mayoría de los sistemas, el consumo energético es nulo, habiendo casos en los que depende el gasto de si el agua llega o no por gravedad hasta la estación de tratamiento como en el *sistema de lagunaje*. En los *humedales artificiales* sólo es nulo si llega el agua por gravedad y se usan sifones en el HAFSs vertical y en los *lechos de turba* siempre que llegue el agua por gravedad y se empleen sifones para conseguir la intermitencia de la alimentación.

En la *escalera de oxigenación* se transporta agua de una cota a otra con la ayuda de la gravedad y no requiere suministro energético ni para la circulación, ni para la oxigenación.

En cambio, en el caso de los *lechos bacterianos*, el consumo energético no es nulo aunque sí bajo pues precisa de equipos electromecánicos, que consumen energía, y requieren un mantenimiento más complejo y costoso.

En cuanto a **materiales**, en el sistema de *lagunaje*, excepto la lámina plástica para impermeabilización, el resto de materiales son materiales naturales que pueden ser localizados en el entorno, al igual que los sistemas de *drenes de aireación forzada* o en la *escalera de oxigenación* en la que se usan materiales corrientes y accesibles.

En los *humedales artificiales* hay que impermeabilizar el suelo con arcilla o bentonita compactada o plásticos PEAD, en caso de alta permeabilidad, o compactarlo, en caso contrario.

Los *filtros verdes* sólo necesitan vegetación y los *sistemas de infiltración rápida* sólo se necesitan terreno o suelo fértil.

En el caso de los *lechos de turba*, ésta constituye un material de elevado precio y, además, cada cierto tiempo hay que renovarlo.

En el caso de los *lechos bacterianos* hay que destacar el alto coste de adquisición del material de relleno.

En referencia a los **residuos**, en estas técnicas, la producción de fangos es escasa, excepto en los *lechos bacterianos* en los que la producción de fangos es mayor y, además, es un fango sin estabilizar.

En el caso de los *filtros verdes*, se puede aprovechar económicamente la madera obtenida para obtención de celulosa, combustible, etc., o como madera secundaria.

- **En el ámbito de la salud de la población.**

Los *drenes de aireación forzada* tienen la ventaja de que el régimen es subsuperficial evitando el contacto directo con el agua y la producción de olores, que, en las otras técnicas, no se pueden evitar. Como ejemplo contrario, la *escalera de oxigenación*, al estar en contacto con la atmósfera, puede emitir olores que molesten a las comunidades más cercanas y en ella hay que cuidar el contacto agua-usuario.

En algunos casos, es posible, además, la aparición de mosquitos con lo que esto supone para la salud.

• **Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar.**

- **Procedimiento de diseño y/o dimensionado**

Los **procesos de biopelícula** se diseñan en función de la superficie específica necesaria para el anclaje de los microorganismos al sustrato.

En los **procesos de cultivo en suspensión** se diseñan con tiempos de retención hidráulicos y cargas superficiales.

Todo ello teniendo en cuenta las correspondientes ecuaciones de cinética bacteriana, que en general responderán a procesos de tipo aerobio-anóxico.

- **Tecnologías de aplicación**

- **AR-TS-12** Lagunaje
- **AR-TS-13** Humedales artificiales de aguas residuales urbanas
- **AR-TS-14** Sistema de drenes de aireación forzada
- **AR-TS-15** Lechos de turba
- **AR-TS-16** Lechos bacterianos
- **AR-TS-17** Filtros verdes (suelo)
- **AR-TS-18** Sistema de infiltración rápida (suelo)
- **AR-TS-19** Escalera de oxigenación

ME 6. TT: Tratamientos terciarios

- **Definición y objetivos comunes de las tecnologías.**

Estos sistemas aportan un tratamiento de afino al agua residual tratada que, partiendo de niveles de calidad acordes con los requisitos de vertido, reducen los contenidos en sólidos en suspensión, bacterias y/o patógenos en agua.

Se basan en *fenómenos físicos de filtración o químicos y biológicos para la eliminación de patógenos* del agua de manera natural. En el primero de los casos, son necesarios materiales de soporte mientras que, en el segundo, la radiación solar y la acción de microalgas son los responsables de llevar a cabo el proceso.

- **Requisitos, condicionantes y criterios de aplicación del conjunto de tecnologías. Posibilidades y limitaciones de uso.**

Principalmente, son tecnologías usadas para el tratamiento de aguas residuales generadas en **pequeñas aglomeraciones urbanas y en viviendas aisladas**.

La tecnologías de los *filtros de arena* sería aplicable para poblaciones de menos de 1.000 h.e., y si tienen hasta 2.000 h.e., los filtros deben incluir recirculación pues presentan riesgo de colmatación. Otra necesidad general de dicha tecnología es que necesita una etapa previa de pretratamiento y tratamiento primario previos.

Por otro lado, comentar que, en los *tratamientos terciarios*, se requieren grandes superficies por metro cúbico de agua tratada por lo que existen limitaciones por disponibilidad de espacio.

En el caso de *sistemas de reutilización* a escala urbana, también puede existir una carencia de espacio para la realización de procesos terciarios no convencionales, existiendo alternativas convencionales (*clorado o lámparas de UVA*) que puede ser necesario implementar en determinadas ocasiones.

En los *procesos de filtración*, las condiciones meteorológicas propias del clima mediterráneo no son, en principio, limitantes, demostrándose especialmente adecuadas para la desinfección natural.

- **Resultados previsibles de su aplicación a nivel medioambiental y de la salud.**

- **En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos).**

En lo referente a los **recursos hídricos**, no hay un ahorro de agua pero sí una mejora de la calidad consiguiendo la mejor de todas, antes de su vertido. Los *sistemas de*

filtración alcanzan rendimientos en eliminación de sólidos y materia orgánica superiores al 90% y ofrecen entre 2 y 3 ud logarítmicas de reducción de patógenos. En cuanto a los sistemas de desinfección naturales, alcanzan la eliminación completa de microorganismos patógenos expresados en CF y/o *E.Coli*.

Por tanto, son procesos que eliminan contaminantes de las aguas residuales, produciendo un efluente libre de ser devuelto al terreno.

En el caso del *Reactor Baccou*, además de la sobreoxigenación del efluente, se consigue un 100% de eliminación de coliformes fecales. Elimina los patógenos de las aguas, produciendo un efluente libre de bacterias.

En lo referente a los **recursos energéticos**, en el caso de los *filtros de arena*, si se emplean sifones para asegurar la alimentación intermitente y siempre que el terreno presente un poco de pendiente, el consumo energético es nulo. En cambio, en el caso de los *filtros con recirculación*, sí se hace imprescindible el empleo de un sistema de bombeo.

En el caso del *Reactor Baccou*, la limpieza es manual, por tanto, el consumo energético es nulo.

En los *procesos de desinfección por microalgas* se aprovecha la energía solar para realizarla, que es gratuita.

En cuanto a los **recursos materiales** necesarios, en los dos casos, son fáciles de encontrar en el entorno y de bajo coste.

En lo que se refiere a los **residuos**, en los *filtros de arena*, hay una escasa producción de fangos. En el caso del *Reactor Baccou*, los restos son arenas con poca materia orgánica.

- **En el ámbito de la salud de la población.**

El único efecto desagradable es el olfativo, no procedente del propio sistema de *filtros de arena* sino de las otras tecnologías que están asociadas a él, como las *fosas sépticas* o los *tanques Imhoff*.

• **Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar.**

- **Procedimiento de diseño y/o dimensionado**

Los **procesos de filtración** se diseñarán en base a criterios de velocidad de filtración, pudiéndose establecer, en este sentido, filtros de alta y baja carga.

En cuanto a los **procesos de desinfección por microalgas**, son las temperaturas y el tiempo de exposición a las condiciones que se generan en los reactores, los determinantes del grado de eliminación de patógenos, estando la geometría limitada por mínimas profundidades debido al escaso poder de penetración de las radiaciones y la presencia de turbidez en las aguas y beneficiados por las grandes superficies expuestas al sol.

• **Tecnologías de aplicación.**

- **AR-TT-20** Filtros de arena
- **AR-TT-21** Reactor Baccou

2.3.1.5.2.4. AGUA Y ENERGÍA

1. NORMATIVA ESPECÍFICA DE APLICACIÓN

Existen numerosas recomendaciones e informes dimanados de las distintas jornadas y conferencias organizados en relación con el binomio agua/energía que **recomiendan expresamente el tratamiento conjunto de ambos recursos** pero dichas recomendaciones y directrices no están recogidas plenamente en la normativa referida al agua, aunque a lo largo de los últimos años se ha ido generando a distintas escalas una normativa que va propiciando la integración.

- **Normativa europea**

- [Directiva 2002/91/CE, relativa a la eficiencia energética de los edificios.](#) En particular, se refiere al aislamiento, al aire acondicionado y al uso de fuentes de energía renovables. Proporciona un método de cálculo de la eficiencia energética de los edificios, así como requisitos mínimos para los edificios nuevos y los grandes edificios existentes, y una certificación energética.
- [Directiva 2006/32/CE sobre servicios energéticos \(DSE\)](#) por la que se deroga la [Directiva 93/76/CEE](#) del Consejo, alienta a los Estados miembros a mejorar la eficiencia del uso final de la energía y a explotar el potencial de ahorro energético rentable de una manera económicamente viable.
- [Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética](#), por la que se modifican las [Directivas 2009/125/CE](#) y [2010/30/UE](#), y por la que se derogan las [Directivas 2004/8/CE](#) y [2006/32/CE](#). En esta se exige a los Estados miembros que establezcan objetivos indicativos nacionales de eficiencia energética para 2020, basados en el consumo de energía primario o final, y se disponen normas vinculantes para los usuarios finales y los proveedores de energía.

Se recoge también la creación, regulación y ordenación de un mercado energético. En este sentido, y aunque aún no se ha traspuesto a la legislación nacional, están apareciendo **empresas de servicios energéticos que ofrecen sus servicios de gestión del agua y la energía de forma conjunta.**

- **Normativa Estatal**

- [Código Técnico de la Edificación-CTE \(Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo\).](#) [Exigencia básica HE 4](#) sobre contribución solar mínima de agua caliente sanitaria y [Exigencia básica HS 5](#) sobre suministro y evacuación de aguas. La última modificación se realizó conforme a la Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas. En esta normativa se establecen las condiciones para el suministro como la presión de servicio - que ha de estar comprendida entre 100 y 500 kPa-, la distancia desde el calentador de agua y el punto de consumo - que ha de procurarse que sea inferior a 15 mts o incorporar en su caso redes de retorno- o las condiciones para la contribución de la energía solar térmica a la producción de agua caliente sanitaria.
- [Real Decreto 1027/2007 por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios.](#)
- Proyecto de [Real Decreto para la transposición de la Directiva 2012/27/UE](#) relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos, promoción de la eficiencia energética y contabilización de consumos energéticos.

Es importante también destacar que, en la actualidad, este proyecto de Ley **recoge la obligatoriedad de instalar contadores individuales de energía en las viviendas**, cuyo objetivo es impulsar las instalaciones colectivas de climatización y ACS en los bloques de viviendas, dado que se ha comprobado que uno de los estrangulamientos más importantes para el desarrollo de estas instalaciones es el reparto de los costes a las viviendas. **La instalación de contadores individuales por vivienda vendría a potenciar de forma notable en la proliferación de estas instalaciones colectivas.**

2. MEDIDAS PROPUESTAS

▪ MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

MNE 1. Medidas en el campo del planeamiento y del diseño urbano y arquitectónico

- **Control del planeamiento urbanístico y del crecimiento de las ciudades.**
 - Disminución del gasto energético en las ciudades con medidas urbanísticas que fomenten el ahorro y la eficiencia energética.
 - Incorporación de sistemas de movilidad sostenible o de bajo consumo energético (potenciación del transporte colectivo, carril-bici, etc...) que suponen, además de un ahorro energético, una reducción de la cantidad de agua utilizada en los espacios públicos de la ciudad (lavado de vehículos, eliminación de los restos del tráfico mediante agua a presión,...).
 - Formación y asesoramiento de los técnicos municipales y proyectistas.
- **Relación entre instalaciones en el campo del diseño arquitectónico y urbano.**

Hay medidas que tomar en el campo del diseño arquitectónico y urbano que, simplemente, afectan a ambos campos –hídrico y energético- aunque por otras razones que no son el ahorro de los recursos.

 - **Distancias mínimas y colocación relativa entre las instalaciones de agua fría y de ACS.** Aunque sea de sentido común, conviene recordar que, por un lado, es fundamental guardar una distancia mínima de seguridad y, por otro, para evitar intercambios de calor innecesarios las tuberías de ACS siempre discurrirán por encima de las de agua fría.
En el campo de las infraestructuras urbanas, también existen recomendaciones sobre la distancia entre ambos tipos de redes. (Arizmendi, 1991)
 - **Distancias mínimas y colocación relativa entre las instalaciones de agua y las de energía.** Por otro lado, como medida de seguridad para la instalación, es importante “guardar la separación de protección entre las canalizaciones paralelas de fontanería y cualquier conducción o cuadro eléctrico que sea ≥ 30 cm”. (Arizmendi, 2000)
En el campo de las infraestructuras urbanas, también existen recomendaciones sobre la distancia entre ambos tipos de redes. (Arizmendi, 1991)

MNE 2. Medidas en el mantenimiento de los espacios urbanos

- **Mantenimiento del alumbrado viario.**
 - Utilización de sistemas de alumbrado con luminarias cerradas estancas y con cierre hermético con un alto grado de protección contra la penetración de líquidos facilitando la limpieza de los mismos a la vez que protege el material del interior.

MNE 3. Medidas sociales y educativas

- **Campañas de concienciación ciudadana:** Emerge la nueva prioridad de abordar campañas que incidan en la consideración del tratamiento conjunto del agua y la energía, basadas en los siguientes mensajes:
 1. Agua necesaria para la energía
 2. Energía necesaria para el agua

3. Ahorrando agua ahorramos energía
4. Ahorrando energía ahorramos agua
5. Beneficios para los vecinos en la factura del agua y la energía
6. Beneficios para la comunidad mediante la creación de empleo
7. Beneficios para el medio ambiente mediante la disminución de la generación de gases de efecto invernadero.
8. El desarrollo sostenible es posible

- **Campañas educativas y de divulgación.**

- Fomento de publicaciones y trabajos de investigación sobre el tema.

- **MEDIDAS ESTRUCTURALES**

- ME 1. **AE: Medidas de ahorro de agua en el ámbito energético**

- **Definición y objetivos comunes de las tecnologías.**

Aunque hay una serie de medidas propuestas en otros apartados cuyo objetivo es el ahorro de agua (dispositivos ahorradores,...), este apartado se refiere a una serie de medidas que se desarrollan en el ámbito específico de la energía. También tendrían como resultado directo una reducción del consumo hídrico.

- En base a la **optimización de las presiones de suministro**, es muy importante el control de la presión en los puntos de consumo para evitar los excesos que suponen un mayor gasto innecesario de recursos hídricos -aunque, evidentemente, tiene también un efecto de disminución del consumo de la energía- en principio, con diseños que eviten soluciones reductoras de presión.

En los edificios, ello se realizaría mediante un buen cálculo inicial y el mantenimiento continuo de los grupos de presión y afino de sus valores de consigna para el ajuste de los valores de presión en los grifos de los usuarios -sin pérdida de calidad para ellos.

Las redes urbanas suelen funcionar por gravedad pero, en los casos en los que se bombea, también habría que controlar las presiones finales.

- En el **diseño de las redes de distribución de ACS**, destaca la limitación, incluida desde el principio en el CTE, de la distancia de los puntos de consumo a los sistemas de calentamiento de agua o producción de ACS sin necesidad de red de retorno ya que, con distancias mayores, hay una pérdida importante de líquido en el momento de la apertura del grifo por parte del usuario hasta que el agua sale en las condiciones de temperatura que necesita.

- **Requisitos, condicionantes y criterios de aplicación del conjunto de tecnologías. Posibilidades y limitaciones de uso.**

La *optimización de la presión de suministro* es aplicable a cualquier tipo de dispositivo, tanto en el ámbito edificatorio como urbano, que tenga limitadas sus condiciones de presión.

En el caso de los edificios, según el CTE, las presiones deben estar entre los 100 y los 500 KPa (10 y 50 m.c.a.) mientras que, en las redes de distribución urbanas, las recomendaciones son que no se debe sobrepasar es de 60 m.c.a. y el valor mínimo de presión dependerá del servicio al que se suministra el agua:

- En acometidas de edificios: $P \text{ (m.c.a.)} \geq 1,20 H + 10$ (siendo P la presión en la acometida y H la altura del punto de consumo más elevado sobre la tubería de alimentación)
- En hidrantes: $P \geq 10$ m.c.a. si los coches de bomberos se encuentran equipados con equipos motobombas y $p \geq 35$ m.c.a. en caso contrario.
- En dispositivos de riego: $P \geq 30$ m.c.a. en las bocas de riego y entre 28 y 35 m.c.a. en distribuidores de redes de aspersión

En cuanto a la *limitación de las distancias de los puntos de consumo de ACS al sistema de producción* es aplicable a cualquier tipo de edificio y el límite es de 15 m a partir de la cual sería necesaria la introducción de una red de retorno.

- **Resultados previsibles de su aplicación a nivel medioambiental y de la salud.**

- **En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos).**

En referencia a los **recursos hídricos**, en el caso de la *optimización de la presión de suministro*, la eliminación de presiones excesivas en los puntos de consumo tendrá como efecto inmediato una reducción de los caudales consumidos y, por tanto, de la demanda de agua potable a la red urbana.

En el caso de la *limitación de las distancias de los puntos de consumo de ACS al sistema de producción*, en los casos en los que haya necesidad de una red de retorno, se evitará la pérdida de agua potable en el momento de la apertura de los grifos por parte del usuario.

En cuanto a los **recursos energéticos**, además, la *optimización de la presión de suministro*, lleva claramente asociada una reducción del consumo energético. El cálculo del **ahorro de energía** debido al efecto combinado de suministrar a los primeros pisos directamente de la red y de ajustar la presión de servicio, vendrá dado por:

$$\Delta E = d \times t \times g \times \Delta q \times \Delta h / (\eta_b \times \eta_m) \text{ Julios}$$

Donde: ΔE incremento de energía en julios
d = densidad del agua
t = tiempo en segundos
g = gravedad en m/seg^2
 Δq = caudal en litros/seg
 Δh = incremento de presión en m.c.a.
 $\eta_b \times \eta_m$ = rendimiento de la bomba y del motor

En cuanto a los **recursos materiales**, la *limitación de las distancias de los puntos de consumo de ACS al sistema de producción* sí supone la consiguiente inversión inicial algo mayor debido al aumento de material (conductos y aislamientos) pero es mínima.

En relación a los **residuos**, no hay efectos importantes en ninguno de los dos casos.

- **En el ámbito de la salud de la población.**

No hay efectos importantes en la salud en la aplicación de ninguna de las dos tecnologías.

- **Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar**

- **Procedimiento de diseño y/o dimensionado**

En el caso de la *optimización de la presión de suministro*, se recomienda evaluar la *presión de paro* y la *presión de consigna* y compararla con la *presión de suministro*.

Para evaluar la *presión de suministro* se han de tener en cuenta los siguientes valores: altura de aspiración de la instalación, altura geométrica, pérdidas de carga en tuberías, pérdida de carga en accesorio, pérdidas de carga en elementos singulares (filtros, contadores, etc.) y la presión mínima dinámica del aparato en la situación más desfavorable.

Se tendrá en cuenta, además, las siguientes recomendaciones:

1. La *presión de arranque* del grupo no debe ser inferior a la *presión de suministro*.
2. La *presión de paro* debe ser la *presión de arranque* + 2 ó 3 bares.
3. La *presión de consigna* ha de ser como mínimo igual a la *presión de suministro* + 1 bar.

El cuanto a la *limitación de las distancias de los puntos de consumo de ACS al sistema de producción* es un procedimiento sencillo que depende únicamente de la realización de un diseño inteligente del proyecto. Si no es posible reducir la distancia por debajo de los 15 m, la solución también es sencilla pues consiste, simplemente, en la introducción de una red de retorno hasta el sistema de calentamiento.

- **Tecnologías de aplicación.**

- **AE-AE-01** Optimización de la presión de suministro

ME 2. EA: Medidas de ahorro energético en el ámbito hidráulico

- **Definición y objetivos comunes de las tecnologías.**

Son soluciones que, afectando al campo hidráulico, tienen como **objetivo fundamental el ahorro de energía**. Hay muchos ejemplos:

- Es importante el **planteamiento de redes partidas** en los edificios que eviten bombear el caudal de la totalidad del edificio aprovechando la energía de posición o presión del agua en la red urbana y así disminuir el consumo de ésta, dando servicio directo a las primeras plantas a las que llegue el agua sin dicha necesidad de bombeo.
- En la misma línea, pero a escala urbana, la **ubicación de los depósitos de almacenamiento de los núcleos urbanos en las cotas más altas** permiten un ahorro de energía al funcionar la red urbana por gravedad en la mayoría de los casos.
- La utilización de **grupos de bombeo de caudal o velocidad variable** -frente a la de los tradicionales- permite el ajuste inmediato de las presiones en los puntos de consumo independientemente de la distribución del uso de los recursos hídricos de una determinada unidad habitacional funcionando el tiempo y con la potencia/consumo estrictamente necesarios.

- Es fundamental el ***aislamiento correcto de las tuberías de ACS y calefacción por agua*** para evitar pérdidas que haya que compensar con más consumo de energía.
- Por otro lado, no hay que olvidar las posibilidades de obtener ***energía de los recursos naturales*** -incluida el agua- como fuentes renovables o alternativas a las tradicionales como los siguientes casos:
 - Aprovechamiento de la ***energía solar térmica para producción de ACS***. Se trata de aprovechar la energía del sol para producir ACS en los espacios habitados reduciendo al máximo el consumo de energía de la red. En este sentido, desde la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación CTE, es obligatoria la contribución de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria en determinados casos.
Es importante también recordar que, en la actualidad, existe un proyecto de Ley que recoge la obligatoriedad de instalar **contadores individuales de energía** en las viviendas, cuyo objetivo es impulsar las instalaciones colectivas de climatización y ACS en los bloques de viviendas, dado que se ha comprobado que uno de los estrangulamientos más importantes para el desarrollo de estas instalaciones es el reparto de los costes a las viviendas. La instalación de contadores individuales por vivienda vendría a potenciar de forma notable en la proliferación de estas instalaciones colectivas, siempre mucho más eficientes energéticamente.

- **Requisitos, condicionantes y criterios de aplicación del conjunto de tecnologías. Posibilidades y limitaciones de uso.**

Las *redes partidas en los edificios*, fundamentalmente, se recomiendan en edificios de más de 10 plantas (Arizmendi, 1990). Dependerá en gran medida de las presiones de suministro garantizadas por las compañías suministradoras.

La *ubicación de los depósitos de almacenamiento de agua para poblaciones en los puntos más elevados* será una prioridad en el planeamiento.

Los *grupos de bombeo de caudal o velocidad variable* son aplicables en cualquier tipo de edificio.

El *aislamiento correcto de las tuberías de ACS* es aplicable siempre, como principio básico de eficiencia energética.

La *implementación de instalaciones de Energía Solar Térmica para producción de ACS*, según la sección CTE-DB-HE4 es de aplicación en el sector de la edificación en los siguientes casos:

- Edificios de nueva construcción o a edificios existentes en que se reforme íntegramente el edificio en sí o la instalación térmica, o en los que se produzca un cambio de uso característico del mismo, en los que exista una demanda de agua caliente sanitaria (ACS) superior a 50 l/d.
- Ampliaciones o intervenciones, no cubiertas en el punto anterior, en edificios existentes con una demanda inicial de ACS superior a 5.000 l/día, que supongan un incremento superior al 50% de la demanda inicial

- Climatizaciones de piscinas cubiertas nuevas, piscinas cubiertas existentes en las que se renueve la instalación térmica o piscinas descubiertas existentes que pasen a ser cubiertas.

La utilización del *resto de energías de origen natural* en la edificación y en el entorno urbano no está muy extendida y requiere aún de una gran cantidad de trabajos de investigación como para dar normas genéricas de aplicación.

- **Resultados previsibles de su aplicación a nivel medioambiental y de la salud.**

- **En el ámbito de los recursos (agua, energía, materiales y residuos).**

Aunque el objetivo de estas medidas es el ahorro energético, muchas de ellas suponen también un **ahorro de agua**.

En general, todas estas medidas tomadas en el campo de las instalaciones hidráulicas suponen la **reducción del consumo energético** y, por tanto, de la demanda y de la necesidad de producción. Como resultado, hay una reducción del efecto invernadero y de la problemática asociada. Es fundamental concienciarse de que las medidas que favorezcan el ahorro energético aportan un grano de arena más a la retención del cambio climático que, a su vez, tan nefastos efectos tienen en el ámbito hídrico.

En cuanto a la necesidad de consumo de **materiales**, las *redes partidas* aumentan el material consumido pero poco en comparación con otras medidas como la *producción de ACS mediante instalaciones de Energía Solar Térmica*. Quizás, es la medida que mayor coste material ha supuesto en la edificación.

En cuanto al campo de los **residuos**, ninguna de las medidas supone un efecto importante en ese campo.

- **En el ámbito de la salud de la población.**

Ninguna de las medidas tiene una repercusión importante en la salud de los ciudadanos.

- **Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar.**

- **Procedimiento de diseño y/o dimensionado.**

Los diseños de **redes partidas en los edificios** dependerán de la presión de acometida que ofrezca la red urbana y de la configuración de los mismos.

En los edificios ya existentes -es decir, en Rehabilitación-, se recomienda comprobar si los primeros pisos están conectados al grupo de presión. Si lo están, evaluar si la presión que garantiza la compañía suministradora de agua puede servir directamente a estos primeros pisos con garantía de presión de servicio, con el consiguiente ahorro de energía.

De manera análoga, en el caso de las redes urbanas, al diseñarlas y calcularlas, hay que hacerlo para intentar conseguir presiones mínimas adecuadas en la mayoría de los edificios y no diseñar para los edificios de mayor altura pues, si no, también estarían muchos puntos de consumo en sobrepresión.

En los **grupos de bombeo de caudal variable**, el procedimiento es similar a la colocación de un grupo de bombeo tradicional donde se selecciona el sistema en base al caudal total a bombear y la pérdida de carga máxima a compensar.

En cuanto al **aislamiento correcto de las tuberías de ACS y calefacción por agua**, la normativa vigente establece el grosor de los diferentes aislamientos de las tuberías que transportan agua caliente –tanto para abastecimiento como para sistemas de calefacción, etc...- en función de si está en interior o exterior, del material de aislamiento, el de la tubería y su diámetro.

En el caso del diseño de las **instalaciones de Energía Solar Térmica para producción de ACS** deberá considerarse la contribución solar mínima, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Zona climática
- Diferentes demandas de agua caliente sanitaria (ACS)

El diseño de la instalación solar térmica deberá contemplar la protección contra heladas, contra el sobrecalentamiento, la resistencia a la presión o la prevención del flujo inverso.

Se deberán especificar los elementos instalados: captadores, conexionado y estructura soporte, depósitos de acumulación (volumen, disposición y conexiones de los acumuladores), intercambiadores de calor, circuitos hidráulicos (cálculo de tuberías, bombas, vasos de expansión, válvulas, purgas, etc.), sistema de energía convencional auxiliar, y sistemas de control y medida.

En el proyecto se establecerá el método de cálculo, especificando, al menos, los valores medios diarios de la demanda de energía y de la contribución solar. El método de cálculo incluirá también las prestaciones globales anuales definidas por la demanda de energía térmica, la energía solar térmica aportada, las fracciones solares mensuales y anuales, y el rendimiento medio anual.

El dimensionado de la instalación estará limitado por el cumplimiento de las siguientes condiciones.

- En ningún mes del año, la energía producida por la instalación podrá superar el 110 % de la demanda energética.
- En no más de tres meses, se superará el 100 % de la demanda energética o, en su caso, deberán especificarse las medidas correctoras.

Así mismo, deberán evaluarse las pérdidas por orientación e inclinación y sombras de la superficie de captación.

- **Tecnologías de aplicación.**

- **AE-EA-02** Agua Caliente Sanitaria termosolar
- **AE-AE-01** Optimización de la presión de suministro

2.3.1.5.3. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LAS TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES: **FICHAS TECNOLÓGICAS.**

Se recuerda que las *tecnologías* seleccionadas están enmarcadas todas ellas en las *medidas estructurales* ya que el objeto central del presente trabajo era la sistematización de tecnologías en el ámbito de la edificación y los espacios urbanos, donde los aspectos constructivos son primordiales.

A continuación se presentan las que recogen la información de cada una de las tecnologías estudiadas que son las siguientes:

ABASTECIMIENTO

- AB-DA-01 Dispositivos de bajo consumo para grifos y rociadores
- AB-DA-02 Griferías hidroeficientes
- AB-DA-03 Inodoros y urinarios hidroeficientes
- AB-DA-04 Electrodomésticos de bajo consumo hídrico
- AB-GF-05 Galerías de servicios
- AB-GF-06 Sistemas de detección de fugas
- AB-GF-07 Individualización de contadores en los edificios
- AB-HA-08 Almacenamiento y recuperación de acuíferos (ARA)
- AB-JH-09 Xerojardinería
- AB-JH-10 Sistemas de riego hidroeficientes

AGUAS PLUVIALES

- AP-AD-01 Captación y almacenamiento de pluviales en aljibes
- AP-DS-02 Cubiertas vegetadas
- AP-DS-03 Superficies permeables
- AP-DS-04 Pozos de infiltración
- AP-DS-05 Zanjas de infiltración
- AP-DS-06 Drenes filtrantes o franceses
- AP-DS-07 Franjas filtrantes
- AP-DS-08 Cunetas verdes
- AP-DS-09 Áreas de bioretención
- AP-DS-10 Depósitos de infiltración
- AP-DS-11 Depósitos de detención
- AP-DS-12 Estanques de retención
- AP-DS-13 Humedales artificiales para aguas pluviales

AGUAS RESIDUALES

- AR-SS-01 Inodoro seco
- AR-SC-02 Biojardinería
- AR-SC-03 Canal de saneamiento aireado
- AR-SC-04 Sistema compacto automatizado
- AR-PT-05 Arqueta de pretratamiento
- AR-PT-06 Sistema de desbaste
- AR-PT-07 Desarenador
- AR-PT-08 Desengrasador
- AR-PT-09 Fosa séptica
- AR-TP-10 Tanque Imhoff
- AR-TP-11 Fosa anaerobia de alta velocidad
- AR-TS-12 Lagunaje

**SISTEMATIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA UNA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL CICLO URBANO DEL AGUA.
REPERCUSIONES ESPACIALES, CONSTRUCTIVAS Y ECONÓMICAS EN LA EDIFICACIÓN Y EL URBANISMO.**

- AR-TS-13 Humedales artificiales de aguas residuales urbanas
- AR-TS-14 Drenes de aireación forzada
- AR-TS-15 Lechos de turba
- AR-TS-16 Lechos bacterianos
- AR-TS-17 Filtros verdes (suelo)
- AR-TS-18 Sistema de infiltración rápida (suelo)
- AR-TS-19 Escalera de oxigenación
- AR-TT-20 Filtros de arena
- AR-TT-21 Reactor Baccou

AGUA Y ENERGÍA

- AE-AE-01 Optimización de la presión de suministro
- AE-EA-02 Agua Caliente Sanitaria termosolar

2.3.1.5.3.1. ABASTECIMIENTO

ABASTECIMIENTO

DISPOSITIVOS DE AHORRO

AB-DA-01: DISPOSITIVOS DE BAJO CONSUMO PARA GRIFOS Y ROCIADORES

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Mecanismos o dispositivos de bajo flujo para grifos y rociadores
- Mecanismos o dispositivos reductores para grifos y rociadores

1.2. Términos utilizados en inglés

- Low-flow fixtures for taps and shower heads
- Low-flow devices

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Son dispositivos o mecanismos que se colocan en grifos de fregaderos, lavabos, bidés o bañeras y en rociadores de ducha ya existentes para reducir el consumo de agua de los aparatos. Son, por lo tanto, *elementos adicionales* a todos estos elementos.

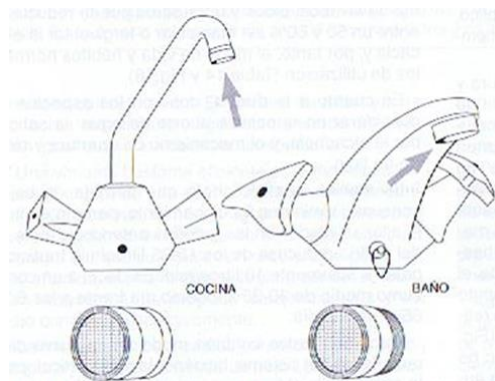


Fig.1. Ejemplos de *dispositivos adicionales* (Palma, 2003)

En concreto, algunos dispositivos son sólo apropiados para los rociadores de ducha como los *atomizadores*, los *rociadores de chorro pulsante o de burbujas*, los *interruptores del flujo de agua* o los *reductores del área de difusión* (Viñuales et al, 2002). Mientras que los *rociadores de ducha convencionales* consumen entre 10 y 14 l/min, dependiendo del modelo y la presión del agua, los *rociadores de bajo consumo* emplean de 6 a 7 (MAGRAMA, 2011).

2.2. Componentes de la tecnología

Depende totalmente del dispositivo del que se trate y del sistema que utilice. Entre los posibles elementos se encuentran: discos difusores, boquillas, elementos de acabado o decorativos, etc...

2.3. Forma de funcionamiento

Se consigue el ahorro de agua a partir de tres sistemas básicamente:

- Mediante **reducción del caudal** que atraviesa el dispositivo: Es posible este efecto tanto en grifos como en rociadores y se puede conseguir, a su vez, de varias formas.
 - La *aireación* funciona mezclando aire con el agua reduciendo el caudal sin que cambie al sensación de confort del usuario.
 - El *atomizado* produce una dispersión más fina de las gotas de agua (niebla), creando una sensación mayor de humedad con menor caudal.
 - El *chorro pulsante* se basa en una casi imperceptible interrupción del flujo de agua realizada de manera repetida utilizando, en conjunto, menos agua y provocando una sensación de masaje.
 - La *interrupción del flujo* es un mecanismo que corta el flujo totalmente de manera puntual y voluntaria por parte del usuario cuando no lo considera indispensable.
 - La *limitación parcial del paso del caudal* se basa en la disminución de la sección de paso del agua, de manera continua o en función de la presión detectada.
- Mediante **reducción de la presión de salida del agua**: Es posible este efecto tanto en grifos como en rociadores. El efecto, al reducir la presión, es la reducción de la velocidad de salida del agua que hace que, en el mismo periodo de tiempo, salga menos caudal.
 - El *establecimiento de una presión límite* permiten regular la presión en salida a valores óptimos predefinidos.
- Mediante **reducción de la superficie de salida del agua**: Este último sistema es usual en rociadores de ducha y pretende un mayor aprovechamiento de la misma.

2.4. Definición constructiva



Fig.2. Aireador (www.grohe.com, 2015)



Fig.3. Rociador de ducha (www.latiendadelahorrodeagua.com, 2015)

2.5. Imagen del resultado



Fig.4 y 5. Aireadores (www.aqdaigua.com y www.aguflux.es)



Fig.6. Rociador (www.latiendadelahorrodeagua.com)

2.6. Clasificación en tipologías

Dentro de todos los *dispositivos de tipo adicional*, se pueden distinguir varios tipos (Viñuales *et al*, 2002:24-31):

- **Modificadores de salida de caudal:**

Se modifica la forma en la que el agua sale del grifo variando el tamaño de gota y la cantidad de aire incorporado para que el usuario no tenga la sensación de que el grifo le proporciona menos agua.

Dentro de este grupo, existen varios tipos:

- **Aireadores o Perlizadores:** Es un dispositivo que mezcla aire con el agua, incluso cuando hay baja presión, de manera que las gotas de agua salen en forma de “perlas”.



Fig.7. Aireador (www.aguaflux.es, 2015)



Fig.8. Perlizador (www.aguaflux.es, 2015)

- **Atomizadores y Rociadores de chorro pulsante, de burbujas, de champagne o de masaje:** Entre las alternativas más comunes destacan elementos que funcionan mediante *atomizado* o mediante *chorro pulsante*. En principio, la función de este último mecanismo es provocar una sensación de masaje (y es así como se oferta comercialmente), pero indirectamente también consigue un ahorro de agua.

Algunas duchas de teléfono ofrecen diferentes opciones de salida en el propio cabezal, poniendo en marcha otros sistemas que también favorecen el ahorro de agua.



Fig.9. Rociador de chorro pulsante (www.aguaflux.es, 2015)

- **Interruptores del flujo de agua:** Este sistema se coloca al inicio del flexo de la ducha y su única misión es la de bloquear el paso del agua sin tener que cerrar el grifo evitándose manipular la mezcla de agua (sobre todo, en los grifos bimando), facilitando las operaciones de cierre en los momentos en los que el flujo de agua no es imprescindible (enjabonado).



Fig.10. Interruptor de flujo (www.ahorrragua.org, 2015)

- **Reductores, limitadores o controladores de caudal:**

Los *limitadores de caudal* reducen la cantidad de agua que sale por el grifo.

Existen varios tipos:

- **Limitadores de caudal estáticos y estranguladores:** Los *limitadores de caudal* se basan en la disminución de la sección de paso del agua mermando, por lo tanto, la cantidad de agua que pasa por un punto. En general, funcionan correctamente a las presiones de servicio habituales (1-3 bares), pero no garantizan unas óptimas condiciones de servicio a bajas presiones. Los *estranguladores* reducen la sección de paso aumentando el grosor de las paredes de los conductos y los discos con orificios graduados en el centro.



Fig.11. Limitador de caudal (Hogares Verdes Canarias)

- **Controladores de caudal en función de la presión:** Más sofisticados que los anteriores, pero de similar apariencia externa, se comportan de una manera dinámica en función de la presión a la que son sometidos. Habitualmente, están compuestos por una pieza de plástico en forma de anillo situada en un punto por donde debe pasar toda el agua. Cuando la presión sobre la goma es muy alta, ésta se tensa, reduciendo el paso de agua, mientras que cuando la presión disminuye, el anillo se relaja, aumentando la sección de paso.



Fig.12. Controlador de caudal (Hogares Verdes Canarias)

- **Reductores de presión:**

Son dispositivos que permiten regular la presión en salida a valores óptimos predefinidos. Su principio de funcionamiento se basa en el equilibrio entre dos fuerzas opuestas. Por un lado, el muelle empuja el obturador hacia abajo en el sentido de apertura del reductor y, por otro, la membrana, empujada por la presión aguas abajo, tiende a llevar el obturador hacia arriba, en el sentido de cierre del reductor. Al abrir el grifo en la línea aguas abajo del reductor, disminuye la presión debajo de la membrana. Si la fuerza del muelle es superior a la ejercida por el agua debajo de la membrana, el muelle empuja el obturador hacia abajo con lo cual se abre el paso del agua.



Fig.13. Reductor de la presión (<https://cofansa.wordpress.com>, 2015)

- **Reductores del área de difusión:**

La simple concentración del chorro de salida consigue un considerable ahorro sin reducir la cantidad de agua útil por unidad de superficie.

Estos dispositivos son específicos de los rociadores de ducha y no suelen incorporarse a otros tipos de grifería.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Es posible usarlo en **edificios de cualquier uso y escala** y, los aplicables en grifería, **en cualquier tipo de grifo**, sea de tipo tradicional o hidroeeficiente.

Puede hacerlo el propio usuario sin necesidad de ningún tipo de conocimiento técnico y en cualquier momento, independientemente de lo que hagan otros usuarios del mismo edificio.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Dispositivo	Coste
Aireador o Perlizador y Atomizador	Media: 6,00€ (3,00€*/8,80€**)
Rociador de chorro pulsante, de burbujas, de champagne o de masaje	Media: 24,00€ (18,00-30,00€***)
Reductor de caudal en duchas (Limitador de caudal estático)	2,70 €*

4.2. Fuentes de referencia

* (ZINNAE, 2013)

** (López Patiño *et al*, 2012)

*** (MAGRAMA, Programa Hogares Verdes, 2011)

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

El caudal no deberá exceder de 8 l/min a una presión entre 1 y 3 bares, o 9 l/min a una presión entre 3 y 5 bares. En el caso de que exista una presión superior a 5 bares es preciso colocar un *regulador de presión* en la red general (ver *Ficha tecnológica* AE-AE-01).

Al elegir dispositivos de ahorro, se recomienda:

- Adquirir productos que permitan una larga duración del equipo y facilidad de reparación. Usar objetos monomateriales y, a poder ser, metálicos, para garantizar su resistencia y durabilidad (palancas de los monomandos, aireadores-perlizadores, etc...).
- Comprar productos cuyos componentes sean reciclables (elementos metálicos de grifería) y reducir residuos en la eliminación del embalaje superfluo.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

Los *aireadores* se colocan fácilmente con una llave. (López Patiño *et al*, 2012)

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

El buen mantenimiento del *aireador* consiste en frotar suavemente con la yema del dedo la película de silicona que recubre el mismo. (López Patiño *et al*, 2012)

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

No hay un método específico de cálculo pues los dispositivos se adquieren en el mercado ya prefabricados.

Únicamente, se podría realizar el **cálculo del ahorro de agua** que cada tipo de mecanismo puede proporcionar y el del **periodo de retorno de la inversión a realizar** (ver apartado correspondiente de *Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar* en la medida general).

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- *Guía de sistemas de ahorro de agua en la edificación*, editado por el Instituto Valenciano de la Edificación. (López Patiño *et al*, 2012)

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

- Programa *Hogares Verdes* (2011). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). <http://www.magrama.gob.es/es/ceneam/programas-de-educacion-ambiental/hogares-verdes/>
- Proyecto *RENOVEA: Impacto económico y ambiental de un Plan RENOVE para la eficiencia del agua y la energía asociada en el ámbito doméstico*. ZINNAE Clúster Urbano para el Uso Eficiente del Agua. Zaragoza.
- Línea de trabajo *Uso eficiente del agua en el suministro urbano*. ITA. Universidad Politécnica de Valencia. <http://www.ita.upv.es/idi/fichalineas-es.php?lin=19>

6.2. Bibliografía

- DIPUTACIÓN DE BARCELONA (2010): *El ahorro de agua doméstica. Guía del usuario*. Área de Medio Ambiente. Barcelona. <http://www1.diba.cat/l1breria/pdf/49525.pdf>
- COMUNIDAD DE MADRID (2012): *Guía de Hidroeficiencia Energética*. Consejería de Economía y Hacienda y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid/ Fenercom. Madrid. <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-Hidroeficiencia-fenercom-2012.pdf>
- BARBERÁN ORTÍ, R. y COLÁS ELVIRA, D.J. (2013): *La renovación de los equipamientos asociados al uso de agua en viviendas y edificios. Evaluación ambiental, financiera y económica para la ciudad de Zaragoza*. Ed. ZINNAE. Publicación realizada en el marco del proyecto RENOVEA. Zaragoza.

- COBACHO R., ARREGUI F., GASCÓN L. y CABRERA Jr.E. (2004): *Low-flow devices in Spain: how efficient are they in fact. An accurate way of calculation*. Revista Water Science & Technology: Water Supply. Volumen 4 Número 3. pp. 91–102. IWA Publishing-http://www.researchgate.net/publication/265991346_LOWFLOW_DEVICES_IN_SPAIN_HOW_EFFICIENT_ARE THEY IN FACT AN ACCURATE WAY OF CALCULATION
- LÓPEZ PATIÑO G., NAVARRO M. y VALERO, A. (2012): *Guía de sistemas de ahorro de agua en la edificación*. En Colección “Guías de Sostenibilidad”. Foro Edificación Sostenible de la Comunitat Valenciana. Mesa del Agua. Ed. Instituto Valenciano de la Edificación. Valencia. http://www.five.es/tienda/product_info.php?products_id=170
- VIÑUALES V., FERNÁNDEZ M. y GONZÁLEZ E. (Coord) (2002): *Guía práctica de tecnologías ahorradoras de agua para viviendas y servicios públicos*. Colección “Guías prácticas para un uso eficiente del agua”. Fundación Ecología y Desarrollo. Ed. Bakeaz. Zaragoza.

6.3. Webs

- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2011): Programa *Hogares Verdes*. hogares-verdes.blogspot.com.es/2011/10/rociador-de-ducha-de-bajo-consumo-una.html
- PHILIP, R. (2011): Kit de capacitación SWITCH. Módulo 3: Abastecimiento de Agua Descargable en <http://www.switchtraining.eu/espanol/>

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

No hay ninguno que destacar.

AB-DA-02: GRIFERÍAS HIDROEFICIENTES

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Griferías o grifos de bajo consumo
- Griferías o grifos de bajo flujo
- Griferías o grifos ecológicos

1.2. Términos utilizados en inglés

- Low-flow taps

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Estas griferías, hídricamente más eficientes, han sido concebidas para una reducción en el consumo de agua en fregaderos, lavabos, bidés, bañeras y duchas y, por lo tanto, en la demanda de agua potable en los edificios.

Lo ideal es colocarlos desde el inicio en las obras de nueva planta aunque también es posible sustituir grifos ya instalados en edificaciones preexistentes (rehabilitación).

2.2. Componentes de la tecnología

Los elementos que las componen dependerán del sistema utilizado para conseguir un fin u objetivo planteado en cada caso.

2.3. Forma de funcionamiento

El sistema de funcionamiento de estos elementos es muy variado.

Básicamente, los sistemas existentes se plantean los siguientes objetivos en función del momento en que se produzca el ahorro:

- La mínima pérdida de agua en los primeros minutos de uso en los que se adaptan las condiciones del agua a los requerimientos personales (caudal y presión exactos, temperatura, etc...).
- La mínima utilización de recursos hídricos durante el servicio, ajustando al máximo la presión y el caudal.
- La minimización de pérdidas de agua una vez terminado el servicio. Esta pérdida suele ser más importante en edificios de uso público donde los usuarios no están pendientes del cierre del dispositivo.

2.4. Definición constructiva

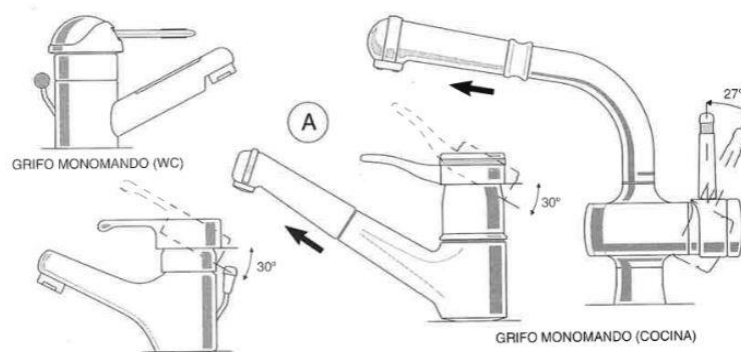


Fig. 1. Diferentes tipos de grifos monomando. (Palma, 2003)

2.5. Imagen del resultado



Fig. 2. Grifo monomando (www.tresgriferia.com, 2015) Fig. 3. Por infrarrojos (www.plataformaarquitectura.cl,2015)

2.6. Clasificación en tipologías (Viñuales *et al*, 2002:11-24)

- Griferías **mezcladoras bimando**

Este sistema fue un primer paso hacia el ahorro de agua y sustituyó a sistemas con dos caños diferentes para agua caliente y fría, pero aún tenían un mando para cada tipo de flujo lo que hacía perder una gran cantidad de agua en la fase inicial de apertura hasta que se conseguía obtener la temperatura ideal del agua.



Fig. 4. Grifería bimando (www.dbrico.com/es, 2015)

- Griferías **monomando de cierre manual**

Tienen un único mando para controlar la mezcla de agua fría y caliente agilizándose así la obtención de las condiciones de uso adecuadas frente a las bimando. Se usan, fundamentalmente, en el ámbito doméstico y se basan, básicamente, en el control del caudal.

Hay varios tipos:

- **Grifería monomando estándar:** Se basan en el hecho de tener un único mando que agiliza la obtención de las condiciones de caudal y temperatura sin ningún otro tipo de solución adicional.
- **Grifería monomando de doble accionamiento, de apertura en dos fases o escalonada:** Evita la apertura instintiva al 100% del recorrido reduciendo el caudal entregado por el grifo al incorporar un tope intermedio en el recorrido vertical de la palanca. De esta forma, el usuario encuentra una pequeña resistencia que hace que la palanca del monomando se ubique en una posición intermedia, proporcionando un caudal considerado eficiente. En el caso de que sea preciso disponer de los 10-12 l/min que proporciona un grifo tradicional, simplemente hay que vencer el citado tope y abrir el grifo completamente.



Fig.5. Grifería monomando de doble accionamiento (López-Patiño, 2008)

- **Grifería monomando con sistema de regulación de caudal:** La función de estos mecanismos es limitar internamente el paso del agua de manera que, al abrir a tope el monomando, no dispongamos del caudal máximo.

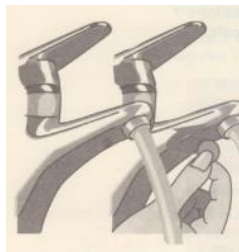


Fig. 6. Grifería monomando con sistema de regulación de caudal (Viñuales et al, 2002)

- **Grifería monomando de apertura en frío:** Este sistema evita que el grifo proporcione mezcla de agua fría y caliente al 50% cuando el mando está en posición central, ya que, al abrir el grifo en dicha posición saldría únicamente agua fría. Este sistema no reduce el gasto de agua, pero evita el consumo innecesario de energía y la emisión de gases de efecto invernadero.



Fig.7. Grifería monomando de apertura en frío (Viñuales et al, 2002)

- Griferías **monomando de cierre automático, temporizadas o automáticas**

Son las más recomendables en instalaciones de edificios públicos o con presencia de usuarios ocasionales no vinculados a los costes del mantenimiento, como los edificios de uso Administrativo (oficinas,...) y de Pública Concurrencia.

Se basan en la descarga de una cantidad fija de caudal. La mayoría no permite controlar temperatura, por lo que sólo se suelen usar para agua fría.

Podemos distinguir entre varios tipos:

- **Grifería temporizada con pulsador estándar** (Mecánicas o Electrónicas): Se pulsa para su uso y su funcionamiento dura un tiempo establecido, sin ser necesario una nueva pulsación para su cierre.



Fig.8. Grifería temporizada con pulsador (<http://www.tresgriferia.com>, 2015)

- **Grifería temporizada con pulsador con mecanismo de cierre voluntario**: Son como las anteriores pero permite al usuario efectuar el cierre antes de que se produzca toda la descarga programada.

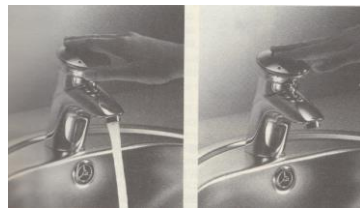


Fig.9. Con pulsador con mecanismo de cierre voluntario (Viñuales et al, 2002)

- **Griferías Electrónicas por Infrarrojos**: El accionamiento se produce al detectarse la presencia de la mano al acercarse al grifo. Mientras el usuario tiene las manos en posición de demanda, el flujo permanece constante, interrumpiéndose inmediatamente en el momento en que retira las manos ajustando al máximo el gasto de agua.

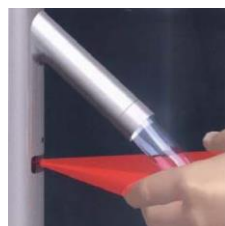


Fig.10. Grifería Electrónica por Infrarrojos (López-Patiño, 2008)

- **Griferías Electrónicas por Radar:** Detecta la variación en la onda de una señal emitida. El campo de detección es mayor en este caso que en el anterior.



Fig.11. Grifería Electrónica por Radar (Viñuales et al, 2002)

- Griferías y válvulas **termostáticas**

Se usan mucho en instalaciones de edificios públicos y permiten el control del caudal así como mantener una determinada temperatura constante. También se pueden instalar en edificios residenciales.



Fig.12. Grifería termostática (www.leroymerlin.es, 2015)

Hay varios tipos a su vez, según el mecanismo interno (Viñuales *et al*, 2002:19):

- **Por combinación de metales termosensibles:** Se emplean diferentes metales en un mismo regulador para evitar los cambios bruscos de temperatura.
- **Con diafragma con fluido volátil**
- **Con sistema de cápsula de cera**

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Es posible usarlo en **edificios de cualquier uso y escala**.

Aunque la colocación es sencilla y podría hacerlo el propio usuario si tiene ciertas habilidades, lo usual es que se lo encargue a un profesional. También puede hacerse en cualquier momento, independientemente del resto de usuarios del edificio.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Dispositivo	Coste
Grifería <i>mezcladora bimando</i>	65,00-100,00€
Grifería <i>monomando estándar</i>	49,40€* /Freg.:70,40€*
Grifería <i>monomando de apertura escalonada</i>	Desde 59,00€** o entre 58,00-77,00€* /Freg.: 86,50-93,10€**
Grifería <i>monomando con regulación de caudal</i>	50,00-215,00€****
Grifería <i>monomando de apertura en frío</i>	52-70€****
Grifería <i>temporizada con pulsador estándar</i> (mecánica o electrónica)	41,00-47,00€ o 23,00-130,00€****

Grifería temporizada con pulsador de cierre voluntario	287,00€****
Grifería electrónica por infrarrojos	168,00-700,00€****
Grifería termostática	141,50€-225,00€****

4.2. Fuentes de referencia

- * (ZINNAE, 2013)
- ** (López Patiño *et al*, 2012)
- **** (Viñuales *et al*, 2002)

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

El agua caliente en los edificios destinados a oficinas no es imprescindible y conlleva un notable incremento del consumo de energía y emisión de gases de efecto invernadero. Por ello, se recomienda la instalación generalizada de grifos de un solo agua (agua fría), incorporando el aporte de agua caliente sólo en los casos puntuales que se considere adecuado.

En el caso de *duchas*:

- Si son *colectivas*, se recomienda priorizar la instalación de sistemas de agua caliente premezclada con un solo grifo temporizado por ducha. De esta forma, se evita el despilfarro de agua debido a las operaciones del ajuste de temperatura. Existen algunas propuestas de grifos temporizados que permiten el bloqueo del pulsador para vaciarlo, de modo que no quede agua estancada en la columna y evitar de esta forma la proliferación de la bacteria *legionella*. No obstante, esta opción no se encuentra disponible comercialmente actualmente.
- Si son *individuales* (residencias, vestuarios aislados, etc.), la grifería termostática es la que garantiza las mejores condiciones para poder realizar un uso responsable del agua (evita operaciones de tanteo, facilita el cierre cuando no es necesaria, etc.).

En el caso de las *tomas de agua dedicadas a los servicios de limpieza* (vertederos) no se recomienda instalar sistemas de cierre temporizado o reducción de caudal, puesto que el fin de ese dispositivo es completar un volumen determinado de agua.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

Las griferías son de fácil instalación mediante un sencillo anclaje en la pica con conexión de dos latiguillos agua fría y agua caliente.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Las griferías no necesitan tampoco un mantenimiento especial y es, por tanto, fácil. En cuanto a la limpieza se realizará periódicamente. Las superficies cromadas deben limpiarse únicamente con un paño y agua clara. No deben utilizarse productos que contengan sustancias abrasivas.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Al igual que en el caso anterior, no hay un método específico de cálculo pues los dispositivos se adquieren en el mercado ya prefabricados.

Únicamente, se podría realizar el **cálculo del ahorro de agua** que cada tipo de mecanismo puede proporcionar y el del **periodo de retorno de la inversión a realizar** (ver apartado correspondiente de *Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar* en la medida general).

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- *Guía de sistemas de ahorro de agua en la edificación*, editado por el Instituto Valenciano de la Edificación. (López Patiño *et al*, 2012)

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

Igual a la de la *Ficha Tecnológica* AB-DA-01.

6.2. Bibliografía

Igual a la de la *Ficha Tecnológica* AB-DA-01.

6.3. Webs

- PHILIP, R. (2011): Kit de capacitación SWITCH. Módulo 3: Abastecimiento de Agua Descargable en <http://www.switchtraining.eu/espanol/>

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

No hay ninguno que destacar.

AB-DA-03: INODOROS Y URINARIOS HIDROEFICIENTES

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Inodoros y urinarios de bajo consumo, de bajo flujo o con reducción de descarga

1.2. Términos utilizados en inglés

- (Ultra) low-flow or low-flush toilets or urinals

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Estos sistemas de eliminación de residuos, tanto líquidos como sólidos, situados generalmente en los cuartos de baño o aseos, han sido concebidos de manera especial para una reducción en el consumo de agua. Es una de las tecnologías de su grupo con

mayor influencia en el ahorro pues los inodoros normalmente representan hasta un tercio del consumo del agua de un hogar.

2.2. Componentes de la tecnología

Depende mucho del sistema utilizado:

- Si se utilizan *sistemas adicionales*: El nuevo componente puede ser cualquier objeto que ocupe un determinado volumen dentro de la cisterna o algún elemento que sirva de contención o dique al agua dentro de la misma.
- Si se produce la *sustitución de elementos*: Los elementos que se pueden sustituir son las cisternas o los propios inodoros o urinarios por otros con diseños especiales.

2.3. Forma de funcionamiento

Puede ser muy diferente, según el caso:

- Los sistemas más básicos se basan en la reducción del volumen inicial de la descarga mediante algún tipo de manipulación de la cisterna. El problema es que, una vez realizada la manipulación, se produce siempre la misma reducción sin permitir diferentes niveles de descarga según las necesidades y, si no van asociados a un rediseño de la taza, a veces la cantidad de agua puede no ser suficiente para la limpieza.
- Otros sistemas ofrecen la posibilidad de descargar distinta cantidad de agua en función de la cantidad de materia orgánica a limpiar. Es decir, permiten una descarga o vaciado parcial de la cisterna en función de las necesidades.
- Por otro lado, hay inodoros y urinarios que adaptan su diseño para que la cantidad de agua que necesiten para su limpieza sea mínima o, incluso, los hay que separan los residuos sólidos de los líquidos para tratarlos de manera independiente

2.4. Definición constructiva

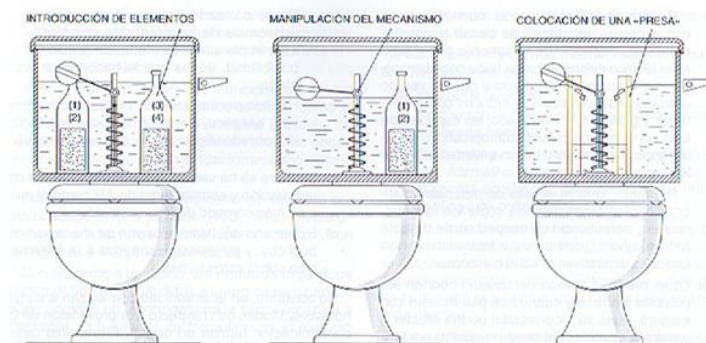


Fig.1 . Sistemas de manipulación de cisternas de inodoros (Palma, 2003)

2.5. Imagen del resultado



Fig. 2. Inodoro Stealth (<http://blog.is-arquitectura.es>, 2015)



Fig.3. Inodoro seco (www.composttoilet.eu), 2015)

2.6. Clasificación en tipologías

- **Nuevos diseños** de tazas de inodoros y urinarios
La mejora de los diseños de los aparatos permite aprovechar mejor el agua descargada y una mejor autolimpieza.
 - **Inodoro de bajo flujo o de alta eficiencia hídrica:** Diseñado para limpiar el inodoro con menos de una cuarta parte del agua de un inodoro estándar.



Fig.4. Inodoro de bajo flujo (<http://blog.is-arquitectura.es>, 2015)

- **Inodoro-WSS de muy bajo flujo:** Es un inodoro de muy bajo consumo. La mayor virtud de este inodoro está en que consume aproximadamente un 37% menos de agua que otro catalogado como de alta eficiencia. Su secreto radica en que aprovecha la energía creada por el llenado de su cisterna, para utilizar un sistema patentado y transferir aire al sifón del desagüe. Al pulsar el botón de descarga, y de forma silenciosa, todos los residuos son arrastrados, empleando en el proceso tan sólo 3 litros. No es recomendable instalarlo para un uso no residencial, ni tampoco si existe una salida horizontal de la tubería mayor a los 6 metros.

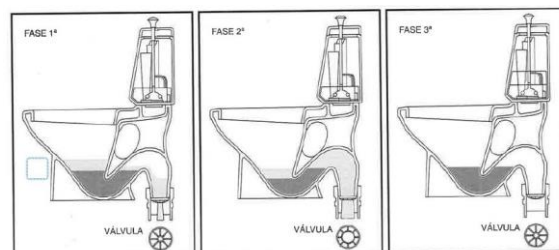


Fig.5. Inodoro-WSS de muy bajo flujo (Palma, 2003)

- **Inodoro seco de compostaje:** Separa la orina de las heces para ser tratadas ambas independientemente y poder usarlos como fertilizantes. En principio, tiene un gasto mínimo de agua, que debería limitarse a la utilizada para su limpieza. (Ver *Ficha tecnológica AR-SS-01*)

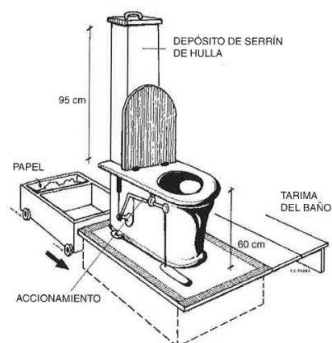


Fig.6. Inodoro seco de compostaje *in situ* (Palma, 2003)

- **Urinario de bajo flujo:** Es un urinario de muy bajo consumo hídrico, gracias a su diseño.



Fig.7. Urinario de bajo flujo (<http://caryosa.com>, 2015)

- **Sistemas adicionales en cisternas existentes** en sistemas de descarga por gravedad

Son sistemas en los que se manipula la cisterna para reducir la descarga. En general, estos sistemas no requieren de una segunda acción por parte del usuario para finalizar la descarga de agua. Hay varios (Viñuales *et al*, 2002:38-39):

- **Sistemas de desplazamiento:** Su rudimentario mecanismo se basa en la introducción en la cisterna de un elemento con un volumen determinado de manera que se reduzca la cantidad de agua que puede almacenar la cisterna.



Fig.8. Modelo prefabricado de bolsa reductora "Toilet tank bank" (www.made-in-china.com, 2015)

- **Sistemas de contención:** Las denominadas presas de cisterna se colocan dentro de la misma, a modo de dique, alrededor del mecanismo de descarga, quedando parte del agua retenida. Sólo se descarga una fracción fija.
- **Sistemas de cierre automático:** El usuario tiene que tener accionado el tirador de descarga para que se mantenga la salida de agua. Y hay varios sistemas, a base de pesos, de topes en el descargador o con cierre rápido por presión.

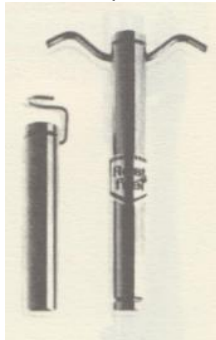


Fig.9. (Viñuales *et al*, 2002:39)

- **Cisternas con doble nivel de descarga en sistemas de descarga por gravedad**

La descarga se adapta a las necesidades de arrastre:

- **De descarga interrumpible o de interrupción de la descarga:** El usuario controla el cierre de la descarga de manera manual. Así, en vez de realizarse una descarga completa del inodoro, al controlarse el momento final de la descarga, no se vacía todo el contenido de la cisterna con el consiguiente ahorro. Este tipo de tecnología no es eficiente por sí misma, sino que precisa la colaboración del usuario para resultar ahorradora. Por ello, debe de ir

acompañada de la consiguiente información de manejo (adhesivos junto al pulsador, carteles en la entrada, etc...)

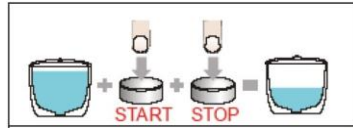


Fig.10. Sistema de interrupción "voluntaria" de la descarga (López-Patiño, 2008)

- **De doble pulsador:** El sistema permite dos opciones de descarga en función de las necesidades adaptándose a éstas el caudal utilizado. En este caso, el sistema se para automáticamente cuando se vacía la cantidad establecida por el sistema y no necesita un segundo accionamiento para el cierre.

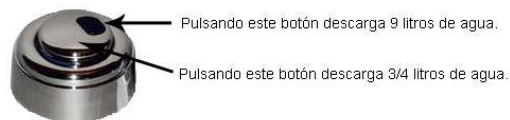


Fig.11. Sistema de doble pulsador (<http://www.aquastanding.com>, 2015)

- **Cisternas en sistemas de descarga presurizada**

Están provistos de un dispositivo (mecánico o electrónico) que produce una descarga de agua la cual procede directamente de la red de tuberías o de un depósito de acumulación intermedio. Como la presión viene de la red, alcanza una elevada potencia de descarga lo que permite un lavado muy eficaz.

Se incorporan a instalaciones de tipo público, principalmente, ya que no es necesario esperar al llenado de las cisternas estando siempre listos para la descarga.

- **Fluxores:** La elevada presión permite realizar una descarga muy eficaz en poco tiempo, consiguiendo una limpieza exhaustiva y ocupando un reducido espacio con pocas zonas o piezas (cisternas) expuestas al vandalismo.

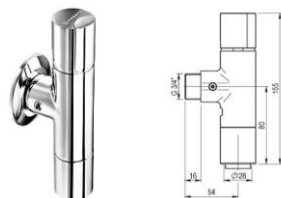


Fig.12. Fluxor (www.ecologicbarna.com, 2015)

- Fluxores **temporizados:** Descarga una cantidad fija de agua.
- Fluxores **de doble descarga:** Descarga agua en función de las necesidades, con instalación de llaves unitarias en cada fluxor que permiten cortar inmediatamente el flujo en cada uno de ellos
- **Sistemas de descarga electrónicos:** Se accionan mediante detectores de presencia o células fotoeléctricas.



Fig.13. Sistemas de descarga con detector de presencia (Viñuales et al, 2002)

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Estos sistemas se pueden usar en **edificios de cualquier uso y escala**, pero **hay que elegir bien los mecanismos**:

- Conviene usar los *de cierre automático* en las instalaciones de edificios públicos donde el usuario no está preocupado por cerrar el grifo para ahorrar.
- Además, en edificios públicos con problemas de vandalismo, es preferible instalar *sistemas de descarga presurizada (fluxores)* que no exponen parte de sus componentes (cisterna, por ejemplo). Consiguen una menor eficiencia, si el usuario está sensibilizado, pero garantizan unos consumos buenos en casos generales y evitan el gasto adicional por reparación o reposición de elementos.
- Por último, se recomienda la instalación de *urinarios con grifos temporizados* (mecánicos o electrónicos) en los servicios masculinos.

En cuanto a los *mecanismos de manipulación de la descarga*, pueden ser instalados sin necesidad de cambiar el inodoro completo por lo que son muy útiles en obras de rehabilitación. Como inconveniente, estas técnicas pueden suponer una reducción permanente de la misma, con las limitaciones de calidad que esto pueda implicar

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Dispositivo	Coste
Sistema de <i>desplazamiento "casero"</i> (botella)	2,00 €
Sistema de <i>desplazamiento prefabricado</i> (bolsa reductora de caudal)	3,25 €****
<i>Presa</i> reductora de caudal	23,70 €****
Sistema de <i>interrupción de la descarga</i>	10,00-15,00 €**** /// 26,30 €
Sistema de <i>doble pulsador</i>	15,00-25,00 €**** /// 50,50 €
<i>Sustitución cisterna</i>	60€
<i>Inodoro con doble pulsador</i>	137,00 €* \$395,00-850,00
<i>Inodoro-WSS</i> de muy bajo flujo	\$360,00-775,00
<i>Inodoro de bajo flujo</i>	\$360,00-775,00
Inodoro seco de compostaje	585,95 -1528,10 €
<i>Fluxor temporizado para inodoro</i>	26,00-42,00 €****
<i>Fluxor temporizado para urinario</i>	42,00 €****
<i>Sistema de descarga electrónicos</i>	665,00€****

4.2. Fuentes de referencia

** (López Patiño *et al*, 2012)

**** (Viñuales *et al*, 2002)

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Hay tener presente que, cuanto mayor es la distancia del inodoro a la bajante, más espacio se necesita para que se produzca el arrastre sólido.

En el caso de instalación de *sistemas de descarga presurizada*, el mecanismo de descarga debe disponer de llave de regulación y corte incorporada. Asimismo debe estar regulado para que en cada uso no se consuma más de 8 l/descarga. Previamente a la instalación de estos aparatos, se debe realizar un estudio de presión de la red de forma que el servicio esté garantizado.

Por otro lado, en la instalación de *urinarios con grifos temporizados* en los servicios masculinos se recomienda que el sistema de descarga se active individualmente para cada urinario.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay nada que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Se debe prohibir la limpieza conjunta de los urinarios, en instalaciones colectivas de servicios masculinos, tras su uso individual, así como su limpieza automática periódica en la instalación de *urinarios con grifos temporizados*.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Al igual que en los casos anteriores, no hay un método específico de cálculo pues los dispositivos se adquieren en el mercado ya prefabricados.

Únicamente, se podría realizar el **cálculo del ahorro de agua** que cada tipo de mecanismo puede proporcionar y el del **periodo de retorno de la inversión a realizar** (ver apartado correspondiente de *Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar* en la medida general).

En el caso de los *inodoros secos*, las instrucciones para el dimensionado de instalaciones colectivas, están en la ficha correspondiente (Ver *Ficha tecnológica AR-SS-01*).

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- *Guía de sistemas de ahorro de agua en la edificación*, editado por el Instituto Valenciano de la Edificación. (López Patiño *et al*, 2012)

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

- Programa *Hogares Verdes* (2011). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). <http://www.magrama.gob.es/es/ceneam/programas-de-educacion-ambiental/hogares-verdes/>
- Proyecto *RENOVEA: Impacto económico y ambiental de un Plan RENOVE para la eficiencia del agua y la energía asociada en el ámbito doméstico*. ZINNAE Clúster Urbano para el Uso Eficiente del Agua. Zaragoza.
- Línea de trabajo *Uso eficiente del agua en el suministro urbano*. ITA. Universidad Politécnica de Valencia. <http://www.ita.upv.es/idi/fichalineas-es.php?lin=19>
- Estudio sobre prototipo de *inodoro de ultra-bajo flujo*, incluido en Proyecto WaND (Water Cycle Management for New Developments).

6.2. Bibliografía

Igual a la de la *Ficha tecnológica AB-DA-01*.

6.3. Webs

Igual a la de la *Ficha tecnológica* AB-DA-02.

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

No hay ninguno que destacar.

AB-DA-04: ELECTRODOMÉSTICOS DE BAJO CONSUMO

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Electrodomésticos hidroeficientes

1.2. Términos utilizados en inglés

- Low-flow domestic appliances
- Low-flow (clothes) washing machines and dishwashers

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Esta tecnología trata de fomentar, tanto a nivel doméstico como en edificios públicos, el uso de determinados electrodomésticos como lavadoras, lavaplatos/lavavajillas e incluso algunos aparatos usados en el acondicionamiento térmico de los espacios (sistemas de calefacción, aparatos de aire acondicionado con recuperación de agua, climatizadores,...), que incorporen sistemas que, además de un importante ahorro de energía, consigan un importante ahorro de agua.

La correcta elección de una lavadora o lavavajillas, doméstico o industrial, puede significar, con respecto al lavado a mano o al lavado con antiguos modelos, ahorros del 30% solamente en agua. En el caso de las lavadoras, cualquier mejora que realicemos tendrá una repercusión inmediata en los valores totales, ya que el agua consumida en el lavado de ropa representa en torno al 7% del gasto total de agua de una vivienda. En los lavavajillas, el consumo por ciclo es menor que en las lavadoras.

2.2. Componentes de la tecnología

Los componentes son los propios electrodomésticos que, a su vez, tendrán distintos elementos según los objetivos a cumplir.

2.3. Forma de funcionamiento

El sistema de funcionamiento de estos elementos es muy variado dependiendo del objetivo. Fundamentalmente, son sistemas de tipo mecánico o electrónico.

2.4. Definición constructiva

Son muy distintos según los sistemas utilizados.

2.5. Imagen del resultado



Fig.1. Lavadora de carga superior (www.furgovw.org, 2015) Fig.2. (Viñuales *et al*, 2002)

2.6. Clasificación en tipologías

- **Lavadoras hidroeficientes** (Viñuales *et al*, 2002:43-45)

Los sistemas más utilizados para ahorro de agua en las lavadoras son:

- **Lavadoras de carga frontal (y algunas de carga superior con eje horizontal)**. Las lavadoras de carga frontal (y algunas de carga superior con eje horizontal que se basen en el mismo sistema de funcionamiento) emplean mucho menos agua que las de carga superior pues la ropa solamente se humedece (salvo en el aclarado) y gira por el movimiento del tambor.

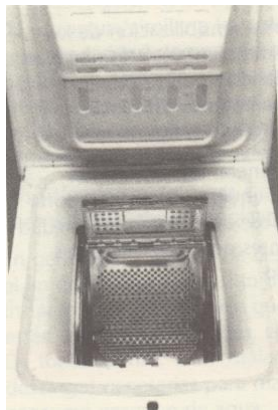


Fig.3. Lavadora de apertura superior con eje horizontal, (Viñuales *et al*, 2002)

- **Lavadoras con sistemas mecánicos para ahorro de agua:**
 - Con válvulas antirretorno que evitan que se pierda agua por el desagüe.
 - Con sistema de corte de suministro si hay fugas.
 - Con filtro de retención de objetos que evitan la obstrucción del desagüe.
- **Lavadoras con sistemas electrónicos para ahorro de agua:**
 - Con programación específica según características del lavado.
 - Con sensores de turbiedad.
 - Con sistemas de ajuste de agua en función de la carga de ropa.
 - Con sistemas electrónicos de prerremojado que sustituyen al prelavado.
 - Con recuperadores de agua que permiten reciclarla.
 - Con filtro de retención de objetos que evitan la obstrucción del desagüe.
 - Con descalcificadores.



Fig.4. Lavadora con sistemas electrónicos para ajuste según carga (www.decoestilo.com,2015)

- **Lavavajillas o Lavaplatos hidroeficientes** (Viñuales *et al*, 2002:45-48)
Los sistemas más utilizados para ahorro de agua en lavavajillas son:

- **Uso de aparatos más ahorradores:**

- Lavavajillas de 12 cubiertos que ahorran más agua que los de 6 cubiertos.
- Lavavajillas con renovación de agua en cada fase de lavado.
- Lavavajillas con sistema de descalcificación

- **Lavavajillas con sistemas mecánicos para ahorro de agua:**

- Válvulas antirretorno
- Sistema de corte de suministro en caso de fugas
- Lavado intermitente por impulsos.
- Limpieza del descalcificador únicamente al llegar a saturación.
- Programas económicos que reducen el consumo hídrico.
- Filtro de retención de objetos que evitan la obstrucción del desagüe
- Sistemas de apagado automático en caso de sobrecalentamiento

- **Lavavajillas con sistemas electrónicos para ahorro de agua:**

- Sistemas de detección suciedad de agua de prelavado para reutilización.
- Adaptación automática de temperatura al nivel de suciedad.
- Sistemas de detección de la carga mediante sensor automático.



Fig.5. Lavavajillas 12 cubiertos (www.casabioclimatica.com, 2015)



Fig.6. (www.bosch-home.es, 2015)

- **Aparatos de acondicionamiento térmicos de espacios** (Viñuales *et al*, 2002:57-61)

- **Equipos domésticos de climatización** basados en condensación de agentes frigoríficos **con sistema de recuperación de agua.**
- **Algunas grandes instalaciones de climatización:**
 - Torres de refrigeración.
 - Sistemas de aire acondicionado
 - Sistemas de refrigeración en abierto
 - Enfriadores evaporativos
- **Aparatos de calefacción o sistemas de calentamiento de aire**
 - Sistemas de calefacción por agua

- **Termos para calentamiento de ACS**

Se recomienda los **calentadores de agua instantáneos** y los hay de varios tipos:

- Convencionales.
- Electrónicos.



Fig.7. Termo electrónico (Viñuales *et al*, 2002)

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Dependiendo del sistema del que se trate, pueden utilizarse tanto a nivel doméstico como en edificios de uso público y es que determinados sistemas sólo tienen sentido en esta última escala.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Dispositivo	Coste
Lavadoras (capacidad de carga de 6 Kg)	400,00-900,00 €****
Lavavajillas (de 12 cubiertos)	445,00-600,00 €****

4.2. Fuentes de referencia

**** (Viñuales *et al*, 2002)

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

- A la hora de elegir una **lavadora**, hay que elegir aquellas que tengan la correspondiente “eco-etiqueta” reguladora de la Unión Europea que indica el grado de eficiencia económica y ecológica en función de unos parámetros de consumo energético y de agua, así como de generación de ruido. Para la concesión de dicha etiqueta ecológica de la UE, una lavadora doméstica deberá utilizar un máximo de 17 litros de agua por kilo de ropa, además de otras características no hidráulicas.
- Para la correcta elección de un **lavavajillas**, los fabricantes también están obligados a indicar las características de consumo en una etiqueta. Para acceder a la “eco-etiqueta” de la UE, el consumo máximo nunca superará los 1,85 litros por cubierto en modelos de 10 o más cubiertos y de 2,25 por cubiertos en modelos inferiores. Por ello, los modelos de 6 y los de 12 cubiertos, consumen casi la misma cantidad de agua por lo que compensa comprar el de 12 cubiertos. En el caso de los lavavajillas industriales, a partir de 200 servicios se recomienda el empleo de trenes de lavado, los cuales deberán incorporar un sistema de reciclaje del agua de aclarado.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay nada que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

En estos aparatos, un buen mantenimiento (limpiezas de filtros, etc...) es importante para evitar las obstrucciones con sus consiguientes pérdidas hídricas.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Al igual que en los casos anteriores, no hay un método específico de cálculo pues los dispositivos se adquieren en el mercado ya prefabricados.

Únicamente, se podría realizar el **cálculo del ahorro de agua** que cada tipo de mecanismo puede proporcionar y el del **periodo de retorno de la inversión a realizar** (ver apartado correspondiente de *Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar* en la medida general).

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- *Guía de sistemas de ahorro de agua en la edificación*, editado por el Instituto Valenciano de la Edificación. (López Patiño *et al*, 2012)

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

Igual a la de la *Ficha tecnológica* AB-DA-01.

6.2. Bibliografía

Igual a la de la *Ficha tecnológica* AB-DA-01.

6.3. Webs

- Blog *Hogares Verdes* (2011): <http://hogares-verdes.blogspot.com.es/2011/09/lavadoras-y-lavavajillas-que-consumen.html>
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Programa *Hogares Verdes* http://www.magrama.gob.es/es/ceneam/programas-de-educacion-ambiental/hogares-verdes/preguntas_hv.aspx#para1
- PHILIP, R. (2011): Kit de capacitación SWITCH. Módulo 3: Abastecimiento de Agua. Descargable en <http://www.switchtraining.eu/espanol/>

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

No hay ninguno que destacar.

GESTIÓN ACTIVA DE FUGAS

AB-GF-05: GALERÍAS DE SERVICIO

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Galerías de Servicios Públicos (GSP)
- Galerías o cámaras técnicas (para instalaciones)
- Suelos o techos técnicos

1.2. Términos utilizados en inglés

- Technical galleries

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Tanto en los edificios como en los espacios urbanos, es posible diseñar espacios específicos para que discurran las instalaciones. En los edificios, se suelen denominar

cámaras técnicas o de instalaciones, suelos o techos técnicos y las denominaciones más comunes, en los espacios urbanos, son las de *galería de servicio* o *Galería de Servicios Públicos* (GSP). Estas últimas son las que más repercusiones tienen a nivel espacial en la ciudad siendo, por ello, el objeto de estudio central de la presente ficha.

Las *galerías de servicio* son infraestructuras subterráneas destinadas a alojar las conducciones de los diferentes suministros públicos. Este sistema de alojamiento de las instalaciones urbanas es muy interesante para la rápida detección de fugas y su reparación o sustitución. Permite el enterramiento de las instalaciones urbanas pero, a su vez, su visibilidad, acceso, control y tratamiento del conjunto en cualquier momento sin necesidad de levantar los pavimentos, sin olvidar la seguridad de los diferentes componentes de las instalaciones que, de esta manera, están protegidas frente al vandalismo y la de los usuarios que no estarían en contacto con ellas. Este sistema constituye, por tanto, un sistema seguro que, además reduce el impacto ambiental en las ciudades de manera importantísima. Con muchas ventajas a largo plazo, son la solución ideal al actual caos existente en las canalizaciones y conductos que discurren por las vías de circulación con un mínimo de anchura de nuestros núcleos urbanos.

2.2. Componentes de la tecnología

En principio, aunque depende mucho del tipo de galería y de las instalaciones que albergue, está formado por:

- Una envolvente de fábrica de ladrillo, hormigón en masa o armado o diferentes tipos de plásticos en el caso de los cajones prefabricados.
- Una serie de bandejas que pueden ser de diferentes materiales como plásticos y metales (en forma de rejillas o tramex...). Cada vez más, estas bandejas se transforman en jaulas para la máxima protección de las instalaciones.
- Las propias instalaciones.

2.3. Forma de funcionamiento

Se trata de reservar un espacio accesible, e incluso transitable en algunas ocasiones, para el alojamiento de las instalaciones urbanas. Generalmente, las diferentes instalaciones se organizan en bandejas colocados en sus laterales, pudiendo ser visitables o no, según sus dimensiones y posibilidades de acceso.

2.4. Definición constructiva

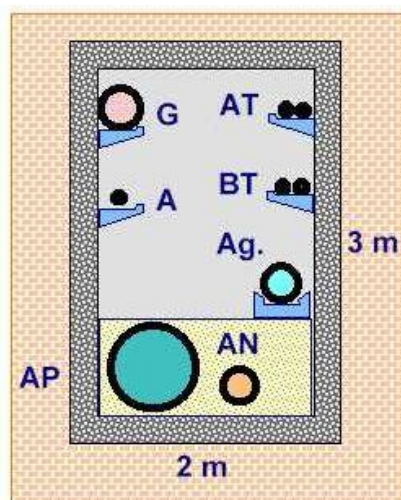


Fig.1. Esquema de galería de servicio (<http://editorial.dca.ulpgc.es>, 2014)

2.5. Imagen del resultado



Fig.2. Cajón de servicios (<http://editorial.dca.ulpgc.es>, 2014) Fig.3. Galería visitable (<http://editorial.dca.ulpgc.es>, 2014)

2.6. Clasificación en tipologías

Como ya se ha comentado en el primer punto, hay espacios para alojamiento a nivel de edificación y a nivel urbano. Por lo tanto, podemos distinguir tres tipos:

- **Cámaras de instalaciones, suelos o techos técnicos**
Son propios de los edificios.
- **Galerías de servicios visitables o Galerías de Servicios Públicos (GSP)**
Son infraestructuras usadas a nivel urbano. Por sus características y dimensiones, permiten el acceso en la totalidad de su recorrido para hacer operaciones de instalación, conservación, mantenimiento y reparación de las diferentes redes.
A su vez hay dos tipos:

- Galería con andén.



Fig.4. Galería con andén (www.borondo.es, 2015)

- Galería sin andén.

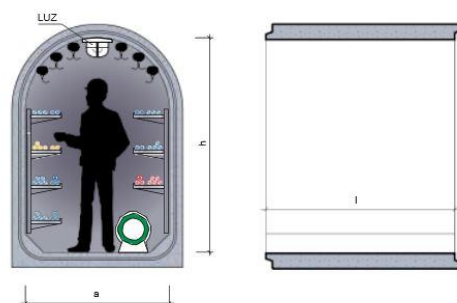


Fig.5. Galería sin andén (www.borondo.es, 2015)

- **Galerías de servicios registrables/no visitables o cajones de servicios**
Son infraestructuras o corredores cubiertos con losas y accesibles desde el exterior que permiten la instalación en su interior de las conducciones y servicios de las diferentes empresas suministradoras.

Por lo general, son construcciones de sección rectangular y se suelen situar, si hay espacio, debajo de las aceras con un trazado paralelo al bordillo.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Centrándonos en las galerías de servicio a nivel urbano, lo **ideal es introducirlas en zonas nuevas de la ciudad** pues en la ciudad ya consolidada es complicado debido a la maraña de instalaciones preexistente. Es una solución **complicada para intervenciones de rehabilitación de barriadas**, sobre todo, si en cascos históricos.

Como inconvenientes, aunque la calidad del servicio a los usuarios es mayor que en los sistemas de alojamiento tradicionales, **tienen un coste inicial mayor**. Esto no suele ser un problema a la larga, pues se amortiza pronto, pero sí puede serlo al principio. Además, **muchas compañías suministradoras no apoyan esta solución por miedo a sabotajes** de la competencia por lo que **es necesario introducir soluciones** que eviten este tipo de prácticas que pueden encarecer algo más dicho coste inicial (sistemas de protección específicos a base de rejillas o cajones de diferente tipo).

También es importante tener en cuenta que, por su gran escala y su complicada implementación, **hace falta, en primer lugar, la voluntad política para iniciar el proceso**, pues se trata de una propuesta que supone un proceso que requiere una inversión de tiempo y dinero considerable. Además, con el fin de no lesionar los legítimos intereses de todas las empresas o entidades distribuidoras de los distintos servicios, **se hace preciso, por parte del municipio, establecer una serie de ordenanzas**, en las que habría que considerar, entre otras circunstancias, que los tendidos de los distintos suministros sea posible realizarlos en diferentes etapas, además de introducir los comentados sistemas que eviten los posibles sabotajes.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

El coste de las galerías y cámaras depende de muchos factores como la ubicación concreta en el edificio o espacio urbano, las posibilidades de accesibilidad, su tamaño según las instalaciones que aloje, los materiales de sus componentes, la necesidad o no de compuertas o elementos cortafuegos, la expansividad del terreno, etc...

En general, al menos a nivel urbano, tiene un coste inicial elevado pero hay que compararlo con la suma de los costes de todas y cada una de las zanjas o cajones de las instalaciones que habría que hacer como alternativa. En dicho análisis, hay que valorar también la reducción de costes indirectos derivados de ventajas como la no necesidad de levantamiento de pavimentos, etc...

4.2. Fuentes de referencia

Se elaboraría a partir de la Base de Costes de la Construcción.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Se enumeran, a continuación, una serie de **cuestiones básicas para el diseño de las galerías de servicio urbanas**:

- Se diseñará el acceso a su interior de forma centralizada desde una central externa que vigilará el buen funcionamiento de todos los servicios del área. Aunque haya más puntos de acceso, estos deben estar controlados.
- Se permitirá la circulación de, como mínimo, un operario de pie en el interior de la galería, si esta fuese visitable.
- La galería se debe acondicionar adecuadamente mediante un correcto acondicionamiento, una correcta ventilación y todos los sistemas necesarios de seguridad (refugios, alarmas,...) para casos de accidente. Entre otras medidas, existirán puertas que separen los diferentes tramos de galería en compartimentos estancos, restringiendo los accesos e incrementando la seguridad de la galería en caso de avería grave.
- Todas las conducciones, siempre que sea posible, se dispondrán en las aceras, entre las fachadas y los árboles. Se colocarán a una distancia suficiente ya que las instalaciones pueden causar desperfectos en las primeras y, a su vez, las instalaciones pueden ser dañadas por las raíces de los elementos vegetales. Por otro lado, las reparaciones se complican si las instalaciones están cerca de otros elementos. Se debe mantener entre los árboles y las galerías separaciones mínimas de 1.50 metros, medidas desde los troncos de los árboles. Esto se hace para evitar que las raíces de los árboles causen problemas.
- Como condición fundamental, se evitará la previsible patología superficial entre los peatones, fruto de la presencia concurrente de campos electromagnéticos y las vías de agua. Los asientos para reposo de los peatones se habrán de apartar de las zonas "enfermas".
- Se preverá una obra complementaria a la galería por parte de los edificios de nueva construcción, mediante una conducción transversal que irá a parar a los servicios específicos de la finca.
- Por último, en caso de haber actuado en zonas con instalaciones existentes, será necesaria la supresión progresiva de las antiguas conducciones enterradas, de los cables que cuelgan de las paredes y de las antenas de los techos, así como de las antenas afectadas por radioactividad y se llevará a cabo el reciclaje selectivo de los materiales.

Por otro lado, hay que tener en cuenta una **serie de criterios de ordenación e incompatibilidades en dichas galerías**, siendo muchas aplicables a los edificios:

- Se preverá la separación necesaria entre algunas conducciones, cuya proximidad pueda resultar peligrosa, como la electricidad con el gas o el agua. Por ejemplo, las instalaciones de tipo hidráulico discurrirán siempre por debajo de las de energía y las conducciones de saneamiento irán siempre por debajo de las de agua potable. En caso de sistema de saneamiento separativo, las aguas pluviales siempre deberán ir por encima de las aguas residuales.
- Las tuberías de saneamiento, deben mantener siempre pendientes decrecientes para que las aguas residuales puedan circular por gravedad, esto lleva a que la galería en algunos puntos tenga que ir a cierta profundidad. Si en esos puntos el terreno es rocoso, los costes de excavación pueden incrementarse notoriamente.

- Las redes de gas no pueden instalarse dentro de las galerías para evitar peligrosas explosiones. Estas instalaciones deben colocarse en el exterior, en paralelo con la galería. En el supuesto que la red se coloque dentro de la galería, hay que ventilarla adecuadamente y las tuberías de gas deben estar dentro de una protección, aunque esta medida encarezca considerablemente el tendido de la mencionada red.
- Hay que aislar convenientemente las tuberías de calefacción urbana, de lo contrario la temperatura dentro de la galería se elevaría más de lo deseable.
- Se preverá el paso por las galerías de la instalación regular de algunos servicios superficiales como coordinación de semáforos, farolas, cabinas de teléfonos, fuentes de agua pública, bocas de incendio, «pirulís» con medidores climáticos, paneles de publicidad o de expresión ciudadana, etc.

A partir de lo anterior, las conducciones de las diferentes instalaciones urbanas se estratificarán en vertical según el siguiente orden:

- | | |
|--------------------|---------------------------|
| 1- telefonía | 4- gas |
| 2- electrificación | 5- abastecimiento de agua |
| 3- alumbrado | 6- alcantarillado |

La disposición en planta de las canalizaciones bajo las aceras seguirá el siguiente orden (partiendo del límite de parcela y terminando en el bordillo):

- | | |
|-------------------------|-------------------------------|
| 1- media y baja tensión | 6- comunicaciones municipales |
| 2- agua potable | 7- tráfico |
| 3- gas | 8- alumbrado |
| 4- telefonía | 9- red de riego |
| 5- fibra óptica | |

La instalación de saneamiento habrá que estudiarla independientemente

Por último hay que cumplir una serie de distancias mínimas horizontales y verticales.

A continuación se definen las distancias mínimas con las que se tienen que separar las conducciones de las diferentes instalaciones.

- Las distancias mínimas en planta entre los diferentes servicios (medidas entre las generatrices exteriores más próximas) son las siguientes:

TIPOS DE INSTALACIONES	DISTANCIA MÍNIMA
ENTRE CONDUCCIONES DE GAS Y ELÉCTRICAS	0.20 M
ENTRE CONDUCCIONES DE AGUA Y ELÉCTRICAS	0.20 M
ENTRE CONDUCCIONES DE AGUA Y GAS	0.30 M
ENTRE CONDUCCIONES DE TELEFONÍA Y OTROS	0.20 M
CUALQUIER CONDUCCIÓN Y ARBOLADO	1.00 M

- En vertical, la distancia entre las redes de saneamiento y las de abastecimiento de agua (que estará situada siempre en un plano superior) y gas será de 0.50 m.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

Es muy importante, a la hora de planificar una galería de servicio, las **características del terreno** debido a las tensiones a las que van a estar sometidos los muros de aquella. En caso de terrenos arcillosos, que se hinchan en presencia de agua, es necesario tomar medidas de tipo estructural.

También, la **profundidad del nivel freático** es importante. Hay que comprobar si en el subsuelo donde se construyen las galerías existen freáticos importantes que puedan inundar las galerías una vez que éstas estén en funcionamiento.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Deben existir unos funcionarios o encargados de la vigilancia de las galerías, que realicen trabajos de inspección y control con independencia de la labor que, a los efectos, realicen los empleados de las empresas suministradoras.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Al igual que se comentó en el apartado de costes, el dimensionado depende de muchísimos factores como las instalaciones que se necesite alojar en la galería - teniendo en cuenta el orden y la distancia entre ellas-, si son accesibles o no, etc...

5.2.2. Referencias para el dimensionado

No hay ninguna que destacar.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

- Línea Investigación "PROPT-ED 10: Las galerías de servicios como estrategia sostenible en el espacio subterráneo urbano". Escuela de Doctorado de la Universitat Politècnica de Valencia.

6.2. Bibliografía

- Arizmendi Barnes, L.J. (1991): *Instalaciones Urbanas. Infraestructura y Planeamiento*. Librería Editorial Bellisco. Madrid.
- Arizmendi Barnes, L.J. y otros (2007): *Guía para la Redacción de Proyectos de Urbanización*. CSCAE. Madrid.
- Hercé Vallejo, M. y Farrerons, J.M. (2002): *El soporte infraestructural de la ciudad*. Primera Edición, Octubre 2002. Ed. UPC. ITT. Universidad Politécnica de Cataluña.
- NTE (1982): Instituto Nacional para la calidad de la Edificación. M.O.P.U. Madrid.
- Rubio Requena P.M. (1979): *Instalaciones Urbanas. Tecnología e Infraestructura Territorial*. Control Ambiental. Madrid.

6.3. Webs

- <http://bardina.org/braues01.htm>. Expone condiciones sobre la introducción progresiva de las galerías de servicios en las vías públicas de ciudades y pueblos.
- <http://www.borondo.es/web/galerias/> Analiza las galerías de servicio y colectores visitables con una exposición detallada de diferentes tipologías.
- http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/medio-ambiente-urbano/ESTRATEGIA_MAU_15_JUNIO_2006_tcm7-177733.pdf

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

No hay ninguno que destacar.

AB-GF-06: SISTEMAS DE DETECCIÓN DE FUGAS

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Sistemas de control de fugas

1.2. Términos utilizados en inglés

- Leakage detection systems

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Se trata de sistemas que pretenden detectar las pérdidas de líquido que se producen en las redes hidráulicas de nuestros edificios, barrios y poblaciones. Este es uno de los grandes problemas de las redes urbanas de abastecimiento en las que, según determinadas empresas suministradoras, se puede llegar a perder aproximadamente un 40 % del agua tratada desde su extracción hasta que llega a los usuarios finales. Estos preocupantes datos nos obligan a potenciar estos sistemas de detección para ahorrar en consumo de agua.

2.2. Componentes de la tecnología

Los componentes de la instalación dependen del sistema utilizado para la detección.

2.3. Forma de funcionamiento

Existen diferentes sistemas para la detección y son, fundamentalmente, de dos tipos:

- Mediante **sistemas de monitorización y telecontrol de consumos**: En este caso, se pueden detectar consumos anómalos a partir del análisis histórico de consumos a nivel de vivienda, por comparación de caudales entrantes y salientes a nivel de edificio y por sectores a nivel urbano.
 - Contadores: Fundamentalmente, se usan los electrónicos por su mayor precisión (ver *Ficha Tecnológica AB-GF-07*).
- Mediante **métodos físicos-organolépticos y otras tecnologías de aplicación in situ**: Generalmente, pueden ser utilizados cuando las instalaciones discurren por cámaras o galerías de servicio con sus registros correspondientes por donde los aparatos puedan ser introducidos aprovechando que una fuga de agua en una tubería sometida a presión produce una serie de vibraciones en el punto de salida que son propagadas a lo largo de ésta y que pueden ser captadas a distancias hasta de 100 metros en puntos de contacto remotos como válvulas, hidrantes, llaves de corte o, incluso, es capaz de captar las vibraciones que produce el flujo de agua en el terreno circundante.
 - Detectores de fugas
 - Cámaras de TV para vigilancia

2.4. Definición constructiva

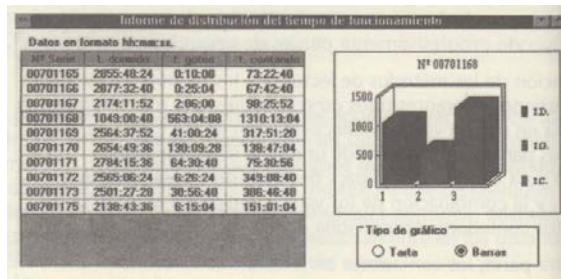


Fig.1. Datos contador electrónico. (Viñuales et al, 2002)

2.5. Imagen del resultado



Fig.2. Loggers (www.inspeccionestecnicas.es, 2015)

2.6. Clasificación en tipologías

• **Contadores electrónicos**

Son los contadores que ofrecen una mayor precisión. El registro del volumen de agua no se realiza mecánicamente sino que se basa en la excitación de un transductor electrónico que, a su vez, transmite los datos a un microprocesador. De esta manera, se podría hacer la lectura de los datos, de manera visual o a través de sistemas informáticos.

Lo más interesante es que este modelo nos permite disponer en todo momento de valores de consumo reales así como detectar, gracias a su enorme sensibilidad, consumos anómalos que puedan permitirnos la detección de fugas del sistema.



Fig.3. Contador electrónico (<http://www.prodimar.com>,2015)

• **Detectores de fugas**

Los siguientes tipos de detectores están diseñados para la confirmación de la existencia de fugas de agua en la red de distribución y su localización.

- **Con tecnología de escucha multi-sensor:** Se obtienen grandes rendimientos gracias a su tecnología y a la posibilidad de combinarlos con el uso de localizadores de fugas de agua acústicos. Un avanzado software identifica patrones de ruido y consumo en la red, lo que permite diferenciar fugas de agua de otros ruidos producidos por elementos electromecánicos de la red.

- Con **geófono**: Un *geófono* es un dispositivo que permite captar información sobre movimientos o pequeñas vibraciones en el subsuelo. A medida que el sensor se aproxima al punto de rotura la intensidad de esta señal aumenta, lo cual permite detectar una fuga muy rápidamente.



Fig.4. y 5. Geófonos (www.inspeccionestecnicas.es, 2015)

- Con **georadar**: Este sistema se basa en que la detectabilidad de una característica de la subsuperficie depende del contraste en las características eléctricas, magnéticas y la relación geométrica con la antena.
- Con **tecnología de localizadores acústicos**: La detección de fugas mediante *loggers* permite localizar problemas en redes de tuberías analizando las ondas acústicas que son producidas en éstas por el flujo que transportan.



Fig.6. Loggers (www.inspeccionestecnicas.es, 2015)

- **Detección de fugas mediante hidrógeno**: La localización de fugas mediante hidrógeno es una técnica de gran ayuda para detectar, de manera muy rápida, incluso las fugas más pequeñas en gran cantidad de elementos como válvulas, juntas, tuberías, depósitos, etc...

Funciona introduciendo una mezcla de hidrógeno (95% por nitrógeno y solo un 5% de hidrógeno) a presión en los elementos a controlar para que salga por las posibles fisuras de las tuberías que las componen y, de esta forma, pueda ser detectado con una serie de sensores especiales para ello. Esta cantidad es suficiente para localizar la fuga y resulta totalmente inocua, sin dañar ni las instalaciones ni el medio ambiente.

- **Robots y cámaras de vigilancia o inspección de redes**

Permiten realizar inspecciones facilitando al operador información crítica sobre el estado del tramo y sobre los posibles problemas existentes en el mismo.

Este sistema se utiliza cuando no hay espacio suficiente para que el personal de mantenimiento acceda a las galerías donde se encuentran las instalaciones (galerías de servicio accesibles,...).



Fig.7. Robot (www.panatec-agua.com, 2015)



Fig.8. Cámara (www.panatec-agua.com, 2015)

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Se pueden aplicar estos sistemas a **todo tipo de edificios y en zonas urbanas de muy distintas características.**

Es complicada la detección con métodos físicos si no hay un sistema de ubicación de las instalaciones que lo permita como las galerías de servicios u otro similar.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Sistema	Coste
Contadores electrónicos	210,00-570,00€**** /85,00€****

4.2. Fuentes de referencia

**** (Viñuales *et al*, 2002)

***** (<http://www.cohisa.com/pdf/TarifaConta.pdf>, 2007)

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

El hecho de que las instalaciones discurran por algún tipo de galería de servicios supondrá una protección adicional de las mismas y facilitará la utilización de algunas de las tecnologías.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

Es muy importante, en aquellos casos en los que las tuberías discurren bajo rasante, las características del terreno pues determinados tipos pueden crear tensiones en la red que produzcan las fugas, como los terrenos arcillosos que se hinchan en presencia de agua. También la profundidad del nivel freático es importante.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

El mantenimiento de este tipo de aparatos tan sofisticados es fundamental pero suele ser llevado a cabo por personal especializado.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Al igual que en los casos anteriores, no hay un método específico de cálculo pues los dispositivos se adquieren en el mercado ya fabricados.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

No hay ninguna que destacar.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

- Línea de trabajo “Opciones tecnológicas y operacionales” que tiene como objetivo el desarrollo de tecnologías y mecanismos para la gestión sostenible del agua. Proyecto TRUST.

6.2. Bibliografía

- ARIZMENDI BARNES, L.J. (1991): *Instalaciones Urbanas. Infraestructura y Planeamiento*. Librería Editorial Bellisco. Madrid.
- ARIZMENDI BARNES, L.J. (2000): *Cálculo y normativa básica de las Instalaciones en los edificios*. Tomos I y II. 6ª Edición. EUNSA.
- ARIZMENDI BARNES, L.J. y otros. (2007): *Guía para la Redacción de Proyectos de Urbanización*. CSCAE (Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España). Madrid.

6.3. Webs

- www.inspeccionestecnicas.es/servicios/localizacion-de-fugas.html
- www.panatec-agua.com

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

No hay ninguno que destacar.

AB-GF-07: INDIVIDUALIZACIÓN DE CONTADORES EN LOS EDIFICIOS

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Contadores individualizados o individuales
- Contadores divisionarios

1.2. Términos utilizados en inglés

- Individual measuring systems, points or meters
- Individual counters

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición de la tecnología

La medida trata de sustituir los contadores generales (comunitarios, únicos o unitarios) de los edificios por sistemas de contabilización individual para un mayor control de los consumos y es que, **para promover un uso más eficiente del agua y lograr unos ciertos niveles de ahorro**, resulta esencial que los usuarios puedan contar con información periódica sobre sus consumos reales y poder, así, controlar el resultado final de su factura del agua. En este sentido, constituyen un elemento imprescindible de cualquier política de ahorro.

Es importante, también, tener presente que determinados modelos electrónicos permiten disponer en todo momento de valores de consumo reales. Esto implica tener una serie de datos estadísticos que **permiten controlar mejor el consumo de agua** (consumos punta, consumos medios,...) **así como detectar**, gracias a su enorme sensibilidad, **consumos anómalos** que puedan permitirnos la detección de fugas del sistema.

Esta última ventaja de poder localizar consumos anómalos también es aplicable a los casos de contabilización a nivel urbano.

2.2. Componentes de la tecnología

Los componentes principales de esta tecnología son los propios **contadores** (cuya composición, a su vez, depende del tipo de contador).

Por otro lado, el sistema actual, centralizado en la mayoría de los casos por obligación de las compañías suministradoras para facilitar su lectura, obliga a colocar los contadores en un mismo sitio y, para igualar las condiciones de partida del agua hacia cada uno de los usuarios, se conectan a una **batería** común que tiene esa función.

En el caso de que se pudiesen descentralizar los contadores, entonces el esquema de la instalación sería ramificado y serían innecesarias dichas baterías, al estar cada contador junto a su vivienda. Esta solución se podría implantar con los sistemas actuales de contabilización a distancia que permiten las lecturas digitalizadas

Los **sistemas descentralizados** tendrían varias ventajas que se enumeran a continuación:

- Se utilizaría mucho menos material en tuberías al no tener que existir un montante por usuario.
- El consumo de agua sería menor y no se perdería tanto en el relleno de todos los montantes.
- El consumo energético del sistema de bombas es menor si no hay montantes individuales y son comunes a los usuarios de una misma vertical pues se reduce el caudal y la pérdida de carga es menor.

2.3. Forma de funcionamiento

El agua consumida por cada usuario pasa por su contador con su consiguiente contabilización que no puede ser modificada gracias a la colocación de las obligatorias válvulas antirretorno tras los mismos.

2.4. Definición constructiva

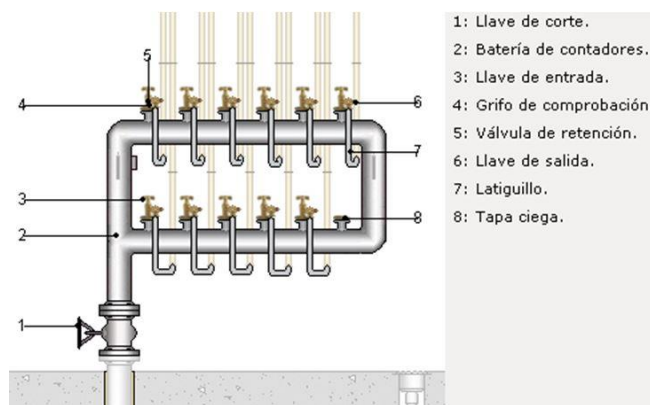


Fig.1. Batería de contadores con componentes (www.generadordeprecios.info, 2015)

2.5. Imagen del resultado



Fig.2. Batería de contadores (www.generadordeprecios.info) Fig.3. Contador individual (www.valgroup.es, 2015)

2.6. Clasificación en tipologías

Hay varias clasificaciones según el criterio. Aquí se han seleccionado dos (Viñuales *et al*, 2002:64-66):

Según su tecnología:

- **Contadores de velocidad**

Basan su funcionamiento en la medición de la velocidad a la que circula el agua que se mide mediante una rueda que gira a su paso.

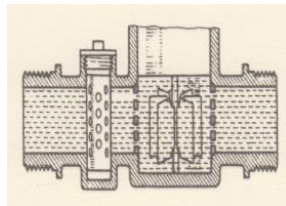


Fig.4. Contador de velocidad. (Viñuales *et al*, 2002)

Según el tipo de rueda y en función de su colocación respecto al sentido del agua, pueden ser:

- De turbina
- De molinete

- **Contadores de volumen**

Controlan el consumo de agua en función de la cantidad de veces que se llena un recipiente contenido en su interior. La precisión de estos se considera mucho mayor pues no está sometidos a un posible subcontaje ocasionado por caudales reducidos, golpes de ariete, etc...

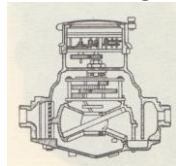


Fig.5. Contador de volumen (Viñuales *et al*, 2002)

- **Contadores electrónicos**

Son los que ofrecen una mayor precisión en el ámbito doméstico. Los modelos más avanzados disponen de turbinas de densidades similares a las del agua colocadas en tubos totalmente lisos. El registro del volumen de agua no se realiza mecánicamente, sino que se basa en la excitación de un transductor electrónico que a su vez transmite los datos a un microprocesador.

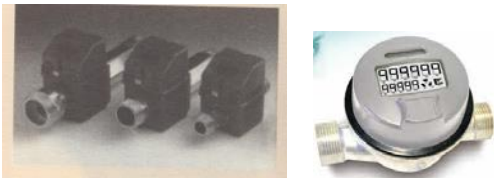


Fig.6 y 7. Contadores electrónicos (Viñuales et al, 2002)

Según la forma de lectura:

- **Contadores de esfera parciales**
Disponen de una serie de cuadrantes y la combinación de los valores indicados en cada uno de esto proporciona el dato de consumo real.
- **Contadores de lectura directa**
Muestran el consumo de agua mediante rodillos numerados.



Fig.8. Contador de lectura directa (Viñuales et al, 2002)

- **Contadores electrónicos**
Ya se han explicado en la anterior clasificación. A nivel de lectura, se podría hacer la lectura de los datos de manera visual o a través de sistemas informáticos.



Fig.9. Contador electrónico (Viñuales et al, 2002)

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

La individualización de contadores **es una tecnología aplicable a edificios de más de un usuario** (por ejemplo, en edificios residenciales).

De hecho, el CTE-DB-HS4, en su apartado 2.3., obliga a disponer “un sistema de contabilización tanto de agua fría como de agua caliente para cada unidad de consumo individualizable”. De todas maneras, aunque la instalación de contadores individuales es actualmente obligatoria para las viviendas de nueva construcción, todavía quedan numerosos edificios en los que todos los vecinos comparten un mismo contador. Para asegurar el éxito de todas estas medidas, será necesario que todas estas recomendaciones sean recogidas también en las correspondientes normativas de las compañías suministradoras.

Por otro lado, comentar que la política de aumento de contadores se está aplicando también a nivel urbano, no tanto para una facturación mayor, sino para un mayor control de los consumos por sectores (ver *Ficha tecnológica* AB-GF-06).

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Sistema	Coste
Contador individual de velocidad	40,00-200,00€****
Contador individual de volumen	95,00-495,00€****
Contador individual electrónico	210,00-570,00€****/85,00€****

4.2. Fuentes de referencia

**** (Viñuales et al, 2002)

***** (<http://www.cohisa.com/pdf/TarifaConta.pdf>, 2007)

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Cuando se centralizan, los contadores divisionarios se colocan en una batería cuya misión principal es equilibrar e igualar las presiones para todos los usuarios. A partir de cada contador de usuario parte un montante individual que lleva el agua hasta la vivienda correspondiente.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay nada que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

No hay nada que destacar.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

En el dimensionado hay que considerar dos aspectos: el cálculo de los contadores necesarios y, posteriormente, el dimensionado del espacio necesario para su ubicación.

El **número de contadores** es función del tipo de consumo contabilizado:

- Un contador por usuario para consumo de agua fría.
- Contadores adicionales independientes para piscinas y zonas verdes para control interno. En este caso, aunque no sea aplicable una tarifa diferente, sí permite el control interno de consumo de estos elementos a la Comunidad.
- Contadores individuales de consumo de agua en otras instalaciones.
 - En edificios con instalación colectiva de ACS.
 - En edificios con instalación colectiva de calefacción por agua.

Generalmente, es la normativa la que marca o no obligatoriedad de una u otra posibilidad. En concreto, en España, el CTE-DB-HS4, en su apartado 2.3., obliga a

disponer “un sistema de contabilización tanto de agua fría como de agua caliente para cada unidad de consumo individualizable”.

Se colocará un contador por usuario (vivienda, local, etc...). Si los locales no estuviesen definidos, se colocaría 1 cada 100 m². Además, en el caso de edificios plurifamiliares, es necesario colocar un contador para la Comunidad. En cuanto a los de ACS, las compañías suministradas obligan a usar un sistema de calentamiento de agua indirecto con intercambiadores individuales en cada vivienda de manera que el agua caliente consumida en cada vivienda es parte de la que pasa por su contador de AF, no colocándose contadores de energía.

En cuanto al **espacio necesario para la ubicación de la batería** de contadores, que actualmente son necesarias por estar centralizados, se puede consultar en la normativa de las diferentes compañías suministradoras. A continuación, se expone e ejemplo de la empresa EMASESA:

DIMENSIONES ORIENTATIVAS DE ARMARIOS DE CONTADORES								
Nº contadores	Nº filas	Dimensiones Ancho x Largo	Nº contadores	Nº filas	Dimensiones ancho x largo	Nº contadores	Nº filas	Dimensiones ancho x largo
1	1	70 X 135	16	3	70 X 210	31	3	70 X 285
2	1	70 X 150	17	3	70 X 210	32	3	70 X 285
3	1	70 X 165	18	3	70 X 210	33	3	70 X 285
4	1	70 X 180	19	3	70 X 225	34	3	70 X 300
5	2	70 X 165	20	3	70 X 225	35	3	70 X 300
6	2	70 X 165	21	3	70 X 225	36	3	70 X 300
7	2	70 X 180	22	3	70 X 240	37	3	70 X 315
8	2	70 X 180	23	3	70 X 240	38	3	70 X 315
9	3	70 X 165	24	3	70 X 240	39	3	70 X 315
10	3	70 X 180	25	3	70 X 255	40	3	70 X 330
11	3	70 X 180	26	3	70 X 255	41	3	70 X 330
12	3	70 X 180	27	3	70 X 255	42	3	70 X 330
13	3	70 X 195	28	3	70 X 270	43	3	70 X 345
14	3	70 X 195	29	3	70 X 270	44	3	70 X 345
15	3	70 X 195	30	3	70 X 270	45	3	70 X 345

5.2.2. Referencias para el dimensionado

Normativa de las compañías suministradoras.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

- Arizmendi Barnes, L.J. (2000): *Cálculo y normativa básica de las Instalaciones en los Edificios*. Tomos I y II. 6ª Edición. EUNSA.

6.3. Webs

- Webs de las compañías suministradoras.
- EMASESA:http://www.aguasdesevilla.com/fileadmin/editores/PDF/Normativa/IITAbt-Rev_4-Consejo_Admn_21_10_2013.pdf Pg 30

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- *Plan Cinco* de EMASESA. Proyecto de sustitución de contadores comunitarios por individuales, como medida de impulso del ahorro de agua en las comunidades y para promover el consumo responsable de los recursos hídricos.

UTILIZACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS ALTERNATIVOS

AB-HA-08: ALMACENAMIENTO Y RECUPERACION DE ACUÍFEROS

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Recarga (Artificial) de Acuíferos (RAA)
- Gestión de la Recarga de Acuíferos (GRA)
- Pozo de reinfiltración

1.2. Términos utilizados en inglés

- (Managed) Aquifer Recharge (MAR)
- Aquifer Storage & Recovery (ASR)

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Es un método de gestión hídrica que permite introducir agua en los acuíferos subterráneos. Una vez almacenada en éstos, puede ser extraída, generalmente con una calidad adecuada, para distintos usos (abastecimiento, riego, etc...).

Por tanto, es un sistema que permite la reserva de aguas para su utilización en el momento necesario como solución a problemas de escasez de agua, no tanto por la falta de precipitación pluvial, sino por la falta de lluvias en el momento adecuado. Esta es una alternativa en la cual se almacenan las altas corrientes subterráneas para la re-extracción cuando las fuentes tradicionales no están disponibles.

La recarga de acuíferos cumple también otras funciones, además del almacenamiento de agua, entre las que destaca limitar la intrusión de agua salada, la recuperación de humedales, el frenado de la desertificación de suelos y la contención de la erosión.

2.2. Componentes de la tecnología

Está formado por el propio acuífero y el sistema de inyección seleccionado.

2.3. Forma de funcionamiento

El ARA funciona mediante la inyección en los acuíferos de los excedentes existentes durante los períodos de altos flujos de agua. Esta agua desplaza al agua nativa del acuífero para formar una “burbuja” de modo que puede ser re-extraída cuando se requiera el suministro, utilizando la misma inyección. El agua es almacenada en el

acuífero en cantidad superior a lo normal y sigue su circuito natural subterráneo, depurándose durante un periodo de tiempo variable.

La fuente de agua utilizada para el ARA puede variar. El agua -que puede proceder de ríos (extracciones de los ríos durante los períodos de flujo alto), depuradoras (captura de las aguas residuales tratadas), escorrentía urbana (escurrimiento de aguas pluviales), desaladoras o humedales entre otros orígenes- es introducida al acuífero mediante zanjas, balsas, pozos, sondeos de inyección, etc., generalmente en invierno.

El agua debe ser tratada antes de ser inyectada, aunque esto depende de la calidad de la fuente y el propósito del uso de las re-extracciones posteriores. Dependiendo de las propiedades del acuífero y el tiempo de retención de agua, algunos contaminantes también se eliminan a través de los procesos de tratamiento naturales de modo que se producen dentro del propio acuífero.

2.4. Definición constructiva

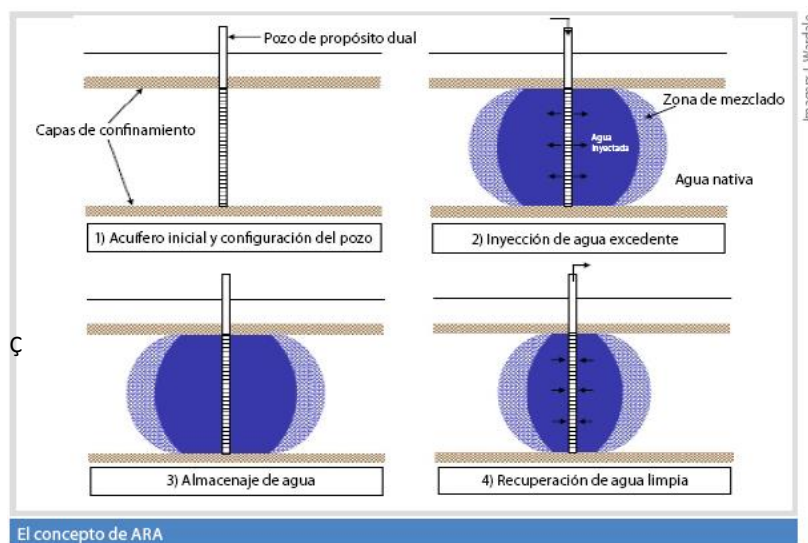


Fig.1. Esquema de ARA. (Proyecto Switch, 2006-2011)

2.5. Imagen del resultado

No hay ninguna que destacar.

2.6. Clasificación en tipologías

- **Dispositivos de dispersión**

Deben encontrarse afloramientos permeables en superficie ya que en estos dispositivos la recarga se realiza mediante infiltración directa a través del terreno. El agua se infiltra por gravedad a través de la zona no saturada del suelo hasta llegar al acuífero.

Se requiere de extensas áreas relativamente planas.

- Balsa o lagunas de infiltración.
- Canales y zanjas de infiltración.
- Campos de infiltración. (Inundación y difusión controlada)
- Técnicas de tratamiento suelo/acuífero. (Técnicas SAT)
- Recarga por retornos de riego.



Fig.2. Acequia de careo. La Alpujarra (Granada)

- **Dispositivos de modificación del cauce**

- Diques de retención/represas.



Fig.3. Represas en Pisa (Italia) (Proyecto Dina-Mar, 2011)

- Diques subsuperficiales / subterráneos.
- Diques permeables y presas de arena.
- Diques perforados.
- Serpenteos.
- Escarificación del lecho del río.

- **Pozos**

Este tipo de instalaciones suelen emplearse en terrenos donde el uso de sistemas superficiales es inadecuado, ya sea por disponer de poco espacio o por tratarse de acuíferos poco transmisivos o con alternancia de niveles permeables e impermeables. Algunas de las técnicas de recarga en profundidad son: sondeos de inyección, drenes y galerías, ASR (Aquifer Storage & Recovery) o inyección en simas y dolinas.

Es particularmente importante, en este tipo de dispositivos, ser estrictos en lo que se refiere a la calidad del agua que se aplica, ya que esta entra directamente al acuífero sin contar con el proceso de tratamiento que significa atravesar capas de suelo no saturado.

- *Qanats* (galerías subterráneas).
- Pozos abiertos y pozos profundos de infiltración.



Fig.4. Pozo de infiltración. Pisa (Italia). (Proyecto Dina-Mar, 2011)

- Sondeos, ASR y ASTR.
- Dolinas, sumideros.

- **Dispositivos de filtración**
 - Bancos filtrantes en lechos de ríos.
 - Filtración interdunar.
 - Riego subterráneo.
- **Dispositivos de captación de agua de lluvia**
 - Captación de agua de lluvia (ver *Ficha tecnológica* AP-AD-01).
- **Infraestructura urbana**

Las ciudades disponen de distintas redes hidráulicas siendo posible la recarga de acuíferos desde ellas de manera intencionada o accidental:

 - Recarga accidental desde conducciones y alcantarillado.
 - Sistemas urbanos de drenaje sostenible (ver *Fichas tecnológicas* desde AP-DS-02 a AP-DS-13)

También es posible la recarga de los acuíferos a partir de otras fuentes como ríos, depuradoras, escorrentía urbana, desaladoras, humedales, etc...

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Esta técnica es recomendable allí donde se almacenan las altas corrientes subterráneas para un más fácil re-extracción cuando las fuentes tradicionales no estén disponibles.

El acuífero utilizado con los ARAs no tiene que ser de buena calidad por lo que **es posible utilizar acuíferos salinos o contaminados**. En ese caso, no podría ser considerado para el suministro de agua.

A veces, con altos tiempos de retención, algunos contaminantes también se eliminan a través de los procesos de tratamiento naturales que se producen dentro del propio acuífero.

En cualquier caso, es fundamental **revisar los requisitos que la Confederación Hidrográfica** exige en cada caso, ya que puede impedir que cualquier otra cosa que no sea agua potable sea inyectada en los acuíferos debido al riesgo de contaminación.

Y es que, hay que tener mucho cuidado con esta tecnología porque puede dar muchos problemas si no se controla bien. En los casos en los que los acuíferos se utilizan y no son aptos para proporcionar agua para el suministro, hay el riesgo de que los contaminantes existentes tengan impacto en la calidad del agua inyectada. La composición química y microbiológica del agua inyectada debe ser compatible con la del agua nativa del acuífero. Cuando esto sucede, pueden ocurrir reacciones inesperadas que pueden conducir a problemas de calidad en el agua, formación de biomasa y obstrucción de las perforaciones.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Al haber un volumen de información bastante escaso, se ha realizado un análisis aproximado, que concluye en que el coste del agua procedente de la gestión de la

recarga de acuíferos es ligeramente inferior al coste medio del agua desalada e inferior a la mitad que el agua embalsada en presas y balsas. (Aqua-Riba, 2015)

- Presas: 1,25 €/m³.
- Desaladoras: 0,45 a 0,90 €/m³ (durante su amortización).
- Dispositivo ARA superficiales: 0,21 €/m³.
- Dispositivo AR profundos: 0,10 €/m³.

4.2. Fuentes de referencia

Se han tomado los datos de las propias explotaciones.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Es fundamental conocer las características del terreno y del clima para un correcto diseño.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay nada que reseñar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Los condicionantes a tener en cuenta en una zona de recarga artificial tipo, según la finalidad de la recarga, son los siguientes:

- **Acuíferos sobreexplotados que deben ser realimentados:**
 - Zona con intensa explotación agrícola o interés medioambiental.
 - Acuíferos con intensa extracción para usos potables
 - Zonas con un incremento de extracción previsto para el futuro, ya sea programado o espontáneo (por ejemplo: crecimiento demográfico en una ciudad o barrio cuyo sistema de abastecimiento de agua potable es alimentado desde acuíferos; ampliación de perímetros de riego con aguas subterráneas; etc.)
- **Acuíferos que muestran una progresiva degradación de la calidad del agua:**
 - Zonas con elevadas concentraciones de nitratos.
 - Zonas con valores medioambientales en peligro de desaparición o deteriorados.
 - Zonas con problemas de intrusión salina continental (acuíferos costeros)
- **Acuíferos en zonas donde la disponibilidad de aguas superficiales muestra una variación estacional:**
 - Disponibilidad de agua superficial sobrante en algunos meses del año por lo menos.
 - Zonas donde se puede combinar la recarga de acuíferos con el control de avenidas.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Depende de muchos factores.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

No hay ninguna que reseñar de manera específica.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

- Proyecto DINA-MAR. Proyecto I+D+i de gestión hídrica financiado por el Grupo Tragsa cuyo principal objetivo es determinar qué zonas de España son susceptibles para la recarga artificial de acuíferos y su desarrollo. www.dina-mar.es

6.2. Bibliografía

- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E. y GARCÍA RODRÍGUEZ, M. *La recarga artificial de acuíferos en el mundo. Estado de la cuestión y experiencias*. Universidad Alfonso X El Sabio. TRAGSATEC. Madrid.
- GISBERT J., PULIDO-BOSCH A., VALLEJOS A., MARTÍN-ROSALES W., MOLINA-GARCÍA, J.M. y FRUCTUOSO M. (2005): *Estimación de la recarga en clima semiáridos. El caso del borde meridional de la Sierra de Gádor*. López-Geta, J.A.; Rubio, J.C. y Martín Machuca, M. (Eds.), VI Simposio del Agua en Andalucía. IGME. 301-312.
- MARTÍN-ROSALES W., GISBERT J., PULIDO-BOSCH A., VALLEJOS A. y FERNÁNDEZ-CORTÉS A. (2007): *Estimating groundwater recharge induced by engineering Systems in a semiarid area (southeastern Spain)*. Environmental Geology 52: 985-995.
- MINAYA OVEJERO, M.J. (2008): *Tipologías y dispositivos de Recarga Artificial (AR) existentes y diseñados en el marco del Proyecto Dina-Mar*. Ponencia de la Jornada de Difusión del Proyecto Dina-Mar. <http://www.dina-mar.es/>
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO (2008): *Inventario de tecnologías disponibles en España para la lucha contra la desertificación. Fichas de gestión integral de acuíferos*. http://www.magrama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/desertificacion-restauracion-forestal/lucha-contra-la-desertificacion/lch_inv_tec_gestion_acuiferos.aspx
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO (2008): *Inventario de tecnologías disponibles en España para la lucha contra la desertificación. Tipologías y dispositivos de recarga artificial*. http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/desertificacion-y-restauracion-forestal/lucha-contra-la-desertificacion/lch_inventario_tec.aspx
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO (2008): "Inventario de tecnologías disponibles en España para la lucha contra la desertificación. Gestión de la recarga de acuíferos: su implicación en la lucha contra la desertificación. Tipologías y dispositivos de recarga artificial." http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/desertificacion-y-restauracion-forestal/0904712280144db8_tcm7-19635.pdf
- PULIDO BOSCH A. (2001): *Sobreexplotación de acuíferos y desarrollo sostenible*. Pulido Bosch, A.; Calaforra Chordi, J.M. y Pulido Leboeuf, P.A. (Eds.) Problemática de la gestión del agua en regiones semiáridas. Instituto de Estudios Almerienses. Diputación de Almería. 115-132.

6.3. Webs

- International Association of Hydrogeologist. www.iah.org/recharge

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- *Plan Especial del Alto Guadiana*. Programa hidrológico: Viabilidad de recarga de acuíferos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente <http://www.chguadiana.es/?url=32&corp=chguadiana&lang=es>
- Caso en la ciudad de *Adelaida* (Salisbury, South Australia). El agua de escorrentía es tratada en un humedal e infiltrada al acuífero a través de seis pozos de infiltración. El agua es utilizada para alcanzar los estándares mínimos de abastecimiento y para el riego urbano. Tiene una capacidad de 1100 m³/d.

JARDINERÍA HIDROEFICIENTE

AB-JH-09: XEROJARDINERÍA

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Jardinería ecológica, ecoeficiente o hidroeficiente
- Jardinería de bajo consumo o *cerorriego*
- Paisajes conservadores de agua o tolerantes de la sequía

1.2. Términos utilizados en inglés

- Xeriscape³⁷

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

La Xerojardinería³⁸ consiste, básicamente, en un estilo de paisajismo que no requiere prácticamente riegos suplementarios y que se promueve, especialmente, en áreas en las que existen dificultades en el suministro de agua. Potencia el uso de plantas cuyos requisitos son los propios del clima local y se complementa con medidas para evitar las pérdidas de agua por evaporación y/o escapes.

³⁷ La palabra "Xeriscape" procede de la palabra inglesa "Xeriscaping", acuñada por la combinación de *xeros* (en griego = "seco") con el inglés de *landscape* (paisaje). Xeriscape TM y el logo del Xeriscape son las marcas registradas del departamento del agua de Denver, Colorado. Fueron creadas por el "Front Range Xeriscape Task Force" del Departamento de Denver en 1978.

³⁸ En un artículo en la revista "Horticultura" en 1993, Silvia Burés traducía al español el vocablo "Xeriscape" usando el término "Xerojardín@" o "Xerojardinería@", refiriéndose a jardinería eficiente en términos hídricos. En 1993, esta autora publicó el libro "Xerojardinería" y en el año 2000 una ampliación del mismo llamado "Avances en Xerojardinería", convertidos ambos en manuales de uso de jardinería en muchos países de habla hispana.

Pero no sólo pretende reducir el consumo de agua, sino que también tiene un sentido ecológico, buscando los jardines de mínimo mantenimiento y mínimo uso de productos fitosanitarios. Además, un jardín de bajo consumo hídrico puede llevar asociado una gran cantidad de fauna silvestre al tener una elevada diversidad de ambientes (copas de árboles, arbustos, rocallas, recubrimientos vegetales, etc...) que pueden ser de gran atractivo para ella.

El jardín, diseñado con criterios de uso eficiente del agua, puede llegar a reducir el consumo doméstico de agua hasta la mitad. (Viñuales *et al*, 2000)

2.2. Componentes de la tecnología

Esta tecnología es posible mediante la combinación de una serie de elementos:

- El terreno que la soporta.
- La vegetación elegida.
- Un sistema de riego hidroeeficiente (según necesidades).

2.3. Forma de funcionamiento

La Xerojardinería® se basa en realizar una buena gestión agronómica de la plantación y del mantenimiento de los jardines, adaptando las especies a las condiciones edafoclimáticas del lugar a partir de un buen conocimiento de la fisiología y origen de las plantas. Se trata de seleccionar las que se adaptan mejor al medio, así como de realizar un diseño sostenible, con una planificación previa basada en el análisis de las condiciones locales.

Por otro lado, es necesaria una buena gestión de los recursos naturales utilizando las tecnologías de riego más novedosas, llevando a cabo un buen manejo de la reserva hídrica del sustrato y de las redes hidráulicas presentes. (Viñuales *et al*, 2000)

2.4. Definición constructiva

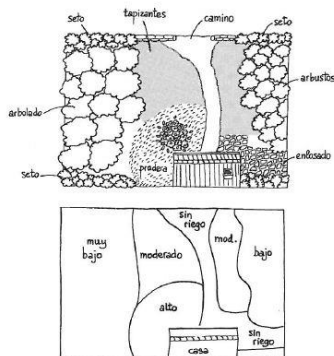


Fig.1. Esquema de jardín con criterios de Xerojardinería (Viñuales *et al*, 2000)

2.5. Imagen del resultado



Fig.2. Ejemplo de diseño (Paisajismourbano.com, 2015)



Fig.3. Detalle (espores.org, 2015)



Fig.4. Utilización del *mulching* (jardinerialplantasyflores.com, 2015)

2.6. Clasificación en tipologías

No hay ninguna clasificación de interés.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Estas técnicas son **aplicables en cualquier jardín o zona verde del sistema urbano**, aunque es recomendable en lugares donde el suministro de agua no sea fácil, las fuentes sean escasas o el líquido sea especialmente caro.

Es fundamental el conocimiento de clima de la zona (pluviometría, temperaturas, soleamiento, etc...) para saber qué especies se pueden cultivar sin necesidad de riego adicional. Además, será necesario un estudio del tipo de terreno presente (arcilla, limo, arena o grava) así como su grado de humedad aproximado, su capacidad de Infiltración, su coeficiente de escorrentía y todas aquellas características que puedan influir en el estado final del terreno. Será necesario entonces un estudio especializado con todos los datos anteriores para la elección de las especies y el sistema de riego necesario, en el que, lo ideal es que la poca agua que haya que adicionar proceda de reservas de recursos hídricos alternativos de la zona.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Los costes de un jardín de estas características pueden ser similares a los de un jardín convencional.

Como elementos característicos encontramos el *mulching* o acolchado, cuyo precio variará en función del tipo de material de recubrimiento. Como referencia, el acolchado con corteza de pino tiene un coste de unos 8 €/m².

4.2. Fuentes de referencia

- Base de Costes de la Construcción de Andalucía (2014).

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

A la hora de plantearse un diseño de un jardín ecoeficiente, y tras un estudio pormenorizado del uso que se le quiere dar (descanso, paseo, juegos infantiles, deporte,...), se recomiendan las siguientes medidas:

- Estudio y adaptación de las **características de humedad del suelo o terreno**.

- *Adaptación de la capacidad de absorción y almacenamiento de agua del terreno.*
 - Posible *modificación de la topografía*. Si nuestro jardín posee un buen suelo y un perfil suave lo más recomendable es adaptarse a él y evitar deteriorar su estructura natural, pero si tiene pendientes fuertes se pueden hacer rectificaciones para evitar las pérdidas de agua excesivas por escorrentía y prevenir la erosión que ésta pueda producir.
 - Posible *adición de material granular*. Es fundamental la velocidad a la que el agua penetra en el suelo para que la plantación sea viable o no. En general, por razones muy diferentes, ni los suelos muy arenosos, ni los muy arcillosos son idóneos para el jardín. Los suelos más adecuados son los llamados “francos” con menos de un 25 % de arcillas y proporciones parecidas de arenas y limos. Hay veces que los suelos de poca calidad (con escombros de construcciones) hay que añadirles una capa de un suelo mejorado.
 - Posible *adición de productos específicos al terreno*. En el caso de suelos pobres en materia orgánica, hay que añadir abonos sobre todo en las zonas dedicadas a flores y arbustos.
 - *Equilibrado de humedad del terreno mediante utilización de drenes* en grandes superficies de césped o rastreras en general o en suelos muy arcillosos que se aneguen con facilidad.
- *Reducción de pérdidas por evaporación*. Empleo de aplicación de retenedores de humedad y lluvia en el suelo.
 - Utilización del **mulching o acolchado** en ajardinamiento. Es una técnica muy conocida que consiste, básicamente, en cubrir el suelo con distintos materiales, evitando así que el terreno quede expuesto al contacto con el aire, evitando la evaporación excesiva, protegiendo los cultivos de las heladas, el viento y el sol y ofreciendo enormes posibilidades ornamentales en diseño de jardines. Además, evitan la aparición de malas hierbas y facilitan la ocultación de los sistemas de riego.
 - Aumento de la altura de la vegetación para reducción de soleamiento directo o como barrera cortavientos que evite el aumento de sequedad de una determinada zona.
- Elección y distribución correcta de las **especies vegetales**:
 - Correcta *selección de las especies*. Se usan especies autóctonas de la zona en cuestión, que estén adaptadas al régimen de precipitaciones de la zona y no tengan, por tanto, necesidad de riego adicional. Algunas de las plantas más comunes que se utilizan en *Xerojardinería* son el agave, el cactus, la lavanda, *juniperus*, *sedum* y *thymus* pero no son las únicas. Para más detalle ver la publicación sobre Xerojardinería de Fundación Ecología y Desarrollo (Viñuales *et al*, 2000: 11 y 33) y el Apéndice 6 “Selección de Especies” del Cuaderno I+D+i, Nº10 de Canal Isabel II (Canal Isabel II, 2010).
 - “*Zonificación*” de especies en función de necesidades de riego. Al distribuir las plantas en el jardín, se debe intentar agrupar las especies según necesidades de agua para optimizar los sistemas de riego. En *Xerojardinería* ©, se clasifican las plantas en cuatro grupos, atendiendo a sus requerimientos de agua: necesidades altas, moderadas, bajas y muy bajas. Es conveniente disponer las plantas de necesidades altas en los bordes del césped, para que aprovechen el agua que deriva de los elementos de riego.

- Selección de las **aguas de riego**:
 - Agua procedente *de drenaje del propio jardín*.
 - Agua procedente *de un estanque artificial*.
 - Agua procedente *de depósitos de pluviales*.
 - Agua procedente *de depósitos de aguas grises tratadas*.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Aunque es cierto que unas menores necesidades de riego reducirán de manera importante el tiempo que se le tiene que dedicar al jardín, el mantenimiento es fundamental y debe ser realizado por personal especializado.

Los temas más importantes a considerar son:

- Riego: Es necesario prestar atención al sistema de riego, comprobando periódicamente que no tiene fugas y que todos los elementos funcionan correctamente (ver ficha AB-JH-10).
- Podas: Los árboles, en principio, no necesitan ser podados. La planta equilibrada, con su porte natural, está más sana y aprovecha el agua de manera más eficiente.
- Reposiciones: Hay que estar atento para localizar las plantas que no han podido arraigar o se han secado para sustituirlas por otras en la época apropiada.
- Escardados: Es conveniente entrecavar las zonas y alcorques y los parterres, si se desea evitar las malas hierbas. No obstante, los recubrimientos y acolchados puede eliminar este tedioso trabajo.
- Siegas: Los céspedes muy cortos consumen más agua que los que se mantienen más altos.
- Recubrimientos: Es necesario revisarlos cada año sustituyendo las camas hechas con recubrimientos orgánicos finos y reponer lo perdido con nuevos materiales.
- Mejora de suelos. Utilización de abonos.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

No son necesarios cálculos específicos a la hora de diseñar el jardín, más allá de los estudios especializados acerca de las condiciones del terreno.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

Revisar bibliografía del apartado inferior.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

- BURES, S. (1993): *Xerojardinería*. Ed. Horticultura S.L.

- CONTRERAS LÓPEZ, F. (2006): *Clasificación de especies de jardín según sus necesidades hídricas para la región de Murcia*.
- ECOLOGISTAS EN ACCIÓN. *Manual de Jardinería Ecológica*.
- ECOLOGISTAS EN ACCIÓN. *Manual de Xerojardinería*.
- VIÑUALES V., FERNÁNDEZ M. y GONZÁLEZ E. (Coord) (2000): *Guía Práctica de Xerojardinería*. Colección "Guías prácticas para un uso eficiente del agua". Fundación Ecología y Desarrollo. Edit. Bakeaz.
- GILDEMEISTER H. (1998): *Su jardín mediterráneo. Cómo crear un paraíso verde con poca agua*. Palma de Mallorca.
- KUNKEL G. (1998): *Jardinería en zonas áridas*. Ediciones Alternativas. Almería.
- LÓPEZ LILLO, A. (1993): *Elementos ornamentales de la flora autóctona*. Uso del agua en las áreas verdes urbanas. Canal Isabel II y Agencia de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid.
- MAGISTER M. (1999): *Diseño de jardines privados de bajo consumo de agua*. Curso de jardinería de bajo consumo de agua. CENEAM. Valsain (Segovia)
- SOVOCOOL K. y MORGAN. (2005): *Xeriscape Conversion Study. Final Report*. Southern Nevada Water Authority.
- VICENTE J. (1999): *Programas de conservación y mantenimiento en parques públicos y privados, para el ahorro de agua*. Encuentro Internacional "Eficiencia del agua en las ciudades". Zaragoza.

6.3. Webs

- BUENO, Mariano. Manual para Horticultores Ecológicos. www.compostadores.com
- Jardinería con poca agua. www.lafertilidaddelatierra.com
- Landscape Water Conservation. Xeriscape. <http://aggie-horticulture.tamu.edu/extension/xeriscape/xeriscape.html>
- Xeriscape Colorado. www.xeriscape.org
- Water Conservation Office. Albuquerque. New Mexico www.cabq.gov/waterconservation/xeric.html

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

No hay ninguno que destacar.

AB-JH-10: SISTEMAS DE RIEGO HIDROEFICIENTES

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Sistemas de riego ecológicos

1.2. Términos utilizados en inglés

- Ecological irrigation systems

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Estos sistemas permiten aportar la mínima cantidad de agua a los terrenos para conseguir el equilibrio hídrico necesario para la supervivencia de las especies vegetales que allí se cultivan. Al igual que los sistemas de drenaje del terreno, pretenden facilitar que el terreno y los cultivos que en él se desarrollan tengan el grado óptimo de humedad, en este caso, aportando agua cuando ésta es insuficiente. La diferencia con los sistemas tradicionales es que aquí se intenta ajustar al máximo oferta y demanda de agua para que no haya agua sobrante con la pérdida hídrica, energética y económica que esto supone.

Teniendo en cuenta que un porcentaje importante del agua consumida en las ciudades se utiliza para riego, es básico utilizar una serie de sistemas de riego que sean lo más eficientes posible.

2.2. Componentes de la tecnología

Los componentes dependen del sistema utilizado pero, fundamentalmente, suelen ser: conductos (de muy diferente tipo), equipos de bombeo (en caso necesario) y todos aquellos accesorios para un buen funcionamiento (llaves de corte, etc...).

2.3. Forma de funcionamiento

Cuando se distribuye el agua, ello se puede hacer de manera *localizada* o *no localizada*, lo cual nos permite distinguir entre dos tipos de riegos que se desarrollarán en el apartado de la *Clasificación en tipologías*:

- En los *riegos localizados*: Se aporta el agua directamente a la zona del suelo en que se encuentran las raíces o en su cercanía. Por ejemplo, en el riego por goteo o el riego manual de alcorques con manguera.
- En los *riegos no localizados*: Se moja toda la superficie del terreno sobre el que se encuentran las plantas. Una muestra sería el riego por aspersión y el riego por inundación de eras.

2.4. Definición constructiva

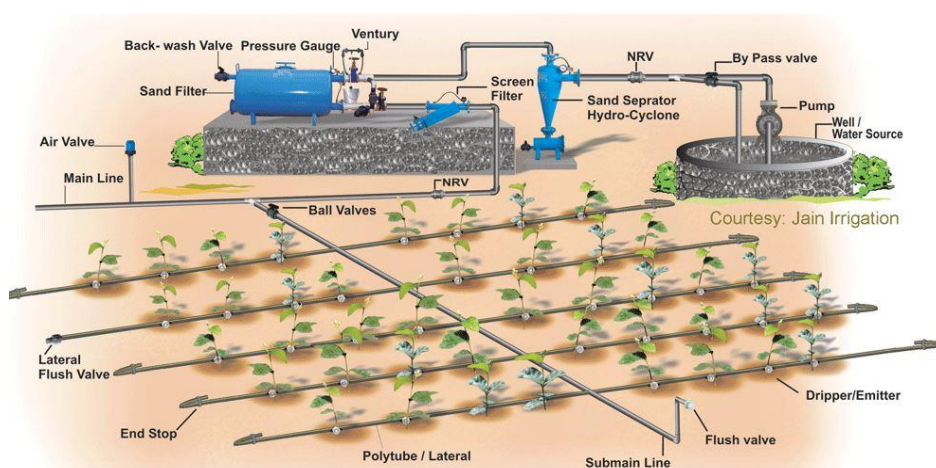


Fig.1. Detalle instalación de riego por goteo (www.top10topten.com/2013/08/riego-por-goteo.html, 2015)

2.5. Imagen del resultado

(Ver *Clasificación en tipologías*)

2.6. Clasificación en tipologías

- **Sistemas de riego aéreo o de aspersión/difusión**

Es un sistema de *riego no localizado* que distribuye el agua como una lluvia de pequeñas gotas y es aconsejable en zonas de césped o similares. Dependiendo de la superficie del terreno a regar, optaremos por *difusores* o *aspersores*.

- **Por aspersión:** Los *aspersores* tienen movimiento giratorio y alcanzan más distancia que los difusores.



Fig.2. Riego por aspersión (<http://irrigationsystemsco.com>, 2015)

- **Por difusión:** Los *difusores* no tienen movimiento giratorio y tienen menor alcance. Tienen como ventaja una menor exposición del arco de riego al viento pero, en superficies grandes, el coste de la instalación puede ser un inconveniente importante.

Los *microaspersores* y *microdifusores* tienen un funcionamiento similar a los anteriores pero son mucho más pequeños, su radio de alcance es menor (1-3 metros) permitiendo repartir el agua de forma mucho más precisa. Los caudales suministrados varían entre los 10 y los 50 l/h.

En general, todos estos sistemas son eficaces en suelos con alta velocidad de infiltración. Distribuye el agua de forma bastante homogénea y permiten controlar fácilmente los caudales a aplicar y los momentos de aplicación. Como inconveniente, cuando hay viento, el riego no es uniforme. Además, se mojan las hojas, lo cual puede provocar problemas sanitarios en ocasiones y mayor grado de evaporación.

- **Sistemas de riego en superficie o por goteo/exudación**

El **riego por goteo** es un sistema de *riego localizado* en el que el agua se aplica a la planta mediante *goteros*, que riegan gota a gota, a baja presión (5-15 m.c.a.), produciéndose así una menor evaporación de agua. Además, permite aportar a cada planta la cantidad exacta de agua lo que supone un ahorro considerable.

Hay, a su vez, varios tipos de sistemas de *riego por goteo*:

- Sistemas laterales de riego integral o líneas de goteo.
- Por goteros insertados.
- Goteros autocompensados.

Estos sistemas tienen como desventaja que el coste de la instalación es mayor, que la cal puede provocar problemas de obturación de los goteros y, en terrenos salinos, este sistema puede provocar afloramiento de sales en los puntos de riego.

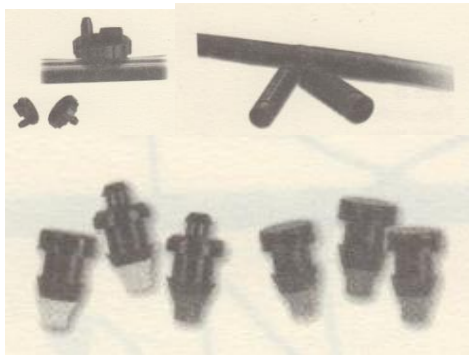


Fig.3. Detalle de goteros (Viñuales *et al*, 2000)

El **riego por exudación o exudante** es un sistema similar al *riego por goteo* en el cual se utilizan mangueras porosas. Por los poros se exuda agua a lo largo de todo el conducto y no sólo junto a plantas concretas.



Fig.4. Riego por exudación (<http://www.jardineriadalmou.com>, 2015)

- **Sistemas de *riego subterráneo o de drenaje inverso***

Son sistemas muy eficientes a nivel hídrico, aunque necesitan una infraestructura más importante y pueden producirse problemas de atascos con más facilidad que en los sistemas anteriores.

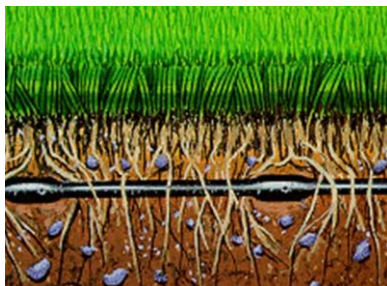


Fig.5 y 6. Esquema y preparación de riego subterráneo (www.ciasfe2.org.ar/capacitacion/charla-sobre-riego-subterraneo/) y (www.vitivinicultura.net/riego-subterraneo-en-vina.html, 2015)

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Es aplicable **en cualquier jardín o zona verde del sistema urbano**, siendo más aconsejables los *riegos localizados* si hay limitaciones de recursos hídricos. Por otro lado, alguno de estos sistemas puede suponer una inversión inicial importante que puede limitar su uso.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Cada cultivo implica, intrínsecamente, unos costes de implantación, mantenimiento, reposición, jardinería y necesidades de riego.

Lo mismo ocurre con los sistemas de riego, que llevan asociados unos costes de implantación y mantenimiento o con las técnicas jardineras.

Los *costes de agua* (en 10 años, que es un tiempo razonable como vida útil del jardín) se calculan a partir del *coeficiente de eficiencia del jardín*. Con este coeficiente se obtiene la *dotación eficiente* multiplicándolo por los días de riego al año, por el número de años (10 años, en dicho caso) y por el precio del agua.

La suma de todos estos costes será el resultado del coste total de la alternativa.

4.2. Fuentes de referencia

- *Eficiencia en el uso del agua en jardinería en la Comunidad de Madrid*. Cuadernos I+D+i, Nº10. Canal Isabel II. 2010.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, constructivas y de mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

- Para diseñar el sistema de riego de un jardín, lo primero que hay que hacer es conocer su **extensión y configuración exacta**, así como concretar el **uso** exacto del mismo y sus **recorridos principales**.
- Además, evidentemente, es fundamental el conocimiento de las **condiciones climatológicas** (pluviometría, temperaturas, dirección y fuerza de vientos dominantes, etc...) y **edafológicas** (tipo de terreno, grado de humedad aproximado, capacidad de infiltración o coeficiente de escorrentía, etc...). La topografía y la superficie total también serán fundamentales a la hora de elegir el sistema de riego.
- Posteriormente, hay que definir las diferentes **zonas de riego**. Si seguimos los criterios de la *Xerojardinería*, uno de los principios básicos es diferenciar en el jardín zonas de riego elevado, de riego moderado y de bajo consumo, distribuyendo las especies y diseñando los sistemas de riego de forma que el agua pueda ser suministrada independientemente a cada zona. Sólo así cada grupo de especies podrá recibir la cantidad de agua que necesita sin pérdidas de agua innecesarias.
- Por último, ya se está en condiciones de elegir el **sistema de riego**. A la hora de plantearse un diseño de un jardín ecoeficiente, habrá que tomar decisiones sobre:
 - Elección de sistemas de riego hidroeficiente: tanto los difusores como los aspersores y goteros tienen diferentes tipos de caudales, alcances y recorridos y es importante elegir el que mejor se ajuste a cada necesidad.
 - Correcta colocación de tomas de agua
 - Automatización de las redes y programación de riego según época del año que tengan:

- Sistemas que permita el ajuste de horarios para minimización de pérdidas por evaporación y por posibilidades de quemado.
- Sensores de lluvia y humedad para ajuste de caudal.
- Sistemas de filtrado, de regulación de presión y válvulas antirretorno.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Para un buen funcionamiento de los sistemas de riego es fundamental un adecuado mantenimiento de la instalación.

Además, recomendable seguir unas **pautas para el riego**:

- Es conveniente regar en las horas de menos calor para perder la mínima cantidad de agua por evaporación. Además, y sobre todo en los casos donde las gotas se quedan sobre las hojas, hay que evitar el sol directo para evitar el quedado de las mismas por el efecto lupa. Por todo ello, es recomendable hacerlo antes del amanecer o al atardecer.
- Los árboles y arbustos recién plantados requieren riegos frecuentes. Sin embargo, una vez que se han desarrollado bien sus raíces (tras unos 2 años), los riegos son cada vez menos necesarios. En muchas ocasiones bastará con tres o cuatro riegos en el verano e, incluso, algunas especies no necesitarán riego alguno.
- Es preferible regar árboles y arbustos pocas veces aunque con generosidad. Las plantas desarrollarán, así, mejor las raíces y se harán más resistentes a las sequías.
- El riego debe plantearse con flexibilidad, adaptándolo a la meteorología. Antes es recomendable comprobar el grado de humedad del suelo. En riegos automatizados, pueden incorporarse un sensor de lluvia y un sensor de humedad para evitar riegos innecesarios.
- Hay que tener en cuenta que un riego superior a las necesidades de las plantas provoca un desarrollo superficial de las raíces, una mayor sensibilidad a los cambios climáticos y una debilidad general frente a las enfermedades.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Las **necesidades de riego de un cultivo** se calculan como:

$$Nr = ETo \times Kc \times 1/Kr \times Kt = ETo \times KJ$$

Siendo: ETo = evapotranspiración potencial del cultivo de referencia.

Kc = coeficiente de eficiencia de uso del agua del cultivo

Kr = coeficiente de eficiencia del sistema de riego

Kt = coeficiente de eficiencia de las técnicas de jardinería

Los valores de estos coeficientes pueden encontrarse en la publicación de Heredero (Heredero *et al*, 2010).

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- HEREDERO, R. *et al*. (2010): *Eficiencia en el uso del agua en jardinería en la Comunidad de Madrid*. Cuadernos I+D+i, N°10. Canal Isabel II.

- COSTELLO y JONES (2000): A guide to estimating irrigation water needs of landscape plantings in California. The Landscape Coefficient Method and WUCOLS III. University of California Cooperative Extension California Department of Water Resources.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

6.2. Bibliografía

- ARIZMENDI BARNES, L.J. (1991): *Instalaciones Urbanas. Infraestructura y Planeamiento*. Tomos I, II y III. Editorial Bellisco (MBH). Madrid.
- ARIZMENDI BARNES, L.J. *et al* (2007): *Guía para la Redacción de Proyectos de Urbanización*. CSCAE. Madrid.
- COSTELLO y JONES (2000): A guide to estimating irrigation water needs of landscape plantings in California. The Landscape Coefficient Method and WUCOLS III. University of California Cooperative Extension California Department of Water Resources.
- HEREDERO R. CHAMOCHÍN R., VILAR J.L. y SUÁREZ F. (2010): *Eficiencia en el uso del agua en jardinería en la Comunidad de Madrid*. Cuadernos I+D+i, Nº10. Canal Isabel II. https://www.canalgestion.es/es/galeria_ficheros/comunicacion/documentacion/publicaciones/Cuaderno10_IxDxi.pdf
- VIÑUALES V., FERNÁNDEZ M. y GONZÁLEZ E. (Coord) (2000): *Guía Práctica de Xerojardinería*. Colección "Guías prácticas para un uso eficiente del agua". Fundación Ecología y Desarrollo. Edit. Bakeaz. Bilbao.
- VICENTE J. (1999): *Programas de conservación y mantenimiento en parques públicos y privados, para el ahorro de agua*. Encuentro Internacional "Eficiencia del agua en las ciudades". Zaragoza.

6.3. Webs

- Sistemas de riego de alta eficiencia. www.ana.gob.pe/media/496310/sistemas%20de%20riego%20de%20alta%20eficiencia.pdf

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

No hay ninguno que destacar.

2.3.1.5.3.2. AGUAS PLUVIALES

AGUAS PLUVIALES

SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DIRECTO DE AGUAS PLUVIALES

AP-AD-01 CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE PLUVIALES EN ALJIBES

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Sistema de Aprovechamiento de Pluviales (SAP)

1.2. Términos utilizados en inglés

- Rainwater harvesting
- Water catchment systems

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

El aprovechamiento de agua de lluvia consiste en recoger y almacenar el agua de escorrentía, de buena calidad en general, que discurre por las superficies impermeables de los edificios y su entorno (áreas de captación) con el fin de utilizarla, posteriormente, como recurso alternativo para el abastecimiento de agua en usos poco exigentes en cuanto a calidad (riego, limpieza, etc.).

Realmente, se trata de una técnica muy antigua de la que encontramos ejemplos a lo largo de toda la cuenca mediterránea, como el *impluvium* romano o los aljibes árabes.



Fig.1. Ejemplo de *impluvium* romano (López Patiño, 2008)

2.2. Componentes de la tecnología

En cuanto a su composición, consta básicamente de los siguientes elementos (López Patiño, 2008):

- *Superficie de captación*: Es aquella área donde se recogen las aguas de precipitación.
- *Filtro primario de retención*: Consiste en una rejilla que impide el paso a su través de elementos con un determinado tamaño como hojas, insectos, etc....

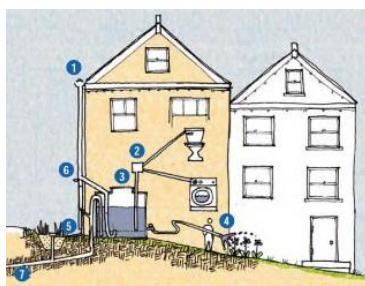
- *Conducciones*: Se trata de los elementos del sistema que transportan agua desde las áreas de captación hasta el depósito y desde este hasta los puntos de consumo, como canalones, bajantes y tuberías.
- *Separador de primera lluvia*: Son sistemas que permiten eliminar las primeras aguas recogidas tras una precipitación que suelen ser las más contaminadas al ser las que limpian las superficies de captación que acumulan suciedad entre una precipitación y la siguiente. Luego, traslada esta porción de agua hacia la red de saneamiento.
- *Depósito de almacenamiento o aljibe*: Es el elemento donde se reserva el agua para su uso.
- *Grupo de bombeo* (dependiendo del caso): En algunas ocasiones es necesario dependiendo de situación de las áreas de captación, del depósito y de los puntos de consumo.
- *Depurador y/o potabilizador* (dependiendo de la aplicación): En función del uso final del agua, puede ser necesario o no un tratamiento de las aguas pluviales recogidas.

4.3. Forma de funcionamiento

En la captación de aguas pluviales, fundamentalmente, se distinguen las siguientes fases:

- Captación de las aguas en las superficies preparadas para ello.
- Transporte de las aguas, con o sin necesidad de bombeo, hasta un depósito para su almacenamiento.
- Almacenamiento de las aguas.
- Posible depuración de las aguas, en función de su aplicación final.

4.4. Definición constructiva



1. Filtro primario
2. Bomba
3. Acceso para mantenimiento
4. Red de agua no potable.
5. Superficie para disipar energía
6. Separador de primeras lluvias
7. Aliviadero de excedentes al sistema de drenaje

Fig.2. Componentes del sistema de almacenamiento de pluviales (SFPUC, 2009)

4.5. Imagen del resultado



Fig.3. Depósito en superficie (Kwok y Grondzik, 2011)

4.6. Clasificación en tipologías

- **Depósito *subterráneo***

Estéticamente no supone un obstáculo en el paisaje y el agua sufre menos las diferencias de temperatura. Por otro lado, suele requerir una mayor inversión inicial y es más difícil su mantenimiento.

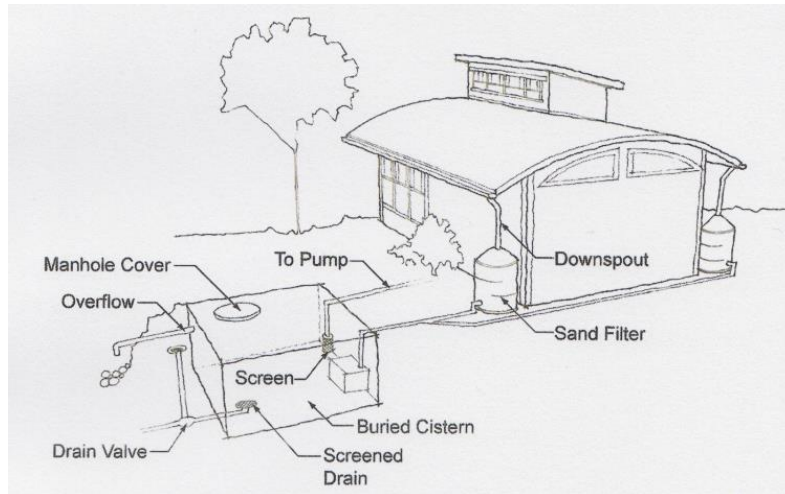


Fig.4. Esquema de sistema con aljibe enterrado (Kwok y Grondzik, 2011)

- **Depósito *semienterrado***

Tiene una mezcla de ventajas e inconvenientes del sistema enterrado y del de superficie.

- **Depósito *en superficie***

Pueden ser a su vez *cerrados* o *abiertos*. Los cerrados generalmente suponen un elemento poco atractivo mientras que los abiertos suelen aprovecharse como recurso estético en los espacios exteriores (estanques). El recurso está más expuesto a los cambios de temperatura y, en los abiertos, a procesos biológicos y de contaminación (caídas en su interior de hojas, insectos...) que suelen generar la aparición de algas.



Fig.5. Aljibe de recogida de pluviales (Clean Air Gardening)

- **Depósito *aéreo o elevado***

Ubicado en altura, permite el suministro por gravedad, aunque el impacto visual es mucho mayor así como la exposición a los cambios climáticos.



Fig.6. Mills college in Okland, California. (SFCUP, 2010)

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Esta tecnología **tiene aplicación, tanto en espacios urbanos como en edificios, en los cuales haya suficiente área de captación en relación a las necesidades** de consumo a cubrir.

En concreto, en edificios, será recomendable siempre que haya una relación alta de superficie de captación en relación a su altura. Según López Patiño (2008), son ideales para su implantación las viviendas unifamiliares y los edificios administrativos y educativos de hasta 3 plantas aproximadamente, que suelen tener grandes superficies de planta. Aunque, también, pueden resultar de utilidad en otras tipologías

Estas mismas recomendaciones se darían en el caso de una rehabilitación, tanto arquitectónica como urbana. Es compatible con las obras en edificios ya existentes, siempre que haya superficie de captación suficiente y exista espacio para el depósito de almacenamiento.

Como contrapartida, no es rentable en edificios de gran altura y con poca superficie de cubierta o patios donde se pueda producir la recogida.

Por otro lado, la escasez en la cuantía de las lluvias (pluviometría) puede ser también un problema. No es habitual disponer de suficiente lluvia para atender todo el consumo y lo usual es poder abastecer sólo una fracción de la demanda. La eficiencia del sistema se reduce al reducirse la demanda atendida y ello incide en su rentabilidad económica. En cuanto a la frecuencia de las lluvias, si son poco frecuentes, aun cuando sean de un volumen suficiente, obliga a un sobredimensionado del depósito de almacenamiento para retener la elevada pluviometría puntual y ello encarece la instalación. En comparación con otros sistemas de suministro alternativo a la red, el tamaño del depósito de almacenamiento de agua para consumo es mayor que en el resto. Esto es así porque el recurso se obtiene de una forma más intermitente en el tiempo que en el resto de sistemas y ello exige mayores volúmenes de regulación.

Por lo tanto, es **fundamental el conocimiento de las características de la pluviometría** para analizar si merece la pena o no crear una infraestructura de aprovechamiento o no es rentable por la poca cantidad de agua que se va a recoger. Para ese análisis

también es básico, evidentemente, saber si existen **necesidades de agua no potable** en la zona a las que dedicar los recursos almacenados y el valor de dicha demanda (ver para más detalle *Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar* de la línea estratégica).

Por último, es importante tener en cuenta que el agua de lluvia es un recurso que suele ser de **buena calidad excepto en los núcleos urbanos muy contaminados** en los que podría requerir posteriormente una depuración, caso en que el coste ascendería en función del tratamiento necesario. Por tanto, es fundamental controlar la calidad del agua de lluvia antes de que lleguen a las superficies de captación:

- La presencia de CO₂ en el aire y su reacción con el H₂O hace que se genere ácido carbónico lo que produce que la lluvia sea ligeramente ácida, pero no contaminada.
- En zonas donde se generan humos procedentes de la combustión de productos del petróleo, con contenidos en dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NOx), su reacción con el agua produce ácido sulfúrico y ácido nítrico, que se precipita y recoge junto con el agua de lluvia. En este caso, resulta desaconsejable el aprovechamiento de agua de lluvia.

Por otro lado, en determinadas condiciones de humedad y temperatura, se puede producir contaminación debido a la proliferación de insectos sobre el agua almacenada. Este fenómeno puede ser especialmente importante en zonas cálidas.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Variará en función de la tipología de la edificación y la superficie de captación disponible. El coste final vendrá en gran parte condicionado por el volumen de almacenamiento, cuyo coste se estima en torno a 100 €/m³.

4.2. Fuentes de referencia

Se ha calculado a partir de casos reales.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Como ya se ha comentado, es importante comprobar que se dan las condiciones para asegurar cierta calidad en el agua recogida. En este sentido, se debe comprobar que no exista una excesiva **contaminación atmosférica** que pueda dar lugar a lluvia ácida (pH < 5).

También, hay que tener en cuenta que, durante su paso por la superficie de captación y por el depósito de almacenamiento, puede modificarse la calidad del agua. Por ello, es importante tener en cuenta la **elección del material de la superficie de recogida** de las aguas pluviales que influye enormemente en la calidad del agua captada y su posible uso. En relación a la influencia de los materiales de las superficies de recogida, el siguiente cuadro (López Patiño, 2008) recoge algunas recomendaciones:

SISTEMATIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA UNA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL CICLO URBANO DEL AGUA.
REPERCUSIONES ESPACIALES, CONSTRUCTIVAS Y ECONÓMICAS EN LA EDIFICACIÓN Y EL URBANISMO.

Material	Escorrentía	Calidad	Observaciones
Acero galvanizado	Elevada	Adecuada	
Cobre	Elevada	Precaución	- El óxido de cobre puede generar manchas en los aparatos sanitarios de tipo porcelánico
Teja arcilla	Baja	Apta	- Debido a la permeabilidad del material, se puede perder hasta un 10% en volumen. Se mejora sellado la superficie - Pueden proliferar bacterias debido a la porosidad del material. Se mejora la calidad si el sellante es antibacterias.
Lamina asfáltica	Baja	Inadecuada	- Contiene toxinas - Puede tener pérdidas de hasta el 10%
Gravas	Baja	Inadecuada	- Material permeable con difícil escorrentía - Según la procedencia, pueden contener sustancias tóxicas - Favorece la proliferación de bacterias
Alquitrán	Elevada	Inadecuada	- Contienen sustancias tóxicas
Pizarras	Elevada	Adecuada	
Baldosa arcilla	Elevada	Apta	- Si no se utilizan selladores contaminantes son adecuadas para consumo humano
Cubierta vegetal	Baja	Inadecuada	- Muy permeable - Puede arrastras sustancias químicas

El **tipo de depósito** a elegir dependerá de las posibilidades espaciales y de ubicación pero se recomienda que, siempre que sea posible, aproveche la gravedad para la recogida y distribución del recurso, mejorando así la eficiencia energética del sistema y disminuyendo los costes y labores de mantenimiento. También López Patiño (2008) ofrece unas recomendaciones sobre la elección del tipo de depósito de almacenamiento:

Superficie de captación	Instalación	Morfología	Disposición	Selección	Observaciones	
Cubierta	Aéreo	Cilindrico Compacto	Vertical	Recomendado	Limitado por la altura del depósito y la de la cubierta	
			Horizontal	Apto	1) Cuando no altura de la cubierta no sea suficiente	
		Cilindrico Modular	Vertical	Apto	3)	
		Prismático Compacto			Recomendado	Es una morfología de volúmenes limitados (hasta 3000 l.)
		Prismático Modular			Apto	3)
		En sótano	Cilindrico Compacto	Vertical	Apto	4) 5)
	Horizontal			Apto	1) 5)	
	Cilindrico Modular		Vertical	Recomendado	2)	
	Prismático Compacto			Apto	5)	
	Prismático Modular			Recomendado	2)	
	Enterrado		Cilindrico Compacto	Vertical	Apto	Encarece la excavación
		Horizontal		Recomendado		
Prismático Compacto			No recomendado	6)		
Solera		Enterrado	Cilindrico Compacto	Vertical	Apto	Encarece la excavación
	Horizontal			Recomendado		
	Prismático Compacto			No recomendado	6)	

El depósito de almacenamiento de pluviales, siempre que sea cerrado, debe preservar de la acción de la luz (opacidad) y el calor (aislamiento) para evitar la proliferación de insectos. La ubicación, forma y dimensiones dependerán de las condiciones de cada contexto (demandas a cubrir, pluviometría, alturas, etc.), aunque será importante buscar un espacio amplio, plano y con capacidad portante para localizar el depósito.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

Es de suma importancia señalar adecuadamente la red de distribución del recurso como de agua no potable.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Se recomienda hacer una inspección general de los elementos cada seis meses para comprobar su adecuado funcionamiento y la no existencia de fugas.

También es recomendable realizar una limpieza de la superficie de captación antes de la época de lluvia (o en su caso, antes de ponerlo en funcionamiento), evitando que la contaminación acumulada entre en el sistema de almacenamiento.

Habrà de realizarse también una limpieza del depósito, así como de los filtros, aunque estos últimos deberán tener un mantenimiento más habitual en relación a la eliminación de hojas, etc. Se recomienda realizar la limpieza con productos no tóxicos, como el vinagre.

Si existen sistemas de desinfección y/o potabilización, habrá de comprobarse periódicamente su correcto funcionamiento.

Si se detectan malos olores, se recomienda la limpieza y desinfección del sistema y la búsqueda y corrección del problema.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Un adecuado dimensionado del depósito es fundamental para maximizar los beneficios que pueden tener el sistema pero no es el único elemento a dimensionar.

Volumen del Separador de Primera Lluvia

- A partir del criterio de los fabricantes:
 - 0.5 l/m² si la superficie de captación está libre de vegetación
 - 2 l/m² si la superficie contiene hojarasca o insectos,...
- Mediante un criterio técnico:
 - El volumen recogido desde el instante en que se inicia la lluvia hasta que llega la partícula de agua que se encuentra en el punto más alejado de la superficie de captación.

Volumen del depósito de almacenamiento

Siempre dependerá de la relación entre la capacidad de captación y la demanda del sistema.

- Sistema clásico:
 - Capacidad de captación (A): $A = C \times S \times P$
Siendo: C = coeficiente de escorrentía
S = superficie de captación (m²)
P = pluviometría media anual, en función de la ubicación.
 - Demanda (m³/año), en base a las necesidades a cubrir con este recurso.
(Ver para más detalle *Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar* de la línea estratégica)

Entonces habrá que comparar ambos valores:

- Si A > D tomamos D como valor de cálculo
- Si D > A debemos descartar algún uso, o limitarlo.

El volumen se calcularía a partir de la fórmula: $V = D \times E / 365$

Siendo E = periodo anual de ausencia de lluvias (función de la climatología local).

Este volumen podrá incrementarse entre un 15-20% en relación al agua descartada, volumen de fondo con sedimentos, etc.

Se puede realizar un cálculo más preciso del volumen si estimamos la demanda y la capacidad de captación mes a mes, y deducimos así el volumen de carencia acumulado durante los meses de estiaje.

- Sistema mediante tablas:

“The Green Studio Handbook” (Kwok y Grondzik, 2011), plantea otro sistema alternativo que reduce el número de fórmulas mediante el uso de tablas. Se propone consultar la correspondiente tabla de las necesidades diarias de agua en uso residencial y multiplicar dicho valor por la ocupación del edificio. Por otro lado, es necesario calcular la cantidad de agua de lluvia recogida en la parcela correspondiente en un año y, a partir de este dato, se puede calcular mediante la tabla de dimensionado del área de recogida de lluvia, esta superficie. Por último, se calcularía el volumen del depósito como: necesidad de agua (l/d) x nº días del periodo seco. También ofrece una tabla para calcular su volumen a partir de las necesidades anuales de agua.

Por último, comentar que la inclinación de la superficie de captación y su superficie total también serán fundamentales a la hora de calcular la cantidad de agua que se recogería en el depósito o aljibe.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- AQUA ESPAÑA (2010): *Guía Técnica de Aprovechamiento de Aguas Pluviales*.
- KWOK A.G. y GRONZIK W.T. (2011): *The Green Studio Handbook*”. Environmental strategies for schematic design. Second Edition. Ed. Elsevier Inc.
- LÓPEZ PATIÑO, G. *et al.* (2011): *Dimensionado de depósitos domésticos de aguas pluviales utilizando series temporales de datos*. Tecnología y Ciencias del Agua, Vol. II, Nº1, Enero-Marzo 2011, pp. 52-64.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531972004>
- WOODS-BALLARD P., KELLAGHER R., MARTIN P., JEFFERIES C., BRAY R. y SHAFFER P. (2007): CIRIA: *The Suds Manual*, p. 6-31. Construction Industry Research and Information Association. <http://www.susdrain.org/resources/ciria-guidance.html>.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

- AQUA ESPAÑA (2010): *Guía Técnica de Aprovechamiento de Aguas Pluviales*.
- FARRENY R. *et al* (2011): *Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain*. Water Research. DOI 10.1016/j.watres.2011.03.036
- FARRENY R., GABARRELL X. y RIERADEVALL J. (2011): *Cost-efficiency of Rainwater Harvesting Strategies in Dense Mediterranean Neighbourhoods*. Resources, Conservation and Recycling. [doi:10.1016/j.resconrec.2011.01.008](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.01.008)
- KWOK A.G. y GRONZIK W.T. (2011): *The Green Studio Handbook*”. Environmental strategies for schematic design. Second Edition. Ed. Elsevier Inc.
- LÓPEZ PATIÑO, G. (2008): *Curso Sistemas de ahorro de agua en edificios*. Hidroeficiencia. Curso FIDAS-COAS. Sevilla.

- LÓPEZ PATIÑO, G. et al. (2011): *Dimensionado de depósitos domésticos de aguas pluviales utilizando series temporales de datos*. Tecnología y Ciencias del Agua, Vol. II, Nº1, Enero-Marzo 2011, pp. 52-64. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531972004>
- PHILLIPS V. y TSHIDA R. *Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez de agua*. GEM-TIES. Méjico.
- PITT, R. (2012): *Stormwater Non-Potable Beneficial Uses and Effects on Urban Infrastructure WERF Report INFR3SG09*. London: IWA Publishing. <http://www.iwaponline.com/wio/2012/wio2012WF9781780400365.htm>.

6.3. Webs

- <http://www.uksuds.com/>

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación



Fig.7. Diseño específico (Kwok y Grondzik, 2011)



Fig. 8 Canaleta con rejilla. (Phillips, V.)



Fig.9. Trampa de sólidos. (Phillips, V.)

SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE O SUDS

AP-DS-02: CUBIERTA VEGETADA

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Cubierta o azotea vegetal, ajardinada, verde o ecológica
- Techo vegetal, ajardinado, verde o ecológico

1.2. Términos utilizados en inglés

- Green-roof

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Las cubiertas vegetadas han sido concebidas para interceptar y retener las aguas pluviales, generando una laminación de los caudales punta y la reducción de la cantidad final que llega a las redes de saneamiento. En comparación con las cubiertas convencionales, además, permiten un proceso de filtración en el que hay una reducción importante de la carga contaminante del agua captada y absorbida por el terreno correspondiente el cual consigue, a su vez, obtener las condiciones de humedad ideales para que se desarrolle la vegetación existente o, al menos, reducir sus necesidades de riego de manera importante.

También, tienen la capacidad de aislar acústicamente y hay estudios que demuestran, por otro lado, la enorme capacidad como aislante térmico que representan, especialmente reduciendo ganancias de calor en climas cálidos. De esta manera, las cubiertas vegetadas reducen el efecto “isla de calor” de las ciudades, contribuyendo a mejorar su calidad atmosférica, favoreciendo la biodiversidad y mejorando la estética y funcionalidad del nivel superior de las ciudades (SFPUC, 2010).

Como curiosidad, las cubiertas ajardinadas, tal y como las conocemos hoy, tienen su origen en Alemania hace más de 30 años. Los primeros techos verdes de la actualidad se instalaron como medidas de prevención de incendios.

2.2. Componentes de la tecnología

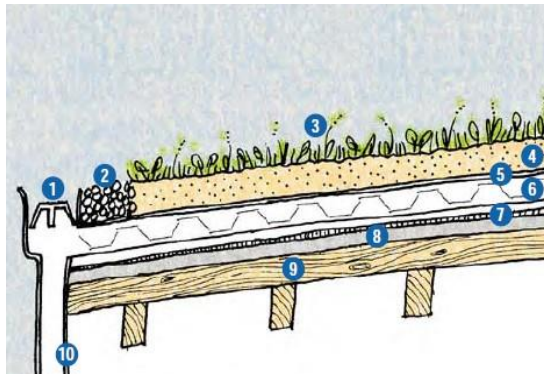
Se trata de un sistema multicapa con cubierta vegetal que recubre tejados y terrazas de todo tipo. Dicho sistema está compuesto, generalmente, por los siguientes elementos:

1. *Capa de vegetación*: Para ella, preferiblemente, se deben escoger especies adaptadas a la climatología, normalmente autóctonas, con mínimas necesidades de riego y una profundidad radical adecuada a la dimensión del sustrato. Dicha vegetación puede ser plantada artificialmente, mediante semillas, esquejes o por colonización natural.
2. *Sustrato* o medio de crecimiento: Es un elemento dotado de una estructura porosa, nutrientes, composición química y propiedades de drenaje necesarias para el crecimiento de las plantas escogidas.
3. *Capa de drenaje*: Es una capa que, separada del sustrato por una capa filtrante (geotextil, habitualmente), puede estar compuesta por varios tipos de materiales como elementos granulares (arenas, gravas, material volcánico, etc.), elementos modulares o sistemas laminares.
4. *Barrera antirraíces*: Esta última capa impide que las raíces puedan penetrar a través de la membrana impermeable de la cubierta dañándola. Esta barrera puede ser un biocida o una capa espesa de polietileno.

2.3. Forma de funcionamiento

El agua es captada y absorbida por el terreno correspondiente, permitiendo obtener las condiciones de humedad ideales para la vegetación existente o, al menos, reducir las necesidades de riego de manera importante.

2.4. Definición constructiva



1. Filtro de hojas
2. Grava
3. Plantas resistentes a la sequía
4. Sustrato
5. Lámina geotextil filtrante.
6. Capa drenante y de almacenamiento de agua
7. Lámina anti-raíces y membrana impermeable
8. Aislamiento
9. Estructura portante
10. Bajante para excedentes.

Fig.1. Composición de las cubiertas vegetadas. (SFPUC, 2009)

2.5. Imagen del resultado



Fig.2. (<http://jardineriaypaisajismo.blogspot.com.es/2010/04/cubiertas-vegetales.html>)

2.6. Clasificación en tipologías

- **Cubierta extensiva**

En este tipo de sistemas, todo el espacio está cubierto con vegetación baja, de poco crecimiento y sin apenas necesidades de mantenimiento. Normalmente, tienen un espesor de suelo entre 25 y 125 mm (menores a 140 mm, según drenajearbanosostenible.org), y pueden ser llanas o inclinadas (la pendiente más común es de 5º). Se recomiendan plantas duras, tapizantes y resistentes a sequía (Ej. *Sedum*).

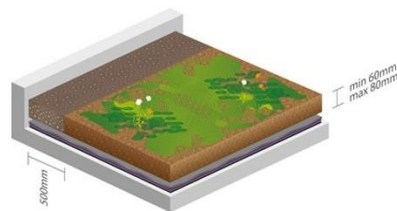


Fig.4. Detalle de cubierta extensiva (drenajearbanosostenible.org, 2015)



Fig.5 y 6. Casa de Retiro Espiritual en El Ronquillo (Sevilla) del arquitecto Emilio Ambasz (2005).

- **Cubierta *intensiva***

Son cubiertas accesibles a los usuarios del edificio en las que se puede realizar cualquier tipo de actividad en un entorno agradable. Tienen sustratos de más de 125 mm (140 mm, según drenajearbanosostenible.org) y se puede ubicar en ella incluso mobiliario, siempre que se respete la carga máxima que permita la estructura. Permiten plantas de mayor porte (incluso árboles), asemejándose a un jardín, y requieren de un mayor mantenimiento.



Fig.7. Detalle de cubierta intensiva (drenajearbanosostenible.org, 2015)



Fig.8. Cubierta ajardinada intensiva (Asescuve)

- **Cubierta *semi-intensiva* (o *semi-extensiva*)**

Surge como combinación de las anteriores, mezclando arbustos pequeños con otras plantas de la familia del tipo extensivo, tapizantes, etc. Es muy usual introducir, también, plantas aromáticas. Pueden alcanzar pendientes de hasta 30 º.

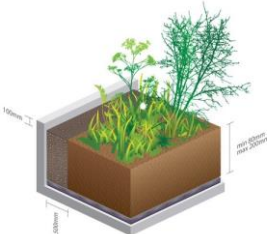


Fig.9. Detalle de cubierta semi-intensiva (drenajearbanosostenible.org, 2015)



Fig.10. Cubierta semi-intensiva del Ayuntamiento de Chicago. (Center for neighborhood technology)

- **Cubierta *biodiversa* (o cubierta *marrón* -brown roof-)**

La cubierta biodiversa es similar en composición a una cubierta extensiva, pero se diseña, específicamente, para crear un entorno que pueda ser colonizado de manera natural por plantas, insectos y pájaros, creando un hábitat similar al previo a la edificación.



Fig.11. Detalle de cubierta semi-intensiva (drenajearbanosostenible.org, 2015)



Fig.12. Cubierta biodiversa (drenajearbanosostenible.org, 2015)

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Los edificios con configuración horizontal y gran superficie de cubierta aprovechan mejor la tecnología. En cuanto al uso, cualquier edificio es susceptible de incorporar esta tecnología, aunque lo más usual es usarla tanto en zonas residenciales como comerciales e industriales.

Por otro lado, esta tecnología tiene más sentido cuanto mayor es la pluviometría del lugar. En cuanto al soleamiento directo será necesario según las especies plantadas en la cubierta.

Las cubiertas verdes pueden instalarse con cualquier pendiente, aunque es recomendable que sea menor a 40°. Lo que si hay que tener en cuenta es que el aumento de la pendiente conlleva un cambio en los métodos de retención del sustrato y de drenaje. En cuanto a la capacidad de infiltración de sustrato, debe ser suficiente para permitir la captación.

Como contrapartida, hay que tener en cuenta que, en las cubiertas, hay muchos elementos (tanques de agua, sistemas de climatización y otros equipos necesarios para el funcionamiento del edificio como captadores solares, que también son compatibles con este tipo de cubiertas mientras se cuiden ciertos aspectos) que hay que coordinar con ese espacio destinado a la vegetación. Además, hay que asegurarse de que el agua no comprometa de ninguna manera la integridad del edificio.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Varían mucho en función de la tipología.

Pero podemos hablar de un coste aproximado de 48 €/m² (suponiendo un sustrato de 40 cm de espesor).

4.2. Fuentes de referencia

- Base de Costes de la Construcción de Andalucía (2014).

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, constructivas y de mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Los aspectos más importantes a tener en cuenta en el diseño de una cubierta vegetada se exponen a continuación:

- Este tipo de cubierta es compatible con varios tipos de cubierta base.
- Hay que considerar el peso saturado del conjunto suelo-agua y la capacidad resistente de la estructura del edificio. La carga adicional que supone la utilización de cubiertas vegetadas, varía habitualmente entre 0.7 y 5 kN/m².
- Para garantizar un buen drenaje en la cubierta, se recomienda que se ejecuten con una pendiente mínima de 2º y máxima de 40º dependiendo del tipo de cubierta, y poniendo especial atención en evitar que se produzcan depresiones en donde se pueda acumular el agua.
- En cuanto a la gestión del drenaje de la cubierta, también, se recomienda que sean capaces de almacenar el agua de lluvia de tormentas de hasta dos años de periodo de retorno. Para tormentas de mayor magnitud, las cubiertas vegetadas contribuirán a la atenuación de la escorrentía generada, pero no la eliminará completamente (Perales, 2013).
- La barrera contra las raíces puede ir incorporada en la capa impermeabilizante o puede consistir en una membrana adicional colocada encima. En cuanto a su resistencia, debe garantizar que el agua no comprometa, de ninguna manera, la integridad del edificio.
- Para que la cubierta sea eficiente, habrá que intentar que ésta sea lo más autosuficiente posible, sobre todo, en términos de consumo de agua. Para ello, en la medida de lo posible, se plantará vegetación que se adapte al régimen de precipitaciones del lugar y, donde el clima sea seco, se colocarán plantas muy resistentes a la sequía. No obstante, se deberá disponer de los medios de riego necesarios para la fase de establecimiento de la vegetación y para periodos largos de sequía.
- Esta tecnología puede combinarse con captadores solares. De hecho, se ha demostrado el efecto positivo de la vegetación en cubiertas con paneles, ya que disipan parte del calor acumulado en ellas, permitiendo que estos paneles trabajen de forma más eficiente. No obstante, habrá de considerar otras cuestiones como la solución del anclaje del sistema de soporte de los captadores o la sombra proyectada. De hecho, a la hora de seleccionar la vegetación, si se colocan paneles solares, el área que permanece bajo ellos estará casi siempre (si no siempre) a la sombra y que tampoco recibirá el agua de lluvia por lo que ahí habrá un microclima diferente.
- Si bien no hay medidas obligatorias para el control del fuego en las cubiertas verdes actualmente, es recomendable dejar bandas sin vegetación de 20 mm a 40 mm de anchura, por ejemplo con guijarros, o de pavimento de 500 mm de ancho como elementos cortafuegos.
- Por último, habrá que considerarse cómo será el acceso a estas cubiertas para el mantenimiento en caso de que no sean transitables

5.1.2. Recomendaciones constructivas

- Para cubiertas a partir de una determinada inclinación, hay que tener en cuenta la necesidad cambiar los métodos de retención del sustrato y de drenaje. Además, para pendientes mayores a 10º hay que colocar anclajes y si se plantea superar los 45º, habrán de utilizarse las tecnologías que se emplean en los *muros vivos* o *jardines verticales*.
- La capa impermeable debería subir, al menos, 150 mm respecto a cualquier otro elemento (sustrato o barrera de vegetación) en los paramentos verticales que delimitan la zona afectada. En los lugares donde se usa material impermeabilizante sobre las caras verticales de los soportes y pretiles, la membrana debe ir doble o con un refuerzo o protección metálica.
- Todos los soportes, perímetros del tejado, salidas y elementos salientes del tejado deben ser protegidos por una barrera no vegetada de unos 20 a 40 mm que puede ser de grava o de losetas de hormigón. Esta barrera debe ser de la misma profundidad del sustrato y con una medida en horizontal que no sea menor a 500 mm.
- Si se usa una barrera de control de vapor con una baja resistencia, el vapor se moverá de forma negativa, resultando en una condensación interna y una mala acción térmica.
- Para evitar problemas por una posible obstrucción, al menos debe haber dos salidas diferentes de agua. Estos puntos de desagüe han de estar protegidos de la vegetación por una barrera de piedras o grava para prevenir la intrusión de las plantas en los bajantes. Todos los sumideros y bajantes deben tener unas arquetas de fácil accesibilidad y con tapa que se pueda retirar sin problemas. Así podrá retirarse con facilidad cualquier elemento arrastrado por el agua y simplificará las labores de mantenimiento e inspección.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Cada tipo de cubierta vegetada requerirá unas labores de mantenimiento diferentes (Perales, S. 2014).

- Las *cubiertas intensivas* son las que, generalmente, requieren un mantenimiento mayor. En los primeros años, las labores de riego, limpieza y abono son muy importantes para conseguir que la vegetación se establezca completamente.
- Las *cubiertas de tipo extensivo* son las que, habitualmente, van a requerir menos atención. Anualmente, se recomienda comprobar que no existen especies invasoras, eliminar restos y comprobar que los elementos de drenaje no están obstruidos.
- En el caso de que haya sistemas mecánicos instalados en la cubierta (p. ej. equipos de aire acondicionado), habrá que tener en cuenta que no se estén produciendo fugas que puedan estar causando contaminación en el suelo y, por ende, en el agua de escorrentía en caso de lluvias excepcionalmente abundantes.

Además, el mantenimiento dependerá de las expectativas que tengan los usuarios de esa cubierta (si la van a usar únicamente para gestionar la escorrentía o como espacio lúdico), de factores ambientales (luz, temperatura, precipitaciones, viento,...) y de la adaptabilidad al medio de las especies vegetales escogidas.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado y cálculo

No hay métodos de cálculo específicos para las cubiertas vegetadas, pero deberá tenerse especial atención con la sobrecarga estructural de la cubierta, donde los valores de las cargas se basarán, principalmente, en el peso del sustrato saturado.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

No hay ninguna que destacar.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

- Desarrollo de trabajos de investigación y elaboración de una guía de diseño sobre cubiertas verdes. Centro Nacional de Excelencia para las Cubiertas Verdes de Reino Unido. Departamento de Paisajismo de la Universidad de Sheffield (Reino Unido).

6.2. Bibliografía

- ROSATTO, H.C. *et al.* (2010): *Eficiencia de la retención hídrica de las cubiertas vegetadas*. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo. Tomo 42. N° 1. Año 2010. 213-219.

6.3. Webs

- CITY OF PORTLAND (2009): *Ecoroof Handbook*. Bureau of Environmental Services. Portland. <http://www.portlandonline.com/bes/index.cfm?c=50818&a=259381>.
- <http://sdus.webnode.es/inicio/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/cubiertas-vegetadas/>
- <http://artbustojardines.wordpress.com/2011/08/31/cubiertas-vegetales-definicion-y-tipos>
- <http://drenajurbanosostenible.org/green-roof-2/tipos-de-cubiertas-verdes/>

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- Escuela de Arte y Diseño. Universidad Nanyang. Singapur



Fig.13 y 14. Escuela de Arte y Diseño (Singapur)

- The Big 8 Hause en Malmö (Suecia)



Fig.15 y 16. The Big 8 Hause en Malmö (Suecia) (Susdrain)

AP-DS-03: SUPERFICIES PERMEABLES

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Superficies porosas o drenantes
- Pavimentos permeables o porosos
- Suelos drenantes

1.2. Términos utilizados en inglés

- Pervious surfaces
- Permeable or porous paving

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Se conciben como estructuras de infiltración, de carácter superficial, capaces de absorber, totalmente, la escorrentía generada por la tormenta de diseño para la que han sido diseñadas.

Estas superficies están formadas por pavimentos, continuos o modulares, que permiten el paso del agua a su través, haciendo que ésta se infiltre en el terreno o que sea captada y retenida en capas sub-superficiales para su posterior reutilización o evacuación. Estas estructuras no suelen tener vegetación, excepto en el caso en el que se utiliza el césped como relleno de la misma.

Pueden llegar a reducir el volumen de escorrentía hasta en un 60% (SFPUC, 2009), atenuando el caudal punta y mejorando la calidad del agua.

2.2. Componentes de la tecnología

El firme suele estar compuesto de varias capas y todas ellas han de tener permeabilidades crecientes desde la superficie hacia el subsuelo que será impermeable. Las capas presentes en la tecnología son las siguientes:

- *Pavimento permeable*, modular o continuo.
- *Gravas finas* o cama de arena.
- *Capa de transición* (gravas medias)
- *Capa de retención* (gravas gruesas o estructuras geocelulares).
- *Drenaje* (si es necesario)
- *Terreno natural*

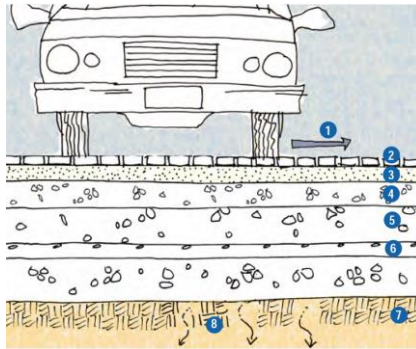
Además, llevan incorporado un *geotextil* que actúa como filtro, separación o como refuerzo estructural. El exceso de agua se controla mediante un *desagüe* diseñado con dicho objetivo.

2.3. Forma de funcionamiento

El agua atraviesa la superficie permeable, que actúa a modo de filtro, hasta la capa inferior que sirve de reserva, atenuando de esta forma las puntas del flujo de escorrentía superficial. El agua que permanece en esa reserva puede ser transportada a otro lugar o infiltrada, si el terreno lo permite.

Las distintas capas permeables retienen partículas de diversos tamaños, aceites y grasas (incluso, según algunos estudios en curso, los hidrocarburos retenidos pueden llegar a ser biodegradados).

2.4. Definición constructiva



1. Escorrentía hacia sistema de saneamiento.
2. Pavimento permeable, modular o continuo.
3. Gravas finas o cama de arena.
4. Capa de transición (gravas medias)
5. Capa de retención (gravas gruesas o estructuras geocelulares).
6. Drenaje (si es necesario)
7. Terreno natural.
8. Infiltración (donde sea posible).

Fig.1. Composición de pavimento permeable. (SFPUC, 2009)

2.5. Imagen del resultado



Fig.2. Pavimento permeable. (sdus.webnode.es, 2015)

2.6. Clasificación en tipologías

Existen diversas tipologías según el material superficial: gravas (con o sin refuerzo), pavimentos continuos porosos (asfalto, hormigón, resinas, etc.), bloques y baldosas porosas y bloques impermeables con juntas permeables. **En este último caso, los espacios intersticiales pueden estar vegetados.**

- **Pavimentos *continuos***

Se componen de una capa continua de grava, asfalto u hormigón poroso o cualquier material permeable que permita pasar el agua a su través. Estos firmes pueden ir reforzados o no. También los acabados con césped pueden considerarse dentro de este grupo por dejar pasar el agua a su través. Por tanto, hay:

- Con césped sin refuerzo
- Con césped con refuerzo
- Con gravas sin refuerzo
- Con gravas con refuerzo
- Porosos (asfalto, hormigón, resinas, polipropileno, etc...)



Fig.3. Detalle de superficie permeable continua reforzada



Fig.4. Aparcamiento experimental "La Guía" de Gijón (España). (Universidad de Cantabria)

- **Pavimentos *modulares***

Se componen por una capa superficial formada por baldosas o bloques de hormigón, cerámicos o plástico reforzado, que poseen una serie de huecos por los que el agua discurre. Estos espacios pueden rellenarse con tierra, grava o césped. Por lo tanto, se pueden distinguir distintos tipos:

- Con baldosas o bloques porosos
- Con bloques impermeables y ranuras sin relleno
- Con bloques impermeables y juntas permeables
- Con bloques impermeables con huecos rellenos de césped
- Con bloques impermeables con huecos rellenos de grava



Fig.5. Ejemplo de pavimento modular. (www.drenajesostenible.org, 2015)



Fig.6. Alameda de Hércules de Sevilla de Elías Torres y Martínez Lapeña.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Se recomienda su aplicación en zonas de aparcamiento, calzadas con baja intensidad de tráfico, zonas peatonales, aceras y calles residenciales.

En cuanto a los terrenos, se recomienda que tengan superficies menores a 4 hectáreas, poca pendiente y gran capacidad de infiltración para que la tecnología sea realmente eficiente. Además, es fundamental el conocimiento de la pluviometría del lugar para ver si interesa la implementación de esta solución.

Donde no es recomendable su uso es en carreteras con tráfico elevado y se deben evitar zonas industriales, gasolineras o lugares en los que se acumulan cantidades de metales pesados. Tampoco pueden utilizarse donde haya arrastre superficial de grandes cargas de sedimentos (laderas con terrenos sueltos,...) por riesgo de obstrucción y posterior encharcamiento. En zonas cercanas a la costa, con playas de arena, o zonas con gran presencia de viento pueden tener problemas de obturación importante y, en lugares donde pueda estar presente la nieve, también causan problemas las operaciones de retirada de la misma mediante el uso de materiales auxiliares como arena, sal o determinados productos químicos.

Si se eliminan elementos como hidrocarburos o metales pesados, éstos han de tener un tratamiento especial, existiendo riesgos de contaminación del acuífero si no se toman las precauciones adecuadas.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Es variable en función del material superficial y del espesor de la capa de almacenamiento.

4.2. Fuentes de referencia

No hay ninguna que destacar.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

La gran variedad de modelos de este tipo de pavimentos los hace muy fáciles de integrar en cualquier tipo de espacio.

En cuanto a las superficies de captación deben estar limitadas a 4 Hectáreas.

Es importante tener en cuenta que la elección del material de la superficie de recogida de las aguas pluviales influye enormemente en la calidad del agua captada y su posible uso.

Se deberá tener en cuenta las características del terreno, concretamente:

- En cuanto a la topografía, no se recomienda su uso con pendientes mayores del 5%. Suelen estar entre el 2 y el 5%.
- Su capacidad de infiltración, según Kwok y Grondzik (2011), debe ser mayor de 13mm/hora en una franja de terreno de 1 m aproximadamente de profundidad bajo la nueva instalación.
- Es importante, también, el comportamiento ante la presencia de agua por lo que el contenido de arcillas debe ser menor al 30%.

- La profundidad del nivel freático debe ser mayor a 1,2 m. teniendo en cuenta, también, la sensibilidad del acuífero.

El volumen de agua a infiltrar vendrá limitado por la capacidad de almacenamiento de las capas inferiores, siempre teniendo en consideración los efectos que el agua pueda producir sobre la capacidad de carga de los suelos subyacentes.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

Se colocará sistema de drenaje inferior si existe la posibilidad de generar problemas en cimentaciones de edificios cercanos (se recomienda situarlos a más de 3m de dichas cimentaciones bajo rasante y se sugiere ¿30 m sobre rasante?), de contaminación de acuíferos o si el terreno no tiene capacidad de infiltración suficiente. Deberá disponerse además, la inclinación necesaria para que el agua almacenada evacúe de forma adecuada.

En el caso de viales rodados, deberá garantizarse la resistencia de la capa superficial y la capacidad portante de las inferiores para evitar deformaciones posteriores. Para el caso en el que se den episodios de precipitación más intensos de aquellos para los que se diseñaron, deberán disponerse elementos auxiliares de evacuación.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

A largo plazo, si no hay mantenimiento, existe riesgo de crecimiento de malas hierbas y de obstrucciones por sedimentación por lo que se recomienda realizar barridos frecuente para evitar que la suciedad se acumule así como aspirar la superficie al menos una vez al año, comprobando que se mantiene una cierta capacidad de infiltración (siempre habrá una reducción de los valores iniciales, hasta que se estabiliza en el tiempo).

Si se eliminan elementos como hidrocarburos o metales pesados, éstos han de tener un tratamiento especial por el riesgo de contaminación del acuífero.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

El **espesor de la capa de almacenamiento** se calcula con: $e = V_{alm} / (p \cdot Ae)$

Siendo: e = espesor
 V_{alm} = volumen de almacenamiento
 p = porosidad del material
 Ae = área de pavimento poroso.

El espesor de la capa de almacenamiento dependerá, por tanto, del volumen de agua que es necesario almacenar y de la porosidad del material que compone esta capa. Suelen diseñarse para el volumen correspondiente a una intensidad de lluvia propia de periodos de retorno de 2 años. La porosidad de una grava gruesa (2,5 – 7 cm de diámetro) se sitúa en torno al 30%, mientras que en los casos de estructuras geocelulares, dependerá del fabricante.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- KWOK, A.G y GRONZIK, W.T. (2011): *The Green Studio Handbook. Environmental strategies for schematic design*. Second Edition. Ed. Elsevier Inc.

- FERNÁNDEZ B. et al (1996): *Técnicas alternativas para soluciones de aguas de lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño*. MINVU. Santiago (Chile).

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

6.2. Bibliografía

- ARIZMENDI BARNES, L.J. (1991): *Instalaciones Urbanas. Infraestructura y Planeamiento*. Tomos I, II y III. Ed. Bellisco (MBH). Madrid.
- ARIZMENDI BARNES, L.J. y otros. (2007): *Guía para la Redacción de Proyectos de Urbanización*. CSCAE (Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España). Madrid.
- KWOK, A.G y GRONDZIK, W.T. (2011): *The Green Studio Handbook. Environmental strategies for schematic design*. Second Edition. Ed. Elsevier Inc.

6.3. Webs

- Drenaje urbano sostenible.org.
Enlace 1: <http://drenajurbanosostenible.org/tecnicas-de-drenaje-sostenible/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/pavimentos-permeables/>
Enlace 2: <http://drenajurbanosostenible.org/category/pavimentos-permeables/>
Enlace 3: <http://drenajesostenible.com/aplicaciones-de-sistemas-atlantis/pavimento-permeable/>
- sdus.webnode.es

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación



Fig.7 y 8. Parque de Gomeznarro (Madrid). Pavimento acabado y colocación. (drenajurbanosostenible.org, 2015)



Fig.9 y 10. Aparcamiento experimental "Las Llamas" Santander. (Universidad de Cantabria)



Fig.11 y 12. Aparcamiento con pavimento permeable en Ipswich (UK). (Susdrain)

AP-DS-04: POZOS DE INFILTRACIÓN

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Pozos filtrantes

1.2. Términos utilizados en inglés

- Soakaways

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Los pozos de infiltración se conciben como sistemas subterráneos puntuales, de pequeña envergadura, donde se vierte la escorrentía procedente de las superficies impermeables contiguas, almacenando el agua de manera temporal mientras se infiltra en el terreno natural permitiendo una disminución significativa de la escorrentía que llega a la red. Generalmente, no tienen vegetación y favorecen la sedimentación de las partículas y contaminantes arrastrados por el agua.

Son equivalentes a los *manantiales* o *fuentes* convencionales (infraestructuras puntuales de captación tipo “presa”) pero sin la capa impermeable de retención de las aguas ya que se pretende con ellos la infiltración del agua en el terreno y no su captación.

2.2. Componentes de la tecnología

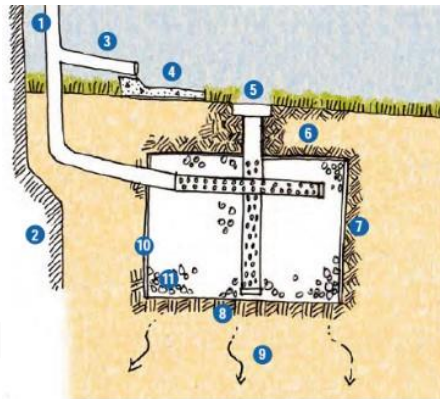
Son pozos poco profundos (de 1 a 3 metros) y de planta cuadrada o circular que están rellenos de material drenante (granular o sintético).

Se suelen emplear geotextiles de filtro y separación para envolver el material granular y desagües de emergencia para, en el supuesto de que se supere la capacidad de depósito de diseño, poder enviar el agua sobrante a la red de alcantarillado.

2.3. Forma de funcionamiento

En ellos, se vierte la escorrentía procedente de las superficies impermeables contiguas. La recogen y almacenan mientras se infiltra en el terreno natural produciéndose también una mínima decantación.

2.1 Definición constructiva



1. Bajante de cubierta.
2. Cimentación del edificio, a la distancia adecuada.
3. Aliviadero
4. Bloque de disipación
5. Tubo de inspección visual
6. Capa de suelo de cobertura (30 cm)
7. Profundidad (1-3 m)
8. Anchura (60-150 cm)
9. Suelo con capacidad de infiltración > 12mm/hora
10. Lámina geotextil o pared.
11. Relleno grava gruesa o elemento celular

Fig.1. Componentes de un pozo de infiltración. (SFPUC, 2009)

2.4. Imagen del resultado

2.5. Clasificación en tipologías

• Con relleno granular

La infiltración se produce al pasar el agua a través de una capa de áridos gruesos (pétreos o de materiales plásticos) con una porosidad mínima del 30%.



Fig.2. Pozo de infiltración con relleno granular

• A base de módulos geocelulares

El volumen de almacenamiento se genera gracias a estructuras prefabricadas modulares huecas.



Fig.3. Pozo de infiltración con módulo geocelular.

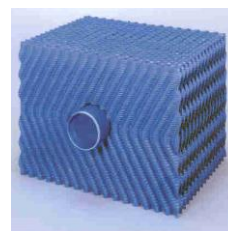


Fig.4. Módulo con drenaje.

• Con cámara

En este caso, el pozo cuenta con una cámara de obra donde el agua se almacena mientras se infiltra a través del fondo, cubierto de material granular.



Fig.5. Pozo de infiltración con cámara.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Son adecuados para tratar o gestionar la escorrentía, sobre todo, **a pequeña escala, pero también, de manera auxiliar, en combinación** con zanjas de infiltración o estanques de retención, **en zonas de mayor tamaño**.

Es uno de los dispositivos de drenaje sostenible más utilizados, siendo muy adecuados en zonas residenciales donde el agua de lluvia tiene una baja concentración de sedimentos y de grasas. De todas maneras, se usan mucho también en zonas comerciales e industriales, generalmente, en zonas adyacentes a caminos, carreteras o zonas de aparcamiento.

Si es importante que las **áreas de recogida sean pequeñas**, en concreto, de menos de 0,5 Hectáreas.

No obstante, no se aconseja su uso en suelos poco permeables, ni donde la infiltración pueda comprometer la estabilidad de algún elemento.

Se recomienda que la distancia desde la base del pozo al nivel freático sea mayor de 1m, para asegurar la capacidad de exfiltración al terreno.

Es importante, también, garantizar que el agua que es dirigida hacia los pozos no esté contaminada, ya que existe un alto riesgo de contaminación de las aguas subterráneas al no existir elementos de filtración previos.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Se han obtenido los costes comparando precios:

- Pozo con relleno granular: 30³⁹ €/m³
- Pozo filtrante de 2 m de diámetro interior y 5 m de profundidad libre por debajo del colector de acometida, formado por: capa de grava de 40 cm de espesor, anillo de hormigón HA-20, de 25 cm, muro de 1 pie de l/h doble colocado a tizón y muro de 1 pie de ladrillo perforado enfoscado y bruñido, losa de hormigón armado HA-25, tapa y cerco de hierro fundido y patés de acero galvanizado, incluso excavación y relleno: 1675,79 €/ud.

4.2. Fuentes de referencia

Elaboración propia a partir de Base de Costes de la Construcción de Andalucía (2014).

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, constructivas y de mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Las áreas de recogida no deben ser mayores a 0,5 Hectáreas.

³⁹ A partir de datos ofrecidos desde el Proyecto DayWater (<http://daywater.in2p3.fr/EN/src/tools/bmp2Tools.php>) se ha calculado el precio en Grecia, obteniéndose un coste directo de 1m³ de pozo de infiltración, incluido material y mano de obra, de aproximadamente 24.50€/m³ (40 a 50 € si se incluyen impuestos), precio muy parecido al suministrado.

Es muy importante una correcta ubicación del pozo para una alta efectividad y un correcto mantenimiento. También, es importante que no estén colocados los pozos en lugares de paso donde puedan provocarse accidentes.

Los pozos no deben ir cerca de estructuras subterráneas de edificios. Deben evitarse localizaciones cerca de las cimentaciones o de carreteras. La distancia mínima a cimentaciones cercanas debe ser de 3 m bajo rasante.

Se deberá tener en cuenta las características del terreno, concretamente:

- En cuanto a la topografía, no se recomienda su uso con pendientes mayores del 5%. Suelen estar entre 2 y 5% para recoger el máximo volumen posible.
- En cuanto a la calidad de los terrenos, deben ser bastante permeables por lo que no han de utilizarse estos elementos en suelos como limos o arcillas que provoquen la colmatación.
- Su capacidad de infiltración debe ser mayor de 12 mm/hora en una franja de terreno de 1 m aproximadamente de profundidad bajo la nueva instalación.
- La profundidad del nivel freático debe ser mayor a 1,2 m. teniendo en cuenta, también, la sensibilidad del acuífero. Es recomendable que queden algo por encima del nivel freático para permitir exfiltraciones al terreno. Como se puede producir la contaminación del suelo en dichas exfiltraciones, se aconseja la colocación de algún tipo de filtro en el conducto que transporta el agua hasta el pozo.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

Se recomienda evitar todo aporte de tierra hacia el pozo durante la construcción con el fin de limitar la colmatación en superficie o en profundidad. Para ello se procurará poner en servicio el pozo dentro de las últimas etapas de la construcción de la obra si forma parte de programa de obras de mayor envergadura.

Se debe verificar la porosidad eficaz del material antes de comenzar el relleno, con el fin de evitar una reducción del volumen de almacenamiento. Para el relleno se requieren materiales limpios y en lo posible previamente lavados.

Se debe comprobar el correcto recubrimiento de las paredes y fondo del pozo con los filtros geotextiles, evitando los desgarros del material debidos a enganches y la presencia de finos que provoquen una colmatación prematura de éste.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Necesitan un alto nivel de mantenimiento. Por ello, hay que inspeccionarlos y limpiarlos periódicamente para revisar posibles obstrucciones y asegurar un adecuado funcionamiento hidráulico.

Será necesaria, también, la limpieza periódica de los materiales filtrantes y de las superficies drenadas por los pozos para prevenir la colmatación de éstos. También se eliminará toda vegetación no deseada que pueda cubrir el pozo, teniendo especial cuidado con la penetración de raíces que puedan comprometer su funcionamiento. Por último, se realizará periódicamente, además, la retirada de sedimentos. Si fuera necesario remover material que produce colmatación, se limpiará o aspirará el fondo del pozo.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Este tipo de dispositivos suelen diseñarse para ser capaces de gestionar íntegramente la escorrentía generada por la tormenta de diseño, debiendo ser capaces de evacuar la mitad de su capacidad en un periodo de no más de 24 horas, de manera que se asegure una capacidad disponible en caso de nuevos episodios de lluvias. Su dimensionado dependerá principalmente de la capacidad de infiltración del suelo, así como de la intensidad de la lluvia de proyecto y de la superficie a drenar.

Para calcular el **caudal total** habrá que tener en cuenta la intensidad y duración de la lluvia de proyecto, así como todas las superficies que drenarán a través del pozo.

La **profundidad del pozo**, a partir de una superficie dada, puede calcularse por el procedimiento de CIRIA (156, 1996), ya descrito en el apartado de *Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar* de la línea estratégica correspondiente.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CIRIA (1996): *Infiltration drainage. Manual of good practice*. Report 156, Construction Industry Research & Information Association. Londres.
- PROYECTO DAYWATER: <http://daywater.in2p3.fr/EN/> y <http://daywater.in2p3.fr/EN/src/tools/bmp2Tools.php>

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

- PROYECTO DAYWATER: <http://www.daywater.org> y <http://daywater.in2p3.fr/EN/>
"Adaptive Decision Support System for Stormwater Pollution Control". EC Framework Programme 5. <http://www.eugris.info/DisplayProject.asp?p=4461>

6.2. Bibliografía

- CALIFORNIA STORMWATER QUALITY ASSOCIATION (2003): *California Stormwater BMP Handbook: New development and redevelopment*. TC-10.
- CIRIA (1996): *Infiltration drainage. Manual of good practice*. Report 156, Construction Industry Research & Information Association. Londres.
- CIRIA (2000): *Sustainable urban drainage systems: A design manual for England and Wales*. Report C522, Construction Industry Research & Information Association. Londres.
- CIRIA (2004): *Sustainable drainage systems: Hydraulic, structural and water quality advice*. Report C609, Construction Industry Research & Information Association. Londres.
- FERNÁNDEZ B. *et al* (1996): *Técnicas alternativas para soluciones de aguas de lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño*. MINVU. Santiago (Chile).
- MINNESOTA METROPOLITAN COUNCIL (2001): *Minnesota urban small sites BMP manual*. Barr Engineering for Minnesota Metropolitan Council, Environmental Services, St Paul.
- REVITT D.M., ELLIS J.B. y SCHOLE L. (2003): Report 5.1. *Review of the use of stormwater BMPs in Europe*. DayWater Project. Middlesex University.
- SCHOLE L., REVITT D.M. y ELLIS J.B. (2004): *Determination of numerical values for the assessment of BMPs*. DayWater Project. Middlesex University.

- SCHUELER T.R. (1987): *Controlling Urban Runoff: A practical manual for planning and designing urban BMPs*. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington DC.
- SCHUELER T.R. (1992): *A Current Assessment of Urban Best Management Practices*. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington DC.
- SFPUC-San Francisco Public Utilities Commission (2009): *Storm Water Design Guide Lines*. San Francisco. <http://www.sfwater.org/index.aspx?page=446>
- SWRPC-Southeastern Wisconsin Regional Planning Commission (1991): *Costs of urban nonpoint source water pollution control measures*. Technical Report No. 31.
- URBONAS B. y STAHRE P. (1993): *Stormwater management practices and detention for water quality, drainage and CSO management*. PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (USA).

6.3. Webs

- [Drenajurbanosostenible.org](http://drenajurbanosostenible.org). Pozos y zanjas de infiltración. <http://drenajurbanosostenible.org/tecnicas-de-drenaje-sostenible/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/pozos-y-zanjas-de-infiltracion/>

6.4. Otras herramientas

- <http://daywater.in2p3.fr/EN/>
- <http://daywater.in2p3.fr/EN/guide/UsersGuide.htm>
- *Hydrópolis* (Adaptive Decision Support System ADSS). Sistema de Ayuda a las Decisiones.

6.5. Ejemplos de aplicación



Fig.6. Pozo de infiltración en patio de vivienda (Reep Green Solutions)



Fig.7. Instalación de un pozo de infiltración (Canadá). (The Sustainable Technologies Evaluation Program)

AP-DS-05: ZANJAS DE INFILTRACIÓN

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Trincheras

1.2. Términos utilizados en inglés

- Infiltration trenches

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Se conciben como estructuras de infiltración similares a los *pozos de infiltración*, pero con una configuración lineal. También de pequeña envergadura, reciben la escorrentía procedente de las superficies impermeables contiguas, almacenando el agua en su interior que, poco a poco, se infiltra en el terreno natural lo que permite una disminución significativa de la escorrentía que llega a la red. Generalmente, no llevan incorporado ningún tipo de vegetación y favorecen la sedimentación de las partículas y contaminantes arrastrados por el agua.

Son equivalentes a las *regatas* convencionales (infraestructuras lineales de captación tipo “presa”) pero sin la capa impermeable de retención de las aguas ya que, con ellas, se pretende la infiltración del agua en el terreno y no su captación.

2.2. Componentes de la tecnología

Son zanjas poco profundas (de 1 a 3 metros) rellenas de material drenante (granular o sintético).

Se suelen emplear geotextiles de filtro y separación para envolver el material granular y desagües de emergencia para, en el supuesto de que se supere la capacidad de depósito de diseño, poder enviar el agua sobrante a la red de alcantarillado.

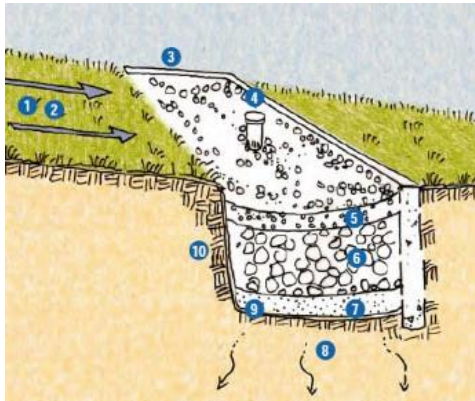
2.3. Forma de funcionamiento

En ellos, se vierte la escorrentía procedente de las superficies impermeables contiguas. La recogen y almacenan, de manera temporal, mientras se infiltra en el terreno natural produciéndose también una mínima decantación.

Pero estos sistemas no actúan únicamente a través de la infiltración que tiene lugar en el seno de las zanjas, sino que también pueden cumplir la función de transporte, dirigiendo el agua hacia otros sistemas de SuDS. Por ejemplo, cabe la posibilidad de combinarlas con elementos permeables como cunetas vegetadas o franjas filtrantes, donde se produce una eliminación de contaminantes en presencia de vegetación.

En determinadas ocasiones, las zanjas de infiltración pueden llegar a sustituir a los sistemas de colectores de agua de lluvia convencionales, evitando la necesidad de incorporar sumideros y bordillos junto a los viales.

2.4. Definición constructiva



1. Pretratamiento para la eliminación de sedimentos.
2. Flujo superficial
3. Anchura
4. Tubo de inspección
5. Superficie de grava fina
6. Gravas gruesas (>35% porosidad)
7. Filtro de arena (e=15 cm)
8. Terreno con capacidad de infiltración (> 12 mm/hr)
9. Lámina geotextil
10. Profundidad (1 – 2,5 m)

Fig.1. Componentes de una zanja de infiltración (SFPUC, 2009)

2.5. Imagen del resultado



Fig.2. Zanja con relleno granular (www.fcpa.org.pe/mostrarPublicacion.php?id=69, 2015)

2.6. Clasificación en tipologías

Según *tipo de relleno*:

- **Zanjas con relleno granular**
La infiltración se produce al pasar el agua a través de una capa de áridos gruesos (pétreos o de materiales plásticos) con una porosidad mínima del 30%.
- **Zanjas con relleno geocelular**
El volumen de almacenamiento se genera gracias a estructuras prefabricadas modulares huecas.

Según *situación respecto al terreno*:

- **Zanjas o trincheras subterráneas o enterradas**
Reciben la escorrentía a través de tuberías o canales.
- **Zanjas o trincheras superficiales**
Reciben el agua directamente del área de recogida.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Es recomendable su uso **en áreas residenciales**, donde el agua lluvia tiene una baja concentración de sedimentos y de grasas, aunque, **también, se utilizan mucho en zonas comerciales e industriales**. Son adecuadas para tratar o gestionar la escorrentía de terrenos adyacentes a caminos, carreteras o zonas de aparcamiento. Si es importante que las **áreas de recogida sean pequeñas**, en concreto, de menos de 2 Hectáreas.

No se aconseja su uso en suelos poco permeables, ni donde la infiltración pueda comprometer la estabilidad de algún elemento.

Se recomienda que la distancia desde la base de la zanja al nivel freático sea mayor de 1m, para asegurar la capacidad de exfiltración al terreno.

Es importante, también, garantizar que el agua que es dirigida hacia ellas no esté contaminada, ya que existe un alto riesgo de contaminación de las aguas subterráneas al no existir elementos de filtración previos.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Zanja filtrante con relleno granular: 30⁴⁰ €/m³

4.2. Fuentes de referencia

Elaboración propia a partir de Base de Costes de la Construcción de Andalucía (2014).

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Suelen ubicarse adyacentes a las zonas impermeables cuya escorrentía han de absorber, estando su longitud habitualmente condicionada por este trazado. El ancho es más variable y puede ser elegido más libremente, pero teniendo en cuenta que las áreas de recogida no deben ser nunca mayores de 2 Hectáreas.

La profundidad depende de la naturaleza del terreno.

Es muy importante una correcta ubicación de la zanja para una alta efectividad y un correcto mantenimiento. También, es importante que no estén en lugares de paso donde puedan provocarse accidentes.

Estas infraestructuras no deben ir cerca de estructuras subterráneas de edificios. Deben evitarse localizaciones cerca de las cimentaciones o de carreteras. La distancia mínima a cimentaciones cercanas debe ser de 3 m bajo rasante.

Se deberá tener en cuenta las características del terreno, concretamente:

⁴⁰ A partir de datos ofrecidos desde el Proyecto DayWater (<http://daywater.in2p3.fr/EN/src/tools/bmp2Tools.php>) se ha calculado el precio en Grecia, obteniéndose un coste directo de 1m³ de pozo de infiltración, incluido material y mano de obra, de aproximadamente 24.50€/m³ (40 a 50 € si se incluyen impuestos), precio muy parecido al suministrado.

- En cuanto a la topografía, no se recomienda su uso con pendientes mayores del 5%. Suelen estar entre 2 y 5% para recoger el máximo volumen posible.
- En cuanto a la calidad de los terrenos, deben ser bastante permeables por lo que no han de utilizarse estos elementos en suelos como limos o arcillas que provoquen la colmatación.
- Su capacidad de infiltración debe ser mayor de 12 mm/hora en una franja de terreno de 1 m aproximadamente de profundidad bajo la nueva instalación.
- La profundidad del nivel freático debe ser mayor a 1,2 m. teniendo en cuenta, también, la sensibilidad del acuífero. Es recomendable que queden algo por encima del nivel freático para permitir exfiltraciones al terreno. Como se puede producir la contaminación del suelo en dichas exfiltraciones, se aconseja la colocación de algún tipo de filtro en el conducto que transporta el agua hasta la zanja.

Por último, comentar que, si el agua procede de elementos puntuales, se puede disponer una tubería superficial de distribución del agua en toda la longitud de la zanja.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

Se recomienda evitar todo aporte de tierra hacia la zanja durante la construcción con el fin de limitar la colmatación en superficie o en profundidad. Para ello se procurará poner en servicio la zanja dentro de las últimas etapas de la construcción de la obra si forma parte de un programa de obras de mayor envergadura.

Se debe verificar la porosidad eficaz del material antes de comenzar el relleno, con el fin de evitar una reducción del volumen de almacenamiento. Para el relleno se requieren materiales limpios y en lo posible previamente lavados.

Se debe comprobar el correcto recubrimiento de las paredes y fondo de la zanja con los filtros geotextiles, evitando los desgarros del material debidos a enganches y la presencia de finos que provoquen una colmatación prematura de la misma.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Necesitan un alto nivel de mantenimiento. Por ello, hay que inspeccionarlas y limpiarlas periódicamente para revisar posibles obstrucciones y asegurar un adecuado funcionamiento hidráulico.

Será necesaria, también, la limpieza periódica de los materiales filtrantes y las superficies drenadas por las zanjas para prevenir la colmatación de éstas. Puede ser necesario en ocasiones reemplazar el material de relleno de las capas superiores. Además, se eliminará toda vegetación no deseada que pueda cubrir la zanja, teniendo especial cuidado con la penetración de raíces que puedan comprometer su funcionamiento. Por último, se realizará periódicamente, además, la retirada de sedimentos. Si fuera necesario remover material que produce colmatación, se limpiará o aspirará el fondo de la zanja.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Este tipo de dispositivos suelen diseñarse para ser capaces de gestionar íntegramente la escorrentía generada por la tormenta de diseño, debiendo ser

capaces de evacuar la mitad de su capacidad en un periodo de no más de 24 horas, de manera que se asegure una capacidad disponible en caso de nuevos episodios de lluvias. Su dimensionado dependerá principalmente de la capacidad de infiltración del suelo, así como de la intensidad de la lluvia de proyecto y de la superficie a drenar.

Para calcular el **caudal total** habrá que tener en cuenta la intensidad y duración de la lluvia de proyecto, así como todas las superficies que drenarán a través del pozo.

La **profundidad del pozo**, a partir de una superficie dada, puede calcularse por el procedimiento de CIRIA (156, 1996), ya descrito en el apartado de *Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar* de la línea estratégica correspondiente.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CIRIA (1996): *Infiltration drainage. Manual of good practice*. Report 156, Construction Industry Research & Information Association. Londres.
- PROYECTO DAYWATER: <http://daywater.in2p3.fr/EN/> y <http://daywater.in2p3.fr/EN/src/tools/bmp2Tools.php>

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

Igual a la de la *Ficha tecnológica AP-DS-04*.

6.2. Bibliografía

- CALIFORNIA STORMWATER QUALITY ASSOCIATION (2003): *California Stormwater BMP Handbook: New development and redevelopment*. TC-10.
- CIRIA (1996): *Infiltration drainage. Manual of good practice*. Report 156, Construction Industry Research & Information Association. Londres.
- CIRIA (2000): *Sustainable urban drainage systems: A design manual for England and Wales*. Report C522, Construction Industry Research & Information Association. Londres.
- CIRIA (2004): *Sustainable drainage systems: Hydraulic, structural and water quality advice*. Report C609, Construction Industry Research & Information Association. Londres.
- FERNÁNDEZ B. *et al* (1996): *Técnicas alternativas para soluciones de aguas de lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño*. MINVU. Santiago (Chile).
- MINNESOTA METROPOLITAN COUNCIL (2001): *Minnesota urban small sites BMP manual*. Barr Engineering for Minnesota Metropolitan Council, Environmental Services, St Paul.
- REVITT D.M., ELLIS J.B. y SCHOLES L. (2003): Report 5.1. *Review of the use of stormwater BMPs in Europe*. DayWater Project. Middlesex University.
- SCHOLES L., REVITT D.M. y ELLIS J.B. (2004): *Determination of numerical values for the assessment of BMPs*. DayWater Project. Middlesex University.
- SCHUELER T.R. (1987): *Controlling Urban Runoff: A practical manual for planning and designing urban BMPs*. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington DC.
- SCHUELER T.R. (1992): *A Current Assessment of Urban Best Management Practices*. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington DC.
- SFPUC-San Francisco Public Utilities Commission (2009): *Storm Water Design Guide Lines*. San Francisco. <http://www.sfwater.org/index.aspx?page=446>

- SWRPC-Southeastern Wisconsin Regional Planning Commission (1991): *Costs of urban nonpoint source water pollution control measures*. Technical Report No. 31.
- URBONAS B. y STAHR P. (1993): *Stormwater management practices and detention for water quality, drainage and CSO management*. PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (USA).
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1999): *Stormwater Technology Factsheet: Infiltration trench*. EPA 832-F-99-019, US EPA, Office of Water, Washington DC.

6.3. Webs

Igual a la de la *Ficha tecnológica AP-DS-04*.

6.4. Otras herramientas

Igual a la de la *Ficha tecnológica AP-DS-04*.

6.5. Ejemplos de aplicación



Fig.3. Zanja en Gales. (sudswales.com, 2015)



Fig.4. Zanja en Lago Oswego (Oregón, EEUU). (Pitt, 2005)



Fig.5. Zanja de Infiltración en Reino Unido (Paving and Hard-Landscape Consultant, 2015)

AP-DS-06: DRENES FILTRANTES O FRANCESES

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Drenes franceses
- Canales drenantes

1.2. Términos utilizados en inglés

- Filter drains

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Son zanjas poco profundas recubiertas de geotextil y rellenas de material filtrante (granular o sintético), donde no está presente la vegetación, concebidas para captar la escorrentía de superficies impermeables contiguas con el fin de transportarlas aguas abajo, permitiendo la filtración y laminación de estos volúmenes de escorrentía. Son similares en su composición a las zanjas de infiltración, con la diferencia de su efectividad en la función del transporte, siendo habitual que incorporen una tubería de drenaje para facilitar esta función.

Por su capacidad de filtración, que mejora la calidad final del líquido, son habituales en terrenos con capacidad de infiltración baja o donde existe peligro de contaminación de aguas subterráneas.

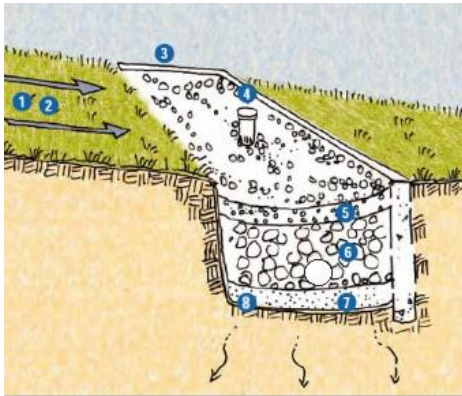
2.2. Componentes de la tecnología

Son zanjas poco profundas recubiertas de geotextil y rellenos de material filtrante (granular o sintético), con o sin conducto inferior de transporte.

2.3. Forma de funcionamiento

El agua recogida en estas zanjas es pasada a través del material filtrante hasta que alcanza la zona más baja, donde fluirá hacia un nuevo destino la parte que no se infiltre al terreno. El tiempo de estancia del agua en el dren debe ser suficientemente alto y la velocidad del agua suficientemente lenta para permitir la función drenante y de laminación del flujo. En algunos drenes no es necesario dirigir el agua hasta el punto de vertido, pues al cabo de una cierta longitud se ha infiltrado totalmente.

2.4. Definición constructiva



1. Sistema de pre-tratamiento
2. Flujo superficial desde franja filtrante
3. Ancho
4. Abertura de inspección visual
5. Gravas finas
6. Gravas gruesas y tubería perforada
7. Filtro de arena
8. Lámina geotextil

Fig.1. Componentes de un dren filtrante (SFPUC, 2009) (Aquaval, 2013)

2.5. Imagen del resultado



Fig.2. Imagen de dren filtrante.

2.6. Clasificación en tipologías

- **Sin tubo drenante**

Aquellas que utilizan el propio material de relleno como elemento de transporte.

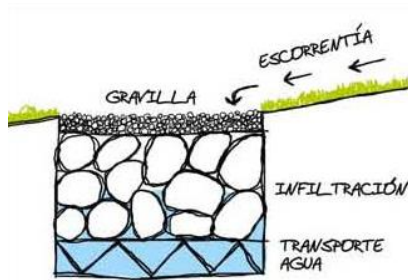


Fig.3. Detalle de dren filtrante sin tubo drenante en su interior.



Fig.4. Dren filtrante sin tubo (ecoprojecta.es, 2015)

- **Con tubo drenante**

Recogen las aguas a través de los orificios del dren o tubo drenante y el transporte de las mismas se produce por su interior por gravedad.

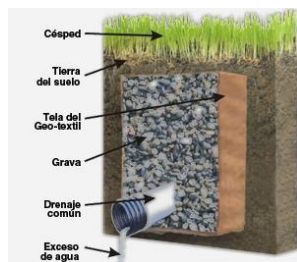


Fig.5. Dren filtrante con tubo drenante en su interior.



Fig.6. Drenaje con tubo en Zona Franca (Uruguay) (concret-nor.com, 2015)

- **Con relleno geocelular**

El elemento de relleno y transporte está compuesto por células de material plástico resistente.

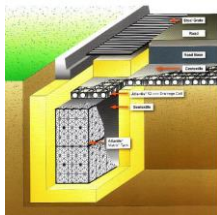


Fig.7. Canal drenante con relleno geocelular (Atlantis, 2015)

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Son técnicas **muy habituales en zonas residenciales, comerciales e industriales**, totalmente adecuadas para gestionar la escorrentía y recogida de agua de zonas adyacentes a caminos y zonas de aparcamiento. Es una tecnología muy usada como drenaje de carreteras y, hasta ahora, también **en campos de deporte con presencia de césped** (estadios de fútbol y rugby, campos de golf,...).

Esta tecnología tiene más sentido cuanto mayor es la pluviometría del lugar, pero requieren de algún periodo seco entre tormentas.

Por otro lado, la técnica está limitada a **pequeñas áreas drenantes**, no mayores a 2 Hectáreas y hay que tener perfectamente controlada la pendiente del terreno.

En cuanto a los terrenos, deben ser permeables con gran capacidad de infiltración.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Zanja filtrante con relleno granular: 40 €/m³

4.2. Fuentes de referencia

Elaboración propia a partir de Base de Costes de la Construcción de Andalucía (2014).

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Suelen ubicarse adyacentes a las zonas impermeables cuya escorrentía han de absorber y transportar, estando su longitud habitualmente condicionada por este trazado. El área de la franja debe ser lo más ancha posible y el área impermeable no demasiado grande (nunca mayor de 2 Hectáreas) para que haya una relación de proporcionalidad entre ambas y la franja sea efectiva.

La profundidad depende de la naturaleza del terreno.

Para un adecuado diseño de estos sistemas es importante considerar que debe haber un equilibrio entre la función de transporte y la de laminación del flujo. El tamaño de árido será aquel que garantice la evacuación del agua pero que ralentice su transporte hacia otros SuDS. Esta función de laminación puede controlarse con la capacidad del tubo o dren.

Por otro lado, es muy importante una correcta ubicación del dren para una alta efectividad y un correcto mantenimiento. También, es importante que no estén colocados en lugares de paso donde puedan provocarse accidentes.

Además, estas infraestructuras no deben ir cerca de estructuras subterráneas de edificios. Deben evitarse localizaciones cerca de las cimentaciones o de carreteras. La distancia mínima a cimentaciones cercanas debe ser de 3 m bajo rasante.

Se deberá tener en cuenta las características del terreno, concretamente:

- En cuanto a la topografía, no se recomienda su uso con pendientes mayores del 5%. Suelen estar entre 2 y 5% para recoger el máximo volumen posible.

- En cuanto a la calidad de los terrenos, deben ser bastante permeables por lo que no han de utilizarse estos elementos en suelos como limos o arcillas que provoquen la colmatación.
- Su capacidad de infiltración debe ser mayor de 12 mm/hora en una franja de terreno de 1 m aproximadamente de profundidad bajo la nueva instalación.
- La profundidad del nivel freático debe ser mayor a 1,2 m. teniendo en cuenta, también, la sensibilidad del acuífero. Es recomendable que queden algo por encima del nivel freático para permitir exfiltraciones al terreno. Como se puede producir la contaminación del suelo en dichas exfiltraciones, se aconseja la colocación de algún tipo de filtro en el conducto que transporta el agua hasta la zanja.

Para evitar la entrada de finos del terreno hacia el material drenante, la zanja suele recubrirse de un geotextil que se coloca previamente a su relleno con dicho material drenante. También, es recomendable colocar un geotextil horizontalmente cerca de la superficie (a unos 20 cm) antes de rellenar la zanja, de modo que se proteja la parte inferior de la misma y se faciliten las tareas de mantenimiento. (Aquaval, 2013)

En la parte inferior de la zanja puede colocarse material geocelular en sustitución de la grava de modo que, para un mismo volumen de excavación, se aumenta el almacenamiento y se favorece la capacidad de transporte.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

Se recomienda evitar todo aporte de tierra hacia la zanja durante la construcción con el fin de limitar la colmatación en superficie o en profundidad. Para ello se procurará poner en servicio el drenaje dentro de las últimas etapas de la construcción de la obra si forma parte de un programa de obras de mayor envergadura.

Se debe verificar la porosidad eficaz del material antes de comenzar el relleno, con el fin de evitar una reducción del volumen de almacenamiento. Para el relleno se requieren materiales limpios y en lo posible previamente lavados.

Se debe comprobar el correcto recubrimiento de las paredes y fondo de la zanja con los filtros geotextiles, evitando los desgarros del material debidos a enganches y la presencia de finos que provoquen una colmatación prematura.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Necesitan un alto nivel de mantenimiento. Por ello, hay que inspeccionarlas y limpiarlas periódicamente para revisar posibles obstrucciones y asegurar un adecuado funcionamiento hidráulico.

Será necesaria, también, la limpieza periódica de los materiales filtrantes y las superficies drenadas por las zanjas para prevenir la colmatación de éstas. Puede ser necesario en ocasiones reemplazar el material de relleno de las capas superiores. Además, se eliminará toda vegetación no deseada que pueda cubrir la zanja, teniendo especial cuidado con la penetración de raíces que puedan comprometer su funcionamiento. Por último, se realizará periódicamente, además, la retirada de sedimentos. Si fuera necesario remover material que produce colmatación, se limpiará o aspirará el fondo de la zanja.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Para calcular el **caudal total** habrá que tener en cuenta la intensidad y duración de la lluvia de proyecto, así como todas las superficies que drenarán a través del pozo.

La **profundidad del pozo**, a partir de una superficie dada, puede calcularse por el procedimiento de CIRIA (156, 1996), ya descrito en el apartado de *Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar* de la línea estratégica correspondiente.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CIRIA (1996): *Infiltration drainage. Manual of good practice*. Report 156, Construction Industry Research & Information Association. Londres.
- PROYECTO DAYWATER: <http://daywater.in2p3.fr/EN/> y <http://daywater.in2p3.fr/EN/src/tools/bmp2Tools.php>

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

- AQUAVAL (2013): Revisión del Estado del Arte de los Sistemas de Drenaje Sostenible (SUDS).
- CALIFORNIA STORMWATER QUALITY ASSOCIATION (2003): *California Stormwater BMP Handbook: New development and redevelopment*. TC-10.
- CIRIA (1996): *Infiltration drainage. Manual of good practice*. Report 156, Construction Industry Research & Information Association. Londres.
- CIRIA (2000): *Sustainable urban drainage systems: A design manual for England and Wales*. Report C522, Construction Industry Research & Information Association. Londres.
- CIRIA (2004): *Sustainable drainage systems: Hydraulic, structural and water quality advice*. Report C609, Construction Industry Research & Information Association. Londres.
- FERNÁNDEZ B. *et al* (1996): *Técnicas alternativas para soluciones de aguas de lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño*. MINVU. Santiago (Chile).
- MINNESOTA METROPOLITAN COUNCIL (2001): *Minnesota urban small sites BMP manual*. Barr Engineering for Minnesota Metropolitan Council, Environmental Services, St Paul.
- REVITT D.M., ELLIS J.B. y SHOLES L. (2003): Report 5.1. *Review of the use of stormwater BMPs in Europe*. DayWater Project. Middlesex University.
- SHOLES L., REVITT D.M. y ELLIS J.B. (2004): *Determination of numerical values for the assessment of BMPs*. DayWater Project. Middlesex University.
- SCHUELER T.R. (1987): *Controlling Urban Runoff: A practical manual for planning and designing urban BMPs*. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington DC.
- SCHUELER T.R. (1992): *A Current Assessment of Urban Best Management Practices*. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington DC.
- SFPUC-San Francisco Public Utilities Commission (2009): *Storm Water Design Guide Lines*. San Francisco. <http://www.sfwater.org/index.aspx?page=446>
- SWRPC-Southeastern Wisconsin Regional Planning Commission (1991): *Costs of urban nonpoint source water pollution control measures*. Technical Report No. 31.

- URBONAS B. y STAHR P. (1993): *Stormwater management practices and detention for water quality, drainage and CSO management*. PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (USA).

6.3. Webs

- Drenaje sostenible.com. <http://drenajesostenible.com> y <http://drenajesostenible.com/aplicaciones/drenaje-de-carreteras/>
- Drenajeurbanosostenible.org. <http://drenajeurbanosostenible.org/tecnicas-de-drenaje-sostenible/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/drenes-filtrantes-o-franceses/>

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

No hay ninguna que destacar.

AP-DS-07: FRANJAS FILTRANTES

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Franjas de filtración
- Zanjas vegetales filtrantes

1.2. Términos utilizados en inglés

- Filter strips
- Vegetated buffer strips

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Las franjas filtrantes son franjas de suelo cubiertas de vegetación, anchas y con poca pendiente, emplazadas entre una superficie dura e impermeable y el medio receptor de la escorrentía (curso de agua o sistema de captación, tratamiento y/o evacuación o infiltración).

Pueden acoger cualquier forma de vegetación natural, desde un prado hasta un pequeño bosque, incluso tener repartidas dentro de ellas arbustos y árboles que absorben nutrientes y dan sombra. En climas semiáridos, es fundamental que las especies estén bien adaptadas, pues se necesita mantener una cobertura densa y saludable.

Es muy efectiva, como tratamiento previo del agua, antes de pasar a otra técnica de SUDS, favoreciendo la sedimentación de las partículas y contaminantes arrastrados por el agua, así como la infiltración del agua con la consecuente disminución de la escorrentía.

2.2. Componentes de la tecnología

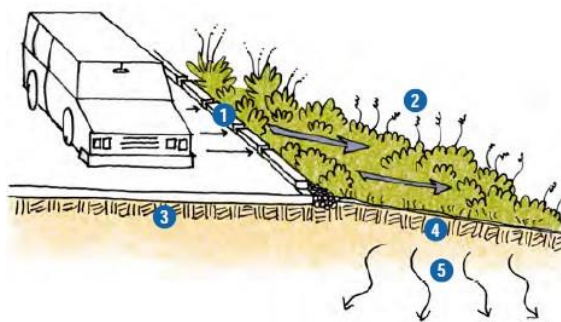
Esta tecnología consiste básicamente en vegetación pero sin ningún tipo de barrera en la parte inferior para favorecer la filtración e infiltración a través de la capa vegetal.

2.3. Forma de funcionamiento

Las franjas filtrantes están diseñadas para hacer escurrir el agua, en forma de flujo superficial, como lámina continua, desde un extremo más elevado del plano hacia el extremo más bajo y no de manera concentrada como ocurre con las canalizaciones tradicionales (zanjas, soleras, canaletas, etc.). Siempre que se produzca un flujo concentrado, este debe ser distribuido uniformemente a lo ancho de la franja filtrante mediante una franja de pavimento poroso u otra estructura que asegure un flujo en forma de lámina.

Los flujos pueden ser llevados a las franjas filtrantes directamente desde superficies impermeables, como estacionamientos, calles, pasajes y veredas o techos de edificios, distribuyendo el caudal uniformemente mediante algún elemento ubicado en el extremo más alto del plano.

2.4. Definición constructiva



1. Bordillos discontinuos que permiten el paso del agua.
2. Vegetación densa con pendiente inferior al 10%
3. Ancho de pavimento (máximo 20 m).
4. Ancho de la franja (mínimo 5 m).
5. Infiltración donde sea posible.

Fig.1. Componentes de una franja filtrante (SFPUC, 2009)

2.5. Imagen del resultado



Fig.2. Imagen de franja filtrante

2.6. Clasificación en tipologías

No hay diferencias sustanciales entre unas y otras.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

En general, las franjas filtrantes son elementos que **suelen ser complementarios a otras tecnologías** pues, tras pasar el agua por ellas, la llevan al medio receptor de la escorrentía que puede ser un curso de agua o bien otro sistema de captación, tratamiento y/o evacuación o infiltración a través del cual el agua sigue un proceso mucho más complejo.

Es una de las técnicas más habituales de drenaje sostenible, sobre todo, **en zonas residenciales, comerciales e industriales**, siendo especialmente adecuadas para gestionar la escorrentía de superficies impermeables adyacentes, como **zonas de aparcamiento**. Lo ideal es que sean lo más anchas posibles y que las pendientes sean muy suaves, menores al 5%.

Puede soportar muy diferentes especies vegetales, aunque tiene más sentido, como en todos los SUDS vegetados, el uso de plantas autóctonas, con mínimas necesidades de riego y resistentes al clima del lugar. En cuanto a escala puede ubicar desde un prado hasta un pequeño bosque.

No es recomendable para la recogida de agua de espacios impermeables demasiado grandes, ni con mucha pendiente que aumente demasiado la velocidad del agua al pasar por la franja. Además, el área de la franja debe ser lo más ancha posible para que la relación de proporcionalidad entre el área de captación y aquella sea **alta** y, así, la franja sea realmente efectiva. Esta eficiencia aumentará si los terrenos de la franja son muy permeables.

Tampoco se recomienda esta tecnología en lugares donde el agua entrante tenga una alta carga de contaminación y haya un acuífero cerca que pueda ser afectado.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Alrededor de 35 €/m²

4.2. Fuentes de referencia

Elaboración propia a partir de Base de Costes de la Construcción de Andalucía (2014).

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

En la fase de diseño, será necesario conocer la disponibilidad de espacio, la existencia de elementos de drenaje natural del sector y la de otros elementos de drenaje sostenible que puedan formar parte de una estrategia más compleja y eficiente.

El criterio básico del diseño de las franjas filtrantes será mantener un flujo uniforme de pequeña altura sobre toda la superficie, homogéneamente distribuido. Para ello puede resultar conveniente implementar elementos de distribución, cuando el agua proceda de flujos concentrados.

Por otro lado, aunque no necesariamente se diseñan para infiltrar una cantidad específica o el total del agua que reciben, es conveniente conocer la capacidad de infiltración del suelo, de manera que se pueda estimar el volumen de agua que drena hacia los elementos de aguas abajo.

En ese sentido, es importante también que las pendientes en la parte superior e inferior de la franja sean casi nulas, de manera que se evite la posible erosión que causaría una velocidad del flujo demasiado elevada. En todo caso, la pendiente recomendada para este tipo de sistemas se sitúa en valores de entre el 2% y el 6%, pudiendo ocasionalmente alcanzar pendientes extraordinarias de hasta un 15%.

Por último, comentar que la superficie de las franjas filtrantes debe estar completamente cubierta de vegetación para que resulten efectivas, la cual debe ser la que mejor se adapte a las características del clima del lugar.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

Las franjas filtrantes no demandan una técnica particular debido a que se trata de jardines de dimensiones modestas, pero es esencial tener precaución para evitar colmatación en la fase de construcción. Por ello, una vez iniciada la obra, es importante limitar los aportes de finos hacia la franja. Además, es conveniente evitar el tránsito de vehículos y maquinaria que produzcan una compactación excesiva del terreno de la franja.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Necesitan un buen mantenimiento. Por ello, hay que inspeccionarlas y limpiarlas periódicamente debiéndose llevar a cabo, también, las labores de mantenimiento propias de áreas vegetadas (riego, poda, etc.), especialmente en el proceso inicial de arraigo de la vegetación. Además, hay que reparar las zonas erosionadas y/o dañadas, evitando que se produzcan flujos preferentes o cárcavas.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Se sugiere que la carga hidráulica sea menor a 4,5 l/s por metro lineal, de manera que la altura de la lámina no supere los 2,5 cm.

De este modo, **el ancho de la franja** será: $B=Q/4,5$ siendo Q (l/s) el volumen total aportante por la superficie impermeable para la lluvia de proyecto.

Por otro lado, la **longitud en el sentido del escurrimiento** debe ser mayor que:

$$L > 2,5 \text{ m}$$

$L > 0.2 L_{imp}$, siendo L_{imp} la longitud del recorrido del agua sobre la superficie impermeable antes de ingresar en la franja.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- FERNÁNDEZ B. *et al* (1996): *Técnicas alternativas para soluciones de aguas de lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño*. MINVU. Santiago (Chile).

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

Igual a la de la *Ficha Tecnológica AP-DS-06*.

6.3. Webs

- Drenajeurbanosostenible.org. <http://drenajeurbanosostenible.org/tecnicas-de-drenaje-sostenible/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/franjas-filtrantes/>

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación



Fig.3, 4 y 5. Ejemplos. (susdrain) (drenajeurbanosostenible.org, 2015) y (iswm.nctcog.org, 2015)

AP-DS-08: CUNETAS VERDES

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Cunetas vegetadas
- Canales vegetados, verdes o biológicos

1.2. Términos utilizados en inglés

- Swales or bioswales

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Estas cunetas, que cuentan con una importante presencia de vegetación, están diseñadas para capturar, atenuar, transportar, almacenar y tratar superficialmente la escorrentía.

Adicionalmente, pueden permitir la infiltración a capas inferiores, excepto en casos concretos como en el que estas se encuentren en una zona de protección de aguas subterráneas, caso en el que se pueden sellar en su zona inferior de manera que la cuneta mantenga todas sus ventajas hidráulicas, evitando la infiltración. De todas maneras, en los casos en los que sí se puede infiltrar agua al terreno, la cuneta no está diseñada para mantener el agua en su interior por un periodo largo de tiempo, sino que debe circular pues son poco profundos y el agua expuesta a la radiación solar se caldea, lo cual es perjudicial para algunas especies. No obstante, deben generarse velocidades inferiores a 1 o 2 m/s en el agua circulante para que las partículas en suspensión puedan sedimentarse y no aparezcan problemas de erosión.

Si hay que aumentar la retención, se pueden construir pequeños azudes que aseguren un tiempo de retención mayor, ayudando a laminar las puntas en el flujo.

En concreto, son estructuras lineales en forma de canales abiertos, poco profundos, densamente vegetados, de base ancha (> 0,5 m) y taludes con poca pendiente (< 1V:3H). Tienen una suave inclinación que permite a la escorrentía ser filtrada por la vegetación plantada en el fondo y los laterales del canal.

En general, cuanto más se parezca un canal artificial a uno natural, mejor para una mayor integración paisajística.

Este sistema, con vegetación y agua en ocasiones, presenta oportunidades de usos múltiples como recreación, aportes estéticos y al paisaje, mantención de condiciones naturales y una cierta capacidad de regulación cuando hay crecidas importantes.

2.2. Componentes de la tecnología

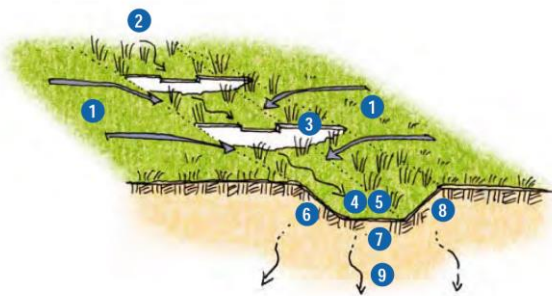
Esta tecnología consiste básicamente en canales abiertos, poco profundos, densamente vegetados.

No suelen tener ningún tipo de barrera en la parte inferior para favorecer la filtración e infiltración a través de la capa vegetal, a no ser que estén situados en una zona de protección de aguas subterráneas.

2.3. Forma de funcionamiento

Estos sistemas de drenaje están diseñados para capturar, laminar, transportar y tratar superficialmente la escorrentía. Tienen una suave inclinación que permite a la escorrentía ser filtrada por la vegetación plantada en el fondo y los laterales del canal.

2.4. Definición constructiva



1. Escorrentía de tormenta
2. Máxima 5% de pendiente en el canal.
3. Presas intermedias recomendadas para una pendiente mayor al 5%
4. Recubrimiento recomendado: hierba de altura unos 15 cm.
5. Altura del agua aproximadamente 2/3 de la hierba.
6. Forma trapezoidal del canal.
7. Ancho máx recomendado del canal:3m
8. Pendiente lateral máxima 3:1 (H:V)
9. Infiltración cuando sea posible.

Fig.1. Componentes de una cuneta verde (SFPUC, 2009)

2.5. Imagen del resultado



Fig.2 y 3. Cunetas verdes

2.6. Clasificación en tipologías

• Estándares

Son canales recubiertos de césped que se usan para transportar el agua de escorrentía. Son similares a las zanjas drenantes convencionales pero con lados anchos y planos que ofrece un área mayor para reducir la velocidad de la

escorrentía. Pueden usarse como tratamiento preliminar de las aguas pluviales hasta que fluyen hacia otro sistema de gestión de las aguas de lluvia.

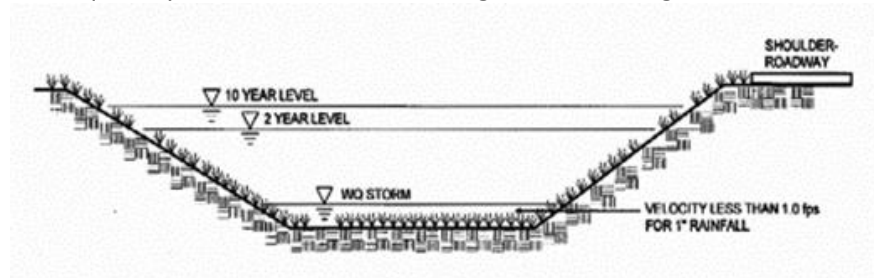


Fig.4. Cuneta estándar (Kwok y Grondzick, 2011)

- **Vegetadas secas**

A este tipo de cunetas se les dota de drenes adicionales o material drenante en la solera, de forma que se consigue que la capacidad de transporte aumente considerablemente, además de mantener la superficie seca la mayor parte del tiempo. Incluyen una gruesa capa de terreno sobre una estructura filtrante muy permeable alineada con el canal con una tubería perforada en su interior siempre en la zona más baja o fondo.

Son una buena estrategia en áreas residenciales desde el punto de vista de la seguridad y el uso. Pueden ser fácilmente colocadas a lo largo de carreteras o como límite entre propiedades.

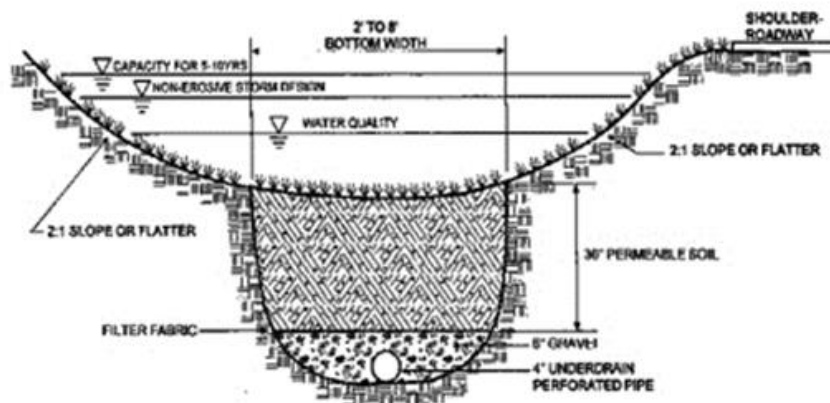


Fig.5. Cuneta vegetada seca (Kwok y Grondzick, 2011)



Fig.6. Cuneta verde seca no tapizada con diferentes especies vegetales. (Seattle Public Utilities, 2015)

- **Vegetadas húmedas**

Retienen el agua de forma permanente y, para ello, se ejecutan en lugares que tienen el nivel freático elevado o suelo impermeable.

Son canales que se asemejan en su funcionamiento, esencialmente, a humedales pero con forma lineal, diseñados para almacenar agua de manera temporal superficialmente. Al no tener una cama de terreno filtrante abajo, permite, de

manera lenta, el sedimento de las partículas, la infiltración de agua y la descontaminación biológica de los contaminantes.
La vegetación puede ser plantada a propósito o se puede permitir la población de manera natural.

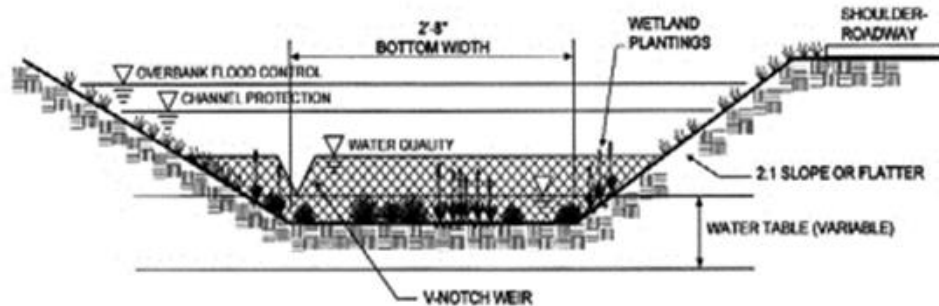


Fig.7. Cuneta vegetada húmeda (Kwok y Grondzick, 2011)



Fig.8. Cuneta verde húmeda en South Pennsylvania (U.S.A.) (Anchorage Canal Retrofit Project, 2015)

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Se recomiendan para la gestión de la escorrentía en zonas residenciales de no muy alta densidad **con un área total a drenar inferior a 2 hectáreas** y **donde las aguas no arrastren una carga contaminante importante**. También funciona bien en zonas comerciales/industriales con esas mismas características.

Se pueden ubicar en carreteras sustituyendo a las cunetas convencionales.

Este sistema, con vegetación y agua en ocasiones, puede usarse para **recreación y ocio** en un entorno estéticamente agradable.

Como contrapartida, no son aptas en zonas escarpadas, ni para la recogida de agua en espacios impermeables demasiado grandes. Tampoco se recomienda en lugares donde el agua entrante tenga una alta carga de contaminación y haya un acuífero cerca que pueda ser afectado.

La opción de poner árboles para tratarlas como zonas ajardinadas está muy limitada o no es conveniente por los problemas que pueden provocar las raíces entre otras razones.

En general, este sistema tiene ventajas significativas por su excelente relación costo-capacidad, aunque se deben considerar las necesidades espaciales y costes de mantenimiento.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

El coste de las *cunetas verdes* varía en función de la tipología, la forma y las dimensiones de la cuneta, el movimiento de tierras, etc...

Como estimación, el coste general puede estar entre los 40,00-80,00 €/m lineal.

Según el Proyecto DayWater (<http://daywater.in2p3.fr/EN/src/tools/bmp2Tools.php>) y teniendo en cuenta que son costes referidos al entorno donde se desarrolla dicho proyecto (Grecia), el coste directo, con material y mano de obra incluida, según el tipo de *cuneta verde* es, aproximadamente, de:

- Cuneta vegetal tradicional: 5,66 €/m (9,00 a 11,30 € si se incluyen impuestos)
- Cuneta vegetal seca: 49,50 €/m (79,00 a 100,00 € si se incluyen impuestos)
- Cuneta vegetal húmeda: El coste sería similar al de los *humedales artificiales*.

4.2. Fuentes de referencia

- Base de Costes de la Construcción de Andalucía.
- Proyecto DayWater (<http://daywater.in2p3.fr/EN/src/tools/bmp2Tools.php>)

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Para decidir el trazado de una posible cuneta verde, en muchas zonas que están por urbanizarse, los cauces naturales son tan pequeños que no se aprecian a simple vista. Sin embargo, prácticamente siempre existe la posibilidad de seguir la trayectoria que tendría el flujo en condiciones naturales, lo que puede ser una buena guía para la ubicación de canales de drenaje.

En relación al área de la franja debe ser lo más ancha posible y el área impermeable no demasiado grande. Es decir, que debe haber una relación de proporcionalidad entre ambas para que la franja sea efectiva. Su extensión en planta ha de ser entre un 10% y un 20% del área total a drenar, que ha de ser inferior a 2 hectáreas. (www.drenajurbanosostenible.org, 2015)

El ancho del fondo puede oscilar entre 0.5 metros y 3 metros aproximadamente, de manera que el mínimo asegure que las labores de mantenimiento con cortacésped se pueden llevar a cabo sin problemas y el máximo sirva para evitar que se formen canales definidos en el propio fondo de la cuneta. Asimismo, habrá que comprobar que el ancho es suficiente para que, en los eventos más frecuentes de lluvia, no se supere la altura de la vegetación que se establece en torno a 15 cm como máximo.

La pendiente de los taludes de la franja no debe ser muy alta, en concreto, debe estar entre 2-5% para recoger el máximo volumen posible.

Las pendientes longitudinales deben ser suaves, menores o iguales al 4%, para evitar el problema de la erosión por exceso de velocidad del agua (www.drenajurbanosostenible.org, 2015). No deben generarse, por tanto, velocidades superiores a 1 o 2 m/s en el agua circulante para que las partículas en suspensión puedan sedimentarse y no aparezcan problemas de erosión. Si hay que aumentar la retención, se pueden construir pequeños azudes que aseguren un tiempo de retención mayor.

En cuanto a la calidad de los terrenos, éstos han de ser permeables. Si están sobre zonas de protección de aguas subterráneas, se pueden sellar en su zona inferior,

de manera que la cuneta vegetada mantenga todas sus ventajas hidráulicas, evitando la infiltración.

La vegetación a implantar debe consistir de una densa y variada selección de plantas tolerantes al agua almacenada y de rápido crecimiento.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

Cuando se esté construyendo la cuneta, en el caso de hacer los canales en cauces existentes, es necesario desviar el flujo temporalmente, evitando que inunde las faenas.

Las excavaciones serán las estrictas para lograr la sección transversal de proyecto, con los taludes especificados.

Los materiales que se obtengan de esta excavación podrán emplearse en terraplenes de la misma obra, siempre que tengan un porcentaje de finos superior al 12%, prefiriéndose los materiales arcillosos y limosos.

Se debe evitar la excesiva compactación del suelo, para ello los equipos de excavación han de operar desde uno de los laterales de la cuneta y nunca hacerlo desde su interior.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Necesitan un buen mantenimiento. Por ello, hay que inspeccionarlas y limpiarlas periódicamente debiéndose llevar a cabo, también, las labores de mantenimiento propias de áreas vegetadas (riego, poda, etc.), especialmente en el proceso inicial de arraigo de la vegetación. Sería necesario:

- Cortar periódicamente la hierba y eliminar los restos.
- La eliminación de sedimentos, residuos o cualquier elemento que obstruya la circulación del agua, también y de manera especial, en las entradas de las alcantarillas.

Además, hay que reparar las zonas erosionadas y/o dañadas, evitando que se produzcan flujos preferentes o cárcavas.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado

El Proyecto DayWater, para dimensionar la **longitud de las cunetas verdes a partir de la superficie de área de recogida** (en Hectáreas), propone unas tablas en las que el resultado variará en función de los siguientes parámetros:

- K: coeficiente de infiltración (de 10^{-4} a 5×10^{-6} m/s)
- td: Duración del chaparrón (de 10 a 60 min)
- i: Intensidad pluviométrica (de 80 a 200l/(s.ha))

Para el cálculo de las *cunetas tradicionales y secas*, la **velocidad media del escurrimiento** (V), que deberá mantenerse entre 1-2 m/s, puede estimarse con la ecuación de Manning:

$$V = \frac{R^{2/3} I^{1/2}}{n}$$

Siendo: n: el *coeficiente de rugosidad del lecho*. Los coeficientes de rugosidad empleados variarán en función de la vegetación presente en la

cuneta. Aunque los valores típicos están en torno al 0,05, pueden cambiar bastante

- Cuando el flujo de agua sea tal que circule en su totalidad por debajo de la altura de la vegetación, los valores oscilarán entre 0,15 y 0,2.
- Pero para caudales mayores, se pueden suponer “n” mucho menores, como de 0,03.

R: el *radio hidráulico* de la sección, calculable como: $R = A/P$, donde A es el área de la sección transversal y P el perímetro mojado.

El dimensionado de las *cunetas vegetadas húmedas* se puede realizar asemejándolas a humedales artificiales. A través de <http://daywater.in2p3.fr/EN/src/tools/bmp2Tools.php>, se accede a un archivo con una tabla de cálculo que relaciona la superficie de recogida, la del dispositivo y su profundidad así como el tiempo de retención necesario para la eliminación de los contaminantes.

En *The Green Studio Handbook* (Kwok y Grondzik, 2011), se propone una fórmula para al **cálculo del volumen total** V: $V (m^3) = WQV \times \text{Area (Has)} \times 10$

siendo WQV el volumen de tratamiento de calidad del agua.

Posteriormente, ofrece recomendaciones para la forma final de la cuneta a partir de dicho volumen.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CIRIA (1996): *Infiltration drainage. Manual of good practice*. Report 156, Construction Industry Research & Information Association. Londres.
- FERNÁNDEZ B. et al (1996): *Técnicas alternativas para soluciones de aguas de lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño*. MINVU. Santiago (Chile).
- KWOK, A.G y GRONZIK, W.T. (2011): *The Green Studio Handbook. Environmental strategies for schematic design*. Second Edition. Ed. Elsevier Inc.
- PROYECTO DAYWATER: <http://daywater.in2p3.fr/EN/> y <http://daywater.in2p3.fr/EN/src/tools/bmp2Tools.php>

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguna que destacar.

6.2. Bibliografía

- AQUAVAL (2013): Revisión del Estado del Arte de los Sistemas de Drenaje Sostenible (SUDS).
- CALIFORNIA STORMWATER QUALITY ASSOCIATION (2003): *California Stormwater BMP Handbook: New development and redevelopment*. TC-30.
- CHESTER COUNTY CONSERVATION DISTRICT (2002): *Chester County Stormwater BMP Tour Guide*.
- CIRIA (2000): *Sustainable urban drainage systems: A design manual for England and Wales*. Report C522, Construction Industry Research & Information Association. Londres.
- CIRIA (2004): *Sustainable drainage systems: Hydraulic, structural and water quality advice*. Report C609, Construction Industry Research & Information Association. Londres.
- CLAYTON R.A. y SCHUELER T.R. (1996): *Design of stormwater filtering systems*. Centre for Watershed Protection, Maryland.
- FERNÁNDEZ B. et al (1996): *Técnicas alternativas para soluciones de aguas de lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño*. MINVU. Santiago (Chile).

- KWOK, A.G y GRONDIK, W.T. (2011): *The Green Studio Handbook. Environmental strategies for schematic design*. Second Edition. Ed. Elsevier Inc.
- MINNESOTA METROPOLITAN COUNCIL (2001): *Minnesota urban small sites BMP manual*. Barr Engineering for Minnesota Metropolitan Council, Environmental Services, St Paul.
- NEW JERSEY DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION (2000): *Manual for New Jersey: Best management practices for control of nonpoint source pollution from stormwaters*. New Jersey Department of Environmental Protection, Trento (NJ).
- SCHOLES L., REVITT D.M. y ELLIS J.B. (2004): *Determination of numerical values for the assessment of BMPs*. DayWater Project. Middlesex University.
- SCHUELER T.R. (1987): *Controlling Urban Runoff: A practical manual for planning and designing urban BMPs*. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington DC.
- SCHUELER T.R. (1992): *A Current Assessment of Urban Best Management Practices*. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington DC.
- SFPUC-San Francisco Public Utilities Commission (2009): *Storm Water Design Guide Lines*. San Francisco. <http://www.sfwater.org/index.aspx?page=446>
- SWRPC-Southeastern Wisconsin Regional Planning Commission (1991): *Costs of urban nonpoint source water pollution control measures*. Technical Report No. 31.
- REVITT D.M., ELLIS J.B. y SCHOLES L. (2003): Report 5.1. *Review of the use of stormwater BMPs in Europe*. DayWater Project. Middlesex University.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1999): *Stormwater Technology Factsheet: Vegetated swales*. EPA 832-F-99-006, US EPA, Office of Water, Washington DC.
- URBONAS B. y STAHR P. (1993): *Stormwater management practices and detention for water quality, drainage and CSO management*. PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (USA).
- WALSH P.M., BARRETT M.E., MALINA J.F. y CHARBENEAU R.J. (1997): *Use of vegetative controls for treatment of highway runoff*. Centre of Engineering Research in Water Resources, Bureau of Engineering Research. University of Texas at Austin.

6.3. Webs

- www.drenajeyurbanosostenible.org Enlace <http://drenajeyurbanosostenible.org/tecnicas-de-drenaje-sostenible/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/cunetas-verdes/>

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación



Fig.9. Cuneta Verde. (Stormwater Maintenance and Consulting, LLC)



Fig.10. Cuneta verde en la comunidad de Upton (Northamptonshire, UK)

AP-DS-09: ÁREAS DE BIORETENCIÓN

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Áreas de retención
- Jardines de infiltración o de lluvia

1.2. Términos utilizados en inglés

- Bioretention areas
- Rain gardens

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Son superficies ajardinadas, que pueden ubicarse en depresiones sobre suelo autóctono o en áreas delimitadas con suelo preparado específicamente, cuyo objetivo principal es el tratamiento de la escorrentía antes de su vertido al medio, a través de un proceso de descontaminación biológica (*bioremediación*).

También mejoran, de forma clara, la estética del entorno urbano.

2.2. Componentes de la tecnología

El alto rendimiento de esta técnica en la eliminación de contaminantes se debe a la variedad de mecanismos presentes:

- La franja filtrante.
- La zona de detención.
- El *mulch*.
- La vegetación.

Además, es aconsejable la colocación de un elemento de evacuación para aquellas ocasiones en que se sobrepase la pluviometría para la que ha sido diseñado el elemento.

2.3. Forma de funcionamiento

La *franja filtrante* reduce la velocidad de la escorrentía, evitando la erosión en el sistema y permitiendo la deposición de las sustancias de mayor tamaño. Para el adecuado funcionamiento de estas técnicas se precisa de un sistema de pretratamiento, ya sea un imbornal, rejilla, o una franja filtrante perimetral.

En la *zona de detención*, se facilita la infiltración, evaporación y la sedimentación de partículas.

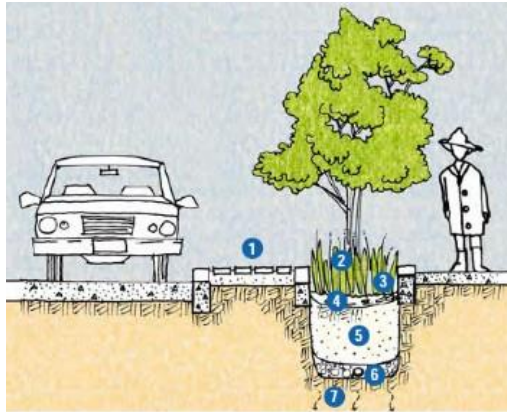
El *mulch* favorece el crecimiento de microorganismos que eliminan hidrocarburos y materia orgánica. Estos contaminantes, junto con los metales pesados y nutrientes, también se eliminan en el suelo filtrante.

La *vegetación* favorece la remoción de contaminantes y la estabilización del suelo.

El volumen de calidad de agua es infiltrado a través del preparado edáfico y sale por el sistema de drenes.

Con todos estos mecanismos, la tecnología facilita la infiltración del agua a través de un suelo muy permeable bajo una capa de *mulch* o filtro orgánico y, cuando es necesario, un dren colector. La eliminación de la contaminación se optimiza mediante la presencia de vegetación adecuada.

2.4. Definición constructiva



1. Bordillo adaptado para facilitar el paso de agua hacia la zona de biorretención.
2. Vegetación resistente a la sequía y a la humedad (preferentemente autóctona).
3. Zona en depresión para almacenamiento superficial de agua (profundidad 15-20 cm).
4. Acolchado de jardín (*mulching*) (e = 5-7cm)
5. Suelo preparado para biorretención (e=45-120cm)
6. Dren perforado sobre cama de grava (donde sea necesario).
7. Infiltración cuando sea posible

Fig.1. Componentes de un jardín de infiltración. (SFPUC, 2009)

2.5. Imagen del resultado

(Ver *Clasificación en tipologías*)

2.6. Clasificación en tipologías

- **Jardines de infiltración o de lluvia:**

Cuando el suelo es adecuado, puede generarse una depresión dentro de una zona verde y rellenarla con suelo autóctono preparado, donde se ubica el sistema de depuración e infiltración.



Fig.2. Jardín de infiltración en Great Falls (USA). (Sisson Landscapes)

- **Áreas de biorretención:**

Cuando el suelo no es adecuado y se inserta dentro de áreas impermeables, se generan elementos ajardinados delimitados por bordillos.



Fig.3. Áreas de biorretención.

- **Biojardineras** (Ver Ficha Tecnológica AR-SC-02)
Son elementos en altura, a modo de grandes jardineras, que cumplen la función de detención y depuración de aguas procedentes de cubiertas de edificios, con un sistema de drenaje para su evacuación.



Fig.4. Biojardinera en Colegio de Primaria Alvarado. (Mara Seiling a través de SFPUC, 2009).

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Estos sistemas pueden construirse para tratar el agua de escorrentía de **zonas residenciales y comerciales** y, en general, son **muy útiles junto a grandes superficies impermeables** como zonas de aparcamiento (formando islas o en el perímetro), calles de tamaño medio o en zonas entre edificios, aceras o patios. También puede usarse esta técnica en medianas de carretera. La versatilidad de sus diseños permite que se integren muy bien en todos sitios.

Como requisito, el área de intervención debe tener más de 18 m² y lo ideal es que esté entre 0,2 y 1 hectáreas. Trata, por tanto, la escorrentía de extensiones de alrededor de 1 hectárea para funcionar de manera óptima por lo que si se quiere tratar una superficie mayor, es recomendable dividir dicha superficie y usar varias áreas de biorretención.

Por otro lado, no son apropiadas en zonas con pendientes superiores al 6%-15% y la distancia mínima al nivel freático debe ser de 0,6 m

Por último, hay que tener en cuenta que las altas cargas de sedimentos pueden causar problemas, por lo que se recomienda algún tipo de pretratamiento.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

El coste varía en función a la tipología, dimensiones y tipo de vegetación. Se estima entre 60-150 €/m².

4.2. Fuentes de referencia

Elaboración propia.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

La tipología a elegir dependerá de las circunstancias concretas del área de trabajo.

En cuanto al área de drenaje necesaria para que un jardín funcione de manera eficiente, debe estar entre las 0,2 y 1 hectáreas y el tamaño mínimo que ha de tener es de uno 18 m². Si se quiere tratar una superficie mayor a 1 hectárea, es recomendable dividir dicha superficie y usar varias áreas de biorretención. Por otro lado, también se recomienda que la relación entre la superficie a drenar y la del área de biorretención no supere 5:1.

Se evitará ubicarlos en zonas con pendientes superiores al 5%-15%, en cuyo caso, sería necesario aterrizar estos dispositivos para evitar procesos de arrastre y erosión y, en cuanto al tipo de terreno, será determinante conocer la capacidad de infiltración del suelo y el resto de sus condiciones hidrogeológicas, para definir, entre otras cosas, la necesidad de incorporar un dren inferior. Cualquier suelo con capacidad drenante suficiente podrá utilizarse para la biorretención, aunque siempre la cantidad de arcillas debe ser menor al 10%. Además, se recomienda un pH entre 5.5 y 6.5 para favorecer la actividad microbiana.

La profundidad y porosidad del elemento debe permitir que el tiempo de encharcamiento no supere en ningún caso las 48 horas desde la precipitación, permitiendo así una filtración eficaz.

La distancia a la capa freática debe ser al menos de 0,6 m.

Para evitar perjudicar a las cimentaciones de los edificios, se mantendrá una distancia de seguridad en función del tipo de terreno pero se recomienda que sea, al menos, de 3m.

La entrada de agua debe diseñarse para evitar la erosión y la entrada de sólidos y se ubicará, siempre, un sistema de desbordamiento que facilite la evacuación de agua cuando exista exceso de escorrentía, hacia otro elemento de gestión de pluviales o hacia un colector que la dirija a la red.

Por último, las especies vegetales deben de ser resistentes a las inundaciones y sequías así como a la polución que van a recibir y, preferiblemente, autóctonas. Se recomienda el uso de especies de ribera como enneas, carrizos, lirios o papiros. Las plantas herbáceas ayudarán también a evitar procesos de erosión del acolchado. Lo ideal es que exista, además, un criterio paisajístico para la elección de la vegetación.

Flujos concentrados pueden necesitar una consideración especial en el diseño.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Por el gran componente paisajístico de esta tecnología, las labores de poda, renovación de plantas y limpieza (eliminación de malas hierbas, retirada de restos de poda y de plantas muertas o control de los sedimentos en la zona de césped) deberán tener una particular atención, especialmente, en la fase de establecimiento de la vegetación. En función de las especies elegidas, deberán ser regadas, al menos, en esta fase y cuando haya largos periodos de sequía.

Los sistemas de pretratamiento deberán ser limpiados con cierta periodicidad y, también, habrá que asegurar la capacidad de infiltración de las capas superiores, así como la de evacuación de los drenes si estos existieran.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Se calculará la profundidad del elemento de infiltración, a partir de una superficie dada, en relación al caudal de escorrentía para el que se diseña.

Puede calcularse por el procedimiento descrito en la guía (ver *Recomendaciones generales de diseño y cálculo y otros factores a considerar* de la línea estratégica), según CIRIA (156, 1996).

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CIRIA (1996): *Infiltration drainage. Manual of good practice*. Report 156, Construction Industry Research & Information Association. Londres.
- PROYECTO DAYWATER: <http://daywater.in2p3.fr/EN/>

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguna que destacar.

6.2. Bibliografía

- AQUAVAL (2013): Revisión del Estado del Arte de los Sistemas de Drenaje Sostenible (SUDS).
- SFPUC-San Francisco Public Utilities Commission (2009): *Storm Water Design Guide Lines*. San Francisco. <http://www.sfwater.org/index.aspx?page=446>

6.3. Webs

- Drenajeurbanosostenible.org. <http://drenajeurbanosostenible.org>
Enlace 1: <http://drenajeurbanosostenible.org/tecnicas-de-drenaje-sostenible/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/areas-de-biorretencion/>
Enlace 2: <http://drenajeurbanosostenible.org/biorretencion-2/consideraciones-en-el-diseno-de-las-areas-de-biorretencion/>
Enlace 3: <http://drenajeurbanosostenible.org/biorretencion-2/apuntes-sobre-el-diseno-areas-de-biorretencion/>

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación



Fig.5. Elemento para la salida del exceso de volumen por desbordamiento (Vermont Department of Environmental Conservation)



Fig.6. Jardín de infiltración en Portland (EEUU) (ASLA) Fig.7. Área de biorretención en Maplewood (EEUU) (APW)



Fig.8. Área de biorretención en Ribblesdale Road, Sherwood, Nottingham (EEUU). (Susdrain)

AP-DS-10: DEPÓSITOS DE INFILTRACIÓN

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Estanques de infiltración⁴¹

1.2. Términos utilizados en inglés

- Infiltration basins or ponds

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Se conciben como estructuras de infiltración vegetadas de tipo volumétrico cuyo objetivo es la transformación de un flujo superficial en uno subterráneo, eliminando los contaminantes mediante filtración, adsorción y procesos químicos y biológicos. Además de tener capacidad de tratar la contaminación disuelta, también tienen capacidad para minimizar los efectos de la contaminación térmica sobre los medios receptores puesto que la temperatura del agua se temple con el ambiente antes de ser vertida. Es un sistema similar a las franjas filtrantes pero con una configuración no lineal.

Están constituidos por depresiones en el terreno o embalses poco profundos, ubicados en terrenos permeables y cubiertos de vegetación, que se diseñan para almacenar agua temporalmente e infiltrar, gradualmente, la escorrentía de lluvia de superficies

⁴¹ Se corresponde con la tipología *superficial*.

cercanas. También pueden construirse enterrados con el empleo de sistemas geocelulares.

Se ubican en lugares que permitan atender la escorrentía que discurre por cubiertas y demás zonas impermeables de una urbanización. En general, se trata de obras más bien modestas en cuanto a dimensiones que aprovechan pequeños espacios abiertos en jardines, con alturas de agua almacenadas temporalmente relativamente bajas. Habitualmente, el terreno ocupado por el estanque es empleado con otros fines cuando está vacío entre los eventos lluviosos o, simplemente, queda como un espacio abierto.

Dado que son elementos de infiltración, se debe tener la precaución de no contaminar los acuíferos subyacentes, especialmente cuando se utilizan para consumo humano o agricultura.

Deben ser construidos en terrenos que tengan el nivel de agua subterránea profundo bajo el fondo del estanque (>1,2 m), para asegurar que el agua filtre a través del suelo antes de alcanzar el nivel freático, y una permeabilidad que permita el vaciado total del estanque entre lluvias en tiempos relativamente breves para no dañar la vegetación.

2.2. Componentes de la tecnología

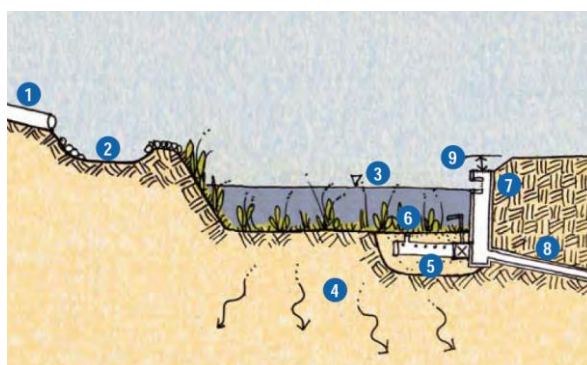
La tecnología, sobre todo en los estanques abiertos, realmente es muy sencilla pues se trata de una depresión en el terreno con vegetación.

El rendimiento de estas técnicas se puede mejorar colocando un sistema de pretratamiento que disminuya la entrada de sólidos en suspensión, reduciendo así el riesgo de colmatación de la zona de infiltración.

2.3. Forma de funcionamiento

Son sistemas que reciben aguas relativamente limpias las cuales son almacenadas en ellos temporalmente e infiltradas, gradualmente, al terreno natural que tiene una capa vegetal que permite que se lleven a cabo el resto de procesos presentes en la tecnología.

2.4. Definición constructiva



1. Entrada efluente
2. Pretratamiento y disipador de energía
3. Volumen de diseño
4. Suelo con capacidad de infiltración > 12mm/hora
5. Drenes con válvula (para vaciado y mantenimiento si hay colmatación).
6. Abertura para limpieza del dren (opcional)
7. Estructura de aliviadero con filtros
8. Conducto de salida a la red o a cuerpo de agua receptor.
9. Altura mínima del borde: 30 cm

Fig.1. Componentes de un jardín de infiltración. (SFPUC, 2009)

2.5. Imagen del resultado

(Ver *Clasificación en tipologías*)

2.6. Clasificación en tipologías

- **Depósitos *superficiales* (o estanques de infiltración)**

Son pequeños estanques de poca profundidad ubicados en suelos permeables. Puede aprovecharse la existencia de depresiones naturales en áreas abiertas o recreacionales o excavarse a propósito en el terreno, preferentemente en jardines y áreas verdes.



Fig.2. Depósito de infiltración superficial. (stormwaterpartners.com)

- **Depósitos *enterrados o subterráneo***

Estas estructuras se construyen a base a sistemas geocelulares constituidos por módulos de material plástico con un alto índice de huecos. Permiten el almacenamiento y/o infiltración de agua de lluvia por debajo del nivel del terreno, logrando laminar la avenida generada por la escorrentía de un área determinada. Los sistemas geocelulares son capaces, además, de resistir cargas, razón por la que se pueden instalar debajo de viales, aparcamientos, áreas recreativas, etc...



Fig.3 y 4. Depósito de infiltración subterráneo en Avda. Estatut. Barcelona. (ecohabitar.org) y (graf)

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Estas técnicas permiten la gestión de la escorrentía **en zonas residenciales de no muy alta densidad** donde las aguas no arrastren una carga contaminante importante. **No son apropiadas para el drenaje de zonas donde se concentren altas cargas de contaminantes en las aguas de escorrentía**, es decir, en lugares donde el agua entrante tenga una alta carga de contaminación y allí donde haya un acuífero cerca que pueda ser afectado.

Para que pueda ser efectiva la técnica, el área del terreno impermeable donde se produce la recogida debe ser limitada (aproximadamente 10 Has) y es recomendable que su pendiente no sea muy alta, en concreto, debe ser menor al 15%.

Además, el terreno del área drenante ha de ser muy permeable.

Por otro lado, se requieren de periodos secos entre tormentas para su buen funcionamiento y es importante saber que la técnica tiene grandes necesidades de mantenimiento.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Variará en función de las condiciones del terreno, el tipo de vegetación y, sobre todo, de la tipología del depósito (superficial o enterrado).

4.2. Fuentes de referencia

Se elaborará a partir de las Bases de Costes de la Construcción.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

En cuanto a la superficie de recogida no debe ser inferior a 10 hectáreas y la ocupación, en planta, del estanque debe ser, al menos, de un 2-3 % de dicha área.

El espacio del estanque ha de tener forma irregular y bases anchas y debe estar bordeado con taludes de suave pendiente para recoger el máximo volumen posible. La diferencia de cotas entre la entrada y de la salida ha de estar en torno a los 90 cm y el fondo ha de mantenerse de forma horizontal. Los depósitos de infiltración suelen tener profundidades entre 0.5 metros y 1.5 metros con pendientes perimetrales inferiores a 3H:1V, para garantizar la seguridad y facilitar las labores de siega.

En cuanto a la calidad de los terrenos donde se ubica el depósito, éstos deben ser bastante permeables, evitando limos y arcillas. Se recomienda que tengan gran capacidad de infiltración, mayor a 12 mm/hora.

La profundidad del nivel freático se recomienda que sea mayor a 1,2 m.

La vegetación que se incluya en el fondo de los depósitos deberá ser capaz de resistir al menos 72 horas bajo el agua y se escogerán plantas autóctonas preferentemente. Las plantas con raíces profundas ayudan a evitar la obstrucción del fondo del depósito y, además, mejoran la capacidad de infiltración del suelo gracias a la creación de pequeños conductos de aire.

Estos dispositivos pueden configurarse tanto “en serie” con el flujo de escorrentía principal, como “en paralelo”. Cuando se construyen en serie, es especialmente importante el diseño de un aliviadero adecuado. En muchos casos, se dota a estos dispositivos de drenes debajo del fondo de los mismos. Estos drenes ayudarían al vaciado del depósito para proceder a las tareas de mantenimiento en caso de que quedara obstruido el fondo del mismo. (Aquaval, 2013)

5.1.2. Recomendaciones constructivas

Los estanques de infiltración no demandan una técnica particular debido a que se trata de obras de dimensiones modestas, pero es esencial realizar algunos controles.

Con el fin de asegurar el adecuado almacenamiento de las aguas lluvias, es importante que las dimensiones estimadas en el estudio sean respetadas, ya que si se modifican pueden causar desbordes. Debe verificarse cuidadosamente la ubicación y nivel de los elementos de rebase y las divisiones interiores, tanto en relación al estanque como a la red de drenaje hacia la cual evacúan, así como verificar que no se inundarán obras adyacentes como veredas, entradas a casas, terrazas u otras similares.

Hay que tener precaución para evitar aporte de finos en la fase de construcción. Para ello, se puede proteger el estanque con una membrana impermeable o limpiarlo al final de la construcción.

También, es necesario evitar el tránsito de vehículos y maquinaria que produzcan una compactación excesiva del terreno sobre la zona del estanque.

Si el estanque va a ser sembrado con pasto artificial, es conveniente que éste se coloque sobre una pequeña capa de arena de 3 a 5 cm bajo la capa de tierra vegetal o tierra de hojas.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Hay que inspeccionarlos y limpiarlos periódicamente para detectar posibles obstrucciones. En este sentido, serán necesarios:

- El mantenimiento en buen estado la vegetación.
- La eliminación de restos y residuos.
- El control del nivel de sedimentos que hay que eliminar cuando sea preciso, comprobando que no haya problemas de colmatación.
- La limpieza de las entradas y salidas de agua comprobando que el exceso de agua se evacúe adecuadamente.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado

El *volumen de afluente acumulado* (V_{af}), en m^3 , para la lluvia de proyecto determinada, caracterizada por la curva IDF, será: $V_{af}(t) = 0.001 C i A t$

Donde: C: coeficiente de escorrentía de superficie aportante o área de captación
A: área de captación o recogida, en metros cuadrados (m^2)
I: intensidad de lluvia, en mm por hora (mm/h)
T: tiempo acumulado, en horas (h)

El *volumen de infiltración* (V_{inf}), en m^3 , será: $V_{inf}(t) = 0.001 f C_s A_e t$

Donde: f: capacidad de infiltración del suelo, en mm por hora (mm/h)
Cs: coeficiente de seguridad para la infiltración (valor entre 1-0,3 en función de la calidad del efluente y el mantenimiento del estanque)
Ae: área del estanque, en metros cuadrados (m^2)
T: tiempo acumulado, en horas (h).

El *volumen de almacenamiento* será igual a la máxima diferencia entre el *volumen de afluente* (V_{af}) y el *volumen de infiltración* (V_{inf}):

$$V_{alm} = \text{Max} (V_{af}(t) - V_{inf}(t))$$

Y la **profundidad media del estanque** será:

$$h = V_{alm} / A_e$$

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- FERNÁNDEZ B. et al (1996): *Técnicas alternativas para soluciones de aguas de lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño*. MINVU. Santiago (Chile).

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguna que destacar.

6.2. Bibliografía

- AQUAVAL (2013): Revisión del Estado del Arte de los Sistemas de Drenaje Sostenible (SUDS).
- SFPUC-San Francisco Public Utilities Commission (2009): *Storm Water Design Guide Lines*. San Francisco. <http://www.sfwater.org/index.aspx?page=446>

6.3. Webs

- Drenajurbanosostenible.org. <http://drenajurbanosostenible.org/tecnicas-de-drenaje-sostenible/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/depositos-y-estanques-de-infiltracion/>

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación



Fig.5. Depósito superficial (moir-environmental.co.uk)



Fig.6. Zona vial (Northeast Wisconsin Stormwater Consortium)



Fig.7. Rotonda Norte de Predalba (Valencia). (Diputación de Valencia)

AP-DS-11: DEPÓSITOS DE DETENCIÓN

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Depósitos secos

1.2. Términos utilizados en inglés

- Detention basins or ponds

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Son depósitos de contención que almacenan, temporalmente, la escorrentía generada, laminando los caudales punta y atenuando los picos de caudal, reduciendo considerablemente el riesgo de inundación aguas abajo. Normalmente, estos sistemas detienen el agua de lluvia durante un determinado periodo de tiempo para, después, una vez han cesado las lluvias, liberar progresivamente el volumen de agua acumulado que se dirigiría hacia otros elementos de la red (frente a los depósitos de retención en los que se pretende infiltrar el agua en el terreno). En dicho proceso de detención, se favorecen la sedimentación de contaminantes eliminándolos así de la masa de agua por lo que hay que impermeabilizar previamente el suelo.

Al ser diseñados para que no almacenen un volumen permanente entre los sucesos de lluvia, también se les suele denominar *depósitos secos*. En el caso de los depósitos *superficiales*, esto les permite poder ser compaginados con otros usos recreacionales, como parques, plazas o zonas deportivas. De todas maneras, se suelen hacer *enterrados*, construidos bajo tierra, por la escasez del terreno o por que las condiciones del entorno no recomienden una infraestructura a cielo abierto. Por tener esta configuración, no están vegetados, aunque se puede aprovechar la superficie superior también para usos diversos.

En ambos casos, el agua se recoge por gravedad al estar estos espacios situados a una cota negativa.

Realmente, este sistema de laminación es una alternativa más ecológica a los aliviaderos de crecida de las redes convencionales que vertían directamente el agua al terreno pero sin ningún tipo de tratamiento previo con el consiguiente daño medioambiental.

2.2. Componentes de la tecnología

En el caso de los *superficiales*, se trata de depresiones del terreno, con las debidas medidas de impermeabilización inferior, donde se puede retener agua de manera temporal para que, posteriormente, siga su recorrido.

En los *enterrados*, que habitualmente están hechos con materiales diversos como el hormigón armado o materiales plásticos como el polipropileno que ya son impermeables de por sí, es necesario incluir un sistema de ventilación para impedir la proliferación de determinados organismos en su interior.

En ambos casos requieren también elementos que den salida a los excesos de agua y, a veces, también un sistema de bombeo.

2.3. Forma de funcionamiento

Como se ha comentado, son elementos que recogen agua para ir, posteriormente, evacuándolas progresivamente. Lo habitual es que estos sistemas hayan liberado todo el volumen detenido transcurridas 48 horas desde el final del episodio de precipitación.

Además, durante el tiempo que el agua de escorrentía permanece en el depósito de detención, se produce la sedimentación de algunos contaminantes suspendidos en el agua, mejorando la calidad del efluente. Incluso, en zonas con pluviometría abundante, existen depósitos en los que se habilita una zona que queda permanentemente inundada, lo cual hace más eficiente la remoción de contaminantes solubles. Cuando se diseña adecuadamente y con presencia de vegetación, estas zonas inundadas pueden servir de base para la creación de pequeños ecosistemas dentro del

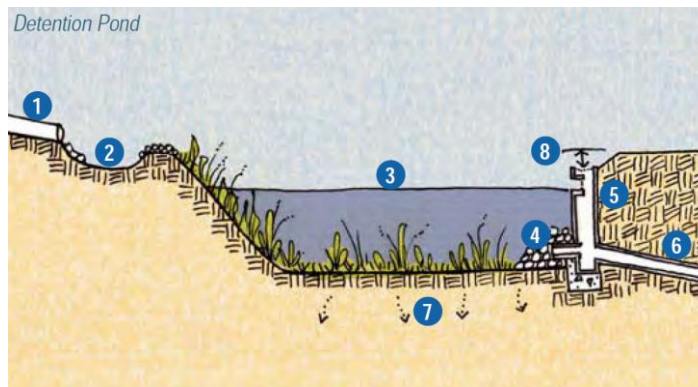
entorno urbano. A este tipo de sistemas se los conoce como **depósitos de detención extendidos**.

Los depósitos de detención que, como se verá, pueden ser *superficiales* o *subterráneos* pueden ubicarse en serie o en paralelo respecto a la red de drenaje:

- Depósitos **en serie**: Disponen de un sistema de regulación a la salida que genera el mecanismo de laminación de la avenida.
- Depósitos **en paralelo**: Reciben el flujo de agua a través de aliviaderos cuando el caudal de la red supera un determinado umbral. Cuando este caudal vuelve a un nivel bajo, el agua vuelve desde el depósito a la red, normalmente a través de bombes.

Este tipo de depósitos pueden ser empleados, además, como parte de un conjunto más complejo, con otras obras alternativas de control de aguas lluvias en zonas urbanas.

2.4. Definición constructiva



1. Entrada
2. Pretratamiento y disipador de energía
3. Volumen de diseño.
4. Abertura de salida.
5. Aliviadero con filtros
6. Salida hacia red de drenaje u otro dispositivo.
7. Infiltración donde sea posible.
8. Altura de borde de 0,3 m.

Fig.1. Componentes de un depósito de detención (SFPUC, 2009).

2.5. Imagen del resultado

(Ver *Clasificación en tipologías*)

2.6. Clasificación en tipologías

- **Depósitos de detención superficiales**
Son áreas en depresión donde se produce el almacenamiento temporal y que pueden compatibilizarse con otros usos. Son este tipo de elementos de detención las que se consideran dentro de las denominadas *infraestructuras verdes* frente a los *enterrados* que tienen características propias de las convencionales o *grises*.



Fig.2. Depósito de detención y áreas de recreo en escuela de primaria en Augustemborg (Suecia).

- **Depósitos de detención enterrados**
Son estructuras ubicadas bajo rasante que permiten el almacenamiento temporal de un volumen de escorrentía para cederlo, posteriormente, de manera progresiva. Pueden ser de dos tipos:
 - **Geocelulares.** Conformados por módulos de un material hueco que sirve de elemento estructural y permite el almacenamiento del agua.
 - **Tanques de tormenta.** Normalmente, se trata de tanques de grandes dimensiones de hormigón armado, donde la capacidad de remoción de contaminantes suele ser más baja que en el resto. Dadas sus dimensiones y su impacto, no suelen considerarse *infraestructuras verdes*.



Fig.3. Tanque de tormentas en Alameda de Hércules (Sevilla). (Emasesa)

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Por su gran tamaño (entre 4 y 30 hectáreas) no es fácil su ubicación y se hará **a nivel urbano**.

Se pueden usar **en zonas residenciales**, donde puede tener un uso paisajístico o pueden ser compaginados con otros usos como los recreativos. También es aplicable **en parques e instalaciones deportivas o localizarse en “zonas muertas” que no tienen ningún uso** en la actualidad ni proyectado para el futuro, permitiendo tratar la escorrentía de grandes superficies impermeables adyacentes.

Para los espacios de recogida, necesitan un área grande y plana con pendientes menores al 15%, con una cota de rasante negativa para acumular el agua.

Por otro lado, esta tecnología tiene sentido cuando existen periodos secos entre tormentas, para que se pueda producir el vaciado de manera gradual.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Dependerá de la tipología de depósito, las características del terreno y las dimensiones del mismo.

4.2. Fuentes de referencia

Se elaborará con los Bases de Costes de la Construcción.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Normalmente, el espacio requerido para este tipo de estanques o depósitos es aproximadamente entre un 0,5 a un 2% del total del área aportante, que suele estar entre las 4 y las 30 Has.

Es preferible ubicarlos en pequeñas depresiones existentes o sobre elementos del sistema de drenaje natural, ya que excavaciones demasiado grandes pueden encarecer mucho su construcción.

A priori, las condiciones del suelo y del nivel freático no son condicionantes para su ubicación, aunque puede determinar la tipología elegida y la necesidad de disponer elementos de impermeabilización.

En planta, se recomiendan relaciones longitud-anchura de 2 a 1 o mejor 3 a 1 para incrementar el tiempo de detención y facilitar la sedimentación de las partículas. La pendiente de los costados debe ser tendida 2H:1V o mejor 3:1 y el calado máximo de los estanques no debe sobrepasar los 3 metros. (Aquaval, 2013).

La pendiente longitudinal del fondo, ha de ser inferior al 15% y la diferencia de cotas entrada-salida del agua ha de ser de 1,5 m.

Puede construirse, específicamente, un *canal para flujos bajos* para transportar las aguas de los sucesos de menor magnitud al medio después de los aguaceros, facilitándose así el crecimiento de la vegetación en el resto de la superficie.

También, se puede realizar un diseño en dos niveles que delimite el área que se inunda con más frecuencia y en la que se produce una mayor deposición de sedimentos. El nivel superior debe tener profundidades del orden de 0,5 a 1,5 metros, con su fondo en pendiente del 2%, hacia el canal para flujos bajos. El nivel inferior debe estar 0,4 a 1,0 metros más profundo que el anterior y ser capaz de almacenar del 10 al 25% del volumen mínimo de regulación necesario.

Debe proveerse, siempre, un elemento de desagüe que desvíe el agua de forma segura cuando se produzca una escorrentía mayor de la prevista y se exceda la capacidad del sistema.

Además, los enterrados deben estar correctamente ventilados para impedir la proliferación de determinados organismos en su interior.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

Los estanques corrientemente se construyen excavados en el terreno con pequeños muros que repasan las zonas bajas del terreno estando la inclinación de los taludes muy por el lado de la seguridad.

En relación a la excavación del terreno, se deben apreciar previamente todos los aspectos que pueden resultar en conflictos durante la construcción: problemas geológicos o ambientales, existencia de otras obras o construcciones, infraestructuras subterráneas, etc...

Será necesario comprobar que las condiciones de mecánicas e hidráulicas del terreno son las previstas y comprobar que se mantienen las previsiones en cuanto a impermeabilización, uso de los terrenos para estabilizar taludes, etc...

Otro aspecto importante es el control de los niveles de todas las obras, especialmente en los dispositivos de evacuación y descarga.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Es necesario mantenerlos en condiciones operativas, para proteger su seguridad estructural, así como las estéticas. Si el agua permanece estancada por periodos largos se generan problemas de mosquitos, olores desagradables y condiciones no deseadas. Por ello, hay que inspeccionarlos y limpiarlos periódicamente. Además, cuando sean vegetados, en el caso de los superficiales, necesitan el cuidado de la vegetación presente siendo necesario cortar periódicamente la hierba y eliminar

los restos correspondientes, así como otros residuos y cualquier elemento que pueda obstruir la circulación del agua.

Por último, es necesario reparar las áreas erosionadas o dañadas.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

El *volumen de almacenamiento principal* de un estanque de retención seco (V_{estanque}) corresponde a la capacidad del estanque hasta el umbral del vertedero de seguridad. Este volumen se calcula para retener la crecida generada por tormentas medianas, con 10 o 20 años de periodo de retorno, con la cuenca aportante en su condición de desarrollo máximo, de manera que, hacia aguas abajo del estanque, no se entreguen caudales máximos mayores que los permitidos.

La fórmula para el cálculo de dicho volumen es: $V_{\text{estanque}} = 0,5 T_b (Q_{me} - Q_{evac})$

Donde:

- V_{estanque} : volumen estimado para almacenar la crecida (m^3)
- T_b : tiempo base del hidrograma de entrada igual al doble del tiempo de concentración de la cuenca aportante, en segundos (sg)
- Q_{me} : caudal máximo del hidrograma de entrada para la crecida correspondiente al periodo de retorno de diseño y condiciones de máximo desarrollo (m^3/s)
- Q_{evac} : caudal máximo que puede evacuar la cámara de descarga empleado para dimensionar el conducto de salida (m^3/s)

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- FERNÁNDEZ B. *et al* (1996): *Técnicas alternativas para soluciones de aguas de lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño*. MINVU. Santiago (Chile).

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

- AQUAVAL (2013): *Revisión del Estado del Arte de los Sistemas de Drenaje Sostenible (SUDS)*.
- FERNÁNDEZ B. *et al* (1996): *Técnicas alternativas para soluciones de aguas de lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño*. MINVU. Santiago (Chile).
- KWOK, A.G y GRONDZIK, W.T. (2011): *The Green Studio Handbook. Environmental strategies for schematic design*. Second Edition. Ed. Elsevier Inc.
- SFPUC-San Francisco Public Utilities Commission (2009): *Storm Water Design Guide Lines*. San Francisco. <http://www.sfwater.org/index.aspx?page=446>

6.3. Webs

- Drenajeurbanosostenible.org. <http://drenajeurbanosostenible.org/tecnicas-de-drenaje-sostenible/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/depositos-superficiales-de-detencion/>

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación



Fig.4 y 5. Depósitos de detención en parque urbano en Champaign, Illinois. (Stormwaterpa.org)



Fig.6. Depósito de detención en área deportiva con canal de bajo flujo. Fuente: udfcd.org.

AP-DS-12: ESTANQUES DE RETENCIÓN

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Lagunas de retención
- Estanques, lagunas o lagos artificiales

1.2. Términos utilizados en inglés

- Stormwater, retention or wet ponds

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Se diseñan para almacenar el agua de lluvia recogida en el entorno y, tras un periodo de retención de la escorrentía de 2-3 semanas, se produce, finalmente, su evaporación o infiltración en el terreno. Están diseñadas para garantizar, por tanto, largos periodos de retención para favorecer la sedimentación y la absorción de nutrientes por parte de la vegetación, que es fundamental en estas tecnologías.

Son lagunas artificiales con lámina permanente de agua (de profundidad entre 1,2 y 2 m) que permiten la proliferación de flora y fauna acuáticas, tanto emergente como sumergida. El volumen de agua constante oculta bancos de sedimentos antiestéticos e incrementa el rendimiento en la eliminación de nutrientes, metales pesados, coliformes y materia orgánica. Se diferencian de los *humedales* en su mayor profundidad y menor cubierta vegetal.

Ya que requieren un caudal base elevado, este tipo de estanque se utiliza en estrategias de control regional. Suelen combinarse, además, con otros sistemas para optimizar la capacidad de tratamiento en relación a la superficie.

Su función es similar a la de las *cunetas verdes biológicas* pero con la diferencia de que estas últimas, ante todo, transportan el flujo de agua mientras que los *estanques* son

el lugar de destino de una determinada cantidad de agua que es mantenida en él hasta que se evapora o se infiltra en el terreno.

2.2. Componentes de la tecnología

La configuración típica de los estanques de retención incluye un *cuenco o elemento disipador de energía*, una *zona de inundación permanente* y otra *zona de inundación variable*.

El cuenco disipador es una pequeña depresión del terreno que permite la sedimentación de elementos suspendidos de tamaño medio.

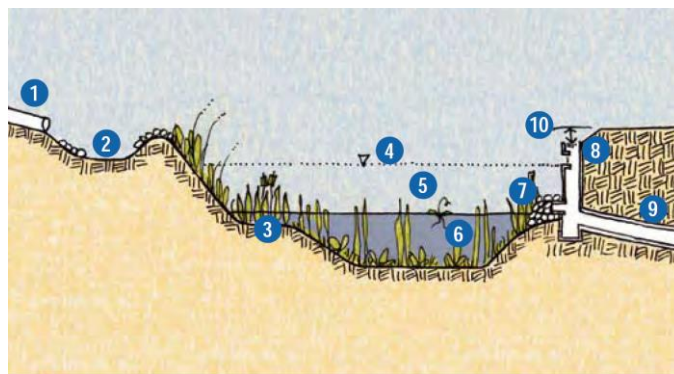
2.3. Forma de funcionamiento

Una *laguna de retención* mantiene un volumen permanentemente ocupado por agua, el cual es reemplazado total o parcialmente durante las tormentas. Sobre este volumen permanente, se provee un volumen adicional destinado a amortiguar las crecidas provocadas por la escorrentía de lluvia. De este modo, el estanque captura y realiza el tratamiento de aguaceros que, generalmente, movilizan grandes cantidades de contaminación.

Que será eliminada gracias a los largos periodos de retención de la escorrentía (2-3 semanas) que promueven su sedimentación y la absorción de nutrientes por parte de la vegetación.

En aquellos climas, como el Mediterráneo, que se caractericen por tener largos periodos de sequía, los estanques de retención pueden permanecer secos durante la época estival o ser alimentados con una fuente alternativa de agua si se pretende mantener el hábitat acuático durante todo el año. Además, la existencia de un volumen de agua permanente es la que asegura buenos niveles de tratamiento de la contaminación.

2.4. Definición constructiva



1. Entrada de agua.
2. Pretratamiento y cuenco disipador.
3. Franja de ribera
4. Volumen principal.
5. Volumen variable, de crecidas frecuentes.
6. Volumen permanente.
7. Abertura de salida.
8. Aliviadero con filtros.
9. Conducto de salida hacia la red o cuerpo receptor.
10. Altura de borde > 0,3 m.

Fig.1. Componentes de un estanque de retención. (SFPUC, 2009)

2.5. Imagen del resultado



Fig.2. Estanque de retención en la ciudad de Winnipeg (Canadá). (Web de Winnipeg)

2.6. Clasificación en tipologías

- *Estanque de retención estándar*
Es aquel en el que el volumen de agua permanente es igual al volumen de calidad de agua.
- *Estanque de retención extendido*
Es aquel en el que el volumen de agua permanente representa un porcentaje mayor al 50% al volumen de calidad de agua.
- *Microestanque de retención*
Es aquel en el que el volumen de agua a tratar es inferior a una quinta parte (20%) del volumen de calidad, siendo el rendimiento de tratamiento bueno para pequeñas cuencas de unas 4 hectáreas.
- *Sistemas de estanques múltiples*
En este caso, la suma del volumen de todos los estanques componentes del sistema es igual al volumen de calidad de agua.
Al incrementar los tiempos de retención del agua, la eliminación de sustancias no deseables es más efectiva pero, en contraposición, necesitan de más espacio.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Al requerir un caudal base elevado, este tipo de estanque se utiliza en estrategias de control regional. Necesita grandes extensiones del área de drenaje, de aproximadamente 10 hectáreas.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Dependerá de las características del terreno, las necesidades de excavación e impermeabilización, obras de aporte, etc...

4.2. Fuentes de referencia

Se elaborará a partir de las Bases de Costes de la Construcción.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Necesita grandes extensiones del área de drenaje, de aproximadamente 10 hectáreas.

El principal requisito del lugar de ubicación es que disponga de un flujo de agua continuo de buena calidad para mantener el volumen de agua permanente. Una manera de asegurar un flujo de agua permanente es colocar la laguna bajo el nivel del agua subterránea del lugar, si éste no es muy profundo, **evitándose zonas próximas a acuíferos**. Además, para cumplir con el objetivo principal de disminuir los caudales máximos se debe colocar la laguna inmediatamente aguas abajo de la zona urbanizada que sirve, descargando hacia el sistema de drenaje.

Se recomienda un diseño con dos niveles de la laguna, considerando una zona litoral de menor profundidad y otra central más profunda.

- La *zona litoral*: Debiera tener profundidades del orden de 0,15 a 0,5 m. y ocupar entre el 25% y el 50% de la superficie de la laguna. En esta zona, que

debiera tener un ancho de al menos 3m, se favorece el crecimiento de plantas acuáticas y actúa además como borde de seguridad.

- La *zona central*: Permite la sedimentación y la digestión de nutrientes por parte del *fitoplancton* y, para ello, debe contar con profundidades entre 1,2 m y hasta 2,5 m. La profundidad máxima no debiera ser mayor que 3,5 m para el nivel de agua permanente. La razón entre el largo y el ancho máximo no debe ser menor de 2 y, cuando sea posible, al menos de 4.

La pendiente longitudinal del perfil no puede superar el 15% y la diferencia de cotas entre la entrada y la salida ha de estar comprendida entre 1,2 y 1,8 metros. Es recomendable sellar tanto el fondo como las paredes del volumen permanente y dejar solamente las áreas de contacto con los volúmenes superiores sin sellar. No obstante, determinados terrenos pueden reunir condiciones de impermeabilidad suficientes, que se mejoran con los procesos iniciales de sedimentación de finos.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

Las condiciones de la construcción son similares a las de los depósitos de detención superficiales. Los estanques habitualmente se construyen excavados en el terreno con pequeños muros que represan las zonas bajas del terreno cuyos taludes tienen unas pendientes que están muy por el lado de la seguridad.

En relación a la excavación del terreno, se deben apreciar previamente todos los aspectos que pueden resultar en conflictos durante la construcción: problemas geológicos o ambientales, existencia de otras obras o construcciones, infraestructuras subterráneas, etc.

Será necesario comprobar que las condiciones de mecánicas e hidráulicas del terreno son las previstas y comprobar que se mantienen las previsiones en cuanto a impermeabilización, uso de los terrenos para estabilizar taludes, etc...

Otro aspecto importante es el control de los niveles de todas las obras, especialmente en los dispositivos de evacuación y descarga.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Las principales actividades de mantenimiento de este tipo de lagunas están relacionadas con la remoción de sedimentos, cuya frecuencia depende de la producción de ellos en la cuenca aportante y, por lo tanto, de las medidas de control de erosión y actividades de construcción que se desarrollen. Con un programa de control de erosión bien desarrollado, se estima que la frecuencia de remoción de sedimentos de estas lagunas es del orden de 1 vez cada 5 a 20 años.

De todas maneras, hay que inspeccionarlos y limpiarlos periódicamente y necesitan el cuidado de la vegetación presente cortando periódicamente la hierba y eliminando los restos correspondientes. También es necesario eliminar otro tipo de residuos y cualquier elemento que obstruya la circulación del agua.

Por último, es importante reparar las áreas erosionadas o dañadas.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

En una laguna de retención, el **volumen total** es la suma de varios volúmenes parciales, cada uno de los cuales se estima para satisfacer una función particular.

- *Volumen principal*: Es la capacidad de la laguna desde el nivel de agua permanente hasta el umbral del vertedero de seguridad. Este volumen se calcula para retener la crecida generada por la lluvia de proyecto.

$$V_{principal} = 0,5 T_b (Q_{me} - Q_{evac})$$

Donde $V_{principal}$: volumen estimado para almacenar la crecida (m^3)

T_b : tiempo base del hidrograma de entrada igual al doble del tiempo de concentración de la cuenca aportante (sg)

Q_{me} : caudal máximo del hidrograma de entrada para la crecida de periodo de retorno de diseño y condiciones de máximo desarrollo (m^3/s)

Q_{evac} : caudal máximo que puede evacuar la cámara de descarga, , empleado para dimensionar el conducto de salida (m^3/s)

- *Volumen de agua permanente*: Este volumen depende de los otros fines de regulación de la laguna, los aportes que reciba, o los niveles del agua subterránea en el lugar. Para ello el fondo de la laguna debe colocarse a un nivel que asegure que esta zona esté permanentemente con agua.

Por otro lado, a través de <http://daywater.in2p3.fr/EN/src/tools/bmp2Tools.php> se accede a una tabla de cálculo que permite dimensionar la **superficie del estanque**, a partir de su profundidad, del área de recogida, la carga hidráulica y el tiempo de retención necesario para la eliminación de los contaminantes.

Por su parte, Kwok y Grondzik (2011) en "The Green Studio Handbook" proponen un sistema para el cálculo del área del estanque de retención a partir de las áreas de recogida de aguas y sus coeficientes de escorrentía, usando el Método Racional.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- FERNÁNDEZ B. *et al* (1996): *Técnicas alternativas para soluciones de aguas de lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño*. MINVU. Santiago (Chile).
- PROYECTO DAYWATER: <http://daywater.in2p3.fr/EN/src/tools/bmp2Tools.php>
- KWOK, A.G y GRONDZIK, W.T. (2011): *The Green Studio Handbook. Environmental strategies for schematic design*. Second Edition. Ed. Elsevier Inc.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguna que destacar.

6.2. Bibliografía

- AQUAVAL (2013): Revisión del Estado del Arte de los Sistemas de Drenaje Sostenible (SUDS).
- CIRIA (1996): *Infiltration drainage. Manual of good practice*. Report 156, Construction Industry Research & Information Association, Londres.
- FERNÁNDEZ B. *et al* (1996): *Técnicas alternativas para soluciones de aguas de lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño*. MINVU. Santiago (Chile).
- KWOK, A.G y GRONDZIK, W.T. (2011): *The Green Studio Handbook. Environmental strategies for schematic design*. Second Edition. Ed. Elsevier Inc.
- SFPUC-San Francisco Public Utilities Commission (2009): *Storm Water Design Guide Lines*. San Francisco. <http://www.sfwater.org/index.aspx?page=446>

6.3. Webs

- Drenajebanosostenible.org. <http://drenajebanosostenible.org/tecnicas-de-drenaje-sostenible/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/estanques-de-retencion/>
- PROYECTO DAYWATER: <http://daywater.in2p3.fr/EN/> y <http://daywater.in2p3.fr/EN/guide/UsersGuide.htm>

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación



Fig.3 y 4. Estanque de retención en área residencial de Seattle (EEUU). (Clean Water America Alliance)



Fig.5. Estanque de retención en City Park en Denver (EEUU). (EPA)



Fig.6. Estanque de retención en Campus de la Universidad de Shenzhen (China). (Hai Zang)

AP-DS-13: HUMEDALES ARTIFICIALES PARA AGUAS PLUVIALES

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Humedales de agua de lluvia.

1.2. Términos utilizados en inglés

- Constructed stormwater
- Wetlands

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Son dispositivos artificiales para el almacenamiento de agua de escorrentía y flujos subterráneos, de escasa profundidad y con una elevada densidad de vegetación emergente, propia de pantanos y zonas húmedas. Esta alta cantidad de vegetación hace que sean capaces de generar altos niveles de bioeliminación de contaminantes. Además de la gran efectividad en el control de la calidad del agua, también son de utilidad en el control del volumen de escorrentía pero, como en el caso de los humedales naturales, requieren un caudal continuado o un nivel freático elevado para que la vegetación del medio no desaparezca.

También es importante ser consciente de que tiene un limitado rango de calados efectivos para la atenuación de flujo, que se limita a la capacidad de volumen almacenado por encima del volumen permanente, y, por lo tanto, menor capacidad de regulación y de protección del medio receptor ante aguaceros intensos que los depósitos de detención o las lagunas de retención.

Por otro lado, una de las ventajas más significativas de estas técnicas es que aportan al lugar en el que son emplazadas un gran potencial ecológico, educacional, recreativo y estético.

Por último, es importante resaltar la distinción entre los humedales artificiales para la gestión de agua de lluvia y los destinados al tratamiento de aguas residuales (ver *Ficha tecnológica AR-TS-13*), los cuales tienen criterios de diseño y dimensionamiento diferentes.

2.2. Componentes de la tecnología

Para que los rendimientos de funcionamiento sean adecuados, en el diseño de cualquier humedal, hay que dimensionar cuatro zonas interdependientes con varias profundidades. Estas cuatro zonas, cuyas características se exponen en el apartado de *Recomendaciones de diseño* son:

- Zona de aguas profundas
- Zona baja de vegetación emergente
- Zona alta de vegetación emergente
- Zona inundable

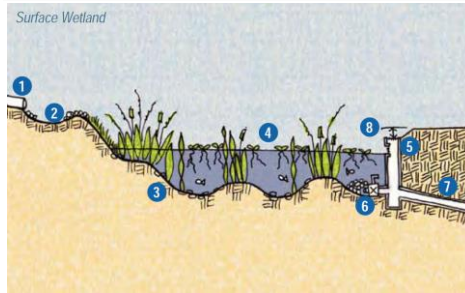
2.3. Forma de funcionamiento

El agua es almacenada en la cuenca donde la vegetación consigue altos niveles de bioeliminación de contaminantes.

En cuanto al control de calidad de agua, cabe indicar que, en los humedales, la eliminación de contaminación se produce por la presencia de vegetación emergente, de zonas inundables y de algas, así como por los mecanismos de filtración y sedimentación de partículas, pudiendo llegar a presentar altos rendimientos (entre el 50-90%) en la eliminación de contaminantes como sólidos en suspensión, metales pesados, nitrógeno y coliformes.

La presencia de aguas freáticas puede ayudar a mantener la vegetación en estaciones secas. No obstante, será fundamental considerar la sensibilidad de los acuíferos cercanos e impermeabilizar el humedal en caso necesario.

2.4. Definición constructiva



1. Entrada de agua
2. Pretratamiento y cuenco disipador.
3. Superficie irregular e el fondo
4. Superficie de la lámina de agua
5. Aliviadero con filtros
6. Válvula para drenaje y mantenimiento.
7. Conducto de salida hacia red o cuerpo receptor.
8. Resguardo mínimo de 0.3m.

Fig.1. Componentes de un humedal artificial (SFPUC, 2009)

2.5. Imagen del resultado



Fig.2 y 3. Humedales artificiales

2.6. Clasificación en tipologías

- **Humedal poco profundo.**
Es aquel cuyo volumen de agua permanente puede oscilar entre el volumen de calidad y el triple de su valor, por lo que ocupa una gran extensión. La mayor parte del *volumen permanente* de agua está en las zonas de altas y bajas marismas, de menor calado que las zonas de agua sin vegetación emergente.
- **Humedal poco profundo de detención extendida.**
Es aquel en el que el *volumen permanente* es sólo una fracción del volumen de calidad de agua. El resto del volumen de calidad se almacena por encima del volumen permanente y se le proporciona una detención de 24 horas. Posee un rendimiento de eliminación similar a los anteriores, pero requieren menos espacio.
- **Sistema de humedales–estanques.**
Está compuesto por dos zonas, un *estanque de retención* donde se retienen los sólidos más gruesos y una *zona de marisma somera con vegetación* donde se eliminan más contaminantes.
- **Pequeños humedales.**
Se diseñan para cuencas drenantes más pequeñas (entre 2 y 5 hectáreas). Suelen requerir que la excavación alcance el nivel freático para mantener el volumen permanente del estanque.
- **Humedales subsuperficiales (o filtros vegetales de grava)**
Conocidos también como *filtros vegetales de grava*, son sistemas en los que el agua fluye siempre por debajo de la superficie del sustrato. Suelen precisar menos superficie y previenen problemas de aparición de mosquitos, aunque son más caros de construir y mantener. Suelen estar plantados con vegetación de ribera (eneas, carrizos, etc...).

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Permiten la gestión de la escorrentía **en zonas residenciales de no muy alta densidad aunque pueden construirse a diferentes escalas**, dependiendo del nivel de urbanización.

Con ciertos cuidados, pueden utilizarse donde las aguas subterráneas son vulnerables, pero el suelo ha de impermeabilizarse si hay algún acuífero cercano.

No son convenientes en sitios con pendiente.

Requieren de una elevada ocupación del suelo (en torno a las 10 Has, aunque existe alguna tipología con extensión algo menor (de entre 2 y 5 Has) y un flujo base mínimo. Es muy importante asegurar siempre dicho flujo base, especialmente en períodos de sequía, ya que es imprescindible para mantener con vida la flora y la fauna que habitan en el humedal.

Tiene un limitado rango de calados efectivos para la atenuación de flujo.

El rendimiento es susceptible de variar con las entradas de sedimentos y pueden aparecer problemas de *eutrofización*.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Variará en función de la tipología.

4.2. Fuentes de referencia

Se elaborará a partir de las Bases de Costes de la Construcción.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Las áreas de drenaje han de estar en torno a las 10 hectáreas, aunque existe alguna tipología con extensión algo menor (entre 2 y 5 Has).

En general, los estanques suelen ocupar entre el 3-5 % del área drenante y requieren para su adecuado mantenimiento un flujo de agua suficiente para mantener su flora y fauna en épocas de estiaje.

Aunque se recomienda ubicarlos en áreas llanas, estas pueden tener un poco de pendiente longitudinal pero que no ha de superar el 8%-15%. Además, es necesario mantener una mínima diferencia de cotas entre la entrada y la salida (entre 0,9 y 1,5 m) para garantizar el flujo por gravedad y, al igual que los estanques de retención, podrán situarse en cualquier tipo de suelo, aunque será necesario adaptar el diseño a las condiciones locales.

La salud de la vegetación es un aspecto crucial a considerar para que el correcto funcionamiento de los humedales artificiales. Entre otros motivos, para un adecuado crecimiento de las plantas se requiere que los humedales tengan diferentes profundidades. Para que los rendimientos de funcionamiento sean adecuados, en el diseño de cualquier humedal, hay que dimensionar cuatro zonas interdependientes con varias profundidades:

- *Zona de aguas profundas*: En la zona donde se desarrolla vegetación sumergida y flotante y debe tener un calado entre 0,5 y 1,8 m.
- *Zona baja de vegetación emergente*: Tiene pequeño calado, entre 6 cm y 0,5 m.
- *Zona alta de vegetación emergente*: Zona en la que hay que incorporar una gran variedad de especies vegetales y su extensión ha de ser superior a la de la zona baja. Su calado que va desde los 6 cm hasta el nivel normal del estanque.
- *Zona inundable*: Es la zona situada por encima del volumen permanente y que se inunda durante los episodios de mayor intensidad.

Por otro lado, recordar que el suelo ha de impermeabilizarse si hay algún acuífero cercano que se pueda contaminar.

Pueden combinarse con cunetas verdes, zanjas filtrantes u otro tratamiento previo, de manera que se mejore la eficacia y se reduzcan las necesidades de mantenimiento. La existencia de elementos de pretratamiento es la clave para garantizar un correcto funcionamiento de los humedales.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

En relación a la excavación del terreno, se deben analizar previamente todos los aspectos que pueden resultar en conflicto durante la construcción: problemas geológicos o ambientales, existencia de otras obras o construcciones, infraestructuras subterráneas, etc...

Será necesario comprobar que las condiciones mecánicas e hidráulicas del terreno son las previstas y comprobar que se mantienen las previsiones en cuanto a impermeabilización, uso de los terrenos para estabilizar taludes, etc...

Durante la excavación y ejecución muchos humedales pierden materia orgánica del suelo, que juega un papel importante en la eliminación de contaminación. Si fuese necesario se deberá añadir o restablecer la materia orgánica después de la construcción para mejorar el funcionamiento.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Para facilitar el mantenimiento, se construirán caminos de acceso al estanque, que sean suficientemente anchos y de pendiente adecuada, que garanticen el acceso a todos los elementos (pretratamiento, desagüe, aliviadero, etc...).

Los humedales se deben inspeccionar tras los mayores aguaceros durante el primer año, observando la estabilidad del dique, la erosión, la canalización del flujo y la acumulación de sedimentos debiéndose eliminar los elementos acumulados en las entradas y salidas de agua, además de todo tipo restos y residuos que puedan haberse acumulado en otras zonas.

En cuanto a la vegetación, ésta se debe inspeccionar periódicamente porque los humedales pueden llegar a generar muchas molestias por la presencia de mosquitos, malos olores o suciedad si estas labores de mantenimiento no se llevan a cabo de forma correcta. Hay que comprobar que no se han asentado especies invasoras lo que aumentaría los requerimientos de mantenimiento para eliminarlas. Además, se realizarán plantaciones adicionales hasta que la vegetación esté consolidada.

Realmente, para mantener en buen estado la vegetación, se necesitarán técnicos con conocimientos avanzados de botánica.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado

El método dependerá de la tipología del humedal, la existencia de tratamientos previos y la necesidad de laminación de caudales.

Mediante <http://daywater.in2p3.fr/EN/src/tools/bmp2Tools.php> se accede a una tabla de cálculo que permite dimensionar la superficie del humedal, a partir de su profundidad, del área de recogida, la carga hidráulica y el tiempo de retención necesario para la eliminación de los contaminantes.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- PROYECTO DAYWATER: <http://daywater.in2p3.fr/EN/src/tools/bmp2Tools.php>

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguna que destacar.

6.2. Bibliografía

- AQUAVAL (2013): Revisión del Estado del Arte de los Sistemas de Drenaje Sostenible (SUDS).
- CALIFORNIA STORMWATER QUALITY ASSOCIATION (2003): *California Stormwater BMP Handbook: New development and redevelopment*. TC-10.
- CIRIA (1996): *Infiltration drainage. Manual of good practice*. Report 156, Construction Industry Research & Information Association, Londres.
- SFPUC-San Francisco Public Utilities Commission (2009): *Storm Water Design Guide Lines*. San Francisco. <http://www.sfwater.org/index.aspx?page=446>
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1999): *Stormwater Technology Factsheet: Infiltration trench*. EPA 832-F-99-019, US EPA, Office of Water, Washington DC.

6.3. Webs

- Drenajeurbanosostenible.org. <http://drenajeurbanosostenible.org/tecnicas-de-drenaje-sostenible/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/humedales/>
- PROYECTO DAYWATER: <http://daywater.in2p3.fr/EN/> y <http://daywater.in2p3.fr/EN/guide/UsersGuide.htm>

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación



Fig.4. Vista aérea de un humedal artificial en Texas. (Alan Plummer Associates, Inc)

2.3.1.1.1.1. AGUAS RESIDUALES

AGUAS RESIDUALES

SISTEMAS SEPARATIVOS

AR-SS-01: INODORO SECO

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Inodoro seco de compostaje o compostero
- Sanitario seco o ecológico
- Sistema de saneamiento seco

1.2. Términos utilizados en inglés

- Dry toilet
- Composting toilet

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

La tecnología consiste en un sistema de evacuación de aguas residuales que separa los sólidos de los líquidos para su tratamiento independiente y óptimo, permitiendo recuperar y reciclar tanto nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) como materia orgánica para las plantas.

Se suelen usar inodoros que permiten tratar las excretas humanas de forma saludable aprovechando los ciclos biológicos naturales para transformar la materia orgánica en un producto inofensivo para la salud y apropiado para nutrir el suelo. También permite el uso de la orina como fertilizante natural, tras el correspondiente tratamiento.

En resumen, utiliza los nutrientes presentes en la orina y las heces así como la materia orgánica para su aplicación en terreno siendo, por tanto, un sistema respetuoso con el medio ambiente que, además, suma un gasto prácticamente nulo de agua siendo sólo necesaria la correspondiente a la limpieza.

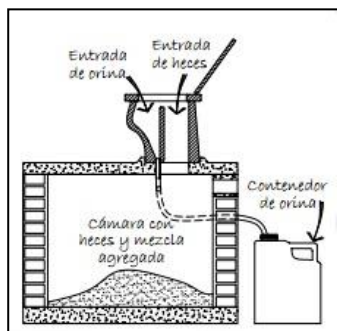


Fig.1. Esquema de saneamiento seco.

2.2. Componentes de la tecnología

Este tipo de inodoro separa las heces y orina y para ello cuenta con los siguientes elementos:

- Depósito, bidón cámara recolectora: Es donde se recoge la orina.
- Contenedor con dos cámaras: Es el que recoge las heces y está directamente conectado a la descarga del inodoro mediante una tubería que tiene un dispositivo que impide la visibilidad dentro de la cámara, fácilmente desmontable para su limpieza.

Por otro lado, es necesaria una cámara para que se produzca el compostaje que será un sistema más o menos complejo en función de la tipología elegida (individual, comunitaria, etc...)

2.3. Forma de funcionamiento

En estos sistemas, la materia orgánica y la inorgánica son separadas en origen. Siguen su propio circuito donde mediante una serie de procesos simplificados se consigue reducir la biomasa en un 90-95% convirtiéndolo en materia orgánica desactivada, desprendiendo vapor de agua y dióxido de carbono.

En concreto, el sistema toma cualquier tipo de materia orgánica (heces fecales, papeles, etc...) y, tras su deposición, el usuario añade material seco (paja, madera, tierra, etc...) para evitar su visibilidad y hedor. Posteriormente, y ya en la cámara o tanque de compostaje correspondiente, se produce la descomposición del material seco mediante procesos biológico-anaerobios, creándose finalmente abono o *compost*, a través de un proceso natural de, al menos, un año que puede ser utilizado directamente en un jardín o en agricultura.

Por otro lado, la cámara recolectora de orina permite también almacenar la orina para que se pueda emplear como fertilizante natural, aplicándola directamente en la base de las plantas para evitar malos olores, tras un periodo mínimo de un mes.

2.4. Definición constructiva

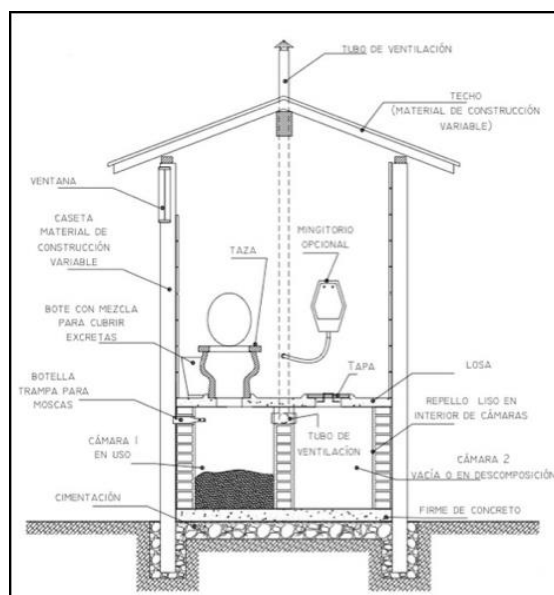


Fig.1. Esquema de la instalación de un baño seco (Castillo, 2002)

SISTEMATIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA UNA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL CICLO URBANO DEL AGUA.
REPERCUSIONES ESPACIALES, CONSTRUCTIVAS Y ECONÓMICAS EN LA EDIFICACIÓN Y EL URBANISMO.

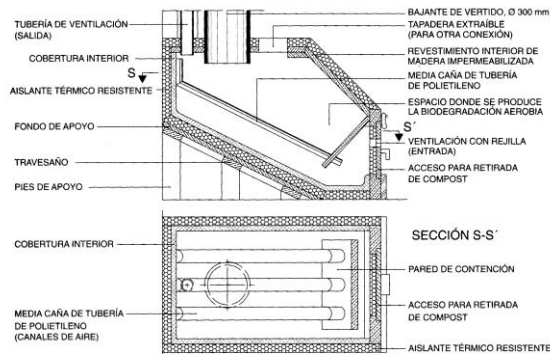


Fig.2: Esquema de un baño seco (Castillo, 2002)

2.5. Imagen del resultado

(Ver *Clasificación en tipologías*)

2.6. Clasificación en tipologías

• **Con compostaje "in situ"**

El mismo inodoro tiene un depósito específico para la recogida.

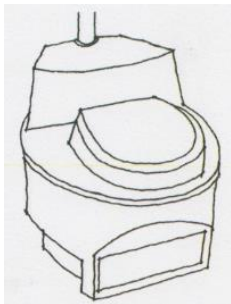


Fig.3. Detalle (Kwok y Grondzic, 2011)

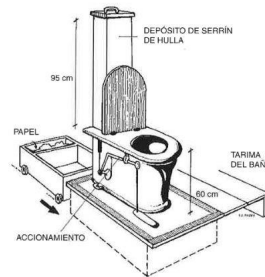


Fig.4. Detalle (Palma, 2003)



Fig.5. Imagen de inodoro seco *in situ* (www.composttoilet.eu/, 2015)

• **Con tanque de compostaje "remoto"**

El tanque de compostaje se encuentra en otro espacio y podría recoger residuos de varias unidades juntas.

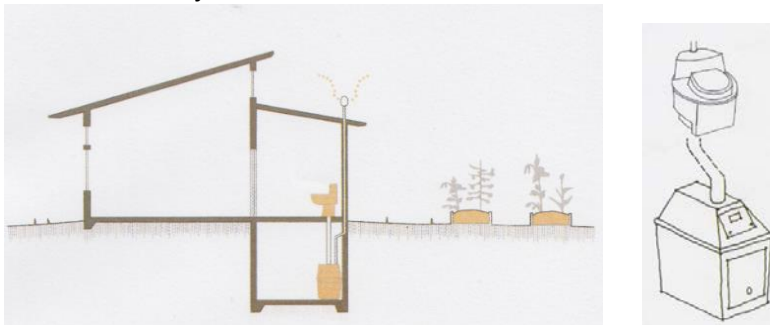


Fig.6. Esquema de saneamiento seco con tanque "remoto" (Kwok y Grondzic, 2011)

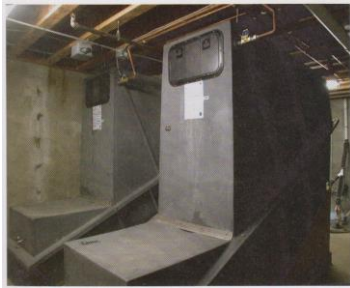


Fig.7. Imagen tanque "remoto" en sistema de saneamiento seco (Kwok y Grondzic, 2011)

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Sus **aplicaciones recomendadas** son las siguientes:

- Zonas o entornos protegidos.
- Zonas rurales en las que no existen sistemas urbanos de saneamiento.
- Lugares aislados, como complejos residenciales o turísticos, con especial atención a la Sostenibilidad.

En cuanto a las **tipologías de edificios** más indicadas, son las **residenciales** por la necesidad de implicación del usuario. Aunque se pueden usar en bloque lo que supone una instalación mucho más eficiente, lo más frecuente hoy día es su aplicación en viviendas unifamiliares.

En cuanto a las **condiciones ambientales**, afectan a la velocidad del proceso como en el caso del grado de humedad, la temperatura, etc.... Por ejemplo, los incrementos de temperatura aceleran los procesos de descomposición y la amplia exposición al sol facilita la descomposición ayudando a la deshidratación de las heces.

En cuanto a los **terrenos**, hay que evitar suelos blandos y húmedos, siendo necesaria sino impermeabilización.

Por otro lado, hay que tener en consideración que es necesario siempre solucionar un sistema de ventilación directa, sin olvidar el espacio para la cámara de compostaje.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

El valor aproximado de un cajón para el compostaje de un inodoro seco en una vivienda unifamiliar es de 305,75 €.

4.2. Fuentes de referencia

- Base de Costes de la Construcción de la Junta de Andalucía (2013)

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

- Se debe construir un contenedor, normalmente con forma rectangular o cuadrada, con dos cámaras separadas.
- La profundidad de las cámaras debe ser de 50 cm. por lo que debe disponerse de tal espacio.

- Debe realizarse una abertura a cada cámara para que encajen con el inodoro.
- La conexión entre la taza y el depósito se realizará mediante tubo vertical de 300 mm de diámetro.
- El tubo de ventilación forzada, no mecánica, tendrá una dimensión de 100 mm de diámetro y no debe tener codos. Será conducido hasta la cubierta, siendo aislado en su tramo exterior, y se rematará con una pieza exterior que impida la entrada de agua e insectos.
- Dentro del depósito existirán tres áreas:
 - Área de llegada 58%
 - Áreas de oxidación 22%
 - Área retirada 20%

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

En general:

- Antes del primer uso del inodoro para la deposición de material sólido, se debe colocar en la cámara de secado una capa de 3-5 cm de material secante, al igual que la cámara que colecta la orina.

En cuanto al tratamiento de las heces:

- Después de cada uso, hay que cubrir las heces con material secante. Esto implica tener un recipiente cercano con este material y la buena disposición del usuario. Además, se deben nivelar las heces para que no se amontonen muy cerca de la taza del inodoro.
- Funcionan dos cámaras de manera alternativa. Cada 6 meses se cambia la posición del inodoro de una cámara a otra para dejar los residuos de la primera cámara reposar otros 6 meses para su estabilización. Mientras una cámara esté en uso, la otra debe estar tapada.
- Cuando una cámara esté llena (en, aproximadamente, 6 meses) se añade otra capa de material secante de unos 20 cm de espesor y, entonces, se deben dejar otros 6 meses antes de emplearlos como material de compostaje. Entonces, se introducirá en el suelo de la cercanía del tronco de los árboles, realizando un agujero previamente, que se cubrirá con la tierra del propio agujero.

En cuanto a la orina:

- Hay que verter un poco de agua en el separador de orina o en el urinario después de usarlo.
- El separador de orina se limpia con agua caliente y un poco de detergente. Se recomienda dejar la orina un mes en un depósito y diluirla a partes iguales con agua.
- En caso de utilizar la orina como fertilizante, conviene dejar de verterla sobre la planta un mes antes de la cosecha.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Según algunas publicaciones, una familia de 6 miembros llena una cámara de 500 litros en 6 meses.

Hay métodos que recomiendan que el depósito sea dimensionado considerando un volumen unitario de 35 l/hab.

Según "The Green Studio HandBook" (Kwok y Grondzic, 2011), las dimensiones son las siguientes en función del tipo de sistemas:

TABLE 4.18 Typical composting toilet dimensions

TYPE	USES/DAY	LENGTH in. [cm]	WIDTH in. [cm]	HEIGHT in. [cm]
Self-contained	6	25 [64]	33 [84]	25 [64]
Remote tank	9	44 [112]	26 [66]	27 [68]
Remote tank	12	69 [175]	26 [66]	30 [76]
Remote tank	80	115 [292]	62 [158]	64 [162]
Remote tank	100	115 [292]	62 [158]	89 [226]

Dimensions for remote tank units include the catchment tank, but not the toilet (which is a separate component).

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CASTILLO CASTILLO, L. (2002). *Sanitario Ecológico Seco. Manual de diseño, construcción, uso y mantenimiento.*
- KWOK A.G. y GRONDZIK W.T. (2011): *The Green Studio Handbook. Environmental strategies for schematic design.* 2ª Ed. Ed. Elsevier Inc. Oxford (Reino Unido). ISBN-13: 978-0080890524.
- PALMA CARAZO, I.J. (2003): *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y Técnicas de Reciclaje.* Ed. EUNSA.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

- CASTILLO CASTILLO, L. (2002). *Sanitario Ecológico Seco. Manual de diseño, construcción, uso y mantenimiento.* www.slideshare.net/PlanHuerta/castillo-lourdes-manual-sanitario-ecologico-seco
- KWOK A.G. y GRONDZIK W.T. (2011): *The Green Studio Handbook. Environmental strategies for schematic design.* 2ª Ed. Ed. Elsevier Inc. Oxford (Reino Unido). ISBN-13: 978-0080890524.
- PALMA CARAZO, I.J. (2003): *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y Técnicas de Reciclaje.* Ed. EUNSA.
- SASSI, P. (2006): *Strategies for sustainable architecture.* Ed. Taylor & Francis e-Library, Oxon-New York (EEUU), http://library.uniteddiversity.coop/Ecological_Building/Strategies_for_Sustainable_Architecture.pdf

6.3. Webs

- Manual de construcción de baño ecológico seco. <http://es.scribd.com/doc/24456867/manual-de-construccion-de-bano-ecologico-seco>
- Sanitario ecológico. <http://www.sanitario-ecologico.com/sanitarioecologico.html>
- www.aguapedia.org

- <http://www.slideshare.net/PlanHuerta/castillo-lourdes-manual-sanitario-ecologico-seco>
- <http://www.dwc-water.com/es/tecnologias/soluciones-sanitarias/inodoro-seco-wc-seco/index.html>

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

No hay ninguno que destacar.

SISTEMAS COMPACTOS DE DEPURACIÓN

AR-SC-02: BIOJARDINERA

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Bio-jardineras

1.2. Términos utilizados en inglés

- Bioswale
- Bioplanter

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Es un sistema de tratamiento que sirve para reutilizar las aguas grises usando un medio natural. Es un sistema de tipo compacto y naturalizado, frente a los automatizados existentes, que permite la creación de pequeñas zonas ajardinadas a nivel edificatorio y urbano.

En concreto, consiste en una excavación con un lecho de piedras en la que se colocan plantas autóctonas.

2.2. Componentes de la tecnología

Los elementos de depuración son:

- El *lecho de piedras*: Suele estar formado por piezas de tamaños comprendidos entre 19 a 75 mm.
- El *manto de plantas de raíces largas*: Es relativamente común el uso de plantas de ribera, macrófitas... tipo platanillos, heliconias, enneas, juncos o césped común de caña.

El sistema completo incluye un pretratamiento de grasas, la biojardineria propiamente dicha y un tanque donde almacenar el agua tratada.

2.3. Forma de funcionamiento

El *lecho* es atravesado por el agua gris en régimen subsuperficial, previo desengrasado y desarenado de la misma.

Tras dicho pretratamiento, se producen dos tipos de tratamiento:

- *Tratamiento Físico*: Se realiza por filtración horizontal.
- *Tratamiento Biológico*. Se produce mediante la extracción de materia por parte de las plantas e inoculación de oxígeno que se lleva a cabo, simultáneamente por las raíces.

Finalmente, los efluentes mejoran la calidad de las aguas, lo que permite su reutilización, por ejemplo, para riego.

2.4. Definición constructiva

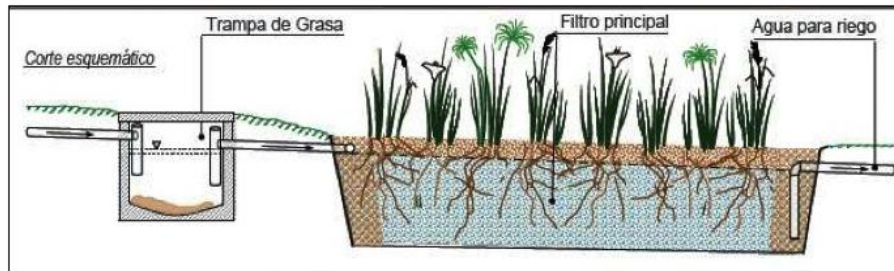


Fig. 1. Esquema implantación (ACEPESA, 2008)

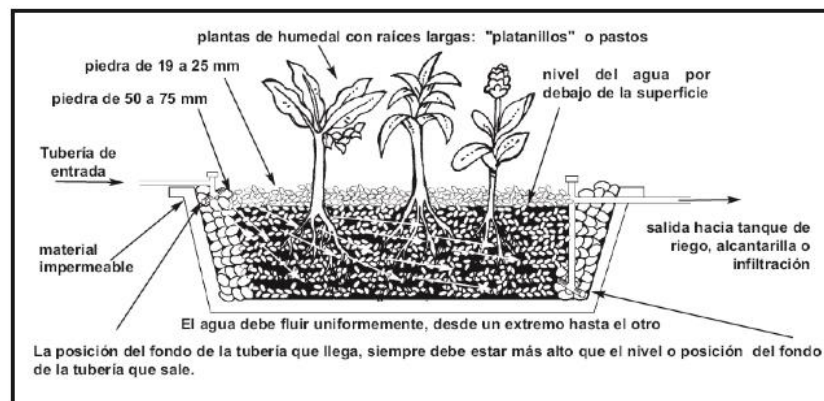


Fig. 2. Esquema funcionamiento (ACEPESA, 2008)

2.5. Imagen del resultado



Fig.3 y 4. Imagen implantación (www.dot.ca.gov y www.phillywatersheds.org)

2.6. Clasificación en tipologías

No hay ninguna que destacar.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Con esta tecnología se pueden **crear jardineras y pequeños jardines urbanos para reutilizar aguas grises**, para su posterior aplicación en riego de jardines y cultivos

agrícolas. **También** puede ser utilizada cuando es difícil el acceso a alguna red de saneamiento **de aguas residuales** para poderlas tratar, por ejemplo, combinada con la tecnología del *baño seco* (ver *Ficha Tecnológica AR-SS-01*).

Se puede utilizar de manera individualizada por **viviendas pero no podrán ser de uso temporal**, a no ser que se disponga de sistema de riego para las biojardineras.

Se deben evitar superficies con pendientes superiores al 5%.

El tipo de terreno será preferiblemente blando, para que se pueda excavar por medios manuales y funcionará bien con un bajo nivel freático.

En cuanto a las condiciones ambientales, también influyen. Por ejemplo, las lluvias arrastran mayores cantidades de arenas y aumentan el caudal de agua en el sistema y el soleamiento influye en el proceso fotosintético de las plantas que se elegirán en función del clima a su vez.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

No se ha localizado ninguna referencia.

4.2. Fuentes de referencia

No hay ninguna que destacar.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

El sistema compacto naturalizado completo necesita suficiente espacio pues, aunque la biojardinera es el elemento de mayor dimensión conformado por el lecho y el manto de plantas, necesita un pretratamiento de eliminación de grasas previo al tratamiento en sí y un tanque de almacenamiento posterior para el agua tratada.

La forma de la biojardinera será rectangular, con una profundidad inferior a 0,85 m. El tamaño dependerá del número de habitantes equivalentes.

Hay que tener especial cuidado en la ubicación de la biojardinera en relación a las tuberías de saneamiento de aguas grises.

Las tuberías de entrada y salida dispondrán de ranuras permitiendo una carga y descarga uniforme. La tubería de salida, irá a 5cm de la pared y situada a una cota inferior a la de entrada fluyendo el agua por gravedad.

El nivel de agua debe mantenerse unos 10 cm por debajo de la superficie de la biojardinera para evitar malos olores.

Además, hay que impermeabilizar el terreno colocando una lámina de plástico de espesor $\geq 1,4$ m.

Por último, se recomienda emplear un filtro de arena a la salida del sistema (Vver *Ficha tecnológica AR-TT-22*).

5.1.2. Recomendaciones constructivas

Las plantas de este sistema se deben sembrar una semana después de que el sistema comience a funcionar. Con una ubicación de cota inferior al punto de concentración de las aguas grises.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Para un correcto mantenimiento hay que:

- Evitar la proliferación excesiva de plantas recortando y raleando, debido al alto contenido en nutrientes del agua.
- Extraer grasas de la unidad de pretratamiento y de los sólidos del fondo una vez por semana.
- Remover las piedras, lavarlas y volver a colocarlas en su sitio si se producen problemas de atasco del sistema que se reflejen en la aparición de charcos o problemas de flujo del agua.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Los **datos previos** necesarios para el cálculo son:

- Caudales (medio y máximo)
- DBO₅ del agua a tratar.

Se puede hacer un primer **predimensionado**:

- En general, 1m³ de biojardinera puede procesar en torno a 5 litros de aguas grises.
- Se recomienda una superficie superior a 0,5 m² por persona.

Parámetro	Rangos máximos permisibles promedio diario
pH	6-9
Sólidos en suspensión totales (mg/l)	100
Sólidos sedimentables (mg/l)	1.0
DBO ₅ (mg/l)	110
DQO (mg/l)	220
Grasas y aceites (mg/l)	20
Sustancias activas al azul de metileno (mg/l)	3

En el **dimensionado**, se calcularán los siguientes parámetros:

- *Profundidad del lecho de las jardineras*: 0,4–0,85m. A mayor profundidad, menor requerimiento de área, pueden alcanzarse condiciones anaerobias.
- *Velocidad de reacción*: $k_r = k_{20} (1.06^{(T-20)})$; siendo $K_{20} = 1.19 \text{ d}^{-1}$.
- *Tiempo de residencia hidráulica*: $\text{TRH} = [-\ln(C/C_0)] / k_r$. Siendo “C” y “C₀” las concentraciones de DBO a la salida y a la entrada del sistema, expresadas en mg/L. El tiempo de retención varía entre 2-4 días, aproximadamente.
- *Tasa de carga orgánica*: $L_{\text{org}} = (C \cdot d_w \cdot \eta) / t$. Donde “d_w” es la profundidad de la biojardinera, expresada en metros, y “η” la porosidad efectiva del sustrato.

Sustrato	d10 (mm)	η
Arena (media)	1	0.3
Arena (gruesa)	2	0.32
Arena con grava	8	0.35
Grava (media)	32	0.4
Grava (gruesa)	128	0.45

- *Área del terreno* (m^2): $A_s = (Q_{ave} \cdot t) / (\eta \cdot d_w)$. La única incógnita de esta ecuación es " Q_{ave} " (flujo medio diario por la biojardinera), expresado en m^3/d .
- *Ancho de la biojardinera* (m): $w = (A_s / R_A)^{1/2}$. " R_A " (proporción longitud/anchura). Crites and Tchobanoglous recomendación: entre (2:1 y 4:1), mientras que Dallas, sugiere proporciones de 4:1, 10:1 e, incluso, 30:1.
- *Longitud de la biojardinera* (m): $l = A_s / w$.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- ROSALES ESCALANTE, E. (2006): *Manual para la construcción de biojardineras. Iniciativa Integrada para un Ambiente Urbano Sostenible.*

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguna que destacar.

6.2. Bibliografía

- ROSALES ESCALANTE, E. (2006): *Manual para la construcción de biojardineras. Iniciativa Integrada para un Ambiente Urbano Sostenible.*

6.3. Webs

- www.acepesa.org
- www.aguapedia.org
- <http://greywateraction.org/>

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- Hotel Diuwak. Dominical, Costa Rica.
- Sistema comunal de tratamiento de aguas grises. Comunidad de Amagro, Puntarenas, Costa Rica.

AR-SC-03: CANAL DE SANEAMIENTO AIREADO

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Canal de saneamiento (CAS)
- Dren de aireación forzada.

1.2. Términos utilizados en inglés

- Wastewater ecological sewer

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Se trata de un sistema de saneamiento, alternativo a las conducciones de saneamiento tradicionales, que cumple la función de transportar y evacuar las aguas residuales domésticas a la vez que las trata y mejora su calidad, en situaciones en las que no sea

posible o apropiada la utilización de dichas tuberías convencionales (conservación de espacios naturales o tecnología no disponible).

Consiste en un canal de saneamiento ecológico que depura y aumenta la calidad del agua al transportarla y se ajusta a los requisitos de dimensionado del alcantarillado convencional.

2.2. Componentes de la tecnología

Se trata de un canal impermeabilizado, de sección trapezoidal, con una capa inferior de piedras que sirven de medio para el transporte subsuperficial del agua y actúan como soporte de una biopelícula depuradora.

Su disposición asegura un circuito interno de aireación natural, por medio de las dos conexiones con el exterior:

- Pozos aireadores: en los primeros metros
- Chimeneas de respiración: en los últimos metros.

Este circuito evita obstrucciones y contribuye a la mejora de calidad del agua garantizando unas condiciones mínimas de oxígeno disuelto en agua y evitando por tanto, procesos biológicos estrictamente anaerobios en el interior del dren.

El sistema se compone de tramos de canal *standard* de 10 m de longitud, conectados en serie, hasta alcanzar la longitud o la calidad de agua deseada, realizándose cualquier conexión *en espina de pez*. Cada tramo se rellena con piedra angulosa ordenada de mayor a menor tamaño (200 a 50 mm), de modo que el hueco por el que pasa el agua disminuye paulatinamente. Este hecho da lugar a pequeños aumentos de velocidad en el agua, mayores cuanto mayor es el caudal circulante, causantes de pequeñas depresiones en la misma que, a su vez, favorecen la circulación del aire procedente del exterior por el interior del canal, evitando procesos anaeróbicos severos en la masa de agua circulante.

2.3. Forma de funcionamiento

El agua residual de las viviendas, una vez pretratada, se incorpora al Canal de Saneamiento Aireado y es transportada subsuperficialmente.

Los pozos y chimeneas localizados en el primer y último metro de cada uno de los tramos garantizan el circuito de aireación pues permiten su mantenimiento anual que consiste en extraer los depósitos fangosos que han quedado en la base, introduciendo agua a contracorriente por medio de una manguera a la presión de circulación por la red.

2.4. Definición constructiva

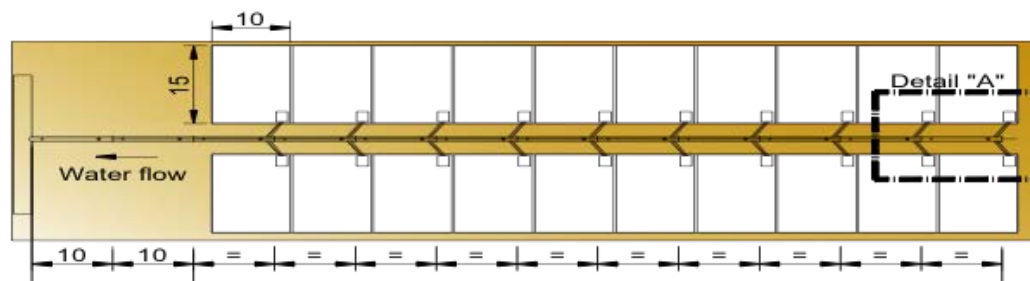


Fig.1. Esquema de conexión de viviendas a CAS (Pozo-Morales, 2010)

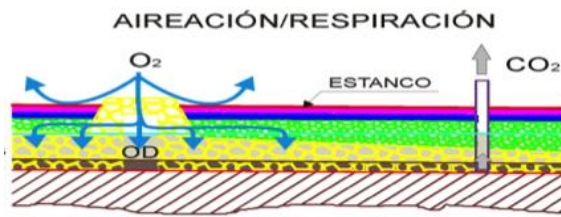


Fig.2. Perfil de un tramo de CAS (Pozo-Morales, 2010)

2.5. Imagen del resultado



Fig.3. CAS en Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (Pozo-Morales, 2010)

2.6. Clasificación en tipologías

No hay ninguno que destacar.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Se usan en saneamiento no convencional **en entornos protegidos o vulnerables o**, en general, **en lugares carentes de sistemas tradicionales de alcantarillado para el transporte y evacuación de aguas residuales** a la vez que se las somete a un tratamiento.

La mayor limitación es que el agua a tratar requiere de un pretratamiento previo y un tratamiento primario.

El terreno ideal es blando, consistente e impermeable y el nivel freático deseable >5 m

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

El coste aproximado es de 1.360 €/tramo estándar de canal (10 m).

4.2. Fuentes de referencia

Elaboración propia a partir del Base de Costes de la Construcción de la Junta de Andalucía (2013).

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Para buscar su localización idónea es importante tener en consideración la existencia de unas fases previas de pre-tratamiento y tratamiento primario que ocuparán un espacio importante.

Una vez decidida su ubicación, el sistema se compondrá de tramos de canal standard de 10 m de longitud y 1 m de anchura y profundidad (relación largo/ancho =1:10), conectados en serie hasta alcanzar la longitud (distancia en desde el punto de toma al punto de vertido, etc...) o la calidad de agua deseada. Las conexiones se realizarán siempre *en espina de pez*, por ejemplo, en el caso de acometidas a viviendas, las cuales se ubicarán siempre en el primer metro de cada tramo.

Los tramos pueden tener sección trapezoidal, siendo entonces la base de 0,5 m. La pendiente transversal ha de ser de un 1% en el canal lateral para recogida de pluviales.

No hay que olvidar los tubos de respiración que sobresalen del terreno 1 m.

La cámara de aire será $\geq 40\%$.

La profundidad de la lámina de agua \leq al 60%, fijada por vertederos.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

A la hora de construir un CAS es importante:

- Impermeabilizar el canal antes de rellenarlo con la piedra.
- Usar piedra lavada, angulosa y de tipo granítico.
- Sellar con relleno compactado de granulometría decreciente.
- Proteger los pozos aireadores y tubos respiradores con rejillas para evitar la entrada de elementos extraños.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

- Limpiar anualmente los pozos con agua en contracorriente.
- Sacar los sólidos de los pozos donde se sitúa el respirador.
- Revisar mensualmente los pozos.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Para el **predimensionado** se tendrá en cuenta una superficie unitaria de 0,13 m²/habitante.

En cuanto al **dimensionado**, se realizará según la *carga hidráulica máxima admisible*, respetando la *carga máxima orgánica y de sólidos* para evitar atascos. En concreto.

- La *carga hidráulica máxima admisible* por m² de sección transversal es 212 m³/m²d. Estará limitado por la calidad del agua.
- La carga orgánica máxima admisible por m² de sección transversal: 1000 g DBO/m²d.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- Aguapedia - Grupo TAR. aula.aguapedia.org/course/view.php?id=11

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

- GRUPO TAR (2008): *Investigación y desarrollo tecnológico en ingeniería del agua posible. Desarrollo de canales abiertos de saneamiento (CAS)*, Junta de Andalucía, Sevilla.
- GRUPO TAR (2008): *Difusión internacional de la ingeniería del agua posible. Experiencia de CAS en el exterior*, Ministerio de Medio Ambiente.

6.2. Bibliografía

- POZO-MORALES, L., FRANCO, M., GARVI, D. y LEBRATO, J. (2013): *Influence of the stone organization to avoid clogging in horizontal subsurface-flow treatment wetlands*. *Ecol Eng*, 54 (2013) p. 136-144.
- LEBRATO, J. y POZO-MORALES, L. (2011): *Tratamientos convencionales y posibles del agua*, E.I.A.-Escuela Internacional del Agua, Sevilla.

6.3. Webs

- www.aguapedia.org

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- Saneamiento del Barrio de Olof Palme. Nicaragua. Managua
- Saneamiento de una escuela en Damba María. Angola
- Piloto en Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Carrión de los Céspedes, Sevilla.
- Piloto en Campos Experimentales Blanco White. Complejo Educativo Blanco White, Bellavista, Sevilla.

AR-SC-04: SISTEMA COMPACTO AUTOMATIZADO

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Sistema compacto

1.2. Términos utilizados en inglés

- Domestic wastewater treatment plant

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Se trata de equipos prefabricados que, en un único depósito construido para tal fin, depuran las aguas grises residuales.

Pueden emplearse equipos compactos para realizar pretratamientos, tratamientos primarios y/o tratamientos secundarios.

2.2. Componentes de la tecnología

Según el tipo de tratamiento al que se someta el agua, los componentes varían.

Puede contar con las siguientes unidades, aunque no siempre todas están presentes:

- *Unidad de Pretratamiento*: Sirve para separar los sólidos, grasas y aceites.
- *Tratamiento Primario*: Se produce un primer tratamiento de eliminación de sólidos en suspensión y materia orgánica.
- *Tratamiento Secundario*: Constan de una fosa y un filtro. El filtro puede ser de distintos tipos.

También hay equipos contactos que tienen todas las unidades en un mismo volumen.

2.3. Forma de funcionamiento

El agua residual, o gris en su caso, realiza un recorrido a través de las distintas cámaras donde va recibiendo tratamientos consecutivos:

- Fase de *Pretratamiento*: Las aguas residuales penetran en el equipo actuando la fuerza gravitatoria sobre los componentes. Los sólidos quedan en el fondo del equipo, en la parte intermedia se sitúa el agua depurada y en la superficie se acumulan las grasas y los aceites.
- *Tratamiento Primario*: Al menos el 50% de los sólidos en suspensión sedimentan y un 25% de la materia orgánica biodegradable se elimina. Las partículas sólidas más pesadas se depositan en el fondo, formando lodos, mientras que las materias grasas y flotantes permanecen flotando en la superficie. Es necesario un sistema de ventilación.
- *Tratamiento Secundario*: Es un tratamiento de tipo biológico con sedimentación secundaria de las aguas residuales. Consisten en una fosa, en el que se da un proceso anaeróbico, y un filtro, donde se da un proceso secundario aeróbico. El filtro puede ser de retención de coloides o de retención biológico, es decir, de colonias de bacterias.
- *Conjunto*. Son *equipos de oxidación total*. Constan de varios depósitos en un solo equipo conectados en serie, produciéndose todas las fases anteriores de manera consecutiva. El primero es un depósito de pretratamiento, el segundo un reactor biológico en que se degrada la materia orgánica de forma aeróbica gracias a una soplante que inyecta aire y el tercero un decantador secundario, o clarificador, en el que se depositan lodos muy líquidos.

Las aguas que salen de la fosa séptica deben conducirse a un sistema de evacuación, por ejemplo a zanjas filtrantes, pozos de infiltración, filtros de arena, etc

2.4. Definición constructiva

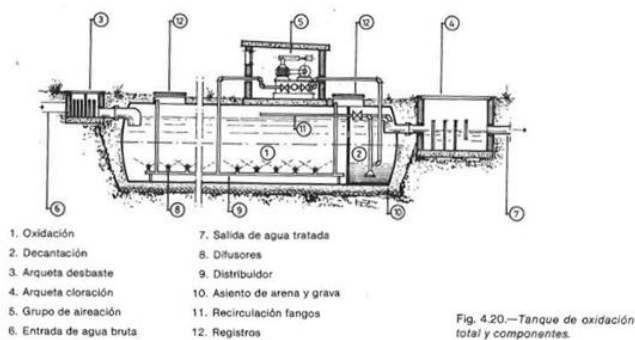


Fig.1. Tanque de oxidación total. (Arizmendi, 1990)

2.5. Imagen del resultado

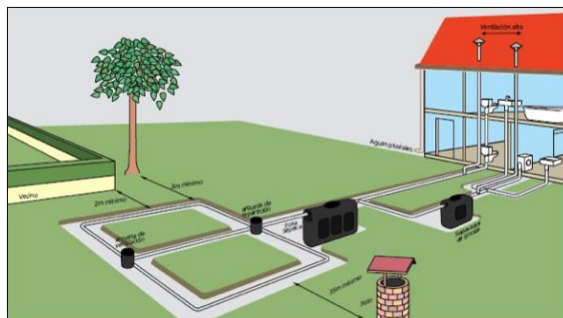


Fig.2. Esquema de implantación de un sistema compacto. (www.roth-spain.com)

2.6. Clasificación en tipologías

Dentro de los *sistemas compactos prefabricados* (frente a los naturales) son los propios **elementos** que pueden darse de manera independiente o todas juntas conformando distintos tipos de sistemas:

- *Unidad de Pretratamiento*
- *Tratamiento Primario*
- *Tratamiento Secundario*
- *Conjunto.*

Además, se pueden distinguir entre equipos **según el número de usuarios** que sirven:

- *Individuales*: Son los usados en viviendas unifamiliares.
- *Colectivos*: Son los usado en edificios para múltiples usuarios.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Permiten la **depuración de las aguas residuales *in situ***, por lo que son especialmente interesantes en lugares aislados y pequeñas aglomeraciones urbanas.

Se recomienda su aplicación en viviendas unifamiliares, hoteles, restaurantes, bares, residencias, lavanderías o industria alimentaria **que estén lejos de redes urbanas establecidas que tengan su propio sistema de depuración.**

Para facilitar las excavaciones por medios manuales mejor que el terreno sea blando y tenga un bajo nivel freático.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Depende de las fases que se incluyan.

4.2. Fuentes de referencia

No hay ninguno que destacar.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

El equipo debe instalarse lo más cerca posible del punto de salida de las aguas residuales (máximo 10 m). Para evitar obturación de la canalización, esta debe con una pendiente mínima del 2% y evitando cambios de dirección.

Los sistemas separadores de grasas se pueden instalar enterrados o en superficie. La altura del tubo de la entrada siempre debe situarse a una cota superior a la de salida.

Los equipos deben disponer de un sistema de ventilación para eliminar los gases de la fermentación anaeróbica. La salida de dicha ventilación se situará por encima del tejado. Debe colocarse una malla para evitar la penetración de insectos en el sistema.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

Tras la excavación de la zanja en la que se va a enterrar el equipo, se procede a rellenarla.

- Primero, se coloca una capa de arena sobre la que se colocará el depósito.
- Se debe rellenar la zanja a la vez que el depósito para evitar roturas por presión.
- No se deben cubrir los equipos con más de 15 cm de arena dejando las bocas a la vista.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

El mantenimiento es muy importante para la durabilidad del sistema. Habrá que:

- Verificar el estado general del sistema 1 o 2 veces al año.
- Limpiar de equipo del material filtrante 1 o 2 veces al año y de la cesta de sobrenadante cada 2 semanas. Los lodos deben extraerse periódicamente.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Será diferente según el elemento tratado:

- Pretratamiento. El volumen oscila entre 500-2.000 litros. La altura total se encuentra entre 970-2.170 mm. El ancho entre 660-880 mm. La longitud, entre 1.060- 2.020 mm. El caudal que puede tratar oscila entre 0,8-3,4 L/s.
- Tratamiento primario. El volumen de estos equipos varía entre 1.000-10.000 L. La altura oscila entre 1.250-2.870 mm. Estos sistemas pueden emplearse hasta un máximo de 50 h.e.
- Tratamiento secundario (para un máximo de 100 h.e.). El volumen del equipo oscila entre 1.000- 10.000 L, en función de los h.e. para los que se seleccionen. La altura varía entre 1.250-2.770 mm.
- Conjuntos. Tratan un volumen que oscila entre 1.500-3.000 L en el pretratamiento, entre 1.000-3.000 L en el digestor y entre 500-2.000 L en el clarificador. Este sistema puede emplearse hasta un máximo de 53 h.e.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

Según catálogos comerciales.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

No hay ninguna específica que destacar.

6.3. Webs

- www.roth-spain.com

6.4. Otras herramientas

No hay ninguno que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación



Fig.3. Sistema compacto en Hotel Solúcar. Sanlúcar la Mayor (Sevilla) (elaboración propia en CENTA)

PRETRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

AR-PT-05: ARQUETA DE PRETRATAMIENTO

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Tratamiento previo o tratamiento desarenador y desengrasador
- Arqueta desarenadora y/o desengrasadora
- Arqueta separadora de grasas y fangos en edificios

1.2. Términos utilizados en inglés

- Preliminary treatment
- Grid, grease and oil removal chamber
- Desander and/or degreaser

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

La función de la *arqueta de pretratamiento o desarenadora-desengrasadora*, que recibe las aguas brutas residuales y/o grises, es proteger las aguas superficiales y subterráneas cercanas.

Con un mínimo pretratamiento del agua, protege de elementos indeseables a las redes de alcantarillado o resto de sistemas de tratamiento de aguas receptores, con más razón aún si se pretende su reutilización en determinados usos.

En concreto, este sistema tiene por objetivo final eliminar los sólidos minerales de tamaño superior a 1-3 mm, además de las grasas y aceites contenidos en el agua.

2.2. Componentes de la tecnología

Se compone de una cámara de disminución de velocidad para retención de arenas y un tabique deflector a la salida para retención de grasas.

2.3. Forma de funcionamiento

El tabique deflector superior permite retener los aceites y las grasas que, de manera natural, quedan flotando en la superficie del agua al provocar una reducción en su velocidad de circulación. Del mismo modo, las arenas quedan retenidas en la base de la arqueta por el efecto de la gravedad.

2.4. Definición constructiva

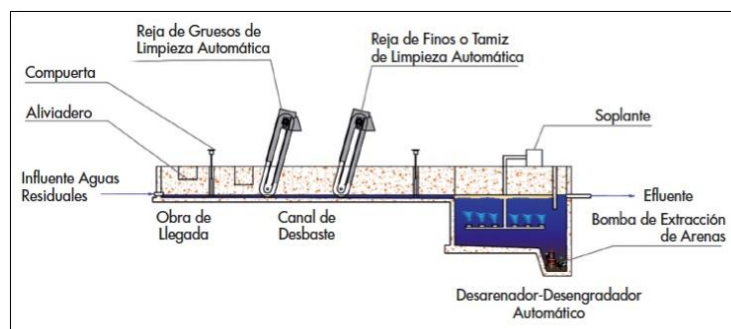


Fig.1. Sistema desarenador-desengrasador tras desbaste en instalación urbana

2.5. Imagen del resultado



Fig.2. Detalle cámara desarenadora y tabique deflector (www.aguapedia.org, 2015)

2.6. Clasificación en tipologías

Las arquetas de pretratamientos pueden tener muy distintas escalas:

- *Escala edificatoria*

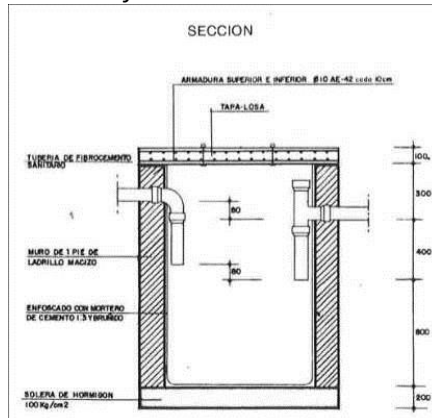


Fig.3. Detalle de separador de grasas y fangos para edificios. (Arizmendi, 1990)

- *Escala urbana: (Ver imagen Definición Constructiva)*

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Existen estos mecanismos para usarse a nivel de la edificación y para nivel urbano.

En el segundo caso, el sistema es más grande y complejo recomendándose en poblaciones inferiores a 2000 h.e.

Se suele emplear en el saneamiento de las redes separativas pluviales. También usada en calzadas de circulación rodada para eliminar arenas, aceites y grasas depositados en el agua.

Es recomendable utilizar una por punto de conexión a la red y no debe ser de tipo autolimpiable.

Les afectan mucho las lluvias pues arrastran mayores cantidades de arenas y, además, aumentan el caudal de agua en el sistema.

En cuanto al terreno, es mejor que sea blando y con un nivel freático bajo para facilitar la excavación por medios manuales

Debe contar con un buen dimensionamiento para asegurar un correcto funcionamiento, especialmente en épocas secas.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Varían mucho en función de si es para una red urbana o es para un edificio.

4.2. Fuentes de referencia

No hay ninguna que destacar.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN LOS PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Deberá situarse en un lugar de fácil acceso para la maquinaria de mantenimiento de la misma.

Estará formada por una primera zona (llegada del agua) pasará a una cámara donde decanten los sólidos. Las grasas quedarán en la superficie.

La decantación de las arenas se producirá a velocidades de paso inferiores a 0,3 m/s

5.1.2. Recomendaciones constructivas

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Deben retirarse las arenas del fondo del canal semanalmente y las grasas consistentes acumuladas en la superficie.

A la altura de la lámina de agua, en las paredes, pueden formarse costras que habrá que eliminar una vez al mes.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Los **datos previos** necesarios para el dimensionado son:

- Caudales de agua a tratar (medio y máximo)
- Tiempo retención del agua
- Velocidad decantación de partículas en suspensión de superiores a 1mm

En cuanto al **método de cálculo**, los parámetros a calcular son:

- *Velocidad de sedimentación de la partícula.* $v_c = 15$ cm/s, para fluidos de 0,6 m/s de velocidad horizontal y tamaño de partícula de 1mm.
- *Sección horizontal de la arqueta* (m^2). $S_H = Q/v_c$. Siendo ("Q" caudal a tratar en periodo de retorno de 2 años y un tiempo de decantación de 2 minutos).
- *Sección transversal de la arqueta* (m^2). $S_T = Q/v_{FH}$. Donde " v_{FH} " es la velocidad de flujo horizontal de la partícula, estimada en 0,6 m/s
- Comprobación: $1 \leq A/H \leq 5$, ("A" anchura de la arqueta), ("H" altura).

En los **equipos desarenadores-desengrasadores**, las etapas de entrada al sistema de extracción de las mezclas agua-arenas y agua-grasas, así como la entrada en los concentradores-clasificadores de arenas y de los concentradores de grasas estarán temporizados. Habrá un pequeño desfase entre ellos que permita la concentración de los residuos a extraer (arenas y grasas).

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CEDEX-CENTA (2008): *Manual de implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*, Ministerio de Fomento, Ministerio de medio ambiente y medios rural y marino, CEDEX.
- www.aguapedia.org
- Ayuntamiento de Durango. www.durango-udala.net/portalDurango//RecursosWeb/DOCUMENTOS/1/0_5461_1.pdf

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

- CEDEX-CENTA (2008): *Manual de implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*, Ministerio de Fomento, Ministerio de medio ambiente y medios rural y marino, CEDEX.
- LEBRATO, J. y POZO-MORALES, L. (2011): *Tratamientos convencionales y posibles del agua*, E.I.A.-Escuela Internacional del Agua de Andalucía, Sevilla. ISBN 978-84-615-4726-5

6.3. Webs

- www.aguapedia.org
- Ayuntamiento de Durango. www.durango-udala.net/portalDurango//RecursosWeb/DOCUMENTOS/1/0_5461_1.pdf

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- Plan Parcial del Sector Industrial SI-1 “Eroski-Logística” en Arrigorriaga.

AR-PT-06: SISTEMA DE DESBASTE

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano o

- Rejilla de sólidos
- Eliminación de sólidos

1.2. Términos utilizados en inglés

- Thick screening
- Roughing

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

El desbaste, generalmente, es el primer proceso en el tratamiento de aguas residuales. Su misión es la de eliminar los sólidos de tamaño grande o mediano que llevan, mediante su interceptación en rejas y/o tamices.

2.2. Componentes de la tecnología

Fundamentalmente, hay unos elementos que tienen la función de filtrar y retener dichos elementos que son las rejas o tamices (se diferencian por su configuración). Posteriormente, los residuos se suelen descargar a una cinta o tornillo transportador para enviarlos a un contenedor. Existen tornillos transportadores que compactan los sólidos extraídos, los deshidratan y minimizan sus impactos olfativos.

2.3. Forma de funcionamiento

La reja o tamiz se interpone al paso del agua en un canal, reteniendo los sólidos de tamaño inferior a la luz de paso.

Al pasar las aguas residuales por las rejas y tamices los residuos que no pasan por ellos se acumulan, siendo posteriormente descargados a una cinta o tornillo transportador para enviarlos a un contenedor.

2.4. Definición constructiva

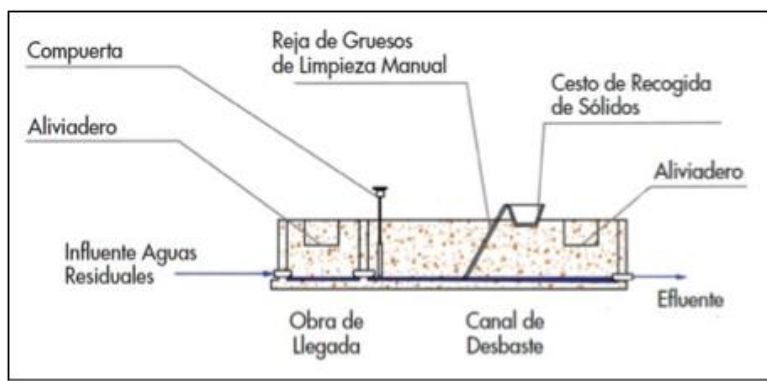


Fig.1. Diagrama de desbaste con reja de gruesos. (CEDEX, 2010)

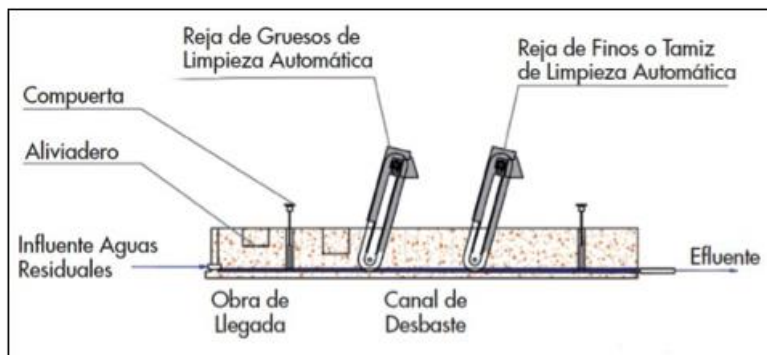


Fig.2. Diagrama de desbaste con reja de gruesos y finos. (CEDEX, 2010)

2.5. Imagen del resultado

(Ver apartado *Clasificación en tipologías*)

2.6. Clasificación en tipologías

Hay diferentes sistemas de clasificación según el criterio utilizado.

Elementos retenedores según su configuración:

- **Rejas:** Consisten en barras paralelas que se anteponen al flujo, con separación unitaria entre ellas.
- **Tamices:** Constituidos por placas perforadas o mallas metálicas de sección uniforme.

Tipos de rejas según su geometría:

- De geometría recta
- De geometría curva

Tipos de rejas según la luz de paso:

- **Rejas de gruesos:** El paso libre entre los barrotes es de 20 a 60 mm.



Fig.3. Reja de gruesos. (CEDEX, 2010).

- **Rejas de finos:** El paso libre entre los barrotes es de 6 a 12 mm.



Fig.4. Reja de finos. (CEDEX, 2010).

Tipos de rejas según el método de limpieza

- **Reja manual:** La limpieza de los residuos en las rejas se realiza manualmente.
- **Reja automática:** Existe un sistema automatizado para la limpieza de las rejas.



Fig.5. Reja de finos automática. (CEDEX, 2010)

Tamices según la forma de trabajo:

- **Tamices estáticos o autolimpiantes:** La malla filtrante está formada por pequeñas barras de sección uniforme orientadas de tal manera que la parte plana está enfrentada al flujo del agua. La separación entre las barras aguas arriba es menor que la de aguas abajo, con el fin de evitar obstrucciones. La pérdida de carga que generan es de 1,2 - 2,1 m.



Fig.6. Tamiz estático. (CEDEX, 2010)

- *Tamices rotativos o de tambor*: La malla se coloca sobre un cilindro giratorio situado en un canal. El agua puede circular entrando por un extremo del tambor y saliendo a través de la superficie del tamiz o entrando por la parte exterior del tambor y saliendo por la interior. En el primer caso, los sólidos quedan retenidos en la parte interior del tambor, mientras que en el segundo, quedan en la superficie exterior. La limpieza es continua, procediendo al raspado del tamiz giratorio mediante un rascador fijo. La pérdida de carga en este tipo de tamiz es de 0,8 – 1,4 m.



Fig.7. Tamices rotativos (CEDEX, 2010)

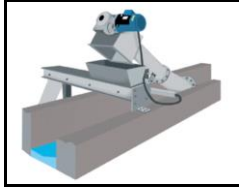
- *Tamices deslizantes*: Los sólidos retenidos se separan mediante bandejas horizontales, dientes o similar, colocados escalonadamente formando una cadena sin fin. La descarga se realiza por gravedad. La pérdida de carga oscila entre 0,1 – 0,4 m.



Fig. 8. Tamiz deslizante (CEDEX, 2010)

- *Tamices de escalera*: Están formadas por láminas de acero inoxidable. Una de cada dos láminas es móvil y describe un movimiento circular mediante un motor, una caja de engranajes, cadenas y ruedas excéntricas. Las partículas quedan atrapadas en las láminas del tamiz, elevándose automáticamente hasta el siguiente escalón cada vez que la lámina completa un ciclo de rotación. Este sistema evita las obstrucciones causadas por los sólidos. La pérdida de carga oscila entre 0,2 – 0,4 m.
- *Tamices de tornillo*: El tamizado se realiza a través de una criba o placa perforada semicilíndrica. Un tornillo sin fin es el encargado de transportar los sólidos retenidos en la fona de filtración, hacia una zona de compactación. Dicho tornillo

dispone de cepillos en el borde para la autolimpieza. La pérdida de carga en estos sistemas es mínima.



3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Se recomienda en poblaciones con menos de 2.000 h.e.

Hay que tener en cuenta la existencia de industrias u otro tipo de usos en la población, por las posibles molestias que pueden ocasionar.

La lluvia se considera un factor limitante porque aumentan las velocidades de acercamiento a las rejillas y transportan mayores cantidades de arenas.

La temperatura influye, fundamentalmente, en lo que respecta a los malos olores generados por los residuos de las rejillas, especialmente en verano.

En cuanto al tipo de suelo, si es blando y con un bajo nivel freático se facilitará la excavación con medios manuales.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Depende de muchos factores.

4.2. Fuentes de referencia

Se elaborará con las Bases de Costes de la Construcción correspondientes.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

La velocidad del agua debe ser suficiente para que los sólidos se apliquen a la rejilla, sin depositar arenas en el fondo del canal y sin que se produzca atascamiento en la zona profunda de los barros.

Es recomendable la construcción de edificios para albergar los contenedores de recogida de rechazos del desbaste para disminuir los impactos olfativos. Para el cálculo del volumen requerido, se tendrá en cuenta la producción de residuos anual que depende del tipo de retenedor:

- Para la rejilla de gruesos: 2 - 5 l/h.e. • año,
- Para rejilla de finos: 5 - 15 l/h.e. • año
- Para tamices: 15 - 40 l/h.e. • año.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Hay varias:

- En las rejas de limpieza manual, se efectuará por rastrillado, periódicamente, depositándose los residuos en cestillos perforados. La periodicidad será la misma que la de las visitas a la estación de tratamiento, prestando especial atención en épocas de lluvias, que se incrementará la frecuencia de limpieza.
- En las rejas de limpieza automática, los tiempos de acondicionamiento de los peines se ajustan según el funcionamiento, acortándose en épocas de lluvias. Los residuos no extraídos por los peines se eliminarán semanalmente y de manera manual, previa desconexión del equipo.
- En el tamizado se tendrá que cepillar la superficie filtrante en la dirección de las ranuras una o dos veces por semana. No obstante, una vez al mes se procederá a la limpieza superficial con ayuda de un cepillo de cerda rígida y detergente para eliminar las grasas acumuladas.
- El engrase y supervisión de los equipos se realizará según indique el fabricante.
- Habrá que realizar la extracción manual de los sedimentos detectados en el fondo del canal.
- Si el desbaste se ubica en distintos canales en paralelo, se comprobará el buen funcionamiento y estanqueidad de las compuertas cada 15 días. Si dichas compuertas tienen vástagos de accionamiento, se engrasarán mensualmente.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Los **datos previos** necesarios para el cálculo son:

- Caudales de agua a tratar (caudal medio y máximo)
- Temperatura media del mes más frío.

Según el **método de cálculo**, se revisarán los siguientes parámetros:

- *Velocidad de agua en el canal de desbaste* $\geq 0,4$ m/s, a caudal mínimo, y $\geq 0,9$ m/s, a caudal máximo.
- *Velocidad de paso en reja* (≤ 1 m/s, caudal medio, $\leq 1,4$ m/s, caudal máximo).
- *Ancho del canal (m)*: $W = [Q \cdot (E+e) \cdot C] / (V \cdot h \cdot E)$. (“Q” caudal máximo en canal, m³/s); (“V”, velocidad máxima entre barrotes (valor típico: 1,4 m/s); (“E” separación entre barrotes, mm); (“e” anchura de barrotes, mm); (“C” coeficiente de seguridad para el grado de colmatación de la reja) (valor típico: 1,3 correspondiente al 30% de colmatación).
- *Altura del agua en el canal aguas arriba de la reja (m)*: $h = Q / (v_c \cdot W)$. (“v_c” velocidad agua en canal a caudal máximo, expresado en m/s).
- *Valores mínimos recomendados de las variables de diseño:*

Parámetro	Valor
Tiempo de retención a caudal máximo (min)	≥ 5 min
Anchura del canal (W)	$\geq 0,25$ m
Altura del agua en el canal (h)	$\geq 0,25$ m

No obstante, se obtienen velocidades en canal $<0,4$, m/s a caudal mínimo.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CEDEX-CENTA (2010): Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Fomento. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

- CEDEX-CENTA (2010): Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Fomento. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.
- LEBRATO, J. y POZO-MORALES, L. (2011): *Tratamientos convencionales y posibles del agua*, E.I.A.-Escuela Internacional del Agua, Sevilla.

6.3. Webs

- www.aguapedia.org

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- Planta experimental de Carrión de los Céspedes (Sevilla).
- EDAR de Pinedo (Valencia).

AR-PT-07: DESARENADOR

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Arqueta desarenadora
- Desarenado

1.2. Términos utilizados en inglés

- Grit chamber

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

El desarenado consiste en una etapa de pretratamiento cuyo objetivo es el de proteger el resto de las instalaciones, evitando obstrucciones en tuberías, válvulas y bombas que ocasionarían pérdidas de rendimiento.

El objetivo concreto del desarenador es el de eliminar de la corriente de agua residual bruta que entra en el sistema de depuración la materia de diámetro superior a 0,2-0,3 mm. Con este equipo se eliminan tanto la materia inorgánica (arenas, grava), como la materia orgánica no putrescible (huesos, cáscaras, etc.). Eliminando este tipo de materia inerte, se evita la sedimentación en canales, conducciones y unidades de tratamiento. Además protege las bombas de la abrasión.

La abrasividad de la arena hace que estas sean instalaciones obligadas en el pretratamiento del agua para garantizar el rendimiento y el cumplimiento de la vida media de los equipos en cualquier instalación de depuración.

2.2. Componentes de la tecnología

El elemento fundamental es un tanque decantador.

2.3. Forma de funcionamiento

La velocidad del agua al atravesar el desarenador es la adecuada para el desprendimiento de las partículas de arena, que quedan depositadas en la base del tanque. Si, además, se trata de unidades aireadas, se consiguen granos de arena con un mínimo contenido en materia orgánica, además de uniformidad en el rendimiento que se ve poco afectado por las variaciones del caudal afluente.

La extracción de arena de los desarenadores puede ser mecánica o manual.

2.4. Definición constructiva

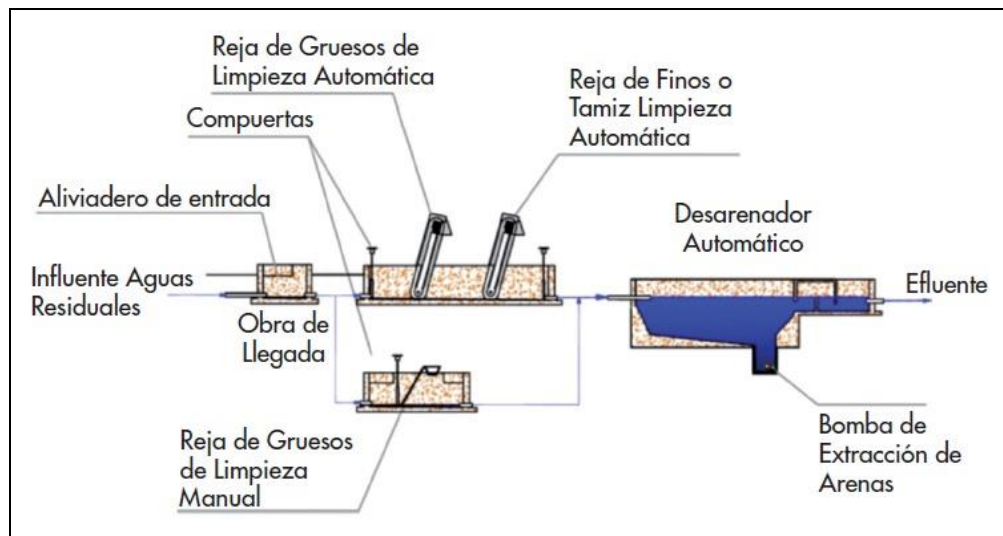


Fig.1. Diagrama de flujo de un desarenador automático (CEDEX,2010)

2.5. Imagen del resultado

2.6. Clasificación en tipologías

- **Desarenador estático de flujo horizontal**

Para poblaciones menores de 500 h.e.

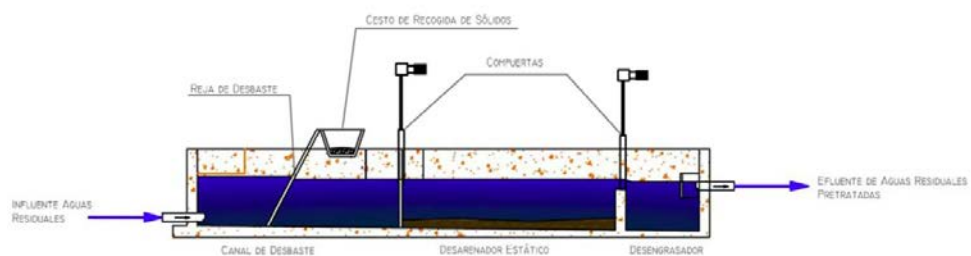


Figura 1. Diagrama de Flujo de un desarenador estático. (CEDEX,2010)

El agua circula a través de ellos en flujo variable o constante:

- **Canales desarenadores de flujo variable.** Las arenas se extraen manualmente de un canal con una capacidad de almacenamiento de 4-5 días.
- **Canales desarenadores de flujo constante.** Mantienen una velocidad de paso fija, en torno a 0,3 m/s, pero se producen depósitos materia orgánica.

- **Desarenador aireado**
Se inyecta aire, provocando un movimiento en espiral para reducir la materia orgánica. El tanque está inclinado para facilitar la retirada de arena acumulada. Se produce la extracción mecánica de las arenas con bombas centrífugas o sistemas air-lift. Sirve para poblaciones mayores de 500 h.e.
- **Desarenador-desengrasador** (Ver Ficha Tecnológica AR-PT-05)

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Se recomiendan desarenadores estáticos para poblaciones inferiores a 2000 h.e., mientras que, para poblaciones mayores, se emplean los automáticos.

En cuanto a los canales desarenadores de flujo constante, en el caso de pequeñas poblaciones estos canales no suelen funcionar correctamente, debido a que los bajos caudales y su variabilidad impiden mantener una velocidad de paso de 0,3 m/s constante, acumulándose arenas con alto contenido en materia orgánica.

La lluvia se considera un factor limitante porque aumentan las velocidades de paso en los desarenadores de flujo variable y transportan mayores cantidades de arenas.

En cuanto al tipo de suelo, si es blando y con un bajo nivel freático se facilitará la excavación con medios manuales.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Depende de muchos factores.

4.2. Fuentes de referencia

Se elaborará con las Bases de Costes de la Construcción correspondientes.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Esta etapa se coloca después del desbaste y antes del tratamiento primario.

La forma del desarenador es de tipo canal con una relación largo/ancho recomendable de 3-5

En el caso de implantar desarenadores estáticos la extracción de la arena es manual, por lo que se deben diseñar dos canales en paralelo. De esta manera siempre hay uno en funcionamiento.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Para los *desarenadores estáticos*:

- Extraer semanalmente las arenas del canal.
- Comprobar cada 15 días el correcto funcionamiento y la estanqueidad de las compuertas de los canales.

Para los *desarenadores aireados*:

- Comprobar el funcionamiento de la aireación y del sistema de extracción y secado de las arenas.

Para el cálculo del **volumen de arenas** obtenido:

- En sistemas unitarios: 8-80 litros/100 m³ agua residual
- En sistemas separativos: 6-20 litros/100 m³ agua residual

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Hay que diseñar la superficie del desarenador para que sedimenten partículas de diámetro superior a 0,3 mm, que corresponden a velocidades de sedimentación de 1 m/min.

Para que la partícula alcance el fondo del desarenador, se debe cumplir: $t_s < t_r$.

Hay que aplicar un factor de seguridad a la sección transversal calculada.

Para realizar el dimensionado son necesarios los siguientes **datos previos**:

- Caudales medio y máximo de agua a tratar
- Tª media del mes más frío.

En **método del cálculo**, se analizarán los siguientes parámetros:

- *Tiempo de sedimentación* (s). $t_s = h/V_s$; siendo "h" la altura del desarenador y "V_s" la velocidad de sedimentación para la partícula situada en la posición más desfavorable.
- *Tiempo de residencia* (s). $t_r = L/V_n = LWh/Q$; siendo "L" la longitud del desarenador, "W" la anchura, "Q" el caudal máximo de agua residual (m³/h) y "V_n" la velocidad de desplazamiento horizontal de las partículas (la misma que la velocidad del fluido en el canal).
- *Carga hidráulica* (m³/m²h). $V_s = Q/L \cdot B$
- *Superficie* (m²). $S = Q/V_s$.
- *Superficie transversal* (m²). $S_t = h \cdot B = Q/0,3$.
- Valores recomendados de las variables de diseño:

Parámetro	Desarenador estático	Desarenador aireado
Carga hidráulica a caudal máximo (m ³ /m ² h)	≤70	≤70
Velocidad horizontal (m/s)	0,3	≤0,15
Tiempo de retención a caudal medio (min)	1-2	2-5
Anchura (m)	>0,3	>0,5
Profundidad (m)	0,25-0,5	>2
Relación longitud/anchura	-	3:1-5:1; Valor típico: 4:1
Suministro de aire (Nm ³ /min•metro de canal)	-	0,2-0,6; Valor típico: 0,5

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CEDEX-CENTA (2010): Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

- CEDEX-CENTA (2010): Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Fomento. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.
- LEBRATO, J. y POZO-MORALES, L. (2011): *Tratamientos convencionales y posibles del agua*, E.I.A.-Escuela Internacional del Agua, Sevilla.

6.3. Webs

- www.aguapedia.org

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (Sevilla)
- EDAR de Castilleja del Campo, Sevilla

AR-PT-08: DESENGRASADOR

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Separador de grasas y aceites
- Desengrasado

1.2. Términos utilizados en inglés

- Grease and oil removal chamber
- Degreaser

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Se trata de una etapa de pretratamiento cuyo objetivo es el de proteger el resto de las instalaciones evitando pérdidas de rendimiento y propiciando el rendimiento de los procesos biológicos que se ven afectados por la presencia de grasas y aceites en el agua, facilitando el contacto microorganismos-materia orgánica.

El desengrasador tiene como misión eliminar dichas grasas y demás materias flotantes más ligeras que el agua.

Este es un paso obligado en la preparación del agua para poder ser tratada en cualquier sistema de depuración, especialmente los sistemas biológicos que son muy sensibles a la presencia de grasas en la superficie del agua.

2.2. Componentes de la tecnología

Se trata, básicamente, de un canal abierto a la atmósfera con un equipo de barredera para ir eliminando los sobrantes.

2.3. Forma de funcionamiento

La menor densidad de grasas y aceites facilita su separación.

Al circular el agua en un régimen bajo de velocidad y de forma tranquilizada en un tanque, la grasa puede ser fácilmente separada mediante equipos de barredera en

superficie, que la vehiculan hacia los puntos de extracción. Si se trabaja con sistemas aireados se facilita también su desemulsión.

2.4. Definición constructiva

Fig.1. Desengrasador. (CEDEX, 2010)

2.5. Imagen del resultado

(Ver apartado *Clasificación en tipologías*)

2.6. Clasificación en tipologías

Básicamente, se pueden distinguir dos tipos de desengrasado y un sistema que combina el desengrasado con el desarenado:

- **Desengrasador *estático***: En él, las aguas pasan a través de un tabique deflector que las obliga a salir por la parte inferior, permitiendo que los componentes de menor densidad que el agua queden en la superficie. El fondo es inclinado para facilitar el desplazamiento de la materia sedimentada hacia la zona de evacuación. Las grasas se retiran manualmente. Está recomendado para poblaciones <500 h.e.



Fig.2. Desengrasador estático. (CEDEX, 2010)

- **Desengrasador *aireado***. No se suele usar a menos que se combine con el desarenado. Se inyecta aire por la parte inferior desemulsionando las grasas y facilitando su separación de las arenas. Sirve a poblaciones >500 h.e
- **Desarenador-desengrasador** (Ver *Ficha Tecnológica AR-PT-05*)

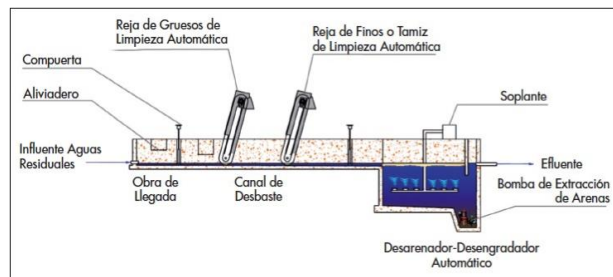


Fig.3. Diagrama de Flujo de un desengrasador-desarenador. (CEDEX, 2010).



Fig.4. Desengrasador-desarenador con puente móvil. (CEDEX, 2010)

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Se pueden usar para todo tipo de poblaciones, salvo para el caso de desengrasadores estáticos cuya utilización está limitada a poblaciones inferiores a 500 h.e.

Las aguas residuales provenientes de determinados usos (cocinas, determinadas industrias, etc...) tendrán un alto nivel de grasas que obligará a la incorporación de este tipo de tratamientos tanto en los edificios como en los espacios urbanos.

La lluvia se considera un factor limitante porque aumenta los tiempos de permanencia en los desengrasadores y la temperatura influye, fundamentalmente, en lo que respecta a los malos olores, especialmente en verano.

En cuanto al tipo de suelo, si es blando y con un bajo nivel freático se facilitará la excavación con medios manuales.

Por último, comentar que es interesante también una cierta pendiente en el terreno.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Depende de muchos factores.

4.2. Fuentes de referencia

Se elaborará con las Bases de Costes de la Construcción correspondientes.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

El desengrasado es un pretratamiento especialmente importante para los sistemas de depuración biológicos.

Por otro lado, el desengrasador aireado no se suele usar a menos que se combine con el desarenado.

En caso de que el sistema de depuración requiera un bombeo en la cabecera de la instalación depuradora, se realizará tras la etapa de desarenado-desengrasado. De no ser posible, se incluirá una reja de desbaste de gruesos de limpieza manual o automática de luz menor que el paso del rodete de las bombas instaladas.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

La construcción del canal principal, que está abierto a la atmósfera, se realizará en hormigón y los elementos metálicos en contacto con las aguas residuales a tratar deben ser de acero inoxidable, preferentemente acero AISI 316.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Las grasas que se acumulen en la superficie de los desengrasadores estáticos se retirarán periódicamente.

En las paredes, a la altura de la lámina de agua, se irán formando costras de grasa que habrá que eliminar mensualmente con una espátula.

En caso de burbujeo excesivo en la superficie de los desengrasadores estáticos, se procederá a la extracción de fangos acumulados en el fondo.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Para el dimensionado, se necesitan unos **datos previos** que son:

- Caudales de agua a tratar (caudal medio y máximo)
- Temperatura media del mes más frío.

En cuanto al **método de cálculo**, analizará los siguientes parámetros:

- Valores recomendados de las variables de diseño:

Parámetro	Desengrasador estático	Desarenador-Desengrasador aireado
Carga hidráulica a caudal máximo (m ³ /m ² h)	≤20	≤35
Velocidad horizontal (m/s)	-	≤0,15
Tiempo de retención a caudal medio (min)	>30	10-15
Profundidad (m)	1,2-2,4	2-5
Relación longitud/anchura	-	3:1-5:1; Valor típico: 4:1
Suministro de aire (Nm ³ /min•metro de canal)	-	0,2-0,6; Valor típico: 0,5

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CEDEX-CENTA (2010): Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Fomento. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

- CEDEX-CENTA (2010): Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Fomento. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.
- LEBRATO, J. y POZO-MORALES, L. (2011): *Tratamientos convencionales y posibles del agua*, E.I.A.-Escuela Internacional del Agua, Sevilla.

6.3. Webs

- www.aguapedia.org

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (Sevilla)
- EDAR de Castilleja del Campo, Sevilla

TRATAMIENTOS PRIMARIOS

AR-TP-09: FOSA SÉPTICA

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Cámara séptica
- Pozo séptico, ciego o negro

1.2. Términos utilizados en inglés

- Septic tank

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Se trata de una tecnología de depuración de aguas residuales que consiste en un tratamiento primario que permite reducir el contenido en sólidos en suspensión, tanto sedimentable como flotantes, de las aguas residuales.

Se esperan con estos tratamientos unas mejoras en la calidad del agua en los siguientes parámetros y términos:

Parámetro	Rendimiento global
Sólidos en suspensión	50-60%
DBO5	20-30%
DQO	20-30%

2.2. Componentes de la tecnología

Pueden tener uno o dos compartimentos en serie. En el segundo caso, el agua clarificada pasa del 1er compartimento al 2º a través de un orificio ubicado en el punto intermedio entre las capas flotantes y los fangos. En el 2º compartimento se separan nuevamente fangos de flotantes, pero en menor cantidad. Esta disposición permite que las partículas más ligeras sedimenten con mayor facilidad y no se vean obstaculizadas por las burbujas producidas en la degradación de la materia orgánica.

En ocasiones, se dispone de un tercer compartimento con material soporte para la fijación de masa bacteriana, lo que aumenta los rendimientos de eliminación de contaminantes.

2.3. Forma de funcionamiento

El sistema reduce los sólidos de las mismas mediante dos tipos de procesos:

- *Procesos físicos.* Por gravedad, se separan los sólidos sedimentables de los flotantes, incluyendo aceites y grasas. La capa intermedia entre fangos y flotantes constituye el agua tratada.
- *Procesos bioquímicos.* La fracción orgánica de los sólidos, acumulada en los fondos de las fosas, experimenta reacciones de degradación anaerobia, licuándose, reduciendo su volumen y desprendiendo biogás. En menor cantidad se desprenden compuestos de azufre.

2.4. Definición constructiva

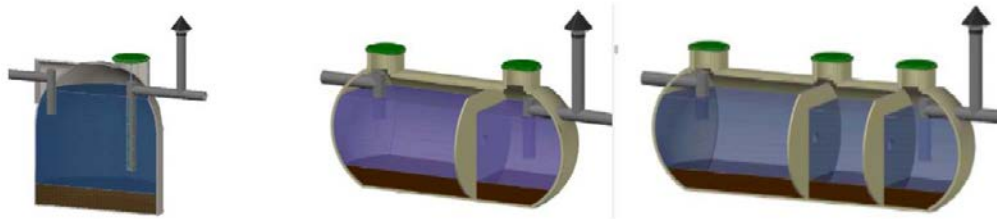


Fig.1: Esquema de fosas sépticas con una, dos y tres cámaras, respectivamente. (CEDEX,2010)



Fig.2. Diagrama de flujo de una fosa séptica. (CEDEX, 2010)

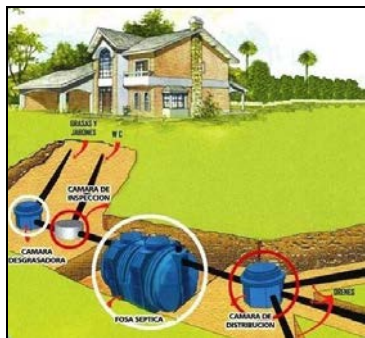


Fig.3. Instalación de fosa séptica (www.totagua.com/depuradoras-viviendas/fosas-septicas.html)

2.5. Imagen del resultado



Fig.4. Instalación fosa séptica prefabricada (Grupo TAR, 2013).



Fig.5. Fosa séptica prefabricada en hormigón. (CEDEX, 2010)

2.6. Clasificación en tipologías

No hay ninguna de interés

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Se trata de un tratamiento de aguas residuales **para pequeñas aglomeraciones de en torno a 200 h.e.** y el efluente se debe dirigir, posteriormente a otro tratamiento posterior, como tratamiento primario que es.

Es posible **realizarlo *in situ* y/o en lugares carentes de alcantarillado cercano**, siendo usual en viviendas individuales aisladas, grupos de viviendas, campings, gasolineras, etc... que están en estas condiciones.

Hay que tener cuidado pues se deben ubicar a unos 30 metros aguas abajo de pozos y fuentes de agua potable cercanas, para evitar posibles contaminaciones.

Los suelos deben ser blandos, fáciles de excavar, de naturaleza impermeable y con un bajo nivel freático.

La pluviometría afecta en el caso de redes de saneamiento unitario.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Los costes anuales aproximados de una fosa séptica para un supuesto de 200 h.e. son:

- Coste total de explotación y mantenimiento: 3.478,88 €/año.
- Coste total unitario: 17,39 €/hab.año.

4.2. Fuentes de referencia

Mayo 2010.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Las fosas son sistemas de tratamiento primario, por lo que el efluente se debe dirigir a otro tratamiento posterior. Es un tratamiento para aplicar previamente a tratamientos secundarios. .

Pero, también, se necesita un pretratamiento previo para una fosa unitaria que se recomienda sea por *desbaste* (ver *Ficha Tecnológica AR-PT-06*), con rejillas de limpieza manual de 2-3 cm de separación entre barrotes y un cestillo para el escurrido de los residuos. También es recomendable colocar un desarenador estático previo a la fosa. En zonas cuya concentración de grasas sea de hasta 2.000 mg/L, se recomienda instalar un separador de grasas con un tiempo de retención de 30 minutos.

En fosas sépticas de un solo compartimento, se deben disponer filtros en la salida del sistema para minimizar el escape de los sólidos en suspensión.

En fosas con dos compartimentos también se pueden emplear elementos filtrantes con el mismo fin en caso de sobrecarga hidráulica. Estos filtros suelen ser de malla con una luz de 0,8-3,2 mm.

Las fosas sépticas prefabricadas que dan servicio a aglomeraciones presentan formas cilíndricas, dispuestas tanto vertical como horizontalmente pero las fosas de mayor tamaño, se construyen de forma cilíndrica, enterrada y dispuesta horizontalmente.

Las construcciones *in situ* presentan forma rectangular con relación longitud/anchura de 3/1 y una altura de 1,2-1,5 m, de los que 0,9-1,2 m corresponden a la altura del líquido y unos 0,3 m de resguardo para flotantes y recogida de gases.

Los materiales deben ser impermeables, resistentes y anticorrosivos. En las fosas pequeñas son de plástico (PE, PRFC) de 6 mm de espesor, en las grandes son prefabricadas y las construidas *in situ* son de hormigón armado, de 10 cm de espesor, cubierto con capas de agentes protectores.

Se debe colocar un by-pass en el canal donde está la reja, que actuará en caso de que esta se colme y un sistema limitador de caudal tras el desbaste. Las aguas aliviadas se conducen a la línea del by-pass.

En cuanto a los dispositivos de entrada y salida, suelen ser accesorios en forma de "T". Sus partes ascendentes deben prolongarse 15 cm por encima del nivel del líquido (para evitar obstrucciones por la capa de flotantes) y las descendentes al 30-40% de la profundidad del líquido. Entre el elemento de entrada y de salida se debe establecer un desnivel del 5-7,5 cm.

La chimenea de ventilación debe ser de diámetro $\geq 7,5$ cm para la salida de gases de la degradación anaerobia. En las fosas de varios compartimentos, si no están comunicados se instalarán más chimeneas.

Debe haber además una boca de hombre o acceso en cada compartimento para la inspección y de retirada de fangos. Estas bocas tendrán un diámetro de 20 cm en fosas pequeñas y de 40-60 cm en las grandes.

En caso de instalar varios equipos, la distancia entre ellos será mayor de 400 cm.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

En cuanto a las fosas prefabricadas, la profundidad es la suma de la altura (o del diámetro de la fosa si la disposición es horizontal), el espesor de las capas de hormigón en las que descansa el equipo y el nivel del terreno.

Entre las paredes y el equipo a instalar se debe dejar un espacio libre de 30 cm.

En el fondo del foso excavado se construirá una losa de hormigón en masa de 20 cm de espesor o de hormigón armado de 15 cm de espesor. Debe presentar una resistencia de 175 kg/cm^2 .

El fondo se rellena con hormigón en masa, de 100 kg/cm^2 de resistencia, hasta una altura de 25 cm. Con el hormigón aún tierno se instalará la fosa y se continuará relleno hasta una altura igual a un tercio de la fosa. El resto se rellena con arena o gravilla fina lavada, cribada y libre de polvo, sin arcilla ni materia orgánica y libre de objetos pesados gruesos.

El espesor de la capa situada entre el equipo y la superficie del terreno será de arena y de 50 cm máximo siempre que circule con tráfico rodado sobre la superficie. Si no, la capa será de hormigón armado de 25 cm de espesor.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Las fosas sépticas suponen una acumulación y estabilización de fangos en exceso generados. Dicha reducción de volumen de los fangos permite espaciar el tiempo de operación de purgas periódicas de los mismos.

En general, es fundamental el mantenimiento de la obra civil, de las conducciones y del cerramiento. Además hay que cuidar de la ornamentación vegetal implantada y controlar fauna indeseada (roedores, etc...).

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado

Los **datos previos** que se necesitan para el dimensionado son:

- Caudal medio de aguas residuales.
- Caudal máximo de aguas residuales.

Para el **cálculo de la superficie requerida para la implantación** teniendo en cuenta la población ($50 < h.e < 200$), se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Superficie (m}^2\text{)} = 16,57 \cdot h.e^{-0,691}$$

Además, habrá que tener en cuenta la urbanización de la parcela en la que se ubica la estación de tratamiento con viales de zahorra compactada de 2 m de ancho.

En cuanto al **método de dimensionado**, habrá que calcular el *volumen* de la fosa, lo cual se puede hacer con la siguiente tabla:

Intervalo de extracción de fangos (años)	Volumen útil de la Fosa Séptica (m ³)
1	2,7 • Q _m
2	3,5 • Q _m
3	4,2 • Q _m

En caso de 2 compartimentos, el 1º ocupa 2/3 del volumen. En el caso de 3, el 1º ocuparía el 50% del volumen y, los otros 2, el resto a partes iguales.

En cuanto a las fosas prefabricadas, la *profundidad* es la suma de la altura (o del diámetro de la fosa si la disposición es horizontal), el espesor de las capas de hormigón en las que descansa el equipo y el nivel del terreno.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CEDEX-CENTA (2010): Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Fomento. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9
- www.aguapedia.org

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1 Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2 Bibliografía

- CEDEX-CENTA (2010): Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Fomento. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.
- LEBRATO, J. y POZO-MORALES, L. (2011): *Tratamientos convencionales y posibles del agua*, E.I.A.-Escuela Internacional del Agua, Sevilla.

6.3 Webs

- www.aguapedia.org

6.4 Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5 Ejemplos de aplicación

- Bodegas Fuente Victoria S.A. en Fuente Victoria (Almería).

AR-TP-10: TANQUE *IMHOFF*

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

No hay ningún otro usado para esta tecnología.

1.2. Términos utilizados en inglés

- *Imhoff* tank

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición de la tecnología

Es un sistema de tratamiento primario de aguas residuales para la reducción de sólidos en suspensión sedimentables y flotantes y constituyen uno de los tratamientos primarios de aguas residuales más usado en los sistemas de depuración descentralizados.

Tiene rendimientos similares a las *fosas sépticas* en reducción de sólidos en suspensión y materia orgánica en el efluente y algo menores que los *decantadores primarios*, pero a diferencia de estos, el volumen de fango es menor y, además, ya sale digerido. Con relación a las *fosas sépticas*, la principal diferencia estriba en el bajo grado de septicidad de los efluentes debido a la corta estancia del agua en el sistema.

En resumen, se esperan mejoras en la calidad del agua en los siguientes términos:

Parámetro	Rendimiento global
Sólidos en suspensión	50-60%
DBO5	20-30%
DQO	20-30%

Es así denominado en honor del ingeniero alemán especializado en aguas *Karl Imhoff* (1876-1965). Alrededor de 1925, la digestión separada con calefacción ya había demostrado ser conveniente y económica y, en la actualidad, ésta se emplea en todas las grandes plantas junto con tanques de sedimentación, con remoción continua de los lodos para la digestión. A pesar de esto, los tanques Imhoff todavía tienen su propio lugar en el tratamiento primario de las aguas negras, especialmente debido a su simplicidad de operación.

2.2. Componentes de la tecnología

Consta de un solo depósito separado en dos zonas, la de sedimentación en la parte superior y la de digestión de los sólidos decantados en la inferior. La apertura que comunica ambas zonas impide el paso de gases y partículas de fango de la zona de

digestión a la de decantación, no afectando así a la decantación de los sólidos en suspensión sedimentables.

2.3. Forma de funcionamiento

El agua residual entra en la zona de sedimentación donde los sólidos sedimentables se van acumulando en el fondo del tanque por la gravedad y los sólidos flotantes, incluyendo aceites y grasas, van formando una capa sobre la superficie líquida de la zona de sedimentación. Posteriormente, el agua sale de esta cámara con menos sólidos en suspensión y menos materia orgánica. Los sólidos sedimentables se acumulan en el fondo donde tiene lugar la degradación anaerobia de los mismos. Esto genera una reducción del volumen de los fangos sedimentados así como la producción de biogás, que debe tener una salida en caso de que el tanque esté tapado.

2.4. Definición constructiva

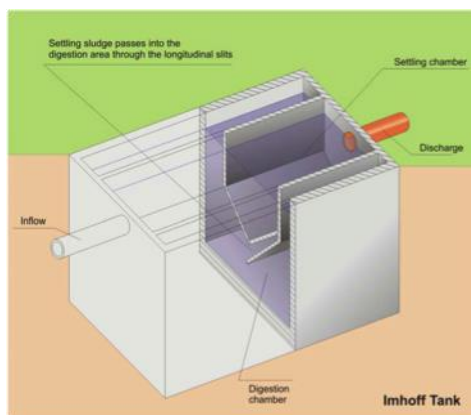


Fig.1. Recreación de un tanque Imhoff. (www.calvin.edu)

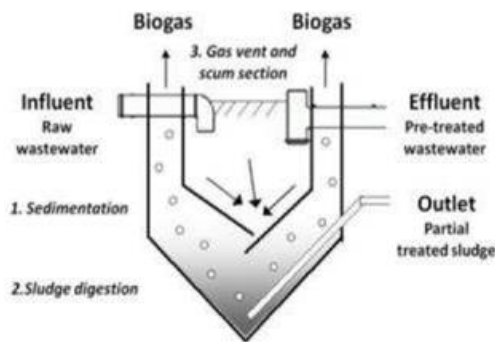


Fig.2. Detalle de zonas de un tanque Imhoff (www.sswm.info)

2.5. Imagen del resultado



Fig.3. Tanque Imhoff en área rural de Perú (www.flickr.com)



Fig.4. Interior de Tanque Imhoff. (CEDEX, 2010)

2.6. Clasificación en tipologías

- **Forma circular**
Aquellos cuya planta es circular. La relación diámetro-altura se determina por el volumen y el área superficial.
- **Forma rectangular**
Aquellos cuya planta es rectangular. La relación longitud-anchura suele ser de 3 a 1.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Se usa, principalmente, para el tratamiento primario de las aguas residuales generadas en residencias individuales y otras instalaciones de pequeña entidad poblacional, carentes de redes de alcantarillado cercanas. En este caso, no suelen contar con sistema de pretratamiento, aunque su inclusión supone un mejor funcionamiento del sistema. Por su simplicidad de operación, en algunas situaciones locales, sólo esta ventaja pesa más que cualquier otra para aplicar este tipo de tanques.

También, se usa en poblaciones mayores, como etapa previa a tratamientos secundarios alternativa a *fosas sépticas* o *decantadores primarios*. En estos casos es necesario contar con un pretratamiento consistente en desbaste y desarenado.

Eso sí, debido a las características constructivas, la capacidad máxima está limitada a unos 500 habitantes equivalentes, aunque si se ve útil, se pueden poner varios tanques en paralelo, repartiendo entre ellos el total del caudal.

La pluviometría influye en caso de redes unitarias y, en relación a la temperatura, en lugares fríos deben ir enterrados para que la temperatura del sistema no baje demasiado.

El tipo de suelo es mejor que sea blando, para que se puede excavar por medios manuales, impermeable y con un bajo nivel freático.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

A continuación, se exponen los costes anuales de implantación y mantenimiento de estos tanques para un supuesto de 1000 h.e.:

- Costes de implantación a partir de un diseño básico:

$$\text{Coste (€)} = 602,19 \cdot h \cdot e^{-0,265}$$

- Costes de explotación y mantenimiento:
 - Coste total explotación y mantenimiento: 8.163 €/año.
 - Coste total unitario: 8,16 €/h.e.

4.2. Fuentes de referencia

- Base de Costes de la Construcción de la Junta de Andalucía (2010).

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

La relación entre las dimensiones de un tanque Imhoff depende de si son circulares o rectangulares.

Las paredes inferiores de la zona de sedimentación presentan pendientes 1,5:1, sobresaliendo uno de los laterales unos 25 cm, para evitar la entrada de gases y fangos. La apertura de la conexión entre las zonas de decantación y de digestión es de 25 cm.

Desde la superficie líquida hasta la coronación de los tanques se suele disponer de una zona de resguardo de unos 60 cm.

En cuanto a los materiales, para tanques pequeños se usa plástico (PE, PRFV) y las instalaciones mayores pueden ser prefabricadas de PRFV o de obra (hormigón). En cualquier caso, el material debe estar preparado para las condiciones de septicidad debido a la producción de ácido sulfhídrico.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Es necesaria una visita de mantenimiento una vez a la semana para equipos de menos de 200 h.e. y dos para instalaciones mayores.

Además, es obligada una inspección y limpieza anual del tanque atendiendo a la estanqueidad y extrayendo fangos y flotantes

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado

Para el dimensionado son necesarios los siguientes **datos previos**:

- Caudal medio diario (Q_{med} , m^3/d)
- Caudal máximo horario ($Q_{máx}$, m^3/h) para zona de decantación,
- Población equivalente para zona de digestión.

Se puede calcular la **superficie requerida para implantación** ($50 < h.e. < 200$).

$$\text{Superficie Horizontal (m}^2\text{)} = 6,235 \cdot h \cdot e^{-0,482}$$

Para ello serán necesarios:

- La urbanización de la parcela en la que se ubica la estación de tratamiento con viales de zahorra compactada de 2 m de ancho.
- La implantación de un pequeño edificio de mantenimiento en las instalaciones mayores de 500 h-e.

En cuanto al **método de dimensionado**, habrá que calcular:

- **Zona de decantación:** Volumen a partir de $Q_{máx}$, Carga hidráulica, C_h , y Tiempo de Retención Hidráulica, TRH:
 - $C_h = Q_{máx}/A_{dec} = 1,0 < C_h < 1,5 \text{ m/h} \rightarrow A_{dec} = Q_{máx}/C_h$
 - A_{dec} = Área superficial de la zona de decantación (m^2)
 - $TRH = A_{dec} / Q_{máx} = 90 \text{ min.} \rightarrow V_{dec} = TRH \cdot Q_{máx}$
 - V_{dec} = Volumen zona de decantación (m^3)
- **Zona de digestión:** $0,14 \text{ m}^3/\text{habitante equivalente}$

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CEDEX-CENTA (2010): *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. Ministerio de Fomento. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

- CEDEX-CENTA (2010): *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. Ministerio de Fomento. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.
- LEBRATO, J. y POZO-MORALES, L. (2011): *Tratamientos convencionales y posibles del agua*, E.I.A.-Escuela Internacional del Agua, Sevilla.
- TEXAS WATER COMMISSION. *Operation & Maintenance Guide for Imhoff Tank and Oxidation Pond Wastewater Treatment Plants*, pp.1-11.

6.3. Webs

- www.aguapedia.org

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- EDAR de Castilleja del Campo, Sevilla.
- EDAR de Gorriti, Navarra.

AR-TP-11: FOSA ANAEROBIA DE ALTA VELOCIDAD

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Fosa de Alta Velocidad (FAV)
- Tanques anaerobios de alta velocidad

1.2. Términos utilizados en inglés

- High Speed Anaerobic Tank

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

El objetivo de la *fosa anaerobia de alta velocidad* es la mejora del diseño con respecto a fosas anaerobias convencionales para aumentar la velocidad de los procesos de depuración consiguiendo los mismos resultados de calidad de efluente final que con dichos sistemas anaerobios de bajo coste tradicionales.

Es un tratamiento primario de aguas residuales urbanas que funciona por digestión anaerobia, sin calentamiento, eliminando más del 65% de los sólidos, que sedimentan y quedan acumulados en la base, y, al menos, el 40% de la materia orgánica por digestión anaerobia. En concreto, las mejoras de calidad se resumen en el siguiente cuadro:

Parámetro	Rendimiento global
Sólidos en suspensión	65-75%
DBO5	36-46%
DQO	36-42%

2.2. Componentes de la tecnología

Este tipo de fosa está constituida por tres cámaras, a través de las cuales pasa el agua realizando un circuito.

2.3. Forma de funcionamiento

El agua pasa, de manera consecutiva, a través de las tres cámaras que conforman la FAV, en cada una de las cuales se produce un proceso diferente. De esta manera, el agua sigue un circuito en flujo pistón desde el punto de vista global del reactor y una mezcla completa por compartimento.

Un sistema de tabiques encontrados divide la cámara en compartimentos a los que el agua accede por la parte inferior, atravesando el lecho de fangos decantados, saliendo por la parte superior, con garantía de un suficiente grado de mezcla y de una ocupación completa del volumen de reactor, aumentándose el contacto agua-fangos con respecto a las fosas tradicionales y evitándose los cortocircuitos hidráulicos. De esta forma se aumenta el rendimiento y se obtiene una reducción significativa de coliformes fecales.

Otros modelos multicompartimentados han sido estudiados anteriormente, siendo los más destacados los ofrecidos por Polprasert y Hoag y el modelo de Medina, que trabajan con fosas de 7 y 9 compartimentos. El problema del elevado número de compartimentos es que complica en exceso la construcción de estos sistemas de alta velocidad, pero también son muy efectivos.

2.4. Definición constructiva

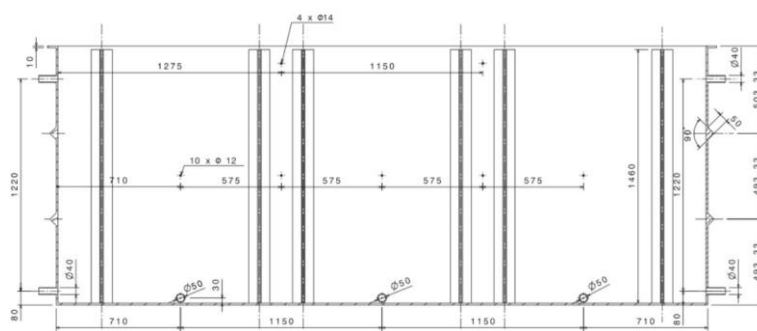


Fig.1. Sección constructiva de FAV. (Grupo TAR, 2010)

2.5. Imagen del resultado



Fig.2. Detalle tajaderas flujo FAV (Pozo-Morales, 2010)



Fig.3. FAV en Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (Sevilla). (Grupo TAR, 2010)

2.6. Clasificación en tipologías

Entre estos *sistemas multicompartimentados*, podemos distinguir según el número de compartimentos entre:

- Modelo *estándar*: Tiene 3 compartimentos.
- Modelo *de Polpraset y Hoag*: Tiene 7 compartimentos.
- Modelo *de Medina*: Tiene 9 compartimentos

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Debido a sus características constructivas, la capacidad máxima de la fosa anaerobia de alta velocidad está limitada a unos 250 h.e. Si se considera necesario para dar servicio a más población, se pueden poner varios tanques en paralelo repartiendo entre ellos el total del caudal.

Frente a la *fosa séptica* y los *tanques Imhoff*, la FAV tiene la ventaja de que necesita menos espacio.

En cuanto al tipo de suelo, lo mejor es un terreno blando, consistente e impermeable y, si es posible, con un nivel freático mayor a 10 m.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

El coste aproximado de los modelos prefabricados es de 428 €/h.e.

4.2. Fuentes de referencia

- Precio de mercado (2013)

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Es un tratamiento primario que necesita antes un pretratamiento.

La capacidad máxima de cada fosa está limitada a 250 h.e. pero, si fuese necesario dar servicio a una población mayor, se pueden poner varios tanques en paralelo repartiendo entre ellos el total del caudal.

Para ubicarlas hay que calcular la superficie total necesaria para lo cual se puede partir de un valor de 0,15 m²/h.e.

Además, hay que tener en consideración la posible emisión de olores si la fosa no se cubre. De hecho, debe estar cubierta, sobre todo, si su profundidad es menor a 2m. Lo ideal es que el tanque esté cubierto y semienterrado.

En el caso de una fosa anaerobia de alta velocidad estándar, el tanque es rectangular de 3 compartimentos con sistema de salida superior y entrada inferior en cada uno, siendo recomendable una relación longitud-anchura mayor a 3:1. En cuanto a la profundidad, debe estar entre 1,5 - 4m.

Además, debe tener una válvula para salida del biogás y una zona de resguardo de 30 a 40 cm desde superficie líquida hasta coronación de tanques.

En cuanto a los materiales, para tanques pequeños se puede emplear plástico (PE, PRFV) y las instalaciones mayores pueden ser prefabricadas de PRFV o de obra. En cualquier caso, debe ser un material preparado para las condiciones de septicidad debido a la producción de ácido sulfhídrico.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

El mantenimiento debe ser de una vez a la semana para equipos de menos de 200 h.e. y de dos para instalaciones mayores.

Además, debe realizarse una inspección y limpieza anual del tanque atendiendo a la estanqueidad y extrayendo fangos y flotantes.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Para un **predimensionado** se puede partir de un valor de 0,15 m²/habitante de superficie unitaria, para una profundidad de 1,5 m.

En cuanto al volumen necesario sería de 0,2 m³/habitante.

En cuanto al **método de cálculo**, para predecir la eliminación de coliformes fecales se pueden emplear los modelos de Polprasert y Hoag y el modelo de Medina, con un coeficiente de Kp = 5,96 l/g SV.d y de Km = 0,92 l/g SV.d respectivamente.

El límite para la predicción de la mejora de calidad bacteriológica se establece para TRH de 1,2 días con coeficientes de Kp = 3,78 l/g SV.d y de Km = 0,58 l/g SV.d respectivamente.

El ajuste a estos modelos disminuye al aumentar el tiempo de retención hidráulico pues se han registrado rendimientos superiores.

Se diseñan con un tiempo de retención hidráulico de entre 0,7 y 1,4 días para obtener rendimientos comprendidos entre el 36 y el 46 % en DBO5, el 36 y el 42 % en DQO y entre el 65 y el 75% en SS.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- Aguapedia.org. <http://aula.aguapedia.org/course/view.php?id=11>

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

- GRUPO TAR (2008): *Investigación y desarrollo tecnológico en ingeniería del agua posible. Desarrollo de canales abiertos de saneamiento* (CAS), Junta de Andalucía, Sevilla.
- GRUPO TAR (2008): *Difusión internacional de la ingeniería del agua posible. Experiencia de CAS en el exterior*. Ministerio de Medio Ambiente.

6.2. Bibliografía

- LEBRATO, J. y POZO-MORALES, L. (2011): *Tratamientos convencionales y posibles del agua*, E.I.A.-Escuela Internacional del Agua, Sevilla. Ed.Escuela Internacional de Ingeniería del Agua de Andalucía. ISBN 978-84-615-4726-5

6.3. Webs

- www.aguapedia.org

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- Saneamiento de una escuela en Damba María (Angola).
- Experimento piloto en PECC de Carrión de los Céspedes (Sevilla).
- Experimento piloto en Complejo Educativo Blanco White de Sevilla.

TRATAMIENTOS SECUNDARIOS

AR-TS-12: LAGUNAJE

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

No hay ningún otro que se suele utilizar.

1.2. Términos utilizados en inglés

- Lagoon system

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición de la tecnología

Es un sistema de depuración de aguas residuales para tratamiento primario y secundario extensivo.

Consiste en varias lagunas conectadas en serie, en las que su profundidad disminuye gradualmente, combinándose condiciones de ausencia y presencia de oxígeno.

Con este sistema se pretende reducir de manera importante los siguientes parámetros y en los siguientes términos:

Parámetro	Rendimiento global
Sólidos en suspensión	40-80%
DBO5	75-85%
N-NH ⁴⁺	70-80%
N	30-70%
Parámetro	40-80%
Coliformes fecales	3-4 u log

2.2. Componentes de la tecnología

Los componentes son los diferentes tipos de lagunas que componen la serie por las que pasa el agua:

- La laguna *anaerobia*.
- La laguna *facultativa*.
- La laguna *de maduración*.

2.3. Forma de funcionamiento

Este método está basado en la imitación de los procesos de depuración que ocurren de manera natural en ríos y lagos, produciéndose la biodegradación de la materia orgánica y la separación de sólidos en suspensión del agua a lo largo de todo su recorrido.

De hecho, los procesos se van produciendo de manera paulatina y consecutiva a medida que el agua va llegando a los diferentes tipos de lagunas. Así, el agua pasa por:

- Una decantación de la materia sedimentable, en la laguna anaerobia.
- La biodegradación de la materia orgánica, en la laguna facultativa.
- La eliminación de sólidos en suspensión y de patógenos, en la laguna de maduración.

Las lagunas anaerobias, de hecho, se emplean como etapa previa a otras tecnologías de depuración, como filtros de turba, lechos bacterianos, contactores biológicos rotativos, etc.

2.4. Definición constructiva

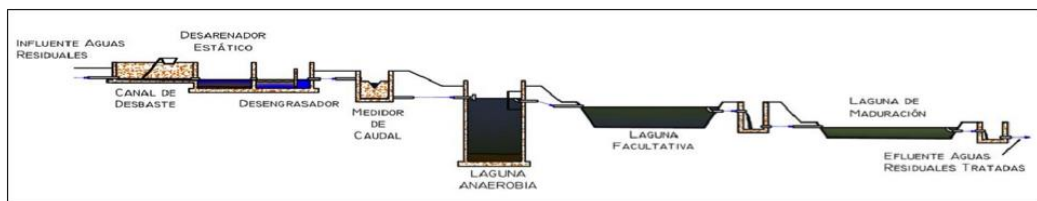


Fig.1. Diagrama de flujo del lagunaje. (CEDEX, 2010)

2.5. Imagen del resultado



Fig.2. Lagunaje de Artá (Mallorca). (CEDEX, 2010)

2.6. Clasificación en tipologías

La siguiente clasificación en tipos de lagunas realmente se corresponde con las fases de un mismo proceso:

- **Laguna anaerobia**

Son lagunas profundas de 3 a 5 m de profundidad y donde se produce un proceso biológico de depuración anaerobio. Soportan elevadas cargas orgánicas (más de $100\text{g DBO}_5/\text{m}^3\text{d}$), por lo que se suelen emplear como 1ª etapa en el sistema. En estos sistemas no hay mecanismos de aireación y, por eso, imperan mecanismos

anaerobios (de ausencia de oxígeno). En ella, decanta la materia sedimentable y flotante que no ha sido eliminada en el tratamiento primario y, en el fondo, se acumulan fangos durante un tiempo suficientemente prolongado como para que estos se estabilicen.

Este sistema es comparable a la fosa séptica y al tanque Imhoff.



Fig.3. Laguna Anaerobia. Carrión de los Céspedes (Sevilla). (Grupo TAR, 2010)

- **Laguna *facultativa***

Su profundidad es de 1,5 a 2m y son más extensas que las anteriores.

Constituyen la 2ª etapa del tratamiento y es donde se produce la biodegradación de la materia orgánica.

Se pueden diferenciar tres estratos:

- El inferior: Está ocupado por sedimentos y es de características anaerobias.
- El superior: También tiene características aerobias pero con presencia de microalgas por los procesos fotosintéticos.
- El intermedio: Predominan las bacterias facultativas dándose condiciones de ausencia y presencia de oxígeno.



Fig.4. Laguna Facultativa. Carrión de los Céspedes (Sevilla). (Grupo TAR, 2010)

- **Laguna *de maduración***

Su profundidad entre 0,8 a 1m lo que facilita la penetración de la radiación solar.

Se trata de la última etapa del sistema, por lo que la carga orgánica es baja. Se eliminan sólidos en suspensión y patógenos, dando lugar a efluentes muy oxigenados.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Es un tratamiento de aguas residuales generadas **en aglomeraciones urbanas menores de 2.000 h.e.** debido a la limitación de espacio ocupado en superficie que, encima, se complica al requerir un tratamiento primario de agua (*fosa séptica, tanque Imhoff* o

decantador primario). Además, se aconseja la implantación de un sistema de filtración (de arena o de piedra, *humedales artificiales*, etc...) para eliminar las microalgas formadas. Con esta medida, por otro lado, se aumenta el rendimiento del sistema.

No es aconsejable su implantación en zonas frías o de baja radiación solar. Para reducir los efectos de las bajas temperaturas, se incrementa el espesor de la lámina de agua con objeto de minimizar la posibilidad de que llegue a helarse toda la masa líquida. En cuanto a la exposición al sol afecta a la laguna *de maduración* ya que es la radiación UV la que disminuye la cantidad de patógenos. También afecta a la actividad fotosintética y proliferación de las microalgas.

En relación a las lluvias, éstas arrastran sólidos y provoca un enfriamiento en la capa de inversión de los fangos, por los que aumenta el consumo de oxígeno. Por contrapartida, provoca una oxigenación en la zona superficial de las lagunas.

En relación al tipo de suelo, debe ser preferiblemente blando, para que se puede excavar por medios manuales, impermeable y con un bajo nivel freático.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Depende de muchos factores.

4.2. Fuentes de referencia

Se elaborará con las Bases de Costes de la Construcción correspondientes.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

La superficie total de las tres lagunas se estima en 5-6 m²/h.e. siendo la superficie requerida para toda la línea de tratamiento mayor a 7m²/h.e.

A la hora de ubicarlas, hay que colocarlas lejos de los núcleos de población para evitar malos olores y, también, hay que evitar árboles e impedimentos para favorecer la aireación de las mismas. Por otro lado, se aconseja implantar un pequeño edificio de mantenimiento en las instalaciones mayores de 500 h.e. y la urbanización de la parcela en la que se ubica la estación de tratamiento debe tener viales de zahorra compactada de 2 m de ancho.

Si el terreno no es impermeable, la permeabilidad se solucionaría con una lámina plástica.

Hay que instalar varios puntos de alimentación a la mitad de la lámina de agua, y de evacuación de efluentes en la superficie, lo más alejado posible unos de otros para evitar caminos preferentes.

La forma redondeada da mejores resultados ya que eliminan zonas muertas y caminos preferentes. Para la forma rectangular se recomiendan relaciones longitud/ancho en el rango 2/1 a 4/1 favoreciendo un modelo flujo pistón y asegurando un mejor rendimiento.

En las *lagunas anaerobias* hay que realizar una construcción de hormigón excavada en el terreno con paredes verticales de 4m de lámina de agua y 0,5m de resguardo. Sus taludes deben tener la proporción 2:1 (horizontal:vertical).

En las *lagunas facultativas* y *de maduración* también hay que excavar en el terreno pero con taludes interiores 2:1/3:1 (horizontal:vertical). Los vasos se impermeabilizan con lámina plástica de PEAD de 1,5mm. La altura de la lámina

será de entre 1,75 y 0,90m, respectivamente, con resguardo de 0,5m. Por último, se protegerán contra la erosión provocada por el oleaje 30 cm por encima y por debajo del nivel de agua con escolleras. Se emplearán resguardos en torno a 0,5m en lagunas menores de 2 hectáreas, mientras que, para lagunas de mayor tamaño, serán de 1m.

Por último, hay que señalar y vallar las lagunas por seguridad.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Hay que controlar el estado del cerramiento siendo importante la reparación, relleno y compactación de hendiduras que puedan aparecer en los taludes de tierra, así como la reparación de roturas de la lámina plástica de impermeabilización.

También es necesaria la eliminación de la vegetación en las zonas de los taludes próximas al nivel de agua (aproximadamente 1 m) para evitar la proliferación de mosquitos y el control del buen estado de la vegetación implantada y la no existencia de roedores .

Además, se realizará la retirada de los fangos cada 5-10 años.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Para la realización de los cálculos, son necesarios los siguientes **datos previos**:

- Caudales de agua a tratar (caudal medio, máximo y mínimo).
- Concentración de aguas a tratar (DBO₅).
- Temperatura media del mes más frío.

Se puede, también, realizar un **dimensionado** más exacto de la superficie requerida para implantación (50 < h.e. < 950):

$$\text{Superficie (m}^2\text{)} = 29,466 \cdot h \cdot e^{-0,203}$$

Pero, además, hay que tener en consideración:

- La urbanización de la parcela en la que se ubica la estación de tratamiento con viales de zahorra compactada de 2 m de ancho.
- La implantación de un pequeño edificio de mantenimiento en las instalaciones mayores de 500 h.e.

En cuanto a los **métodos de cálculo**, varían en función del tipo de laguna:

- *Laguna anaerobia*. Según la carga volumétrica: $V = \text{DBO}_5 \bullet Q / \text{CV}$. Sabiendo que el tiempo de retención hidráulico: $\text{TRH} = V / Q$, debe ser mayor o igual a 2 días, se recalcula el Volumen y así la superficie.
- *Laguna facultativa*. Conociendo la altura de la lámina de agua (1,5-2m), el resguardo (0,5m), los taludes interiores (2:1, horizontal:vertical) y la forma geométrica de la laguna, solo habría que establecer un valor de carga orgánica superficial (<100kg DBO₅/ha.d). Así se calcularía la superficie.
- *Laguna de maduración*. En este caso la carga orgánica superficial ha de ser <75kg DBO₅/ha.d, la profundidad 0,8-1m y el tiempo de retención superior a 5 días. Nuevamente se procedería al cálculo de la superficie.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CEDEX-CENTA (2010): *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*, Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, ISBN: 978-84-491-1071-9.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

- Programa NaWaTech <http://www.nawatech.net/>
- Proyecto Fin de Carrera. Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica de Madrid.

6.2. Bibliografía

- BERLAND, J.M., BOUTIN, C., MOLLE, P.y COOPER, P. (2001): *Guía de procesos extensivos de depuración de las aguas residuales. A las pequeñas y medias colectividades (500-5.000 h.e.)*, Comisión Europea, ISBN 92-894-1690-4.
- CEDEX-CENTA (2010): *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. Ministerio de Fomento. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.
- LEBRATO, J. y POZO-MORALES, L. (2011): *Tratamientos convencionales y posibles del agua*, E.I.A.-Escuela Internacional del Agua, Sevilla.
- SHILTON, A (2005): *Pond Treatment Technology*. IWA Publishing.

6.3. Webs

- www.aguapedia.org

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar

6.5. Ejemplos de aplicación



Fig.5. Lagunaje en EDAR de la Lentejuela (Sevilla). (CEDEX, 2010)



Fig.6. Lagunaje Muro-Santa Margarita (Mallorca). (CEDEX, 2010)

AR-TS-13: HUMEDALES ARTIFICIALES DE AGUAS RESIDUALES URBANAS

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Humedales artificiales

1.2. Términos utilizados en inglés

- Constructed wetlands

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Es un sistema de depuración de aguas residuales secundario extensivo que simula las condiciones de los humedales naturales para eliminar contaminantes.

El carácter “artificial” del humedal se define por tres peculiaridades:

- Su confinamiento se construye mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo.
- Se emplean sustratos diferentes al terreno original para el enraizamiento de las plantas.
- Se elige el tipo de plantas que colonizarán el humedal.

En cuanto al tipo de vegetación utilizada, es la misma de los humedales naturales (carrizos, juncos, enneas, etc...) lo que permite la integración paisajística de estos dispositivos de tratamiento.

Con este sistema se pretende reducir los siguientes parámetros y en los siguientes términos:

Parámetro	Rendimiento global	
	Verticales	Horizontales
Sólidos en suspensión	90-95%	90-95%
DBO5	90-95%	90-95%
DQO	80-90%	80-90%
N-NH ⁴⁺	60-70%	20-30%
N _{TOTAL}	65-75%	20-30%
P _{TOTAL}	10-20%	10-20%
Coliformes fecales	1-2 u log	1-2 u log

2.2. Componentes de la tecnología

En su composición es necesario que estén presentes:

- El *sustrato* que es el que soporta la vegetación.
- Las *plantas emergentes acuáticas* (macrófitas) que, entre otras cuestiones, proporcionan superficie para la formación de películas bacterianas y permiten que se produzcan una serie de procesos.

2.3. Forma de funcionamiento

El agua se depura al circular, a través del *sustrato* filtrante y/o de la *vegetación*, por las diferentes zonas húmedas artificiales donde se desarrollan procesos físicos, químicos y biológicos.

El *sustrato* tiene las finalidades de servir de soporte a la vegetación y de permitir la fijación de la población microbiana (en forma de biopelícula) que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes presentes en las aguas a tratar.

Las *plantas emergentes acuáticas* (macrófitas) son capaces de proporcionar superficie para la formación de películas bacterianas, facilitar la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, contribuir a la oxigenación del sustrato y a la eliminación de nutrientes así como controlar el crecimiento de algas, al limitar la penetración de la luz solar. Además, toleran bien las condiciones de falta de oxígeno, que se producen en suelos encharcados, al contar con canales internos o zonas de aireación.

2.4. Definición constructiva

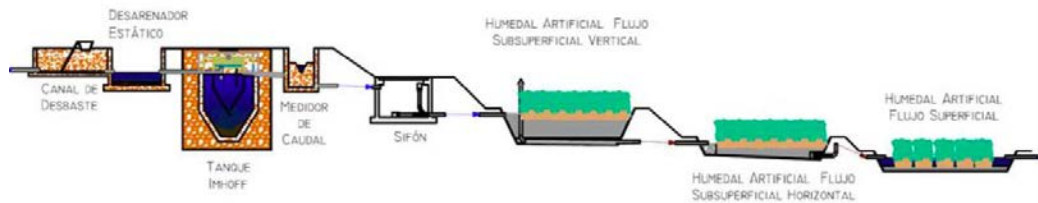


Fig.1. Diagrama de flujo de humedal artificial de flujo conjunto subsuperficial y superficial. (CEDEX, 2010)

2.5. Imagen del resultado



Fig.2. Humedal artificial en Carrión de los Céspedes (Sevilla). (Europa press)

2.6. Clasificación en tipologías

Los humedales artificiales se clasifican, según la circulación del agua, en superficiales o subsuperficiales o subterráneos:

- **Humedal artificial de flujo superficial (HAFS).**

El agua circula por la superficie del sustrato, por lo que se encuentra expuesta directamente a la atmósfera. Los niveles de agua son poco profundos (inferiores a 0,4m), presentando vegetación arraigada en el fondo.

Suelen ser instalaciones de varias hectáreas que, principalmente, se emplean como tratamiento de afino, a modo de reutilización ambiental de las aguas tratadas. La alimentación a estos humedales puede llevarse a cabo de forma continua o intermitente. Con ellos, se obtienen resultados similares a los de los lagunajes.



Fig.3. Humedal de flujo superficial en Carrión de los Céspedes (Sevilla). (Grupo TAR, 2010)

- **Humedal artificial de flujo subsuperficial o subterráneo (HAFSS).**

La circulación del agua es subterránea, a través de un medio granular de permeabilidad suficiente y en contacto con los rizomas y raíces de los macrófitos. La profundidad del nivel de agua se sitúa entre 0,5-1m.

Las capas de áridos que forman el sustrato constituyen la parte esencial del tratamiento. El tamaño de los áridos oscila entre 3-6mm para aguas poco cargadas y 6-12mm para aguas de alta carga.

Pueden ser a su vez de dos tipos:

- **Humedal vertical de flujo subsuperficial (HAFSS horizontal):** Operan en condiciones anaerobias, produciendo efluentes con ausencia de oxígeno disuelto y, por tanto, con un potencial redox negativo. La superficie necesaria para su implantación es de 7,5 m²/ha.

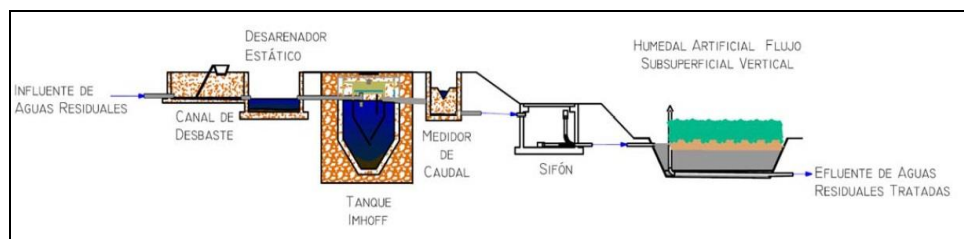


Fig.4. Diagrama de flujo de un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical. (CEDEX, 2010)

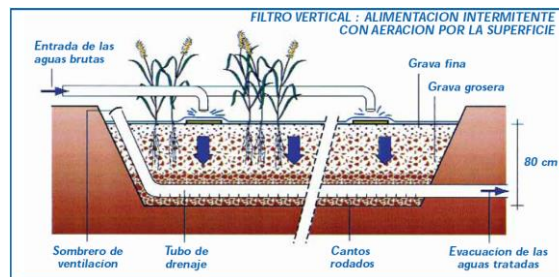


Fig.5. Esquema de humedal vertical de flujo subsuperficial (Berland *et al*, 2001)



Fig.6. Humedal horizontal en Carrión de los Céspedes (Sevilla). (Grupo TAR, 2010)

- **Humedal horizontal de flujo subsuperficial (HAFSS vertical):** Operan con cargas superiores en condiciones aerobias, dando lugar a efluentes oxigenados y libres de olores. La superficie necesaria para su implantación es de 2,3m²/ha.

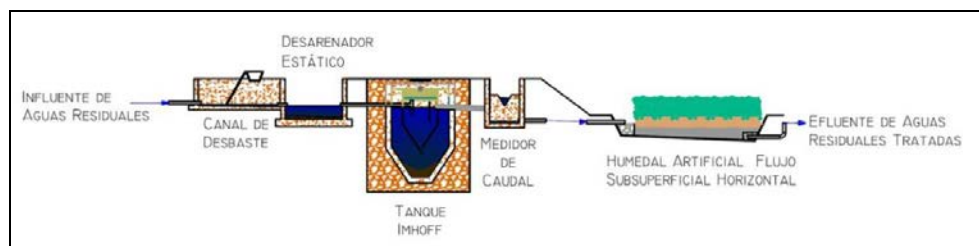


Fig.7. Diagrama de flujo de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal. (CEDEX, 2010)

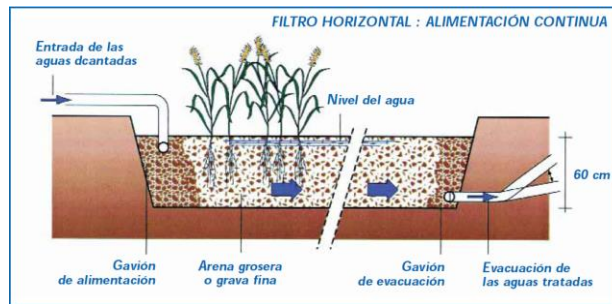


Fig.8. Esquema de humedal horizontal de flujo subsuperficial. (Berland et al, 2001)



Fig.9. Humedal vertical (sin vegetación) en Carrión de los Céspedes (Sevilla). (Grupo TAR, 2010)

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Los **HAFS** se emplean para el tratamiento de las aguas residuales generadas **en las aglomeraciones urbanas menores de 2.000 h.e.**, debido a las limitaciones que presenta en cuanto a superficie ocupada.

Los HAFS reciben los efluentes de un tratamiento secundario y, por tanto, tienen consideración de tratamiento de afino.

Los *humedales artificiales* pueden presentarse en combinación con otras tecnologías, tanto intensivas como extensivas, pudiendo variar notablemente el rango de aplicación indicado.

Por otro lado, hay que conocer también el riesgo de colmatación en los HAFS por incorrectos pretratamientos y tratamientos primarios o por elevadas concentraciones de sólidos en suspensión o grasas.

Además, es posible la aparición de mosquitos y plagas que puedan afectar a la vegetación en los HAFS.

La pluviometría influye en caso de una red unitaria pues, si llueve en exceso, puede haber problemas al diluirse el agua por lavado del reactor.

La temperatura es la que más influye dado que en los HAFS se puede congelar el agua. En los HAFS se observa un descenso de los rendimientos.

Es recomendable un tipo de suelo blando, para que se puede excavar por medios manuales, impermeable y con un bajo nivel freático.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Para un supuesto de 1000 h.e., los costes anuales serían aproximadamente:

- HAFS vertical:
 - Coste total explotación y mantenimiento: 12.872,26€/año.
 - Coste total unitario: 12,87€/año.

- HAFS horizontal:
 - Coste total explotación y mantenimiento: 12.378,26€/año.
 - Coste total unitario: 12,38€/año.

4.2. Fuentes de referencia

- Mayo 2007.
- CEDEX-CENTA (2010): Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Fomento. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Los *humedales artificiales* se construyen por excavación en el terreno.

Es posible combinar en serie HAFSs verticales y horizontales, lo que permite nitrificar en la primera etapa y desnitrificar en la segunda, siempre que la relación C/N en la segunda sea la adecuada.

Colocando HAFS al final se mejora la calidad de las aguas tratadas, al eliminarse más organismos patógenos.

Hay recomendaciones para cada uno de los tipos de humedales:

- HAFS. La alimentación debe ser directa y en continuo o intermitente.
- HAFSs horizontales. La alimentación puede ser continua o intermitente. Las aguas atraviesan un sustrato filtrante de gravilla-grava de unos 0,4-0,6m de espesor, en el que se fija la vegetación. La salida se mantiene unos 5 cm por debajo del nivel de áridos, lo que no impide que las aguas sean visibles. Los tiempos de retención son de varios días.
- HAFSs verticales. La alimentación debe ser intermitente, mediante bombeo o sifones de descarga controlados. Las aguas circulan verticalmente a través de un filtro de arena-gravilla-grava, de 0,5-0,8 m de espesor, en el que se fija la vegetación. En el fondo se recogen los efluentes depurados en una red de drenaje a la que se conectan un conjunto de conductos o tuberías de drenaje verticales (chimeneas), que sobresalen de la capa de áridos, para aumentar la oxigenación del sustrato filtrante por ventilación natural. Los tiempos de retención son de unas horas.

Además, hay otras diferencias. Los suelos de los HAFSs presentan una pendiente del 1% en la dirección entrada-salida y los taludes suelen ser de 45º, mientras que en los HAFS son algo menor. La geometría del confinamiento de los HAFS guarda una relación longitud/anchura de 5:1, los HAFSs 3:1.

Por otro lado, hay que evacuar efluentes depurados por varios puntos para evitar caminos preferentes.

El control del nivel de agua se realiza mediante tuberías abatibles, flexibles o extensibles.

Hay que impermeabilizar el suelo, con arcilla o bentonita compactada o plásticos PEAD, en caso de alta permeabilidad, o compactarlo, en caso contrario.

En relación a la vegetación recomendada, depende de la tipología del humedal:

- En HAFS: juncos, aneas, masiega, iris, juncia, etc., plantadas mediante rizomas o semillas.
- En HAFSs: carrizo.

Por último, es importante considerar la temperatura a la que operará el sistema pues, como ya se ha comentado, es la condición ambiental que más influye dado que, en los HAFS, se puede congelar el agua. En los HAFSs se observa un descenso de los rendimientos.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna que reseñar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Serán necesarias inspecciones rutinarias en general y del reparto de las aguas sobre el filtro.

También habrá que limpiar la reja de desbaste, del desarenado y del sistema de distribución de la alimentación.

Por último, es fundamental la siega de la vegetación y la gestión de residuos resultantes de la misma o de cualquier otro que se encuentre.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo:

Los **datos previos** necesarios para el dimensionado son:

- Caudales de agua a tratar (caudal medio, máximo y mínimo)
- Concentración de aguas a tratar (DBO₅)
- Temperatura media del mes más frío.

En cuanto a la **superficie requerida para la implantación** ($50 < h.e. < 950$), dependerá del tipo de humedal:

- Humedal horizontal: $5 \text{ m}^2/h.e$ considerando carga orgánica sobre el humedal de $8,7 \text{ g DBO}_5/m^2 \cdot d$ y rendimiento del 30% en la etapa de tratamiento primario.
$$\text{Superficie (m}^2\text{)} = 23,16 \cdot h.e^{-0,150}$$
- Humedal vertical: $3 \text{ m}^2/h.e$ considerando carga orgánica sobre el humedal de $14,0 \text{ g DBO}_5/m^2 \cdot d$ y rendimiento del 30% en la etapa de tratamiento primario.
$$\text{Superficie (m}^2\text{)} = 21,04 \cdot h.e^{-0,207}$$

Además, será necesario considerar:

- La urbanización de la parcela en la que se ubica la estación de tratamiento con viales de zahorra compactada de 2 m de ancho,
- La implantación de un pequeño edificio de mantenimiento en las instalaciones mayores de 500 h-e.

En cuanto al **método de cálculo**, también depende del tipo de humedal:

- HAFSs vertical. Cargas orgánicas de $20 \text{ g DBO}_5/m^2$. Profundidad del agua 0,5-0,8m.
- HAFSs horizontal. Cargas orgánicas de $6 \text{ g DBO}_5/m^2$. Profundidad del agua 0,4-0,6m.
- HAFS. Cargas orgánicas $\leq 67 \text{ g DBO}_5/m^2$. Superficie necesaria: $2,3 \text{ m}^2/ha$. Profundidad del agua 0,1-0,4m. THR entre 4-15 días. Carga hidráulica $0,014\text{-}0,046 \text{ m}^3/m^2d$.

La **superficie necesaria** se calcula: $S=L \cdot A = (Q \cdot \ln(C_i/C_e)) / (K_T \cdot h \cdot \phi_s)$

Siendo C_i concentración del contaminante en el influente (mg/l)
 C_e concentración del contaminante en el efluente (mg/l),
 K_T constante de reacción (d⁻¹) que depende, a su vez, de la temperatura: $K_T = K_R \cdot \theta_R^{(T_w - T_r)}$, donde T_w corresponde a la temperatura media del mes más frío, T_r es la temperatura de referencia (20°C).
 ϕ_s porosidad del sustrato filtrante, que fluctúa entre 0,65-0,75.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CEDEX-CENTA (2010): *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, ISBN: 978-84-491-1071-9.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

- *PROYECTO HUMEDAL. Construcción de zonas húmedas para la depuración de aguas residuales (Municipio de Punata, Cochabamba)*. Universidad Mayor de San Simón (Bolivia) y la Universidad de Barcelona.
- LAHORA, A. *Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: La EDAR de Los Gallardos (Almería)*, Gestión de Aguas del Levante Almeriense S.A. www.almediam.org/PDF/humedales_17.pdf
- LARA BORRERO, J.A. (1999a): *Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales*, Trabajo final Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Instituto Catalán de Tecnología, UPC (Universidad Politécnica de Cataluña), Barcelona, www.aprchile.cl/pdfs/Humedales.pdf

6.2. Bibliografía

- BERLAND, J.M., BOUTIN, C., MOLLE, P.y COOPER, P. (2001): *Guía de procesos extensivos de depuración de las aguas residuales. A las pequeñas y medias colectividades (500-5.000 h.e.)*, Comisión Europea, ISBN 92-894-1690-4.
- CEDEX-CENTA (2010): *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. Ministerio de Fomento. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.
- CENTA: *Manual de tecnologías no convencionales para depuración de aguas residuales*.
- LARA BORRERO, J.A. (1999a): *Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales*, Trabajo final Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Instituto Catalán de Tecnología, UPC (Universidad Politécnica de Cataluña), Barcelona, www.aprchile.cl/pdfs/Humedales.pdf
- LEBRATO, J. y POZO-MORALES, L. (2011): *Tratamientos convencionales y posibles del agua*, E.I.A.-Escuela Internacional del Agua, Sevilla.
- UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (2008): *Constructed Wetlands Manual*.

6.3. Webs

- www.aguapedia.org
- <https://sites.google.com/site/humedalesartificiales/>

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- Planta experimental en Carrión de los Céspedes (Sevilla).
- EDAR de Los Gallardos (Almería).

AR-TS-14: SISTEMA DE DRENES DE AIREACIÓN FORZADA

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Drenes de Aireación Forzada (DAF)

1.2. Términos utilizados en inglés

- Forced aeration drain system

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

El sistema DAF (Drenes de Aireación Forzada) es un tratamiento secundario de depuración de aguas residuales urbanas consistente en un conjunto de baterías de canales rellenos de piedra compactadas en superficie y conectadas en serie que, en base a la repetición sucesiva del sistema CAS (ver *Ficha tecnológica* AR-SC-03) a partir de determinadas recomendaciones, proporciona niveles de calidad del agua aptos para el vertido de acuerdo a la legislación vigente.

El objetivo del Sistema DAF es la reducción de la materia orgánica y los sólidos en suspensión de las aguas residuales urbanas en régimen subsuperficial, mediante tecnología de biopelícula y utilizando la piedra como material soporte. Con este sistema se pretende reducir de manera importante los siguientes parámetros quedando las concentraciones en el agua de salida con los siguientes valores:

Parámetro	Concentración en el agua de salida
Sólidos en suspensión	≤ 35 mg/L
DBO ₅	≤ 25 mg/L
DQO	≤ 125 mg/L

2.2. Componentes de la tecnología

El sistema está formado por *baterías de canales rellenos de piedra* tipo CAS, conectadas en serie. Cada batería se compone de un número determinado de canales trabajando cada uno de ellos en paralelo. Dicho número depende de la carga del influente y la capacidad unitaria de tratamiento de cada canal. Todos los canales tienen la misma configuración standard que se define en la ficha correspondiente al CAS.

Concretando más, dado que un sistema CAS de transporte de agua residual es capaz de soportar un límite de carga, en este caso, se instalan tantos como sean necesarios para repartir entre ellos la carga total de agua afluente. Ello constituye la primera batería de tratamiento, que aporta un rendimiento determinado. Si el efluente no alcanza la calidad mínima exigida por la normativa vigente, se instala una nueva batería idéntica a la anterior y en serie con la misma, y así sucesivamente.

Para adaptar el sistema a las variaciones de caudal y carga que puedan producirse a lo largo del día y con el paso del tiempo, es posible distribuir porcentualmente el influente al sistema DAF en las distintas baterías de canales a partir de la colocación en cabecera de *arquetas de reparto*.

Como en los CAS, hay *pozos* situados en el primer y último metro de cada uno de los canales que permiten su mantenimiento.

2.3. Forma de funcionamiento

El agua circula en régimen subsuperficial a través del lecho de piedra, experimentando una mejora progresiva de su calidad, a la vez que es aireada en virtud del circuito de aireación natural forzada del que está provisto cada CAS. Debido a las lentas velocidades de circulación del agua se produce sedimentación de sólidos que, retenidos en el fondo, se ven expuestos a un ambiente anaerobio en la base, originándose con ello un digestor anaerobio de fondo cuyo volumen, una vez formado, permanece casi inalterado gracias a su actividad biológica cuya velocidad de degradación de la materia orgánica es acorde al aporte de sólidos por sedimentación y desprendimiento de la biopelícula de las zonas superiores. La disminución de la capacidad de tratamiento de los canales por formación del citado digestor anaerobio es tenida en cuenta en el diseño de los mismos.

Finalmente, son conectadas en serie tantas baterías de tramos idénticas como sean necesarias hasta obtener el rendimiento en depuración deseado, el cual es aportado por cada batería de CAS en función de la carga volumétrica soportada.

Los humedales artificiales horizontales de flujo subsuperficial son también sistemas de tratamiento de aguas bajo piedra pero se diferencian de los DAF en el tipo de piedra utilizada (cantos rodados frente a piedra angulosa, granulometría muy inferior) su geometría (relación largo ancho próxima a 1:1 en humedales, frente a la relación 1:10 de los CAS) y su carencia de circuito propio de circulación del aire frente a la aireación natural forzada característica de los DAF. Estas diferencias confieren al sistema DAF una mayor fiabilidad frente a atascos, adaptabilidad a distintos regímenes de carga y caudal, facilidad de mantenimiento y localización de eventuales averías, así como posibilidades de modelización.

2.4. Definición constructiva

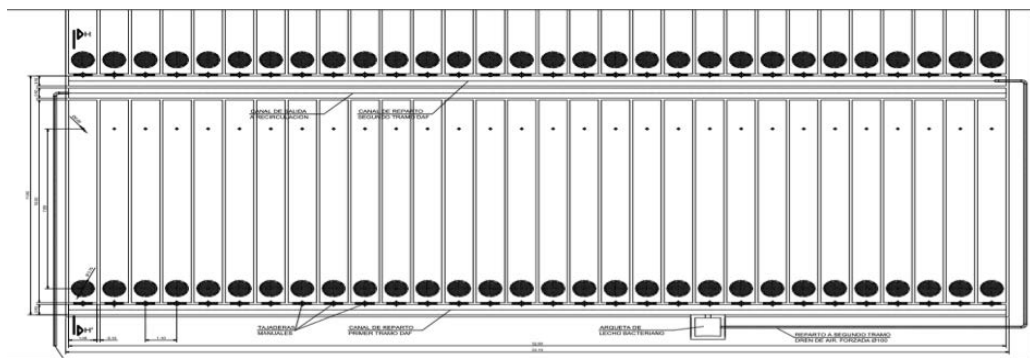


Fig.1. Ejemplo de DAF formado por batería 30 canales en paralelo y en serie con la siguiente (Pozo-Morales, 2010)

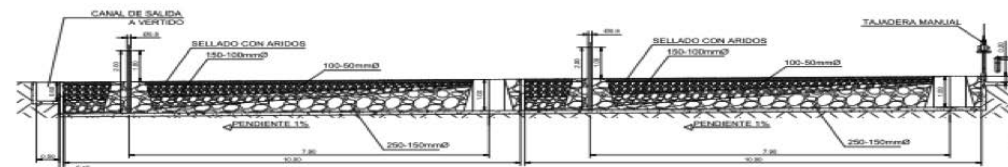


Fig.2. Sección longitudinal de dos tramos de canal en serie (Pozo-Morales, 2010)

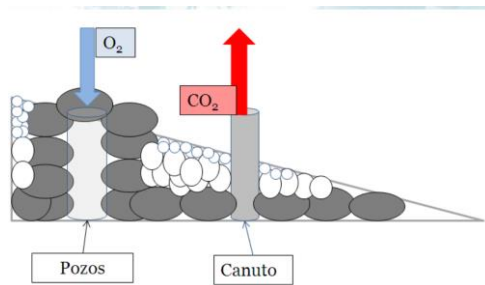


Fig.3. Circuito de gases en DAF (Grupo TAR, 2009)

2.5. Imagen del resultado

(Ver *Ejemplos de aplicación*)

2.6. Clasificación en tipologías

No hay ninguna específica.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Es un tratamiento secundario de depuración de aguas residuales urbanas que necesita aproximadamente $2,5 \text{ m}^2/\text{h.e.}$

Es recomendable que el tipo de terreno sea blando, consistente e impermeable y el nivel freático deseable debe ser mayor a 5 m.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

El coste total se calcula a partir del coste aproximado del tramo estándar de canal CAS que es de 1.360 €/tramo de canal de 10 m

4.2. Fuentes de referencia

Base de Costes de la Construcción de la Junta de Andalucía (2013).

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Para diseñar el sistema, hay que tener en cuenta que el agua residual se reparte en la primera batería formada por n canales tipo CAS. El número n de canales se obtiene en función de la carga que es capaz de soportar cada tramo unitario. De este modo se obtiene la primera batería de drenes de aireación forzada formada por n canales trabajando en paralelo que aportan un determinado rendimiento en DBO, DQO y sólidos del agua a tratar. Si el efluente no ha alcanzado la calidad mínima exigida por la normativa vigente, se instala una nueva batería de CAS idéntica a la anterior y en serie con ella y así sucesivamente. Es normal que sean necesarias de 2 a 4 baterías y la superficie unitaria por habitante es de $2,5 \text{ m}^2/\text{h.e.}$

Al igual que en los CAS:

- Los pozos situados en el primer y último metro de cada uno de los tramos permiten el mantenimiento del mismo.
- Hay que tener en consideración que los tubos de respiración, sobresalen del terreno 1 m.

- Hay que impermeabilizar el canal antes de rellenarlo con la piedra y usar piedra lavada, angulosa y de tipo granítico.
- Hay que sellar con relleno de granulometría decreciente y compactada.
- Hay que proteger los pozos aireadores y tubos respiradores con rejillas, tipo *tramex*.
- Hay que poder aislar tramos mediante tajaderas de entrada. Para ello, la entrada a cada canal deberá estar provista de una tajadera manual de forma que éstos pueden aislarse de manera independiente del resto en cada batería, siendo posible incluso anular baterías completas.
- En cada tramo, la relación Largo/Ancho será 1:10, la pendiente del 1% y la profundidad de la lámina de agua \leq al 60%, fijada por vertederos. La cámara de aire será \geq 40%.
- Dimensionar según la carga hidráulica máxima admisible, respetando la carga máxima orgánica y de sólidos para evitar atascos.
- Suficiente espacio disponible, aproximadamente 2,5 m²/h.e.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna de interés.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Es necesaria la limpieza anual con agua a contracorriente, la extracción de sólidos en pozos donde se sitúa el respirador y la revisión mensual de pozos.

Además, es importante la parada periódica de los distintos tramos para que se produzca la deposición de biopelícula y el secado de sólidos depositados. La parada periódica de tramos facilita su mantenimiento y conservación en buenas condiciones de funcionamiento.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

La **superficie necesaria** se calcula a partir de la superficie unitaria por habitante que es 2,5 m²/h.e. requisitos de tratamiento previo.

En cuanto al **método de cálculo**, hay que analizar los siguientes parámetros:

- El *tiempo de retención hidráulico (TRH) por tramo*: $TRH = V / Q > 1 \text{ h}$
Siendo $Q = \text{Caudal influente (m}^3/\text{h)}$
 $V = \text{Volumen útil (m}^3)$
- La *carga orgánica máxima admisible* por m² de sección transversal: 1000 g DBO/m²d.
Sección tipo: Trapecio Base Mayor = 1m, Base Menor = 0,5 m. Altura = 1m.
- Las *cargas horizontales*:
Hidráulica (C_H): $C_H = Q / S_H \leq 0,07 - 0,53 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d.}$ ($S_H = \text{Superficie horizontal (m}^2)$).
Sección tipo: Trapecio Base Mayor = 1m, Base Menor = 0,5 m. Altura = 1m.
Carga de sólidos: $C_{SS} = Q * (SST) / S_H \leq 10 \text{ g/m}^2 \text{ d.}$ (SST: Concentración de sólidos totales en suspensión (g/m³)).
Carga orgánica: $C_{DQO} = Q / (DQO) \leq 64 \text{ g/m}^2 \text{ d.}$ (DQO: Concentración DQO (g/m³)).
- La *capacidad de depuración*: Se dimensiona en función de las cargas volumétricas de sólidos y materia orgánica.
Rendimiento en eliminación de DBO (%) = $100 \cdot 0,86^{-0,002 \cdot C_{vDBO}}$
($C_{vDBO} = \text{DBO (g / d) / V (m}^3 \text{ reactor)}$)
Rendimiento en eliminación de SST (%) = $100 * 0,65^{-0,0025 \cdot C_{vSST}}$

$$(C_{vSST} = \text{DBO (g / d)} / V (\text{m}^3 \text{ reactor}))$$

La *carga admisible* en cabecera, cuello de botella del canal, condiciona el cálculo de número de canales en paralelo necesarios.

La *longitud total* del sistema, quedará formada por tantas baterías de tramos tipo montadas en serie como sea necesario en función de los requisitos de calidad del efluente.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- www.aguapedia.org. <http://aula.aguapedia.org/course/view.php?id=11>

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

- GRUPO TAR (2008): *Investigación y desarrollo tecnológico en ingeniería del agua posible. Desarrollo de canales abiertos de saneamiento (CAS)*, Junta de Andalucía, Sevilla.
- GRUPO TAR (2008): *Difusión internacional de la ingeniería del agua posible. Experiencia de CAS en el exterior*, Ministerio de Medio Ambiente.

6.2. Bibliografía

- LEBRATO, J. y POZO-MORALES, L. (2011): *Tratamientos convencionales y posibles del agua*, E.I.A.-Escuela Internacional del Agua, Sevilla.
- POZO-MORALES, L., FRANCO, M., GARVI, D. y LEBRATO, J. (2013): *Influence of the stone organization to avoid clogging in horizontal subsurface-flow treatment wetlands*. *Ecol Eng*, 54 (2013) pp.136-144.
- POZO-MORALES, L., FRANCO, M., GARVI, D. y LEBRATO, J. (2014): *Experimental bases for the design of horizontal subsurface flow treatment wetlands in naturally aerated channels with an anti clogging stone layout*, *Ecol Eng*, 70 (2014), pp. 68-81, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857414001761

6.3. Webs

- www.aguapedia.org

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna de interés.

6.5. Ejemplos de aplicación

- Saneamiento del Barrio de Olof Palme en Managua (Nicaragua).



Fig.4. Saneamiento del Barrio de Olof Palme (Grupo TAR)

- Saneamiento de una escuela en Damba María (Angola).
- Experimento piloto en Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (Sevilla).
- Experimento piloto en Campos Experimentales Blanco White. Complejo Educativo Blanco White de Sevilla

AR-TS-15: LECHOS DE TURBA

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Filtros de turba

1.3. Términos utilizados

1.4. en inglés

- Peat filter
- Peat bed

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición de la tecnología

Se trata de un sistema de saneamiento de aguas residuales considerado como tratamiento de depuración secundario extensivo debido a la superficie requerida para su implantación. Este método se basa en el paso y filtración de las aguas a través de un filtro de carbón natural o turba donde experimenta una serie de procesos físicos, químicos y biológicos. La eliminación de contaminantes radica en la elevada polaridad y porosidad de la turba.

Con este sistema se pretenden reducir los siguientes parámetros:

Parámetro	Rendimiento global
Sólidos en suspensión	85-95%
DBO5	85-95%
DQO	80-90%
N-NH ⁴⁺	85-95%
N _{TOTAL}	15-20%
P _{TOTAL}	70-80%
Coliformes fecales	1-2 u log

2.2. Componentes de la tecnología

Los *filtros de turba* están constituidos por recintos en los que se disponen una serie de capas filtrantes, cuya composición, de arriba hacia abajo, suele ser: turba, gravilla y grava.

2.3. Forma de funcionamiento

La depuración se realiza, principalmente, en la capa de turba, mientras que el resto de capas retienen las superiores.

Los efluentes, tras su paso por la turba, son recogidos en el fondo de los filtros. En ocasiones, presentan una ligera coloración amarilla como consecuencia del arrastre de componentes de la propia turba.

2.4. Definición constructiva

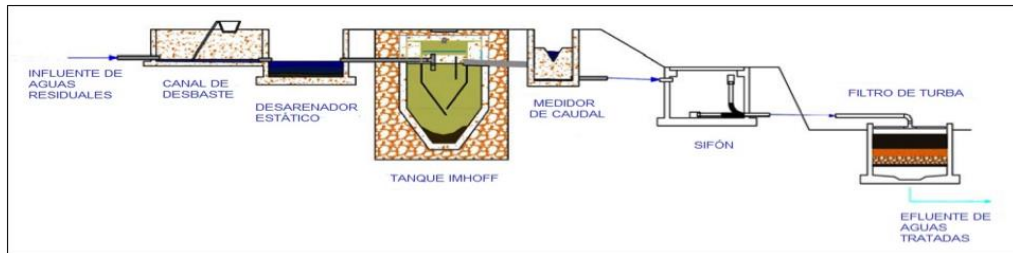


Fig.1. Diagrama de flujo de un filtro de turba. (CEDEX, 2010)

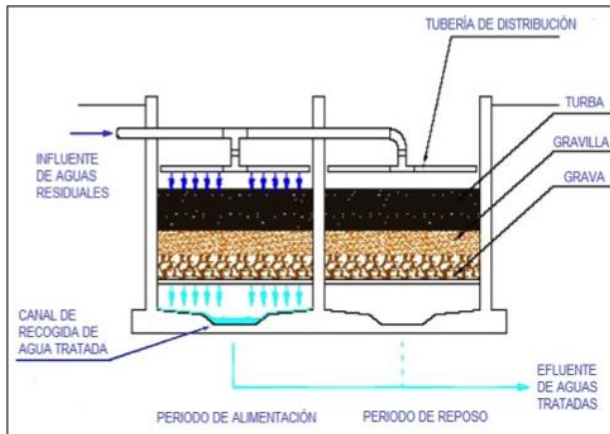


Fig.2. Esquema de un filtro de turba. (CEDEX, 2010)

2.5. Imagen del resultado



Fig.3. Vista general de un filtro de turba en Carrión de los Céspedes (Sevilla). (CEDEX, 2010)

2.6. Clasificación en tipologías

No hay ninguna de interés.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Se recomienda su aplicación **en poblaciones inferiores a 2000 h.e.**

Se usa esta tecnología, también, para minimizar el impacto olfativo de *fosas sépticas* y *tanques Imhoff*. A su vez, éstos evitan la colmatación de los filtros con lo cual es una combinación que funciona muy bien.

La pluviometría se considera un factor limitante en el proceso de secado de los filtros de turba. Además, diluyen las aguas residuales, por lo que se deberá tener en cuenta para evitar desbordes. Por otro lado, temperaturas muy bajas pueden provocar la

congelación del agua sobre los filtros, deteniendo el proceso de filtración. En ese caso, se procedería a cubrir los filtros.

Por último, es recomendable un tipo de terreno blando, para que se puede excavar por medios manuales, impermeable y con un bajo nivel freático. Es interesante, también, una cierta pendiente en el terreno.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Los costes anuales aproximados de la instalación son los siguientes:

Costes de implantación a partir de un diseño básico:

$$\text{Coste (€)} = 1096,7 \cdot h \cdot e^{-0,234}$$

Costes de explotación y mantenimiento:

- Coste total explotación y mantenimiento: 14.131€/año.
- Coste total unitario: 14,13€/h.e.

4.2. Fuentes de referencia

- Base de Costes de la Construcción de la Junta de Andalucía (2010).
- CEDEX-CENTA (2010): Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Fomento. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

La superficie que hay que reservar para los *filtros de turba* es de 1,9 m²/h.e.

Permiten alimentación intermitente pero teniendo en cuenta que las cargas orgánicas deben ser de unos 170g DBO₅/m²d, de lo contrario se obtiene un rendimiento inferior al 70%.

Las aguas a tratar se someten inicialmente a una operación de desbaste, empleando rejillas de limpieza manual de 2-3 cm de luz de paso.

Tras el desbaste se implanta una etapa de tamizado mediante tamices estáticos autolimpiables de 1 mm de paso.

En caso de que las aguas presenten elevadas concentraciones de grasa, las aguas se someten a una operación de desengrasado, para lo que suelen utilizarse desengrasadores estáticos, con extracción manual de las materias flotantes.

Para evitar la colmatación del filtro se implantará una *fosa séptica* que elimine la mayor parte de las partículas sedimentables y flotantes, en caso de población menor de 200 h.e., o *tanques Imhoff*, para poblaciones mayores.

Se debe realizar una excavación en el terreno impermeabilizando con paredes y soleras de hormigón, o recurriendo al empleo de láminas de material plástico (PEAD) de 1,5 mm espesor.

La instalación será de forma rectangular, para facilitar un reparto homogéneo. Cada unidad de filtración debe tener en torno a 100 m² (15x7m).

La pendiente debe ser del 1% en la solera de los filtros hacia la zona del efluente.

La alimentación se realiza mediante tuberías perforadas para una alimentación uniforme, de diámetro 32mm, con una separación de 0,6m

Se colocarán placas protectoras en los puntos de salida de las tuberías de distribución de la alimentación, con objeto de que el agua no origine agujeros en la turba y cree caminos preferenciales.

Para la ventilación del sustrato filtrante se dispondrán chimeneas verticales en el fondo de los filtros que sobresalen por la superficie de la turba, ejerciendo un efecto de tiro y renovación del aire presente en los drenes.

En cuanto a los materiales, las capas de áridos, en orden descendiente, serán: gravilla (3-6mm) de 15 cm espesor, gravilla (6-12 mm) de 15 cm espesor, grava (25-40 mm) de 20 cm espesor. El tamaño de la partícula de la turba será menor del 10% del peso total y de entre 0,1-5 mm. El espesor de la turba recomendado es 40 cm

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Debe realizarse inspecciones rutinarias y de mantenimiento de la reja de desbaste, del desarenador, del sifón o del sistema de bombeo.

Hay que controlar el reparto de las aguas en el sistema.

Hay que rastrillar la superficie del filtro y purgar periódica los fangos generados.

Los sólidos retenidos en la superficie de la turba y la biomasa que se va desarrollando en esta zona disminuyen la velocidad de infiltración de las aguas a través del sustrato por lo que, cada cierto tiempo (10-12 días), se deben detener los filtros en operación y arrancar los que se encuentran en reposo.

Con temperaturas muy bajas se puede congelar el agua sobre los filtros deteniendo el proceso de filtración por lo que, en dicho caso, se procedería a cubrir los filtros.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Para realizar el dimensionado, son necesarios los siguientes **datos previos**:

- Caudales de agua a tratar (caudal medio, máximo y mínimo)
- Concentración de aguas a tratar (DBO₅)
- Temperatura media del mes más frío.

Se puede conocer la **superficie requerida para implantación** (50 < h.e. < 950):

$$\text{Superficie (m}^2\text{)} = 32,923 \cdot h \cdot e^{-0,295}$$

Además, hay que considerar:

- La urbanización de la parcela en la que se ubica la estación de tratamiento con viales de zahorra compactada de 2 m de ancho,
- La implantación de un pequeño edificio de mantenimiento en las instalaciones mayores de 500 h.e.

En cuanto al **método de cálculo**, se calculará exactamente la *superficie necesaria filtrante*: $S = [Q \cdot C_i \cdot \ln(C_i/C_e)] / 0,061$

Siendo: Q el caudal de aguas residuales a tratar (m₃/d)

C_i y C_e la concentración de DBO₅ en g/l del influente y efluente, respectivamente.

Esta ecuación conduce a una superficie de filtración de 1,9 m²/h.e.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CEDEX-CENTA (2010): *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*, Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, ISBN: 978-84-491-1071-9.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguna que destacar.

6.2. Bibliografía

- CEDEX-CENTA. 2010. *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.
- LEBRATO, J. y POZO-MORALES, L. (2011): *Tratamientos convencionales y posibles del agua*, E.I.A.-Escuela Internacional del Agua, Sevilla.

6.3. Webs

- www.aguapedia.org

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- EDAR de Valdepeñas (Granada)



Fig.4. Filtro de turba en EDAR de Valdepeñas (Granada). (Valdepeñas.es, 2015)

- EDAR de Ugíjar (Granada)



Fig.5. Filtros de turba en EDAR de Ugíjar (Granada).

AR-TS-16: LECHOS BACTERIANOS

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Filtro percolador

1.2. Términos utilizados en inglés

- Trickling filter

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Se trata de un sistema de saneamiento de aguas residuales considerado como tratamiento de depuración secundario intensivo, debido a que emplea equipos electromecánicos, por lo que necesita un suministro externo de energía al sistema. Este método, considerado como un sistema de biopelícula, a cambio, no requiere tanta superficie como los tratamientos extensivos.

Con este sistema se pretenden reducir los siguientes parámetros:

Parámetro	Rendimiento global
Sólidos en suspensión	85-95%
DBO5	85-95%
DQO	80-90%
N-NH ⁴⁺	60-65%
N _{TOTAL}	20-35%
P _{TOTAL}	10-35%
Coliformes fecales	90-95%

2.2. Componentes de la tecnología

El componente principal es el *reactor biológico* que está constituido, a su vez, por el material soporte de la biopelícula y el depósito que alberga dicho material. Este depósito suele tener forma cilíndrica y estar abierto a la atmósfera por la parte superior.

2.3. Forma de funcionamiento

El sistema consiste en un proceso aerobio, en el que el agua residual desciende a través de un depósito abierto por la parte superior, que alberga un material de relleno granulado sobre el que se forma una biopelícula de microorganismos. Por otra parte, una corriente de aire atraviesa el lecho por tiro natural o forzado. Al entrar en contacto el agua residual con los microorganismos y el oxígeno del aire, se produce la degradación de la contaminación biodegradable contenida en el agua. Los sustratos disueltos en el agua residual y el oxígeno difunden y se metabolizan en la biopelícula, mientras que el CO₂ y el resto de residuos generados en el proceso difunden hacia el exterior de la película. A su vez, la materia en suspensión y coloidal en el agua a tratar se aglomera y adsorbe en la biopelícula.

Una vez que el agua residual ha atravesado el lecho, es recogida por la parte inferior del mismo y dirigida a un decantador secundario o clarificador, donde el agua ya tratada se separa del exceso de biopelícula erosionada y desprendida por haber llegado a un grosor límite.

2.4. Definición constructiva

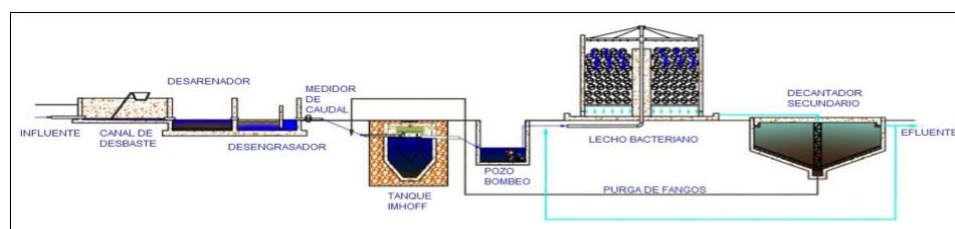


Fig.1. Diagrama de flujo de un lecho bacteriano con tanque Imhoff. (CEDEX, 2010)

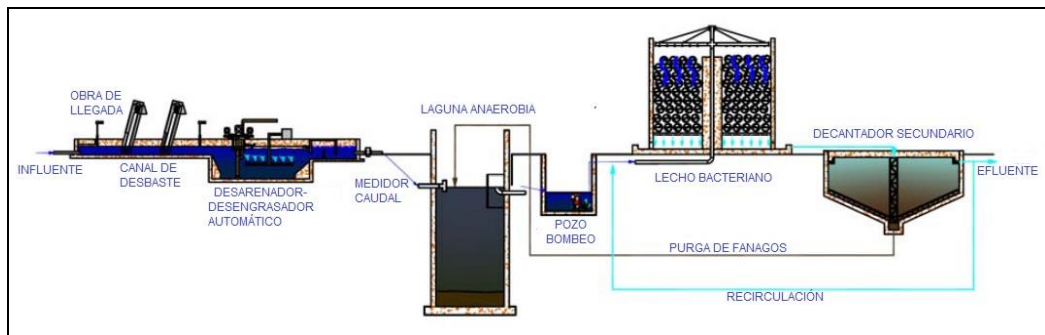


Fig.2. Diagrama de flujo de un lecho bacteriano con laguna anaerobia. (CEDEX, 2010)

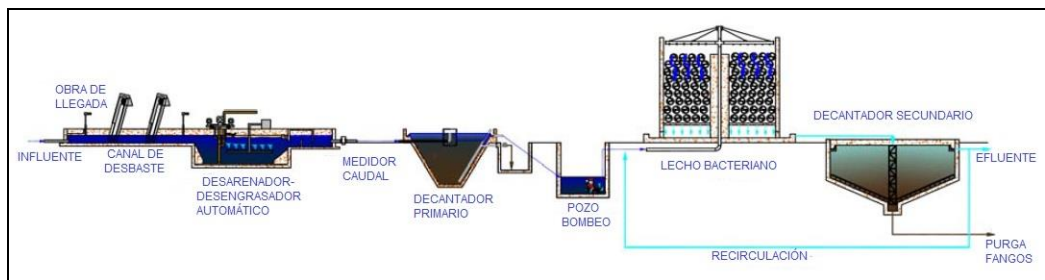


Fig.3. Diagrama de flujo de un lecho bacteriano con decantador primario. (CEDEX, 2010)

2.5. Imagen del resultado

(Ver *Ejemplos de aplicación*)

2.6. Clasificación en tipologías

Los lechos bacterianos se pueden clasificar según varios criterios:

Según el número de etapas:

- De una etapa
- Multietapa

Según de la carga orgánica con la que operan:

- *De baja carga:* Trabajan con una carga $< 0,4$ kg DBO_5/m^3d . Generan baja cantidad de fangos y existe menos riesgo de aparición de malos olores o atasco.
- *De media carga:* Trabajan con una carga entre $0,4 - 0,6$ kg DBO_5/m^3d . Existe mayor riesgo de atasco. Requiere un tratamiento primario para eliminar materia sedimentable.
- *De alta carga:* Trabajan con una carga entre $0,6 - 1,6$ kg DBO_5/m^3d . Requieren una 2ª etapa para alcanzar la calidad equivalente a un tratamiento secundario.
- *De desbaste:* Trabajan con una carga entre $1,6 - 8$ kg DBO_5/m^3d . Se emplean como etapa previa a un lecho de media carga o a un reactor de fangos activos.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Es recomendable su uso en poblaciones inferiores a 2000 h.e.

Con cargas de aguas residuales concentradas, conviene operar con dos etapas (alta carga y baja o media carga) u optar por otra alternativa.

Es menos flexible que los procesos de fangos activos, por lo que se adapta peor ante variaciones respecto a las condiciones de diseño.

En zonas muy frías puede producirse congelación del lecho. En estos casos, se procede al aislamiento térmico del lecho.

La pluviometría influye para el diseño del sistema (caudal máximo) en caso de ser una red unitaria.

El tipo de suelo no influye en la construcción del lecho bacteriano, pero sí en las etapas de decantación donde es preferible un terreno fácil de excavar y con bajo nivel freático.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Los costes de implantación con un diseño básico son:

$$\text{Coste (€)} = 14086 \cdot h \cdot e^{-0,582}$$

En cuanto a los costes anuales de explotación, son:

- Coste total explotación y mantenimiento: 19.875,20€/año.
- Coste total unitario: 19,88€/año.

4.2. Fuentes de referencia

- Base de Costes de la Construcción de la Junta de Andalucía (2010)
- CEDEX-CENTA (2010): Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Fomento. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, constructivas y de mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

En general, se trata de un depósito, generalmente cilíndrico, abierto a la atmósfera que alberga un material soporte en su interior. La forma rectangular se emplea con rellenos de módulo laminar ordenados de material plástico o en plantas muy pequeñas.

El tipo de relleno se selecciona, también, en función de la superficie específica y el índice de huecos, así como por la resistencia mecánica y su durabilidad.

Los materiales que se utilizan como material soporte en los lechos bacterianos son:

- Piedras, con tamaño entre 25 y 100 mm y de diferente naturaleza (silíceas, puzolanas, coque, escoria, rocas volcánicas, etc.). Es frecuente el empleo de grava silícea de 50 mm de tamaño,
- Material plástico con diferentes configuraciones: piezas sueltas (ordenadas o aleatorias) o módulos estructurados ordenadamente para formar el lecho.

El material de relleno se coloca sobre un falso fondo drenante, que lo sostenga pero que permita el paso del agua. La altura del relleno será 2-3 m para relleno de piedras y 4-5 m para relleno de plástico.

Los lechos bacterianos dispone de dos sistemas: *alimentación-distribución de agua de entrada al filtro* y *ventilación-recogida de agua tratada*.

Parte del agua clarificada suele recircularse y mezclarse con el agua residual de entrada al lecho bacteriano, para conseguir una distribución uniforme, evitar zonas secas en el material de relleno, lograr un caudal de percolación capaz de arrastrar la biopelícula desprendida y evitar la colmatación del lecho o para diluir

la concentración contaminante del agua residual, evitando fallos en el funcionamiento del sistema.

Para mejorar la carga hidráulica del decantador, se recircula agua al mismo. Se utiliza fundamentalmente cuando el lecho nitrifica y, de esta forma, se provoca la desnitrificación en el tratamiento primario o en el propio lecho. También se utiliza cuando el decantador secundario se ha quedado pequeño.

Se puede conseguir el arrastre de la biopelícula aumentando el caudal instantáneo aplicado mediante una alimentación intermitente, sin necesidad de añadir agua de recirculación.

Habitualmente los lechos operan con ventilación natural, basada en el tiro producido por la diferencia de temperatura entre el aire y el agua. Si el agua a tratar está más caliente que el aire ambiente, el aire del interior del lecho asciende al calentarse y perder densidad, provocando la entrada de aire más frío. Si el agua está más fría que el aire ambiente ocurre el efecto contrario. Si el tiro natural que se produce no es suficiente, es necesario emplear un sistema con ventilación forzada para evitar esta dependencia de la temperatura.

Por todo ello, en lugares de clima extremo, con inviernos muy fríos, se recomienda un aislamiento térmico de paredes del lecho con ventilación forzada. El sistema depende de las variaciones de temperatura del agua residual y del aire ambiente. Para un correcto funcionamiento la diferencia de temperatura aire-agua debe ser $\pm 2^{\circ}\text{C}$ y para un óptimo funcionamiento $\pm 6^{\circ}\text{C}$. En zonas muy frías puede producirse congelación del lecho, si no se toma la medida anterior.

Y, en relación al sistema de aireación, conviene limitar la altura del lecho a 3 m en caso de ventilación natural. Por otra parte, en el caso de ventilación forzada se evita la dependencia de las condiciones climatológicas que presenta la ventilación natural.

Además, hay que tener en cuenta que:

- La alimentación puede ser intermitente.
- Carga orgánica: 0,2 – 0,4 kg DBO₅/m³d.
- Carga hidráulica: >0,4 m³/m²h para relleno de piedras, >0,8 m³/m²h para relleno de plástico.
- Recirculación: 0 – 1 de relación Q_r/Q, referido al caudal punta.
- Velocidad ascensional: mayor de 0,8 m/h a caudal máximo.
- THR: mayor de 2,5 m/h a caudal máximo.
- Carga sobre vertedero: máximo 15 m³/ml•h.
- Por encima de 1000 h.e.: valor máximo de C_{v,DBO5} de 0,4 kg DBO₅/m³d y C_{v,NTK} de 0,1 kg NTK/m³d. Por debajo de 1000 h.e.: valor de C_{v,DBO5} 0,2 kg DBO₅/m³d y C_{v,NTK} de 0,05 kg NTK/m³d.
- Distribuidores móviles de agua motorizados que permitan alcanzar valores de fuerza de lavado entre 4 y 8 mm durante la operación normal del lecho, para conseguir un buen arrastre del fango en exceso, y valores entre 20 y 100 mm para realizar procesos de lavado (de 6 horas durante la noche).

5.1.2. Recomendaciones constructivas

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Es importante un buen mantenimiento de la obra, de las conducciones y del cerramiento, además del control de la vegetación implantada y de la posible aparición de roedores.

Debe haber un programa de mantenimiento: horas de funcionamiento, ruidos, revisiones periódicas, averías, etc.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Para el dimensionado hay que partir de una serie de **datos previos**:

- Caudales de agua a tratar (medio, máximo y mínimo)
- Concentración de aguas a tratar (DBO_5)
- Concentración de NTK en caso que se precise nitrificar.

Se puede calcular la **superficie requerida para implantación** ($200 < h.e. < 2000$):

$$\text{Superficie (m}^2\text{)} = 8,228 \cdot h.e. e^{-0,416}$$

Además, hay que considerar:

- La urbanización de la parcela en la que se ubica la estación de tratamiento con viales de zahorra compactada de 2 m de ancho,
- La implantación de un pequeño edificio de mantenimiento en las instalaciones mayores de 500 h-e.

En cuanto al **método de cálculo**, hay que analizar los siguientes parámetros:

- *Volumen de relleno*: Volumen necesario para la eliminación de la materia carbonatada (m^3): $V_{F,C} = DBO_{5(E)} / C_{V,DBO5}$; volumen necesario para nitrificar: $V_{F,N} = N_{(E)} / C_{V,NTK}$. Siendo $C_{V,DBO5}$ la carga de DBO_5 por unidad de volumen de relleno ($kg\ DBO_5/m^3.d$) y $C_{V,NTK}$ la carga de NTK por unidad de volumen de relleno ($kg\ NTK/m^3.d$). Volumen total de relleno: $V_{TF} = V_{TF,C} + V_{TF,N}$.
- *Tasa de recirculación*: $RC \geq [(DBO_{5(E)} / DBO_{5(SD)}) - 1]$. Los subíndices (E) y (SD) corresponden a las corrientes de entrada y del sistema de distribución.
- *Altura del lecho*: Para minerales se recomiendan alturas de 2 – 3 m y para plásticos de 4 – 5 m.
- *Superficie del lecho* (m^2): $S_F = V_F / h_F$.
- *Carga hidráulica máxima* (m/h): $q_A = Q_{2h,p} \cdot (1+RC) / S_F$, que suele tener valores mínimos de 4 m/h para rellenos de mineral y 0,8 m/h para rellenos plásticos.
- *Fuerza de lavado* (mm): $F_F = q_A \cdot 1000 / (a \cdot n)$, donde 'a' es el número de brazos rotatorios de distribución del agua de alimentación al lecho y 'n' el número de rotaciones por hora del sistema de distribución (h^{-1}).
- *Superficie del decantador secundario* ($S_{(DS)}$, en m^2): $q_A = Q_{m(DS)} / S_{(DS)}$ ($\leq 0,8 - 1\ m/h$); $Q_{m(DS)} = Q_{2h,p} (1 + RC)$; siendo $Q_{m(DS)}$ es el caudal máximo de entrada al decantador (m^3/h). En el caso de redes unitarias, se tendrá en cuenta el caudal máximo de entrada a la planta, incluyendo el agua de lluvia ($Q_{h,max}$), en lugar de $Q_{2h,p}$.
- *Volumen del decantador secundario*: $V_{(DS)} = t_{R(DS)} \cdot Q_{m(DS)}$. En este caso, $t_{R(DS)}$ es el tiempo de residencia hidráulica en el decantador (h). Se recomiendan valores $\geq 2,5\ h$.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CEDEX-CENTA (2010): *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*, Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, ISBN: 978-84-491-1071-9.
- Norma ATV A 281E.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

- CEDEX-CENTA. 2010. *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.
- LEBRATO, J. y POZO-MORALES, L. (2011): *Tratamientos convencionales y posibles del agua*, E.I.A.-Escuela Internacional del Agua, Sevilla.

6.3. Webs

- www.aguapedia.org

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- Lecho bacteriano en El Ronquillo (Sevilla)



Fig.4: Lecho bacteriano en El Ronquillo (Sevilla) (CEDEX, 2010)

- Lecho bacteriano en Carrión de los Céspedes (Sevilla).



Fig.5: Lecho bacteriano en Carrión de los Céspedes (Sevilla). (CEDEX, 2010)

- EDAR con lecho bacteriano en Bermeo (Vizcaya)



Fig.6. EDAR con lecho bacteriano en Bermeo (Vizcaya). (CEDEX, 2010)

- EDAR en Castilleja del Campo (Sevilla).

AR-TS-17: FILTROS VERDES (SUELO)

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

No se le suele denominar de ninguna otra manera.

1.2. Términos utilizados en inglés

- Green filters

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Objetivo de la tecnología

Es un sistema de depuración de aguas residuales considerado como tratamiento de depuración secundario extensivo debido a la superficie requerida para su implantación. Este tratamiento recurre al empleo del suelo como elemento depurador aprovechando los procesos químicos, físicos y biológicos naturales que se desarrollan en el ecosistema suelo-agua-cultivo. Esto permite eliminar parte de los contaminantes aún presentes en el suelo.

Con este sistema se pretenden reducir los siguientes parámetros:

Parámetro	Rendimiento global
Sólidos en suspensión	90-95%
DBO5	90-95%
DQO	85-90%
N _{TOTAL}	80-90%
P _{TOTAL}	75-85%
Coliformes fecales	1-2 u log

2.2. Componentes de la tecnología

El elemento fundamental es el propio suelo y la vegetación que se implante en el lugar.

2.3. Forma de funcionamiento

Este tratamiento emplea el suelo como elemento depurador aprovechando los procesos físicos, químicos y biológicos naturales que se desarrollan en el ecosistema suelo-agua-cultivo. A continuación se detallan dichos procesos:

- La filtración es un proceso físico mediante el cual los sólidos en suspensión presentes en el agua quedan retenidos en los primeros centímetros del terreno. La capacidad de filtración depende de las propiedades del suelo, especialmente de su granulometría y textura.
- Entre las acciones químicas juega un papel muy destacado la capacidad de cambio iónico del suelo, así como su pH y las condiciones de aireación/encharcamiento que afectan a los procesos de oxidación-reducción. Estas propiedades determinarán la movilidad de los contaminantes en suelo y su disponibilidad por parte de las plantas.
- En cuanto a las acciones biológicas, puede diferenciarse entre las inherentes a las actividades radicales de las plantas y, las producidas por los microorganismos del

suelo, que operan tanto en condiciones aerobias (en los estratos superiores del terreno), como anaerobias (en los estratos más profundos).

2.4. Definición constructiva

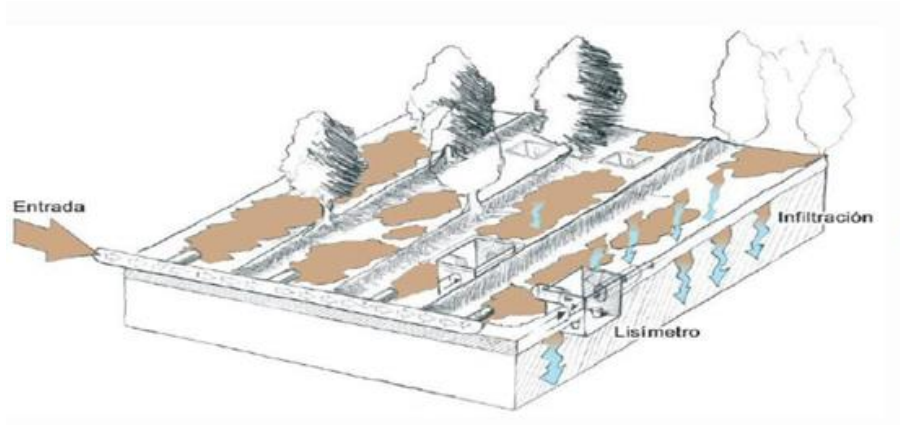


Fig.1. Esquema de filtro verde. (tecdepur.com)

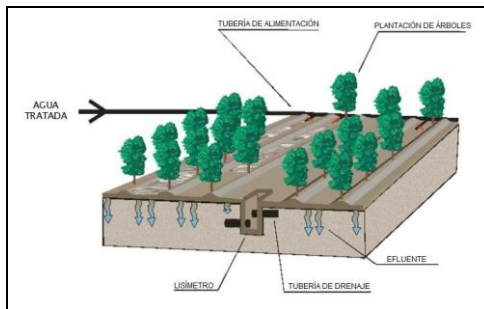


Fig.2. Esquema de un filtro verde (Centa)

2.5. Imagen del resultado



Fig.3. Las Herrerías (Almería). (CEDEX, 2010)



Fig.4. Carrión de los Céspedes (Sevilla). (CEDEX, 2010)

2.6. Clasificación en tipologías

No hay ninguna que destacar.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Se puede usar como:

- Tratamiento directo de aguas residuales en pequeñas aglomeraciones urbanas.
- Tratamiento regenerador de aguas ya tratadas. En este caso, el límite de sólidos en suspensión es ≤ 35 mg/l (Real Decreto para "usos ambientales"). Para este uso no se controla la calidad microbiológica de las aguas regeneradas.
- Reutilización de aguas regeneradas (en riegos y recarga de acuíferos).

El mayor problema es que necesita una gran superficie para su aplicación.

También es una dificultad el control de las aguas percoladas. La autoridad competente, en ocasiones, considera la utilización de estos sistemas como devolución a cuerpos de agua y limita su uso en base a la carga contaminante.

Como hay vegetación implantada en el suelo, éste debe ser fértil y ligero y ni especialmente gravoso ni turboso.

La temperatura influye en la medida de que en los meses cálidos necesita mayor aporte de agua (pozo, acequia de riego, etc...).

El proceso mejora con el sol que también será bueno para las especies vegetales.

Y, en cuanto a la pluviometría, influye si afecta al caudal de alimentación de agua en una red unitaria. Además, puede producir encharcamientos en el terreno.

El sistema tiene la ventaja adicional de que se puede aprovechar económicamente la madera obtenida en el filtro verde para obtención de celulosa, combustible, etc... y madera secundaria.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Los costes anuales, para un supuesto de 1000 h.e., son los siguientes:

- Inversión de capital: 39.875€.
- Costo de operación: 9.695€.

4.2. Fuentes de referencia

- Base de Costes de la Construcción de la Junta de Andalucía (2010).

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

A la hora de elegir la ubicación del sistema, hay que tener en cuenta que requiere un pretratamiento, es decir, una etapa de desbaste con desarenado y desengrasado.

La vegetación a implantar deberá poder asimilar nutrientes y agua por transpiración, crecer rápidamente, tolerar los suelos húmedos y tener unas mínimas exigencias de explotación. En España, la especie vegetal más empleada en este tipo de sistemas son chopos, eucaliptos, olmos o sauces.

Se establecerán una o varias especies en la superficie del terreno y se aplicará el agua a tratar mediante algún tipo de riego. Además, la insolación del sotobosque mediante una mayor separación entre árboles beneficia al proceso, sobre todo, cuando la vegetación no está desarrollada y el sistema radicular no está muy extendido.

Por último, no hay que olvidar que hay que abrir vías de paso para la maquinaria.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

El riego del filtro verde, normalmente debe ser “a manta”, rota por calles o parcelas. Así, el suelo pasa por constantes fases de encharcamiento o humectación y de reposo en las que se el suelo se reoxigena, lo que permite el mantenimiento de la comunidad microbiana en condiciones aerobias.

Para controlar el rendimiento se instala en el terreno una red de lisímetros que permitan la recogida de muestras a diferentes profundidades.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Para el dimensionado son necesarios una serie de **datos previos** que son:

- Carga hidráulica
- Caudal medio de aguas residuales
- Permeabilidad del suelo
- Concentración de nitrógeno en el agua percolada.

Para calcular la **superficie necesaria para su implantación** se puede hacer con un valor de 50 m²/h.e.

En el **método de cálculo**, se analizarán los siguientes parámetros:

- *Cantidad de agua aportada*. Balance hídrico: Dotación de riego = $ET_m + P_{wm} - P_{rm}$; donde ET_m son los mm/mes de evapotranspiración mensual, calculado a partir de la diaria (ET , en mm/día). P_m es la precipitación mensual determinada del valor medio en un periodo de 10 años y expresado en mm/mes.
- *Evapotranspiración diaria*: $ET = K_c \cdot ET_0$, siendo K_c el coeficiente de consume del cultivo, ET_0 la evapotranspiración de referencia calculada a partir de la ecuación $ET_0 = p(0,046 \bar{T} + 8)$, p es el porcentaje medio de horas de sol, \bar{T} es la temperatura media diaria (°C).
- *Tasa de infiltración (P_{mw})*: $P_{wmensual} = P_w \text{ diaria} \cdot (n^\circ \text{ días de riego al mes})$. Calculando la tasa de infiltración diaria con la siguiente expresión:
 $P_w \text{ diaria} = \text{permeabilidad (mm/h)} \cdot 24 \text{ (h/d)} \cdot v$; ‘ v ’ expresa la permeabilidad mínima y se estima entre 4 – 10%.
- *Superficie necesaria*. Se calcula mediante la ecuación: $S = 365 \cdot Q / (10 \cdot C_h)$. Esta expresión permite calcular la superficie en ha, en función del caudal medio diario de aguas residuales a tratar (m³ / d) y la carga hidráulica (mm / año).

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CEDEX-CENTA (2010): *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*, Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, ISBN: 978-84-491-1071-9.
- www.aguapedia.org

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

- Asociación Argentina de Economía Agraria (2011): La inclusión de la dimensión económica de la Evaluación de Impacto Ambiental.

6.2. Bibliografía

- CEDEX-CENTA (2010): *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*, Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, ISBN: 978-84-491-1071-9.
- CENTA (2009): *Manual de tecnologías no convencionales para depuración de aguas residuales*.
- LEBRATO, J. y POZO-MORALES, L. (2011): *Tratamientos convencionales y posibles del agua*, E.I.A.-Escuela Internacional del Agua, Sevilla.

6.3. Webs

- www.aguapedia.org
- www.pecc.org

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- Arenas del Rey, Granada.
- Cuevas de Almanzora, Almería.
- Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (Sevilla)



Fig.5. Filtro Verde de Eucaliptos. Detalle alimentación. PECC (Centa, 2009)



Fig.6. Filtro Verde de Chopos. PECC (Centa, 2009)

AR-TS-18: SISTEMA DE INFILTRACIÓN RÁPIDA (SUELO)

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

No se le suele denominar de ninguna otra manera.

1.2. Términos utilizados en inglés

- Rapid infiltration

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Se trata de un sistema de depuración de aguas residuales considerado como tratamiento de depuración secundario extensivo debido a la superficie requerida para su implantación. Este tratamiento recurre al empleo del suelo como elemento depurador siendo el destino final de las aguas infiltradas su incorporación al acuífero subyacente o su salida hacia aguas superficiales.

La infiltración rápida es la técnica en la cual se aplica, de manera controlada, el agua residual pretratada de forma intermitente sobre balsas superficiales de poca profundidad construidas en suelos de permeabilidad media o alta. La capacidad de infiltración oscila entre 10-60 cm/día.

La alternancia de las balsas en operación permite mantener en condiciones de aerobiosis las primeras capas del sustrato filtrante.

El sistema debe alternar periodos de inundación con periodos de secado, para permitir la regeneración aerobia de la zona de infiltración y mantener la máxima capacidad de tratamiento. Al secarse la superficie, se activa la descomposición de la materia orgánica y la desnitrificación. Al volver a inundar, el nitrato formado sufre lixiviación hasta que encuentra las condiciones anaerobias para la desnitrificación.

Con este sistema se pretenden reducir los siguientes parámetros:

Parámetro	Rendimiento global
Sólidos en suspensión	90-95%
DBO5	90-95%
DQO	70-80%
N _{TOTAL}	30-95%
P _{TOTAL}	25-40%
Coliformes fecales	1-2 u log

2.2. Componentes de la tecnología

El componente principal son las propias balsas.

2.3. Forma de funcionamiento

La depuración tiene lugar mediante procesos físicos, químicos y biológicos, los cuales se producen al atravesar el agua residual urbana la zona no saturada.

2.4. Definición constructiva

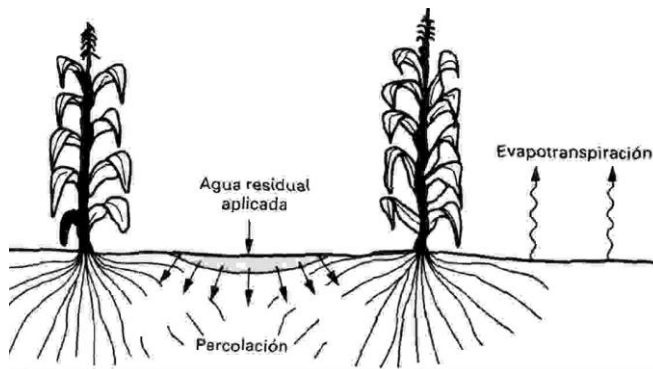


Fig.1: Esquema de infiltración rápida. (CENTA, 2002)

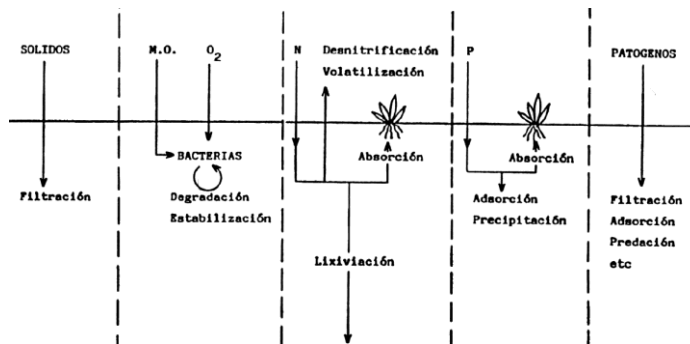


Fig.2. Esquema de procesos de infiltración rápida. (CENTA, 2002)

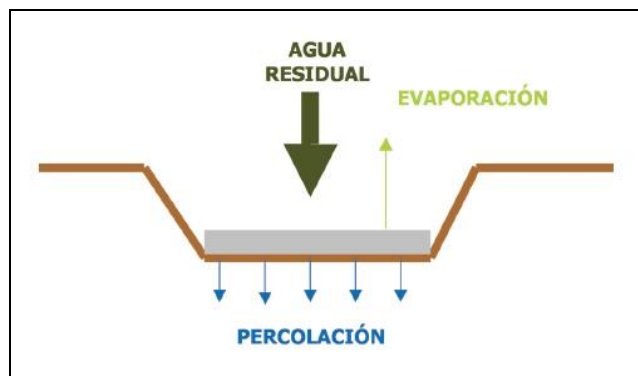


Fig.3. Esquema de la infiltración rápida. (CEDEX, 2010)

2.5. Imagen del resultado



Fig.4. Imagen de una superficie de infiltración rápida. (IGME, 2013)

2.6. Clasificación en tipologías

No hay ninguna que destacar.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Las aplicaciones recomendadas para estos sistemas son las siguientes:

- El tratamiento directo de aguas residuales en pequeñas aglomeraciones urbanas (menores de 5.000 h.e.).
- La reutilización del agua tratada.
- La recarga de acuíferos, la lucha contra la intrusión marina y el incremento de caudales de ríos o manantiales con el acuífero recargado. La autoridad competente, en ocasiones, considera la utilización de estos sistemas como devolución a cuerpos de agua y limita su uso en base a la carga contaminante.

No es eficiente para la eliminación de contaminantes procedentes de la actividad industrial.

Como limitación, se aplica esta técnica a procesos con alta carga hidráulica (6-100m/año), lo que repercute en un menor rendimiento del sistema, con respecto a los de baja carga.

En general, se colmata rápidamente el sistema.

Se producen pérdidas por evaporación, aunque sólo suponen una pequeña fracción del agua aplicada. Estas aumentarán si la exposición al sol de las balsas es alta.

El sistema no puede operar cuando hay heladas.

La lluvia provoca escorrentía superficial, lo que aumenta el caudal de agua que llega a las balsas. Este aporte de agua extra no puede infiltrarse en el terreno, lo que puede llegar a producir daños en los componentes físicos del sistema.

Los terrenos tienen que ser muy permeables, de texturas arenosas o arenosas-limosas y el nivel freático debe ser superior a 3m.

Para permitir la reoxigenación del terreno filtrante se precisa alternar los periodos de aplicación de agua y los periodos de secado de las balsas.

La vida útil de este sistema es de unos 10 años.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Para una población de 1.000 habitantes, los costes estimados son:

- Coste de construcción de obra civil: 26.142,4 €.
- Costes de operación y mantenimiento: 2.729,33 €/año.

4.2. Fuentes de referencia

- Base de Costes de la Construcción de la Junta de Andalucía (2010)
- CEDEX-CENTA (2010): Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Fomento. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Para ubicar el sistema hay que tener en cuenta que requiere un pretratamiento, es decir, una etapa de desbaste con desarenado y desengrasado.

Para evitar riesgos de colmatación de la superficie inferior de las balsas de infiltración, también será necesario un tratamiento primario, generalmente, *balsas de decantación*.

En general, se necesita una superficie de entre 1-22 m²/h.e.

La pendiente del terreno no debe superar el 20%.

Los terrenos tienen que ser muy permeables, de texturas arenosas o arenosas-limosas. Se debe evitar, especialmente, un gran contenido de arcilla o lima en el último estrato del área de infiltración dado que pueden segregarse, distribuirse por la superficie e impedir el futuro movimiento del agua.

Las balsas de almacenamiento serán de 40x40 m en la superficie y 35x35 m en las bases. La inclinación de los taludes es del 66% y la profundidad de 2m. Las balsas se dividen a su vez en dos semibalsas.

Es muy importante la alternancia de las balsas pues permite mantener en condiciones de aerobiosis las primeras capas del sustrato filtrante. El sistema debe alternar periodos de inundación con periodos de secado, para permitir la regeneración aerobia de la zona de infiltración y mantener la máxima capacidad de tratamiento. Al secarse la superficie, se activa la descomposición de la materia orgánica y la desnitrificación. Al volver a inundar, el nitrato formado sufre lixiviación hasta que encuentra las condiciones anaerobias para la desnitrificación. En las balsas no se suele poner vegetación salvo que se emplee sistema de aspersión como método de aplicación al terreno. En caso de usarlas se realizará un mantenimiento periódico de las mismas.

Las tasas de evaporación en balsas son de 0,6 m/año en regiones frías y > 2 m/año en las áridas.

El reparto de las aguas sobre el área filtrante se realiza mediante tuberías de PVC de 90 mm de diámetro.

Para la toma de muestras de efluentes lixiviados hay que instalar un pozo de 1,5m de diámetro y una profundidad de 3m.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

No hay ninguna que destacar.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Para el dimensionado, los **datos previos** que se necesitan son:

- Carga hidráulica
- Caudal medio de aguas residuales
- Permeabilidad del suelo
- Concentración de nitrógeno en el agua percolada.

Se puede calcular la **superficie requerida para implantación** ($50 < h.e < 950$):

$$Superficie (m^2) = 16,203 \cdot h.e^{-0,128}$$

Además, hay que considerar:

- La urbanización de la parcela en la que se ubica la estación de tratamiento con viales de zahorra compactada de 2 m de ancho,
- La implantación de un pequeño edificio de mantenimiento en las instalaciones mayores de 500 h.e.

En el **método de cálculo**, se analizarán los siguientes parámetros:

- *Carga hidráulica:* C_H (mm/año) = $V_i \cdot F_a \cdot D_o \cdot 24$ (h/d); siendo V_i la velocidad de infiltración expresada en mm/h, F_a un factor de aplicación y D_o los días de operación al año.
- *Factor de aplicación (F_a):*

Método de medición en campo	F_a (con respecto a la velocidad de infiltración mínima medida)
Ensayo de infiltración en balsas	10-15%
Infiltrómetro y permeámetro con entrada de aire	2-4%
Conductividad hidráulica vertical	4-10%

- *Tiempo de permanencia del agua en las balsas de almacenamiento:* 18 horas.
- *Ciclos típicos de los sistemas de infiltración rápida:*

Objetivo del ciclo de recarga	AR aplicada	Estación	Periodo de aplicación (días)	Periodo de secado (días)
Maximización de velocidades de infiltración.	Primaria	Verano	1-2	5-7
		Invierno	1-2	7-12
	Secundaria	Verano	1-3	5-4
		Invierno	1-3	5-10
Maximización de la eliminación de nitrógeno.	Primaria	Verano	1-2	10-14
		Invierno	1-2	12-16
	Secundaria	Verano	7-9	10-15
		Invierno	9-12	12-16
Maximización de la nitrificación.	Primaria	Verano	1-2	5-7
		Invierno	1-2	7-12
	Secundaria	Verano	1-3	4-5
		Invierno	1-3	5-10

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CEDEX-CENTA (2010): *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*, Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, ISBN: 978-84-491-1071-9.
- www.aguapedia.org

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

- Guía para la Selección de Tecnologías de Depuración de Aguas Residuales por Métodos Naturales. Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador).

6.2. Bibliografía

- CEDEX-CENTA (2010): *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*, Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, ISBN: 978-84-491-1071-9.
- CENTA (2009): *Manual de tecnologías no convencionales para depuración de aguas residuales*.

- IGME-Instituto Geológico y Minero de España (2013): *La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno.*
- LEBRATO, J. y POZO-MORALES, L. (2011): *Tratamientos convencionales y posibles del agua*, E.I.A.-Escuela Internacional del Agua, Sevilla.

6.3. Webs

- www.aguapedia.org
- www.aguasresiduales.info

6.4. Otras herramienta

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- Dehesas de Guadix, Granada.
- Mazagón, Huelva.

AR-TS-19: ESCALERA DE OXIGENACIÓN

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Cascada de aireación
- Aireación por gravedad

1.2. Términos utilizados en inglés

- Aeration Stair

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

La *escalera de oxigenación* es un sistema de aireación por gravedad que aprovecha la energía potencial para introducir oxígeno en el agua sin necesidad de ningún aporte externo. El objetivo de este dispositivo es, por tanto, aumentar la concentración de oxígeno disuelto en el agua residual o tratada sin gasto energético alguno. También, se puede conseguir una reducción de metales disueltos, principalmente hierro, y de algunos gases.

Actualmente, la *aireación por gravedad* se usa con diferentes fines, como el aumento de oxígeno disuelto en efluentes de depuradoras (*post-aireación*), ambientes naturales y estanques de acuicultura así como para la eliminación de metales disueltos y gases en aguas de consumo humano.

2.2. Componentes de la tecnología

Consiste en una serie de cajones o compartimentos llenos de agua dispuestos de forma escalonada.

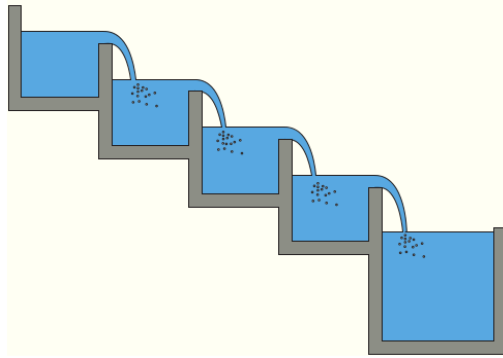


Fig.1. Esquema básico de una escalera de oxigenación (Grupo TAR)

2.3. Forma de funcionamiento

El agua cae, por gravedad, de uno a otro recipiente arrastrando aire de la atmósfera e introduciéndolo en el agua. De esta forma, parte del oxígeno presente en el aire se transfiere al agua y la concentración de oxígeno disuelto se incrementa en cada salto. Paralelamente, se puede conseguir una reducción de metales disueltos, que al oxidarse con el oxígeno introducido precipitan, y de gases como CO_2 , CH_4 , H_2S u otros orgánicos volátiles por arrastre.

2.4. Definición constructiva

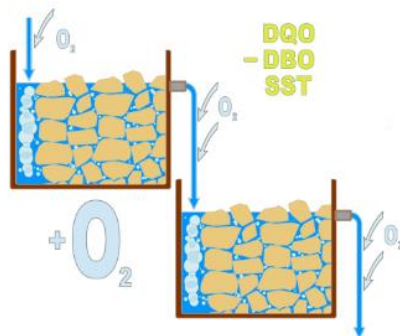


Fig.2. Esquema escalera de oxigenación (Grupo TAR, 2012)

2.5. Imagen del resultado

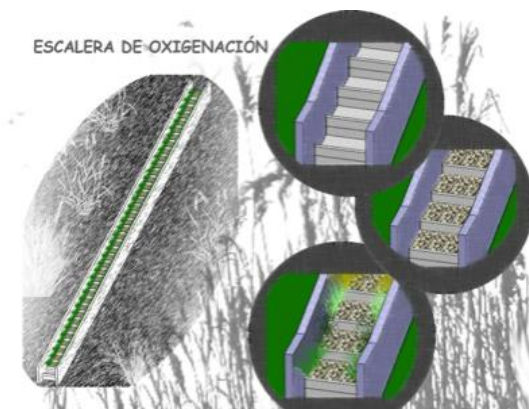


Fig.3. Escalera de oxigenación (Grupo TAR, 2011)

2.6. Clasificación en tipologías

No hay ninguna que destacar.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

En general, es recomendable su uso en sitios donde el suministro de energía eléctrica es limitado o desaconsejable y que, de por sí, tengan una pendiente pronunciada (más del 25%).

Puede servir para tratar tanto para aguas grises como para residuales.

Un ejemplo de aplicación es a la salida de un tratamiento secundario o terciario, como *post-aireación*, para mejorar la calidad del efluente a verter o reutilizar y evitar la anaerobización del medio receptor.

Otro ejemplo sería usarlo como conexión entre un sistema anaerobio y otro aerobio, para reducir la necesidad de aporte de oxígeno en el segundo.

Por último, es posible usarlo para oxigenación a pequeña escala del caudal de entrada a sistemas naturales como estanques o piscinas de acuicultura.

Es importante introducir un pretratamiento y un tratamiento primario previos, para completar el proceso en casos de depuración, como tratamiento secundario que es.

También, hay que tener precaución con los posibles contactos con la población, pues está al aire libre para estar en contacto con la atmósfera. Por ello, debe estar debidamente protegida y separada de los usuarios para evitar posibles infecciones.

En cuanto al tipo de suelo, lo ideal es que sea un terreno blando, consistente e impermeable.

Además, es importante saber que la solubilidad del oxígeno disminuye con el aumento de la temperatura y la contaminación del agua, reduciéndose el poder oxigenador de la escalera.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Dependerá de muchos factores como los materiales utilizados, las dimensiones, etc...

4.2. Fuentes de referencia

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Es fundamental adaptar la estructura a la pendiente existente, que tiene que ser como mínimo de un 25%, pudiendo ir apoyada en la superficie o excavada.

Los cajones pueden ser cuadrados o rectangulares adaptados a dicha pendiente.

El lado más largo no debe exceder 1 metro, esta medida facilita tanto la construcción como el mantenimiento.

La *altura del salto*, distancia desde el vertedero hasta la superficie del agua del cajón inferior, debe estar entre 20 y 50 cm y, para optimizar la oxigenación, la relación óptima entre la *altura del salto* y la *profundidad del agua retenida* en el escalón inferior debe ser de 3 a 2.

Para evitar que el agua, en su caída, se desvíe y resbale por las paredes perdiendo eficacia de oxigenación, se pueden instalar algunos caños que concentren el caudal en uno o pocos puntos y lo dirijan directamente al cajón inferior, o,

también, cortavientos artificiales o vegetales en los laterales que eviten que el viento modifique la trayectoria.

La estructura puede ser de hormigón o ladrillos revocados, módulos prefabricados de hormigón o de plástico.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Al no contener elementos o piezas complejas, el sistema requiere un mantenimiento mínimo.

Sí es muy importante retirar los posibles desechos como papeles, plásticos u hojas que caigan con cierta asiduidad así como los sedimentos que vayan acumulándose en el fondo de los cajones y en el vertedero. La periodicidad de esta acción será función de la ubicación de la escalera ya que estará más o menos cargada de partículas sedimentables, más después de un tratamiento primario y menos con aguas para vertido o reutilización.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

En general, el dimensionado más adecuado es el que mejor se adapte al terreno. En función de éste, hay que mantener los cajones lo más cúbicos posibles, con una arista menor de 1 metro y un salto de entre 20 y 50cm.

A partir de ahí, se calcula la concentración de oxígeno disuelto que se puede obtener.

Las mismas fórmulas valen para calcular el número de saltos óptimo para una altura determinada o la altura y número de saltos necesarios para alcanzar la concentración requerida.

Se calculan los diferentes parámetros con las fórmulas siguientes:

- *Altura del salto (h)*: $h = H/n \text{ (m)}$

Siendo: H = desnivel total
n = número de saltos

- *Eficiencia de un salto (K)*: $K = a \cdot (1 + 0,046 \cdot T) \cdot h$

Siendo: a: 0,45 para agua limpia
0,36 para agua salida de tratamiento secundario
0,29 para agua salida de tratamiento primario
T Temperatura (°C).

- *Concentración de oxígeno disuelto en escalón n (C_n)*: $C_n = C_s - (C_s - C_o) \cdot (1-K)^n$

Siendo: C_s = Concentración de saturación de oxígeno a temperatura T (mg/l)
C_o = Concentración de oxígeno disuelto de entrada al sistema

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- ALPASLAN, B. Universidad de Marmara, Estambul (Turquía).
http://mimoza.marmara.edu.tr/~bilge.alpaslan/enve301/Lectures/Chp_5.pdf

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

- LUNA LOAYZA, C. (2008): *Tratamiento de aguas residuales servidas con escaleras de oxigenación en pequeñas comunidades campesinas de la Sierra Peruana: Caso de las comunidades Huaccoto y Kircas*. Proyecto Fin de Máster Ingeniería del Agua, Grupo TAR.
- HERNÁNDEZ LIZARRAGA, A. *Sistema Escalonado de Tratamiento de Aguas Residuales*. Proyecto Fin de Máster Ingeniería del Agua, Grupo TAR.

6.2. Bibliografía

- ARAS, E. y BERKUN, M. (2012): *Effects of tailwater depth on spillway aeration*.
- BAYLAR, A. y BAGATUR, T. (1999): *Study of Aeration Efficiency at Weirs*.
- BUTTS, T.A (1988): *Development of design criteria for sidestream elevated pool aeration*. Illinois Department of Energy and Natural Resources.
- TALIB, A.D., YUSOFF, A., SHAHRIR A. y ROSLINA AIDA R., *Fundamental development and the design of an efficient cascade aerator*.

6.3. Webs

- www.aguapedia.org

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- Aplicación de escalera de oxigenación en comunidades campesinas de Huaccoto y Kircas (Perú). Proyecto Fin de Máster Ingeniería del Agua, Grupo TAR, 2008.



Fig.4. Aplicación de escalera de oxigenación en Huaccoto y Kircas (Perú) (Luna, 2008).

TRATAMIENTOS TERCIARIOS

AR-TT-20: FILTROS DE ARENA

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

No se le suele denominar de ninguna otra manera.

1.2. Términos utilizados en inglés

- Sand filters

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Esta tecnología forma parte de las denominadas tecnologías extensivas debido a la superficie necesaria para su implantación y se usa, habitualmente, para la desinfección final del efluente, por lo que recibe la denominación de tratamiento terciario. Como tratamiento terciario, las aguas residuales antes necesitarán un pretratamiento, un tratamiento primario y, en ocasiones, un tratamiento secundario.

Los filtros de arena son lechos poco profundos (0,6 - 1,1 m) dotados de un sistema superficial de agua a tratar y de un drenaje inferior para la recogida de los efluentes tratados.

La mayor parte del tratamiento bioquímico tiene lugar en los primeros 15 cm del sustrato filtrante que las aguas atraviesan verticalmente y sobre el que se desarrolla una película bacteriana que se mantiene sin saturar y en condiciones aerobias.

Con este sistema se pretenden reducir los siguientes parámetros:

Parámetro	Rendimiento global
Sólidos en suspensión	90-95%
DBO5	90-95%
N-NH ⁴⁺	70-80%
N	40-50%
P	15-30%
Coliformes fecales	2-3 u log

2.2. Componentes de la tecnología

El sistema está formado, fundamentalmente, por unos lechos llenos de arena y un drenaje inferior.

2.3. Forma de funcionamiento

En este sistema se dan tres mecanismos básicos:

- Filtración en la superficie del filtro, donde queda la mayor parte de la materia en suspensión.
- Adsorción de los contaminantes solubles y coloidales sobre la biopelícula formada.
- Oxidación de la contaminación retenida y adsorbida, realizada por la biomasa adherida a las partículas del material filtrante.

2.4. Definición constructiva

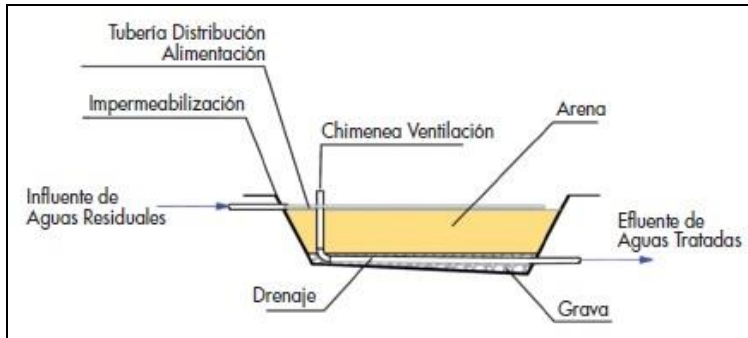


Fig.1. Filtro de arena sin recirculación.

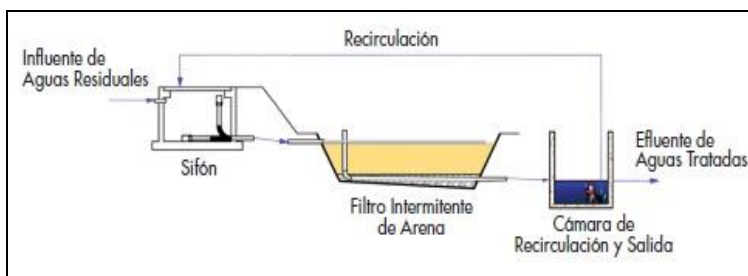


Fig.2. Filtro de arena con recirculación

2.5. Imagen del resultado



Fig.3. Filtro de arena en Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (Sevilla). (aquaberri.com)

2.6. Clasificación en tipologías

- **Filtro de arena *sin recirculación***

Las aguas atraviesan el sustrato filtrante una única vez, de arriba abajo.

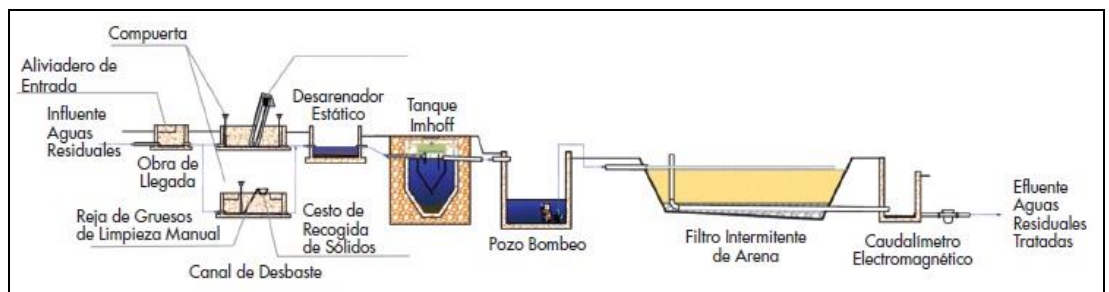


Fig.4. Diagrama de flujo de un filtro de arena sin recirculación para 200-500 h.e. (CEDEX, 2010)

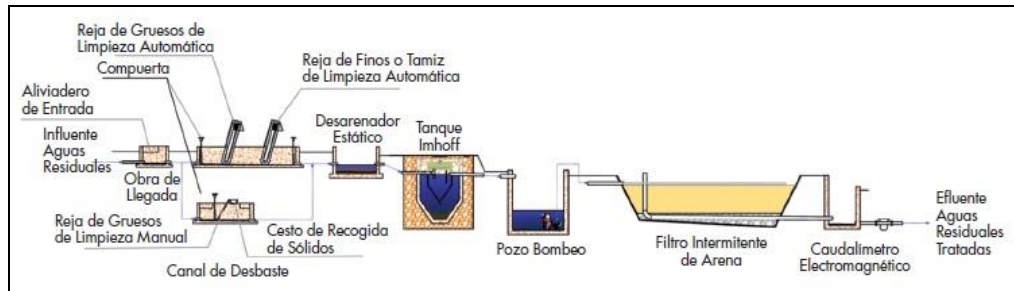


Fig.5. Diagrama de flujo de un filtro de arena sin recirculación para 500-1.000 h.e. (CEDEX, 2010)

- **Filtros de arena con recirculación**

El filtro tiene una granulometría más grande. Una fracción de los efluentes depurados se conduce a un depósito de recirculación, donde se mezclan los efluentes del tratamiento primario y se diluyen con las aguas aplicadas al filtro.

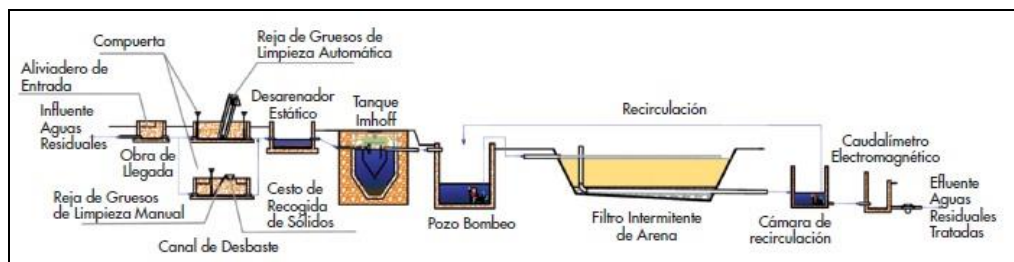


Fig.6. Diagrama de flujo de un filtro de arena con recirculación para 200-500 h.e. (CEDEX, 2010).

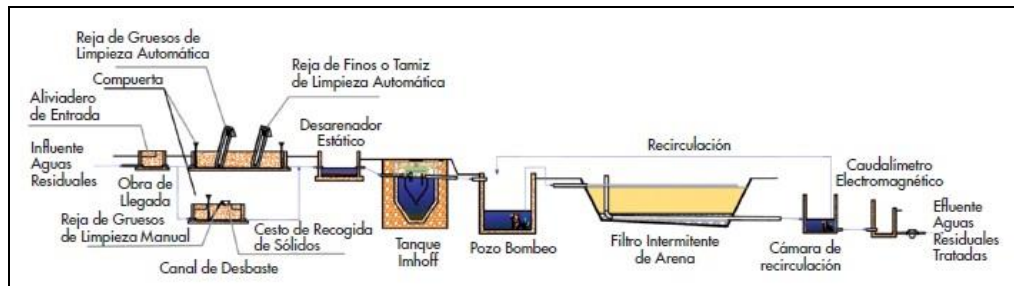


Fig.7. Diagrama de flujo de un filtro de arena con recirculación para 500-1.000 h.e. (CEDEX, 2010).

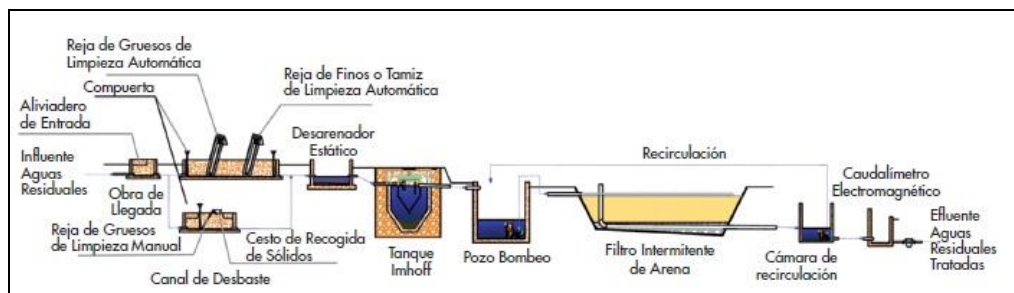


Fig.8. Diagrama de flujo de un filtro de arena con recirculación para 1.000-2.000 h.e. (CEDEX, 2010).

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Es importante someter al agua, antes de pasarla por los filtros de arena, a una etapa previa de pretratamiento y tratamiento primario.

Las aplicaciones recomendadas para esta tecnología son:

- Tratamiento de aguas residuales generadas en viviendas aisladas.
- Tratamiento de aguas residuales generadas en pequeñas aglomeraciones. Con poblaciones inferiores a 1.000 h.e. podría ser sin recirculación y, para poblaciones de hasta 2.000 h.e., los filtros sí deben incluir recirculación.

La superficie requerida para su implantación está en torno a 1-3 m²/h.e. o, incluso, entre 3-5 m²/h.e.

Los terrenos deberán ser fáciles de excavar, de naturaleza impermeable y con un bajo nivel freático. Además, es preferible que dispongan de algo de pendiente.

Las lluvias afectan mucho porque arrastran mayores cantidades de arenas. Además, aumentan el caudal de agua en el sistema.

En cuanto a la temperatura, es el parámetro que más influye en el rendimiento. La temperatura mínima no debe bajar de 5°C. En caso de temperaturas inferiores, se dotará al filtro de una cubierta de protección térmica, para evitar la congelación del agua.

Este tratamiento se adapta, perfectamente, a las puntas de caudal y contaminación y a las variaciones estacionales, aunque presenta riesgo de colmatación.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Los costes de implantación a partir de un diseño básico son los siguientes:

- Coste sin recirculación: $Coste (\text{€}) = 918,93 \cdot h.e^{-0,266}$
- Coste con recirculación: $Coste (\text{€}) = 1493,58 \cdot h.e^{-0,403}$

4.1. Fuentes de referencia

- Base de Costes de la Construcción de la Junta de Andalucía (2012)
- CEDEX-CENTA (2010): Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Fomento. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, constructivas y de mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Los tratamientos recomendados varían según los habitantes equivalentes (h.e.):

- Para 50-200 h.e.: Requiere pretratamiento con reja de gruesos de limpieza manual como by-pass.
- Para 200-500 h.e.: Requiere un doble canal con una reja de gruesos de limpieza manual (como *by-pass*).
- Para 500-1.000 h.e.: Con los mismos requerimientos del caso anterior junto a una reja de finos de limpieza automática tras la de gruesos.

La entrada al sistema de filtros se hace mediante tuberías perforadas de 32 mm de diámetro, conectadas a la parte superior de la tubería de distribución con una separación entre ellas de 0,6m.

Las tuberías de salida del sistema son de 100 mm de diámetro, con las ranuras de salida hacia arriba.

El fondo de los filtros presenta una pendiente del 0,1% hacia la salida. Los taludes de 45°. El confinamiento debe estar impermeabilizado con plástico o varias capas de arcilla o bentolita de 10 cm cada una.

En el caso de los filtros sin recirculación, el espesor del sustrato filtrante oscila entre 0,6-0,9 m, mientras que para los filtros con recirculación el espesor oscila entre 0,6-1,1m.

Para favorecer la oxigenación del sustrato se suelen conectar chimeneas verticales a las tuberías de drenaje. Deben sobresalir por encima del medio filtrante.

Las aplicaciones de agua al sistema sin recirculación son de 12-24 veces al día. El volumen de la cámara dosificadora debe ser de 0,5-1,5 veces el caudal de agua a tratar diariamente. En el caso de los filtros con recirculación, la frecuencia de dosificación de alimentación al filtro debe ser de 48 veces al día, presentando la cámara de dosificación un volumen de 1,5 veces el caudal de las aguas a tratar diariamente.

El tamaño de la arena de los filtros sin recirculación es de 0,25-1 mm, con un coeficiente de uniformidad < 4. Las arenas deben estar lavadas. En el caso de filtros con recirculación, el tamaño efectivo de la grava lavada se encuentra en torno a 3-20 mm, siendo el coeficiente de uniformidad < 2,5.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Son necesarias inspecciones rutinarias para llevar a cabo:

- La evacuación de residuos en la reja de desbaste y desarenadores así como de los fangos generados en el tratamiento primario.
- La comprobación del funcionamiento del sifón y de la recirculación.
- El rastrillado de filtros.
- El mantenimiento de la obra civil y de la ornamentación vegetal implantada.
- El control de roedores, insectos, etc...

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado

Los **datos previos** necesarios para el cálculo son:

- Caudales medio, mínimo y máximo a tratar.
- DBO₅ a la entrada y a la salida del sistema de las aguas a tratar.

Se puede calcular la superficie requerida para implantación (50 < h.e. < 950) según tenga el sistema recirculación o no:

$$\begin{aligned} \text{Sin recirculación: } & \textit{Superficie (m}^2\text{)} = 15,776 \cdot h.e^{-0,212} \\ \text{Con recirculación: } & \textit{Superficie (m}^2\text{)} = 19,348 \cdot h.e^{-0,355} \end{aligned}$$

Se requerirá, además:

- La urbanización de la parcela en la que se ubica la estación de tratamiento con viales de zahorra compactada de 2 m de ancho,
- La implantación de un pequeño edificio de mantenimiento en las instalaciones mayores de 500 h.e.

En cuanto al **método de cálculo**, en el siguiente cuadro se presentan los parámetros de diseño básico:

Parámetros	Filtro sin recirculación	Filtro con recirculación
Carga orgánica (g DBO ₅ /m ² d)	24	48-72
Carga hidráulica (l/m ² d)	40-80	120-200
Frecuencia de dosificación (nºd)	12-24	48
Relación de recirculación (nº de veces el caudal diario)	-	3-5

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- CEDEX-CENTA (2010): *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, ISBN: 978-84-491-1071-9.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

- CEDEX-CENTA (2010): *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*, Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, ISBN: 978-84-491-1071-9.
- LEBRATO, J. y POZO-MORALES, L. (2011): *Tratamientos convencionales y posibles del agua*, E.I.A.-Escuela Internacional del Agua, Sevilla.

6.3. Webs

- www.aguapedia.org

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

No hay ninguno que destacar.

AR-TT-21: REACTOR BACCOU

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Laguna Baccou
- Canal Baccou

1.2. Términos utilizados en inglés

- Baccou reactor
- Baccou lagoon
- Baccou channel

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición de la tecnología

Este dispositivo, cuyo objetivo final es eliminar los patógenos del agua, es un sistema extensivo de tratamiento terciario de aguas residuales.

Consiste en un depósito o laguna herméticamente cerrada, para que no haya fugas de oxígeno, en la que la luz solar incide sobre su superficie horizontal, provocando la aparición de microalgas que se alimentan de la materia orgánica presente en el agua y, mediante el proceso de la fotosíntesis, eliminan el CO_2 incrementándose de manera natural la cantidad de oxígeno en el agua que queda retenido en la misma gracias a la hermeticidad del sistema. Una vez superado el límite de saturación del oxígeno, se producirán nuevas formas reactivas del oxígeno (hidroxilos), que son las que tienen más poder desinfectante para el agua.

La biomasa muerta se deposita en el fondo del depósito y el agua tratada se extrae de la parte superior quedando clara, libre de patógenos y sobreoxigenada.

2.2. Componentes de la tecnología

Los componentes fundamentales son el elemento que contiene al agua (natural o artificial) y el elemento traslúcido o transparente que permite pasar la energía solar.

2.3. Forma de funcionamiento

En este proceso, tiene lugar la degradación aerobia total de la materia orgánica, debido a la sobresaturación en oxígeno del sistema. Se consigue con él, además de la sobreoxigenación del efluente, el 100% de eliminación de coliformes fecales.

La fuente de energía que precisa este sistema es la luz solar para que se pueda dar el proceso de la fotosíntesis en las microalgas.

2.4. Definición constructiva



Fig.1. Esquema de funcionamiento de reactor Baccou.



Fig.2. Esquema interno del sistema.

2.5. Imagen del resultado

(Ver *Ejemplos de aplicación*)

2.6. Clasificación en tipologías

No hay ninguna que destacar.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

El soleamiento es fundamental en este sistema para llevar a cabo adecuadamente el proceso de la fotosíntesis de las plantas.

La temperatura también afecta muchísimo al oxígeno disuelto.

Las lluvias arrastran mayores cantidades de arenas. Además aumente el caudal de agua en el sistema.

El cuanto al suelo debe ser blando para que se pueda excavar por medios manuales y con un bajo nivel freático.

Para asegurar una mejor calidad del agua obtenida en este sistema, el agua de salida de este tratamiento se debe filtrar.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Depende de muchos factores.

4.2. Fuentes de referencia

Se elaborará mediante las Bases de Costes de la Construcción.

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

En cuanto a la forma del reactor Baccou, puede ser rectangular o con forma de canal, debiendo ser el excavado de laguna de paredes rectas y poca profundidad (< 0,5 m).

Es fundamental disponer una lámina plástica transparente a la radiación UV sobre la lámina de agua una vez lleno el tanque y que dicha lámina esté en contacto directo con el agua, asegurándose de que no queda ninguna burbuja de aire. El cierre del sistema debe ser totalmente hermético para que quede sellado y el dispositivo funcione correctamente.

También hay que impermeabilizar el terreno con una lámina de plástico.

El tipo de algas debe ser planctónicas o bentónicas.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Debe realizarse una inspección diaria del plástico transparente de sellado para asegurarse que está en buen estado.

Además, hay que llevar a cabo periódicamente la limpieza de la lámina para una mayor incidencia de los rayos del sol.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Para el dimensionado, son necesarios los siguientes **datos previos**:

- Caudales de agua a tratar (caudal medio y máximo)
- Tiempo de retención del agua.

En cuanto al **método de cálculo**, los parámetros a analizar son los siguientes:

- *Tiempo de retención*: 8 días. Al séptimo día el agua debe haberse tornado de color verde debido a las microalgas.
- *Profundidad* <0,5 m para asegurar que la radiación solar incida en todos los puntos del tanque.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- MORENO MARÍN, A. (2008): *Fotobiorreactor cerrado como método de depuración de aguas residuales urbanas*. Tesis doctoral.

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

- MORENO MARÍN, A. (2008): *Fotobiorreactor cerrado como método de depuración de aguas residuales urbanas*. Tesis doctoral.

6.3. Webs

- www.aguapedia.org

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

- PECC: Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (Sevilla).



Fig.3. Reactor Baccou en Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. (Grupo TAR)

- Campos experimentales EIA (Escuela Internacional del Agua de Andalucía). Complejo Educativo J.M. Blanco White en Dos Hermanas (Sevilla).



Fig.4. Reactor Baccou en campos experimentales en C.E. Blanco White. (Grupo TAR, 2012)

2.3.1.1.1.2. AGUA Y ENERGÍA

AGUA Y ENERGÍA

MEDIDAS DE AHORRO DE AGUA EN EL ÁMBITO ENERGÉTICO

AE-AE-01: OPTIMIZACIÓN DE LA PRESIÓN DE SUMINISTRO

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Ajuste de presiones (en los puntos de consumo)

1.2. Términos utilizados en inglés

- Water supply pressure optimization

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Se trata de una serie de acciones que pretenden, fundamentalmente, ahorrar agua mediante el ajuste continuo de las presiones del fluido en los puntos de consumo evitando el desaprovechamiento de caudales y presiones innecesarios, la disminución de la vida útil de la red al disminuir las posibilidades de erosión de los materiales e, incluso a veces, la incomodidad para el usuario producida por la fuerza excesiva de salida de agua de la ducha o por los ruidos del paso del agua al discurrir por las tuberías a velocidades demasiado altas. Por tanto, estas medidas no reducirían la calidad del servicio al usuario sino al contrario, ya que la podrían mejorar.

Se consigue, paralelamente, junto al ahorro de energía en el lugar concreto donde se ha desarrollado la acción, una reducción del consumo energético en fases posteriores del Ciclo Urbano del Agua debido a la disminución de caudales de las residuales correspondientes que hay que transportar y depurar.

2.2. Componentes de la tecnología

Dependen de las acciones concretas (Ver *Clasificación en tipologías*).

2.3. Forma de funcionamiento

La forma de funcionamiento también es muy diferente según la acción específica:

- Las **redes partidas** consisten en la división del suministro de agua en grupos de usuarios según puedan o no ser servidos directamente con la presión disponible en la red urbana. Suministrando agua directamente con la presión disponible en la red urbana a aquellos espacios ubicados en las primeras plantas del edificio –el número dependerá de la presión de acometida y de la configuración del edificio- se evitará su paso por el grupo de presión que podrá ser de menor potencia al poder dimensionarse para un menor caudal, el del resto de los usuarios a los que no les llegaría el agua sin grupo de elevación. Además, no habría tanta diferencia de presiones entre los pisos superiores y los inferiores que sobreelevasen las presiones

en los últimos con los consiguientes gastos y molestias. Según Arizmendi (1990:48) “la exigencia de dos o más columnas montantes se debe, habitualmente, a la existencia en edificios de cierta altura (...) de una presión excesiva en los pisos bajos e inferior a la exigida por la Norma en los últimos, mientras que puede ser adecuada para los situados en la zona media del inmueble”.

- En cuanto a la colocación de **grupos de bombeo de caudal variable**, estos permiten un ajuste inmediato de la potencia de las bombas para adaptarse sobre la marcha a las condiciones de presión en cada momento del uso de la instalación, lo que evita tener un depósito hidroneumático.
- Por otro lado, mediante un **mantenimiento de las instalaciones continuado** para evitar los desajustes que se pueden producir por diferentes razones, evitaremos grandes presiones en las plantas inferiores –y las correspondientes válvulas reguladoras de presión que únicamente sirven para eliminar inútilmente una energía ya generada - y un mejor ajuste de la presión en las plantas superiores.

En general, un buen calibrado de presiones evitará la colocación de válvulas reductoras de presión que es un elemento cuya única función es la eliminación de una presión que anteriormente se ha suministrado al agua con el consiguiente gasto.

2.4. Definición constructiva

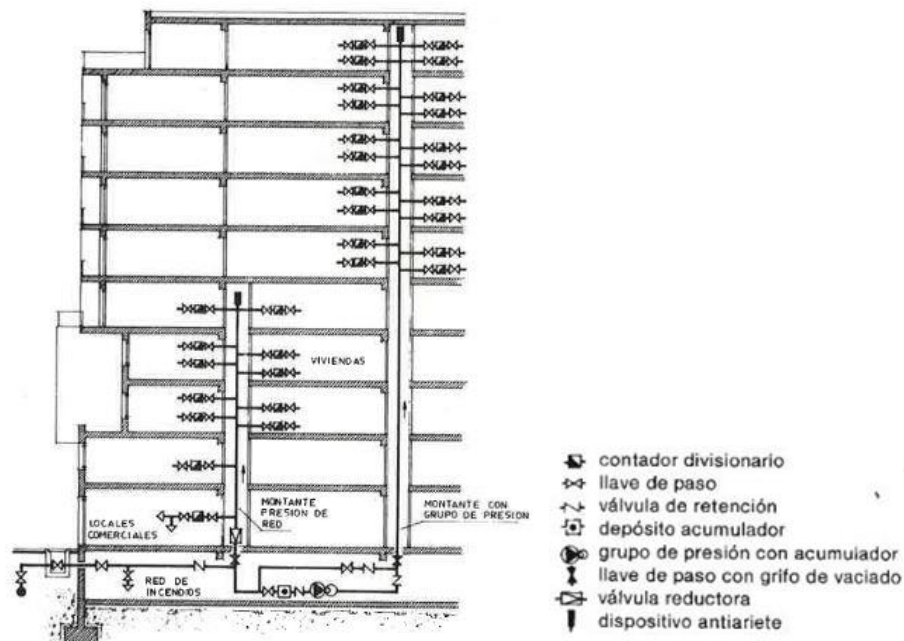


Fig.1. Redes partidas (Arizmendi, 1990)

2.5. Imagen del resultado



Fig.2. Ejemplo de excesos de presión en los puntos de consumo (blog.securibath.com, 2015)

2.6. Clasificación en tipologías

- **Redes partidas**

Esta medida consiste en el diseño de redes de suministro de agua que permitan el aprovechamiento de la energía de posición que tiene el agua en los distintos puntos de la red urbana. Aunque también se puede dar a nivel urbanístico, el caso más típico son edificios altos en los que se puede aprovechar la presión de la red urbana en las primeras plantas. De esta manera, los usuarios de las plantas inferiores no estarían servidos por el grupo de presión que se podría ajustar mejor a las condiciones del resto de usuarios sin producir excesos en aquellas y evitar, así, la colocación de válvulas reductoras que eliminan una energía ya producida.

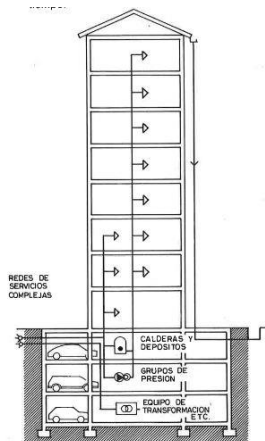


Fig.3. Redes partidas (Arizmendi, 1990)

- **Grupos de presión de caudal variable**

Son grupos de accionamiento regulable que mantienen la presión a partir de la regulación de la velocidad del motor de la bomba mediante un variador de frecuencias. La sustitución de los grupos de bombeo tradicionales por grupos de bombeo de caudal variable, permiten un ajuste inmediato de la presión en el punto de consumo y, siempre, dentro de los límites obligados por normativa.



Fig.4 y 5. Grupos de presión de caudal variable (www.kripsol.com, 2012)

- **Ajuste de los grupos de presión**

Consiste en el control y ajuste continuo de los niveles correctos de presión de agua en las diferentes plantas mediante un mantenimiento correcto de los grupos de presión para evitar descompensaciones y excesos así como manipulaciones de las llaves de paso o la colocación de válvulas reductoras en distintos puntos de las redes de los usuarios.

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Se trata de medidas que pueden ser aplicadas a **escala urbana o edificatoria**.

Generalmente, se aplican en la fase de abastecimiento o suministro pero, fundamentalmente, referidas a la **elevación o al bombeo**.

4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

Las costes de las **redes partidas** dependen de muchos factores por lo que es difícil dar un coste unitario del sistema pero, sí hay que recalcar, que el ahorro en el grupo de bombeo definitivo que se dimensionaría para un caudal bastante menor.

En cuanto a los **grupos de presión de caudal variable** tienen un coste aproximado de 1.500 a 5.000 €.

El ajuste de presiones en los grupos de bombeo deben estar incluidas en las labores de mantenimiento de las instalaciones. Lo que habrá que valorar en este caso es si éstas deben ser más frecuentes o no.

4.2. Fuentes o base de precios de referencia

Para **grupos de presión de caudal variable**, ver precios de mercado (Ej. Catálogo Hidráulica Kripsol 2012, WILO-Select, etc...)

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN LOS PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

En **redes partidas**, según Arizmendi (1990:48), el número de montantes será tal “que ningún montante alimente un número mayor de 10 plantas mediante distribuidores ramificados o en anillo (...). Es el esquema de distribución de agua más deseable desde el punto de vista práctico”.

Y aunque, como norma general, no se deben colocar válvulas reductoras de presión, éstas serán recomendables cuando las presiones excedan de 35 m.c.a. Este elemento suele necesitar un cierto entretenimiento por lo cual es importante esté instalado en un lugar fácilmente accesible. Pese a su precio elevado lo mejor es disponerlas en la acometida a cada derivación como solución técnicamente idónea.

En cuanto a estos valores, no afectarán a las redes de protección contra incendios que deberán cumplir las presiones correspondientes marcadas en la legislación correspondiente.

En cuanto a los **grupos de presión de caudal variable**, se colocarían en los mismos espacios donde se han colocado siempre los convencionales.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

En todos los aspectos relacionados con la presión, es muy importante la fase de mantenimiento pues es posible que las condiciones de partida usadas para el

cálculo varíen desde el momento del diseño de las instalaciones (aumento de las presiones en las redes urbanas, etc...).

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado

Para el dimensionado de las **redes partidas**, no hay métodos específicos, distintos a los usados con redes unitarias.

En el caso de los **grupos de presión**, es fundamental controlar el dimensionado de los mismos de manera muy ajustada. En cuanto a los métodos, pueden usarse métodos similares a los de grupos de presión convencionales o los ofrecidos por las casas comerciales a base de tablas.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- ARIZMENDI BARNES, L.J. (2000): *Cálculo y normativa básica de las Instalaciones en los edificios*, Tomos I y II, 6ª Ed, Ed.EUNSA.
- ARIZMENDI BARNES, L.J. (coord.) et al (2007): *Guía para la Redacción de Proyectos de Urbanización*. Ed.CSCAE.
- Catálogo Hidráulica Kripsol (2012)

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

- ARIZMENDI BARNES, L.J. (2000): *Cálculo y normativa básica de las Instalaciones en los edificios*, Tomos I y II, 6ª Ed, Ed.EUNSA. Pamplona.
- ARIZMENDI BARNES, L.J. (coord.) et al (2007): *Guía para la Redacción de Proyectos de Urbanización*. Ed.CSCAE. Madrid.

6.3. Webs

- Webs de grupos de presión de caudal variable:
 - www.kripsol.com
 - www.wilo.com

6.4. Otras herramientas

No hay ninguna que destacar.

6.5. Ejemplos de aplicación

No hay ninguno que destacar.

MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO EN EL ÁMBITO HIDRÁULICO

AE-EA-02: AGUA CALIENTE SANITARIA TERMOSOLAR

1. DENOMINACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1. Otros términos utilizados en castellano

- Agua Caliente Sanitaria o calentamiento de agua mediante instalaciones Energía Solar Térmica (E.S.T.)

1.2. Términos utilizados en inglés

- Solar panel or solar power

2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

2.1. Definición y objetivos específicos de la tecnología

Esta técnica consiste en el aprovechamiento de la energía recibida del Sol para determinados usos en la edificación, en los núcleos urbanos y en el territorio. En concreto, las instalaciones de Energía Solar Térmica se caracterizan por utilizar la radiación solar para lograr el aumento de temperatura de un fluido que, habitualmente, suele ser agua y, aunque es ya sabido por la mayoría, se advierte de que no se debe confundir con la energía solar fotovoltaica cuya función es convertir la energía solar en energía eléctrica y no térmica o calorífica.

Las aplicaciones más comunes en edificación de estos sistemas de Energía Solar Térmica son (AAE, 2009):

- Producción de Agua Caliente Sanitaria (A.C.S.)
- Calefacción por Suelo Radiante.
- Calentamiento de Piscinas.
- Producción de Agua Caliente para Usos Industriales.
- Climatización solar*: También se están llevando a cabo algunas experiencias de climatización solar con *máquinas de absorción*.

2.2. Componentes de la tecnología

Dependen de las acciones concretas (Ver *Clasificación en tipologías*) pero, en los casos más generales, estos sistemas están formados a su vez por una serie de subsistemas:

- **Subsistema de captación:** Formado por uno o varios captadores que transforman la radiación solar incidente en energía térmica calentando así el fluido de trabajo. (AAE, 2009)
- **Subsistema de acumulación:** Constituido por uno o varios depósitos, que almacenan el agua caliente hasta que se precise su uso. (AAE, 2009)
- **Subsistema de intercambio de calor:** Permite el intercambio de calor entre dos fluidos. En concreto, realiza la transferencia de calor entre el circuito primario y el secundario, evitando la mezcla de los fluidos de ambos circuitos.
- **Subsistema hidráulico:** Está formado por circuitos de captación (primario) y de consumo (secundario) independientes, constituidos por tuberías, válvulas, bombas,

vasos de expansión y otros elementos que se encargan de establecer el movimiento del fluido caliente y de proteger la instalación de roturas y otras patologías.

- **Subsistema de regulación y control:** Está formado por determinados automatismos que permiten el aprovechamiento máximo de la energía solar así como para evitar situaciones de riesgo para la instalación y para el usuario.
- **Subsistema auxiliar:** Equipo adicional de energía convencional que se utiliza para complementar la contribución solar obtenida a través de los captadores suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda, garantizando la temperatura del suministro de ACS en los casos de escasa radiación solar o demanda superior a la prevista.

2.3. Forma de funcionamiento

En el caso concreto de calentamiento de A.C.S. en los edificios, el agua (u otro líquido según el caso) se calienta al pasar a través de los conductos ubicados en los captadores donde eleva su temperatura siendo posteriormente trasladado dicho fluido caliente hasta un lugar donde cede el calor acumulado a otra masa de agua almacenada que es la que será distribuida, directa o indirectamente, a los distintos puntos de consumo, con o sin la necesidad de un posterior calentamiento mediante un sistema de calentamiento auxiliar (cuya instalación es siempre obligatoria).

2.4. Definición constructiva

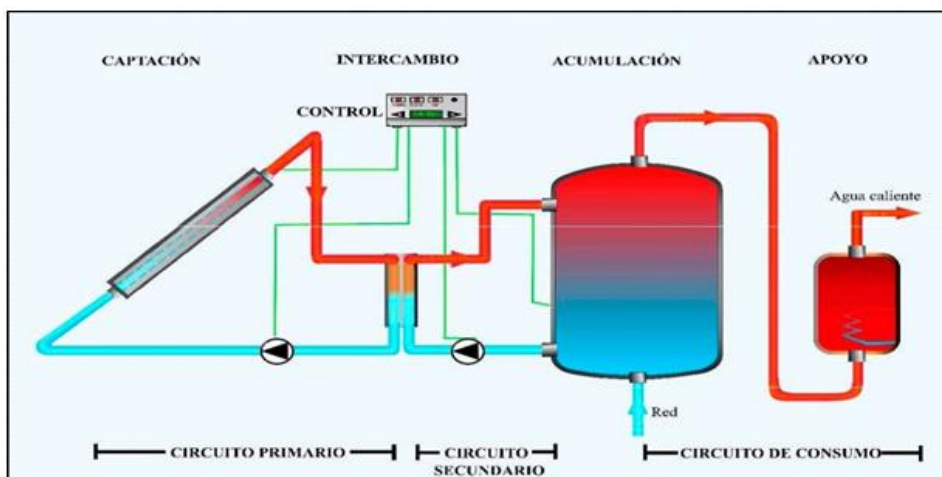


Fig.1. Esquema de un sistema de Energía Solar Térmica (AAE, 2009)

2.5. Imagen del resultado



Fig.2. Detalle captadores (termicalia.com, 2015)

2.6. Clasificación en tipologías

Existen varias clasificaciones según el criterio de ordenación:

Según temperatura de trabajo

Según este criterio, se pueden distinguir tres tipos de sistemas (AAE, 2009):

- **De baja temperatura**
Son sistemas que trabajan a temperatura inferior a los 100°C. Son los más utilizados en la edificación ya que los usos a los que se destinan no exigen una temperatura mayor. Los colectores de baja temperatura generalmente son placas planas usadas para calentar agua.
- **De media temperatura**
Son sistemas que trabajan entre los 100°C y los 350°C. Los colectores de temperatura media también usualmente son placas planas usadas para calentar agua o aire para usos residenciales o comerciales.
- **De alta temperatura**
Son sistemas que trabajan a temperaturas superiores a los 350°C. Los colectores de alta temperatura concentran la luz solar usando espejos o lentes y, generalmente, son usados para la producción de energía eléctrica.

Según tipo de captador

- **Captador solar de placa plana o plano protegido**

El alma del sistema consiste en una serie de tubos metálicos que conducen el agua fría a su través, conectados, por la parte inferior, por un tubo horizontal por donde toman el agua fría y, por la parte superior, por otro similar de retorno que es el que recoge el agua ya caliente. La parrilla viene encajada en una caja metálica de color negro que aloja los dispositivos necesarios para la circulación de un fluido, una cubierta transparente para aprovechar el efecto invernadero y un aislante que discurre por detrás.

Se compone de los siguientes elementos ((AAE, 2009):

- Cubierta transparente: Normalmente de vidrio, a través de la cual se produce el efecto invernadero reforzando el efecto de absorción térmica.
- Placa absorbidora: Suele ser metálica y poseer un recubrimiento especial para optimizar la absorción de la radiación solar.
- Aislante: En la parte posterior para evitar en lo posible las pérdidas térmicas.
- Conductos: Por los que circula el fluido que transporta la energía térmica conseguida.
- Caja: Normalmente de aluminio, que contiene el conjunto.



Fig.3. Captador solar plano (AAE, 2009)

- **Captador de tubos de vacío**

Está formado por varios tubos solares que transforman la radiación solar en energía térmica útil. Los tubos van insertados en el colector por donde circula el fluido solar y que actúa de intercambiador de calor. (AAE, 2009)

Cada uno de los tubos se forma a su vez por los siguientes componentes: (AAE, 2009)

- Tubo de vacío: El absorbedor se encuentra en el interior de un tubo de vidrio en el que se hace el vacío para lograr así su aislamiento.
- Absorbedor con tratamiento superficial: Maximiza la absorción de radiación solar y evita las pérdidas de calor por radiación.
- Tubo de calor de cobre con fluido de trabajo.

En general, tienen mejor rendimiento sobre todo cuando se desean alcanzar temperaturas elevadas en climas fríos. Otro aspecto a destacar es que requieren mayor delicadeza en su montaje y mantenimiento.



Fig.4. Captador de tubo de vacío (AAE, 2009)

Hay a su vez dos tipos:

- *Captador solar de tubos de vacío con "tubos de calor" por cambio de fase, con tubo de cobre.*

Este sistema aprovecha el cambio de fase de vapor a líquido dentro de cada tubo, para entregar energía a un segundo circuito de líquido de transporte.



Fig.5. Captador solar de tubos de vacío con tubo de cobre

- *Captadores solares de tubos de vacío "todo vidrio", sin tubo de cobre.*

En este sistema, los tubos metálicos del sistema precedente se sustituyen por tubos de vidrio, introducidos, de uno en uno, en otro tubo de vidrio entre los que se hace el vacío como aislamiento.

Las grandes ventajas que presentan estos tipos de captadores son su alto rendimiento (196% más eficientes que las placas planas) y que, en caso de que

uno de los tubos se estropeará, no hay que cambiar todo el panel por uno nuevo, sino que sólo hay que cambiar el tubo afectado. Además son más baratos en su fabricación, ya que los nuevos tubos son 100% cristal borosilicato y no utilizan tubo de cobre, lo que reduce los costes anteriormente mencionados.



Fig.6. Captador solar de tubos de vacío sin tubo de cobre

3. REQUISITOS Y CRITERIOS DE APLICACIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA

3.1. Posibilidades y limitaciones de uso

Esta energía puede utilizarse para **climatización de edificios y piscinas, producción de agua caliente o aplicaciones industriales.**

Es obligatoria su aplicación en los siguientes casos:

- Edificios de nueva construcción o a edificios existentes en que se reforme íntegramente el edificio en sí o la instalación térmica, o en los que se produzca un cambio de uso característico del mismo, y en los que exista una demanda de agua caliente sanitaria (ACS) superior a 50 l/d.
- Ampliaciones o intervenciones, no cubiertas en el punto anterior, en edificios existentes con una demanda inicial de ACS superior a 5.000 l/día, que supongan un incremento superior al 50% de la demanda inicial.
- Climatizaciones de: piscinas cubiertas nuevas, piscinas cubiertas existentes en las que se renueve la instalación térmica o piscinas descubiertas existentes que pasen a ser cubiertas.

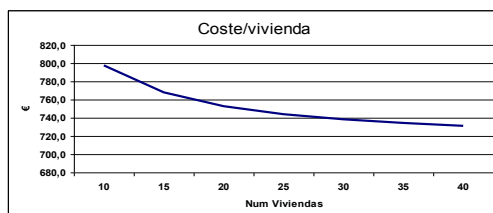
4. COSTES

4.1. Coste unitario de la tecnología

El coste de las instalaciones solares térmicas dependen de numerosas variables: número de viviendas, ubicación, tecnologías, topología de los edificios, etc., por lo que no es posible evaluar los costes de antemano.

En Andalucía, a modo de ejemplo:

- El coste para viviendas unifamiliares y con una ocupación de 4 personas por vivienda, ubicadas oscila entre 3.000 y 4.500€ por vivienda.
- El coste por vivienda, se ha evaluado también de manera aproximada con el generador de precios de la construcción para viviendas construidas en bloques de pisos ubicadas, en Sevilla, con 3 dormitorios y una ocupación de 4 personas por vivienda el coste por vivienda refleja las economías de escala y se presentan a continuación:



4.1. Fuentes de referencia

Se han elaborado, de manera aproximada, mediante elaboración propia usando:

- Base de Costes de la Construcción de Andalucía (2014)
- Generador de precios de la construcción (www.generadordeprecios.info/, 2015)

5. RECOMENDACIONES PARA SU INSERCIÓN EN PROYECTOS

5.1. Recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento

5.1.1. Recomendaciones de diseño

Las instalaciones solares térmicas se pueden diseñar con diferentes configuraciones, permitiendo así la adaptación a los requerimientos técnico-administrativos de los edificios.

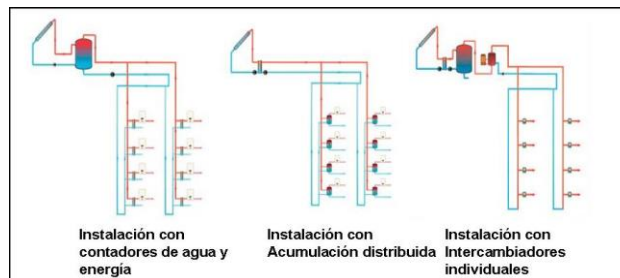


Fig.7. Ejemplos de configuraciones (AAE, 2009)

Desde el punto de vista del mejor rendimiento de las instalaciones, una configuración centralizada tanto en el campo de captación como en la acumulación resulta más adecuada.

- En **edificios multiviviendas**, cuando no se opta por centralizar el consumo de agua caliente sanitaria, se pueden emplear configuraciones en las se centraliza, al menos, el campo de captación y los circuitos hidráulicos de transferencia térmica, y se individualiza el consumo de agua. Es el caso de las **configuraciones de acumulación distribuida y la de intercambiadores individuales**.

En lo que respecta a la colocación de los captadores todas las opciones anteriores son equivalentes, ya que el campo de captación es centralizado.

En edificios multifamiliares la opción de individualizar por completo la instalación solar, en general, debería ser la última opción ya que la integración de estos sistemas es la más difícil y el rendimiento global suele ser inferior al de la alternativa de instalación solar centralizada.

- En determinados casos, por ejemplo en el caso de un **número reducido de viviendas** en un edificio, la opción de **individualizar por completo la instalación solar** puede ser interesante.

Al ser una característica específica de las instalaciones solares que las diferencia de otro tipo de instalaciones la necesidad de soleamiento de los captadores, esto hace que, en muchos casos, los captadores sean elementos visibles del edificio y, por tanto, deba plantearse la integración correcta en el diseño del mismo. Para ello, es necesario conocer cuáles son los **límites funcionales de los captadores que influyen a la hora de plantear su situación** que son fundamentalmente los siguientes:

- **Orientación:** La orientación óptima de los captadores para el funcionamiento de la instalación es el Sur. Sin embargo, desviaciones inferiores a los 45º no afectan en exceso al rendimiento. En concreto, si con una orientación Sur obtenemos el valor máximo de rendimiento de la instalación (100%), con orientación Sur+45º obtendríamos rendimientos de 94.5%. Es decir, respecto del rendimiento máximo una desorientación inferior a 45º supone una pérdida menor del 5%.
- **Inclinación:** La inclinación más idónea para obtener un máximo rendimiento de la instalación es la latitud del lugar más 10º. Sin embargo, variaciones de $\pm 15^\circ$ no afectan en exceso al rendimiento de la instalación. La principal ventaja de algunos modelos de captador de tubo de vacío, frente a los captadores solares planos es que los primeros pueden instalarse con diversas inclinaciones sin que esto afecte a su rendimiento, ya que el absorbedor que se encuentra en el interior de los tubos puede girarse adoptando la inclinación óptima independientemente de la posición del captador.
- **Sombras:** Los captadores necesitan estar ubicados en un lugar de máxima insolación, por lo que es fundamental evitar las sombras arrojadas sobre los mismos. Como dato de referencia podemos decir que un obstáculo de 1 metro de altura produce una sombra arrojada de más de 2 metros durante las 4 horas centrales del día en invierno.

En cuanto a los captadores, hay modelos tanto para poder colocarlos en vertical como horizontalmente. Dependerá del modelo del fabricante.

Para el diseño y dimensionado de la instalación hay que conocer las necesidades de caudal de ACS y la contribución solar mínima que deben aportar los paneles solares pudiendo determinarse ambos siguiendo las instrucciones del CTE-DB-HE4.

Se deberá considerar el equilibrio térmico e hidráulico de la red.

5.1.2. Recomendaciones constructivas

No hay ninguna que destacar.

5.1.3. Recomendaciones para el mantenimiento

Se realizará el mantenimiento por personal técnico especializado y se hará:

- 1 vez al año para superficies de captación menores de 20 m².
- 1 vez por semestre para superficies de captación mayores de 20 m².

El mantenimiento ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles ó desgastados por el uso.

5.2. Recomendaciones de predimensionado y cálculo

5.2.1. Método de predimensionado o cálculo

Para determinar la **contribución solar mínima** deberá considerarse:

- La zona climática
- La demanda de agua caliente sanitaria (ACS).

También es fundamental tener en cuenta que el dimensionado de la instalación estará limitado por el cumplimiento de las siguientes condiciones:

- En ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110 % de la demanda energética.

- En no más de tres meses el 100 %, de la demanda energética o en su caso, deberán se especificarse las medidas correctoras.

La Agencia Andaluza de la Energía ha desarrollado una serie de programas informáticos que pretenden servir de ayuda para los técnicos y profesionales en las distintas áreas de energías renovables, herramientas de cálculo con las que simular el uso de instalaciones:

- **ACSOL-1**
- **Método F-chart.** Para el dimensionado de las instalaciones de energía solar térmica se sugiere el método de las curvas f (F-Chart), que permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, es decir, de su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas, y de su rendimiento medio en un largo período de tiempo. Ampliamente aceptado como un proceso de cálculo suficientemente exacto para largas estimaciones, no ha de aplicarse para estimaciones de tipo semanal o diario.

Para un predimensionado básico de la instalación, también se podría utilizar aplicaciones que hay disponibles *on line*.

5.2.2. Referencias para el dimensionado

- **ACSOL-1** www.agenciaandaluzadelaenergia.es/ciudadania/simulador-de-instalaciones-solares-termicas-de-baja-temperatura
- **Método F-chart.** www.scalofrios.es/Calor/Solartermica/software/f-chart.pdf
- <http://www.konstruir.com/C.T.E/HE-4-Contribucion-solar-minima-de-agua-caliente-sanitaria/index.php>

6. OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN ESPECÍFICAS

6.1. Programas y proyectos de investigación

No hay ninguno que destacar.

6.2. Bibliografía

- IDEA: *Guía técnica de agua caliente sanitaria central*, en Serie “Ahorro y Eficiencia Energética en la Climatización. ISBN: 978-84-96680-52. www.idae.es/uploads/documentos/documentos_08_Guia_tecnica_agua_caliente_sanitaria_a_central_906c75b2.pdf
- AAE-Agencia Andaluza de la Energía (2009): *La incorporación de la energía solar al proyecto arquitectónico*, en el seno de la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía, Sevilla, ISBN:978-84-692-2789-3. www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/5_incorporacion_energia_solar_proyecto_arquitectonico.pdf
- AVEN-Agencia Valenciana de la Energía (2008): *Guía práctica de Energía Solar Térmica*, Depósito Legal: V-1051-2008, Valencia.

6.3. Webs

- www.idae.es
- www.agenciaandaluzadelaenergia.es

6.4. Otras herramientas

6.5. Ejemplos de aplicación

No hay ninguno que destacar.

2.3.2 ANÁLISIS Y REVISIÓN CRÍTICA DE LAS TECNOLOGÍAS Y SUS REPERCUSIONES ESPACIALES, CONSTRUCTIVAS Y ECONÓMICAS EN LA EDIFICACIÓN Y EN LOS ESPACIOS LIBRES DE NUESTRAS CIUDADES.

Tras la consecución del objetivo principal del trabajo consistente en la sistematización de las tecnologías disponibles hoy día encaminadas a una gestión más sostenible del agua en nuestros núcleos urbanos que ha sido culminada, en el apartado anterior, con la exposición del *manual* donde se recogen éstas enmarcadas en distintas líneas estratégicas en relación al Ciclo Urbano del Agua, **se ha considerado de interés realizar un análisis específico de la información aportada centrándolo en los aspectos que más relación tienen con las disciplinas arquitectónica y urbanística**, por ser el marco del presente trabajo de investigación, lo cual completaría los resultados del mismo, constituyendo su segundo objetivo.

2.3.2.1. ELECCIÓN DE CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN.

Como ya se ha adelantado, por estar enmarcado el trabajo en los campos de la Arquitectura y el Urbanismo, al realizar la selección de la información que se va a analizar más detenidamente, **se han elegido los aspectos de las tecnologías que más relación tienen con dichos campos y que más pueden influir o repercutir en la manera de enfrentarse al diseño de edificios y espacios urbanos**, tanto de nueva planta como en casos de rehabilitación.

A partir de este razonamiento, entre todas las implicaciones o repercusiones que tienen las tecnologías, **se han seleccionado las dos siguientes:**

- Las espaciales y constructivas.
- Las económicas.

Se han descartado de este análisis más pormenorizado, por tanto, los efectos de las mismas en el medio ambiente y en el ámbito de la salud que, aunque también se consideran de la máxima importancia y, de hecho, han sido recogidas en el *manual*, no son básicas para el diseño arquitectónico y urbano.

A partir de la decisión anterior, **se analizan en los dos siguientes apartados los requisitos espaciales, constructivos y económicos de las tecnologías**. Para ello, **se ha comenzado abordando las repercusiones e implicaciones de todas ellas y se ha finalizado comentando la importancia de la combinación de tecnologías** para conseguir mejores resultados, apartado que sólo se enuncia pero que es de mucha importancia y con suficiente entidad y extensión en sí mismo como para conformar otro trabajo de investigación independiente y que se ha propuesto, de hecho, como una posible línea de investigación en el futuro.

2.3.2.2. REPERCUSIONES DE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MANERA INDIVIDUAL

En este apartado, **se recogen las implicaciones espaciales, constructivas y económicas de todas las tecnologías sostenibles en relación con el Ciclo Urbano del Agua en los espacios edificatorios y urbanos**. Este análisis se ha realizado por grupos conformados en base a las diferentes medidas o líneas de trabajo estratégicas a las que pertenecen las tecnologías ya que sus objetivos comunes facilitaban realizarlo de esa manera aunque, por supuesto, se han recogido también las especificidades de cada una de ellas en los casos en los que ha sido necesario.

2.3.2.2.1. REPERCUSIONES ESPACIALES Y CONSTRUCTIVAS

Los aspectos espaciales y constructivos son consustanciales a las disciplinas en las que se enmarca el presente trabajo de Arquitectura y Urbanismo y se pretenden analizar en este apartado.

2.3.2.2.1.1. EN EDIFICIOS

ABASTECIMIENTO

DA: Dispositivos de ahorro de agua

Estas tecnologías se caracterizan por no necesitar ningún espacio adicional fuera de los núcleos húmedos para su implantación respecto a las soluciones tradicionales, lo cual facilita su viabilidad tanto en el caso de obras de nueva planta como en obras de rehabilitación. Por tanto, no suponen para el promotor una pérdida de superficie que puede dedicar a usos más rentables para él, sobre todo, cuando los recursos económicos del promotor son limitados.

Constructivamente, excepto los electrodomésticos que son cada vez más complejos, el resto son elementos relativamente sencillos estando ya bastante extendidos en el mercado y son muy asequibles para la mayoría de los usuarios.

En cuanto a la complejidad de su implantación, como se ha comentado, es baja. En el caso de los sistemas *adicionales* -los que se colocan en aparatos ya existentes- suponen operaciones que pueden ser realizadas por el propio usuario. En aquellos casos en los que se produce la *sustitución* de un aparato o alguno de sus componentes, en cambio, se suele precisar personal especializado, pero nunca es un proceso complejo y largo pudiéndose realizar en un periodo pequeño de tiempo y sin necesidad de desalojo de los usuarios del edificio.

GF: Gestión activa de fugas

Es complicada la detección de fugas y más costosa la reparación y sustitución de redes en los edificios si no hay un sistema para alojar las instalaciones, como las ***cámaras de instalaciones u otro sistema similar*** (suelos técnicos, techos técnicos, etc.). El problema es que estos sistemas requieren de un espacio específico que hay que reservar. En ese sentido, la introducción de estas tecnologías en un edificio de nueva planta es relativamente fácil pero, en un caso de rehabilitación, es muy complicada. De hecho, es probable que, en este último caso, no haya ninguna posibilidad de introducirlas por el interior del edificio y haya que sacarlas fuera de él, preferentemente por espacios de servicio.

La ocupación en planta y en sección de dichos conductos dependerá, fundamentalmente, de la cantidad de instalaciones que se introduzcan en ellos y de la estructura y tamaño de las mismas.

A nivel constructivo, además de realizar una buena elección de los materiales de las instalaciones hidráulicas con el objetivo de que tengan una larga vida útil, hay que elegir bien los materiales de los paramentos de dichas cámaras para que sean compatibles con la normativa de protección contra incendios. Además, en caso de que dichos conductos conecten diferentes sectores de incendio,

serán necesarios mecanismos para evitar la propagación del fuego a su través, como compuertas cortafuegos, también siguiendo las exigencias de dicha normativa.

En cuanto a la solución de la **individualización de contadores**, también necesita la previsión de un espacio que, a veces, puede ser importante y decisivo para poder llevarse a cabo o no en los casos de rehabilitación. Son necesarios: un armario o cuarto específico -cuya ubicación y tamaño vienen determinados por las normativas de las compañías suministradoras y suele estar ubicado en la planta de acceso al edificio- y huecos verticales para los montantes que se multiplican. En los casos de las obras de rehabilitación, al no estar previstos en el proyecto inicial, es muy usual que los nuevos montantes individuales deban ir por las fachadas -en ese caso, mejor que sean fachadas interiores y pertenecientes a patios de servicio- con la consiguiente exposición a bruscos cambios de temperatura (cuando no al sol directo) y con el impacto estético que suponen. Por último, no hay que olvidar que en el cuarto o armario de contadores se instalará una batería cuya función es igualar las condiciones de partida del agua (presión, etc...) para todos los usuarios.

En cuanto a la aplicación de otros **sistemas de detección de fugas**, aparte de los *contadores*, no se necesita una reserva de espacio adicional sino que suelen aplicarse de manera puntual sobre los elementos constructivos donde hay una sospecha de pérdida de agua. De todas maneras, a nivel edificatorio, las fugas suelen dar la cara antes de utilizarse ningún sistema de este tipo y suelen aplicarse más a nivel urbano.

HA: Recursos hídricos alternativos

Con el uso de tecnologías que incorporan recursos hídricos alternativos en los espacios arquitectónicos, se modifica el esquema tradicional de las redes de abastecimiento y saneamiento de los edificios, incorporándose nuevos flujos de distinto tipo y que suelen requerir de un conjunto de conductos para las aguas de distinta calidad -redes terciarias de *agua no potable* que deberán estar siempre señalizadas adecuadamente como tales, según marca la normativa vigente, para evitar cualquier tipo de accidente- así como un espacio para el almacenamiento y/o la depuración de los nuevos recursos hídricos.

Las necesidades espaciales del almacenamiento, en el caso de los **sistemas de reutilización de aguas grises**, están ajustadas prácticamente al consumo diario de los usos seleccionados y no experimentarán grandes variaciones a lo largo del año. En los **sistemas de aprovechamiento de pluviales**, sin embargo, dependerán del volumen de la demanda, de las características de la pluviometría (cuantía y frecuencia) y de la correlación temporal entre una y otra (cuándo llueve y cuándo preciso usar el agua). En el caso de climas como el mediterráneo, con una importante variabilidad pluviométrica mensual e interanual, los volúmenes de almacenamiento requeridos serán mayores.

Además, en los casos que sea necesario el tratamiento de las aguas como en los casos de *reutilización de aguas grises* o casos excepcionales de *tratamiento de pluviales*, será necesario un espacio para el sistema de depuración que se analizará en el apartado de Aguas Residuales pero que, ya adelantamos, que dependerá en cada caso de los sistemas elegidos. En los *sistemas reutilización de*

aguas grises, variará bastante según sea compacto o extensivo, teniendo este aspecto también una incidencia importante en la inversión inicial.

En casos de rehabilitación, la incorporación de estas tecnologías puede llevar aparejada, además de la modificación del trazado de las redes hidráulicas del edificio, una modificación o ampliación de los espacios comunes para la ubicación de las instalaciones necesarias para almacenamiento y/o depuración, que pueden dificultar su implantación.

Es muy usual que, en este tipo de obras de reforma, los nuevos bajantes de pluviales, los de aguas grises y los nuevos montantes de aguas regeneradas se sitúen en el exterior por falta de espacio para la ubicación de nuevos huecos interiores para instalaciones. En este sentido, y gracias a las pautas establecidas por la normativa de construcción de Viviendas de Protección Oficial de hace varias décadas como las del Ministerio de la Vivienda de nuestro país, existen numerosos casos de edificios residenciales en los que ya existen redes separativas de pluviales. Lo más curioso es que discurren por la fachada de los mismos.

JH: Jardinería hidroeficiente

Esta línea de trabajo tiene muy poca aplicación en los edificios.

Sólo podría utilizarse como complemento de una cubierta vegetada -tecnología de drenaje sostenible perteneciente al apartado de las Aguas Pluviales- o en los espacios libres de las parcelas donde se ubican dichas edificaciones si tienen espacios para jardines.

El espacio requerido para implantarla dependerá, en el primer caso, del tipo de cubierta que tengamos, del diseño del jardín requerido por el promotor y de las especies elegidas. En el segundo, de los dos últimos factores así como del tipo de terreno. La necesidad de un sistema de riego adicional habrá que valorarla específicamente.

AGUAS PLUVIALES

AD: Sistemas de captación y almacenamiento directo de aguas pluviales

En la **recogida directa**, el agua entra directamente en los aljibes correspondientes por lo que, fundamentalmente, habrá que reservar espacio para ellos en las cubiertas o en zonas descubiertas de los entornos de los edificios (tanto en zonas verdes como en zonas pavimentadas). En este segundo caso, es posible la colocación de depósitos enterrados, semienterrados, en superficie o elevados. Estas dos últimas soluciones, aún con sus ventajas, son las menos interesantes espacialmente hablando pues ocupan parte de la parcela. Además, tienen un alto impacto visual y está el agua más expuesta a los cambios de temperatura que pueden favorecer la proliferación de bacterias.

Por último, en este sistema, habrá que plantear una infraestructura, generalmente sencilla, para la distribución del agua recogida hasta los puntos de consumo, siendo necesaria una pequeña bomba si el agua no puede llegar a ellos por gravedad, cuestión muy probable en el caso de los depósitos elevados o colocados en la cubierta.

En la **recogida indirecta**, el espacio de los aljibes para almacenamiento suelen estar en la zona inferior de los edificios, pudiendo estar tanto en superficie como enterrados. En este caso, es básico, para que tenga sentido el aljibe, contar con una **red separativa** –o semi-separativa, en algunos casos-. Si no es así, como ocurre en algunos casos de rehabilitación, puede complicarse y encarecerse la solución teniendo que duplicar la red de bajantes, modificando la red horizontal (sellado de arquetas, creación de nuevas redes paralelas,...).

Por último, también será necesaria una red de distribución posterior hasta los puntos de consumo y un posible equipo de bombeo, en función de las circunstancias.

Se recuerda que la escasez en la cuantía de las lluvias (pluviometría) puede ser un problema y que no es una habitual disponer de suficiente lluvia para atender todo el consumo abasteciendo, usualmente, sólo una fracción de la demanda. Si las lluvias son poco frecuentes, aun cuando sean de un volumen suficiente, obliga a un sobredimensionado del depósito de almacenamiento para retener la elevada pluviometría puntual. En comparación con otros sistemas de suministro alternativo a la red, el tamaño del depósito de almacenamiento de agua para consumo es mayor que en el resto. Esto es así donde el recurso se obtiene de una forma más intermitente en el tiempo que en el resto de sistemas y ello exige mayores volúmenes de regulación.

DS: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

A nivel edificatorio, la tecnología más utilizada es la **cubierta vegetada**.

Los requerimientos espaciales no son muchos aunque sí es necesaria una cubierta con pretilos más altos y mayor sección de lo normal dependiendo el grosor del tipo de cubierta vegetada elegida.

Constructivamente, estas cubiertas tienen una serie de capas que permiten la infiltración y filtración en su parte superior y la impermeabilización en su parte inferior para evitar problemas de humedades en los espacios interiores de las últimas plantas.

AGUAS RESIDUALES

SS: Sistemas separativos

En los edificios, las **redes puramente separativas** frente a las **redes unitarias**, suponen un mayor espacio en las verticales de instalaciones para los bajantes que aumentan en número (aunque no necesariamente se duplican). En la red horizontal, también aumenta mucho la longitud necesaria de colectores, porque aparecen dos redes en lugar de una, pudiéndose llegar a duplicar el espacio necesario. Además, hay que añadir la complicación de los cruces entre ambas redes horizontales que puede llegar a requerir una mayor altura en la planta por donde discurren, generalmente el sótano. Todos estos requerimientos espaciales, pueden imposibilitar la implementación de esta tecnología en casos de rehabilitación.

En el caso de **redes doblemente separativas**, consecuencia de la implantación de sistemas de reutilización de aguas grises, se aumentan aún más los espacios

necesarios tanto en la red vertical como en la horizontal. Además, en este caso, también se necesita un espacio adicional para llevar las aguas grises ya tratadas o regeneradas hacia las unidades de consumo, así como el espacio para el equipo de bombeo y otro de mayor envergadura para el depósito-depuradora. Estos espacios, en los casos de rehabilitación de edificios, no siempre están disponibles dentro del edificio lo que puede suponer una ampliación del mismo que no siempre es posible.

Al igual que en el caso anterior, también puede ser necesaria más altura en la planta donde discurren las redes horizontales.

Constructivamente, en los núcleos húmedos, serán necesarios botes sifónicos adicionales para la recogida de las aguas grises que son las aguas procedentes de bañeras, duchas, lavabos y lavadoras -con mínima presencia de materia orgánica- para, con un tratamiento adecuado, destinarlas a usos menos exigentes, como inodoros y riego.

Es importante recordar que *existen sistemas de reutilización de aguas grises compactos que permiten la reutilización dentro del propio núcleo húmedo*. En este caso, los sistemas son muy sencillos y no se darían todas las repercusiones espaciales comentadas en relación a la implantación de sistemas de reutilización de aguas grises en bloques. Únicamente, suponen en la mayoría de los casos la aparición en dicho núcleo de nuevas tuberías para el agua gris y el agua tratada.

Por último, en el caso del **saneamiento seco**, también son diferentes los requisitos espaciales según el tipo de instalación que se utilice.

- En el caso del **compostaje in situ**, al quedarse los sólidos en el mismo aparato, se eliminarían los bajantes de gran calibre habituales (con un diámetro mínimo de 125 mm) lo cual supone un importante ahorro de espacio y eliminación de obstáculos en el edificio quedando, únicamente, los conductos de recogida de los efluentes líquidos que tendrán una sección bastante menor porque no hay riesgo de atascos y que, además, pueden ser de materiales flexibles pudiendo modificarse más fácilmente su recorrido. Eso sí, los inodoros ocupan algo más de espacio para introducir la cámara de compostaje y hay también contar con espacio alrededor suficiente para el mantenimiento y el almacenamiento del material secante. Uno de los grandes problemas de esta solución es que necesita de una mayor implicación del usuario que debe llevar a cabo el tratamiento correcto de los sólidos.
- En el caso de la existencia de un **sistema con tanque de compostaje remoto**, que generalmente se instalaría en el sótano del edificio, entonces, siguen siendo necesarios los bajantes para los sólidos pero con la ventaja de la gestión conjunta de todos los residuos del edificio. Además de la permanencia de los bajantes que actualmente existen, será necesario algo de espacio, aunque mínimo, para el recorrido de los conductos para la orina y, por supuesto, uno mucho mayor para el tanque remoto.

En ambos casos, es necesario un sistema de ventilación que estará constituido por conductos que llegan hasta la cubierta. Si la ventilación es mecánica, existe cierta flexibilidad en la ubicación de las verticales correspondientes a dichos conductos de ventilación.

SC: Sistemas compactos de depuración

Espacialmente, los **sistemas compactos automatizados** son los más reducidos y los que tienen más probabilidades de utilizarse dentro de la edificación. Sus formas y tamaños son muy variados y hay muchos modelos prefabricados. Para su elección, en muchos casos a través de catálogos, es necesario tener muy presente el número de habitantes a los que se dará servicio. El equipo debe instalarse lo más cerca posible (como mucho a 10 m) del punto de salida de las aguas residuales para evitar la obturación de la canalización que debe tener una pendiente mínima del 2% y no debe tener ningún cambio de dirección.

Los **sistemas compactos naturalizados** son menos probables en el ámbito de la edificación excepto si la parcela cuenta con terreno suficiente para su implantación.

- En el caso de las **biojardineras**, hay que estudiar bien su ubicación en relación a las tuberías de saneamiento de aguas grises y hay que cuidar la reserva de espacio porque es el elemento de mayor dimensión, sin olvidar la necesidad de ubicar también un tanque de almacenamiento para el agua tratada. Además, se recomienda emplear un filtro de arena a la salida del sistema.

En cuanto a la forma de la biojardinera será rectangular, con una profundidad inferior a 0,85 m. y su tamaño dependerá del número de habitantes equivalentes a los que sirve.

- Los **canales de saneamiento aireados** necesitan también espacio. Se trata de un canal, de sección trapezoidal con una anchura de base de 0,5 m, conformado por una serie de tramos -con unas medidas en superficie de 1m x 1m x 10m- que se colocan en serie hasta alcanzar la longitud al punto de vertido. Las acometidas de las viviendas al canal central, deberán hacerse en el primer metro de cada tramo. La pendiente transversal debe ser como mínimo de un 1% para recogida de pluviales en el canal lateral y se debe tener en consideración que los tubos de respiración, sobresalen del terreno 1 m.

PT: Pretratamientos de aguas residuales

En general, todos estos sistemas se usan, fundamentalmente, en el entorno urbano. Sólo las **arquetas de pretratamiento** se usan más en el entorno de la edificación.

TP: Tratamientos primarios

Todos los tratamientos primarios, si no pertenecen a sistemas compactos, se construyen en espacios libres de edificación, por tanto, se comentarán en el apartado de espacios urbanos.

TP: Tratamientos secundarios

Estas tecnologías, al igual que las de los dos apartados anteriores, no se utilizan dentro de la edificación.

TT: Tratamientos terciarios

De nuevo, las tecnologías de este grupo son aplicables sólo a escala urbana.

AGUA Y ENERGÍA

AE: Medidas de ahorro de agua en el ámbito energético

La **optimización de la presión de suministro** no requiere de espacios adicionales en el edificio sino de un buen diseño inicial y un buen control y mantenimiento.

En el **diseño de las redes de distribución de ACS**, si la distancia de los puntos de consumo a los sistemas de calentamiento de agua o producción de ACS es mayor a 15 m, es necesaria una red de retorno. Esta medida debe ir acompañada del aislamiento correcto de las tuberías de ACS. Esto obliga a algo más de espacio para el recorrido de esta red de retorno y su aislamiento. Este requerimiento espacial no es muy difícil de conseguir en edificios de nueva planta pero, a veces, puede ser problemático en casos de rehabilitación.

Constructivamente, la solución es relativamente sencilla.

EA: Medidas de ahorro de energía en el ámbito hidráulico

Las **redes partidas en los edificios** implican la duplicación de las baterías para separar aquellos contadores de los usuarios que puedan aprovechar la presión de las redes urbanas sin necesidad de usar el grupo de presión. Esta obra puede requerir algo más de espacio que en una solución de red unificada pero permite también colocar un grupo de presión de menor calibre que, en ocasiones, ocupará también algo menos.

Frente a una obra de nueva planta donde dichos espacios se proyectan directamente sin mucho problema, en el caso de la rehabilitación de un edificio ya construido que no se estuviese aprovechando la presión de la red urbana en las plantas inferiores del edificio, habría que hacer una reforma para conseguirlo que supondría la separación antes comentada de los contadores de las viviendas que pueden aprovechar dicha presión colocándolos en una batería independiente, desconectándolas del grupo de bombeo. Esta reforma puede no ser espacialmente viable o requerir de una ampliación del cuarto dedicado a las instalaciones hidráulicas.

Los **grupos de bombeo de caudal o velocidad variable** son aplicables en cualquier tipo de edificio y son elementos que no suponen un aumento de espacio, sino todo lo contrario, pues son capaces de adaptarse a las presiones de los puntos de consumo en cada momento sin necesidad de tener un depósito hidroneumático ganándose ese espacio para otro uso. A cambio, tecnológicamente, dichos grupos de presión son más sofisticados.

El **aislamiento correcto de las tuberías de ACS y calefacción por agua** es aplicable siempre, como principio básico de eficiencia energética, con el consiguiente espacio ocupado por él.

La implementación de **instalaciones de Energía Solar Térmica para producción de ACS** necesita un lugar en cubierta suficientemente grande para que quepan todos los captadores organizados según las recomendaciones de la normativa (grupos de 3 a 5 captadores conectados en paralelo que a su vez se conectan en paralelo con otros grupos). Además, no hay que olvidar que los captadores deben colocarse en los lugares más soleados (su orientación ideal es la Sur y su inclinación depende de la latitud del lugar) y allí donde no se produzcan pérdidas

por sombras, debiendo alejarse de los pretilos o de otros grupos de captadores una distancia que se calcula según una correspondiente fórmula de la normativa. Por último, hay que reservar espacio para los elementos de los demás subsistemas de la instalación como el subsistema de intercambio, el de almacenamiento, los elementos del sistema de control o los del subsistema auxiliar. No hay que olvidar todos los elementos que conforman la instalación hidráulica y que permite el óptimo funcionamiento del conjunto como las bombas de recirculación, el vaso de expansión, el purgador, etc...

Constructivamente, hay muchas recomendaciones técnicas a tener en cuenta que se recogen en dicha legislación, entre las que hay que destacar el sistema de sustentación de los captadores. En caso de colocarse en azoteas planas, se necesita una estructura, generalmente metálica, que debe estar bien anclada a la cubierta sin dañarla. En los casos de superposición de los captadores en las cubiertas inclinadas o en los casos de integración en los paramentos también los requerimientos constructivos son complejos.

2.3.2.2.1.2. EN EL ESPACIO URBANO

ABASTECIMIENTO

DA: Dispositivos de ahorro de agua

La repercusión a nivel urbano de las tecnologías que conforman este grupo es mínima pues son tecnologías cuyo ámbito de aplicación es, fundamentalmente, el edificatorio. Y es que, aunque es posible usar dichos mecanismos a nivel urbano, las repercusiones son mínimas en todos los aspectos: espacial y de ahorro de agua, energético o el económico consiguiente.

GF: Gestión activa de fugas

En general, las **galerías de servicio** suponen un sistema que permite el enterramiento de las instalaciones urbanas y, a su vez, la visibilidad de éstas desde el interior y su accesibilidad, control y mantenimiento en cualquier momento sin necesidad de levantar los pavimentos que es una fuente de molestias para el ciudadano. Tampoco hay que olvidar, la seguridad de los diferentes componentes de las instalaciones y la de los usuarios, disminuyéndose el riesgo de accidentes. Este sistema es una solución racional, a largo plazo, para enfrentarse al actual caos existente en las canalizaciones y conductos de comunicación en las calles con un mínimo de anchura.

Es importante, por tanto, recalcar que estas soluciones, al ser de tipo subterráneo en su mayoría, liberan espacio en la ciudad que puede ser utilizado para otros usos que, con soluciones adecuadas, podrán ser espacios vegetados.

En cuanto al espacio que ocupan y que hay que reservar para ellas, dependerá de las instalaciones que se van a introducir, las distancias mínimas entre ellas pero, también, de la necesidad o no de que el personal de mantenimiento pueda entrar en la galería.

Los materiales de los cerramientos de estas galerías pueden ser muy variados siendo el más utilizado el hormigón, en masa o armado, pero también la fábrica

de ladrillo o los plásticos, en los sistemas prefabricados. En este sentido, será necesario analizar, en su caso, la normativa existente en relación a la protección contra incendios y los materiales que esta pueda exigir para una posible compartimentación.

A nivel urbano, también se están implantando **contadores para controlar los consumos por sectores** pero el espacio necesario es relativamente pequeño. Generalmente, se limitan a pequeñas arquetas prefabricadas de plástico o de hormigón o fabricadas *in situ* de hormigón o fábrica de ladrillo.

Al igual que en el caso de la edificación, los **sistemas de detección de fugas** no ocupan un espacio adicional, sino que son aparatos que se aplican puntualmente en el lugar donde ha podido producirse una pérdida.

Constructivamente, son elementos muy complejos, a los que cada vez añaden más innovaciones tecnológicas, pero se adquieren en el mercado ya montados y sólo hay que evaluar su facilidad de uso así como su coste económico, cuando van a ser adquiridos por parte del promotor para ser manejados por un servicio de mantenimiento propio. Esto no es lo usual porque lo más común es contratar para este tipo de patologías un servicio externo.

HA: Recursos hídricos alternativos

También a nivel de espacio público, es aplicable lo comentado en el apartado de edificios, con la diferencia de que es posible utilizar técnicas de depuración extensivas que no se pueden utilizar en los edificios. En general, son técnicas que ocupan mucho más espacio pero son más económicas y necesitan menos energía en el proceso.

Otra diferencia importante es la posibilidad de implementar, a nivel urbano, la tecnología de **almacenamiento y recuperación de acuíferos (ARA)** en la cual la ocupación del terreno es casi nula.

JH: Jardinería hidroeficiente

Para la introducción de estas tecnologías, es importante conocer muy bien el espacio donde se van a implantar y las necesidades reales del promotor. Los requisitos espaciales vendrán definidas por el tamaño del jardín que este necesite.

Constructivamente, los elementos que hay que controlar son el tipo de terreno, las especies que se van a plantar y los **sistemas de riego** que deben ser **hidroeficientes**. Muchos de estos factores dependen en gran medida del clima (pluviometría, condiciones de soleamiento, etc...). En cuanto a las especies, la **Xerojardinería** recomienda el uso de especies autóctonas pero, dentro de ese espectro, las hay de diversos tipos, densidades y alturas lo cual puede permitirnos un cierto control espacial. Adicionalmente, se puede implementar una capa de acolchado o *mulching*. Lo más complejo de todo es la introducción de los sistemas de riego que, en general, no ocupan mucho pero pueden conformar obstáculos en el terreno.

AGUAS PLUVIALES

AD: Sistemas de captación y almacenamiento directo de aguas pluviales

A nivel urbano también se puede dar la distinción entre **sistemas de recogida directa e indirecta**, pero con la diferencia respecto a los edificios de que, en el caso de la directa, también suelen estar los depósitos enterrados.

También, a nivel constructivo, es necesaria una red de agua de calidad diferenciada o red terciaria y los equipos de bombeo que se requieran.

Lo comentado en el ámbito de la edificación sobre las consecuencias de la escasez de lluvia en el tamaño de los depósitos, también es aplicable a nivel urbano.

DS: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

La mayoría de las **soluciones de drenaje sostenible** son tecnologías utilizadas en espacios urbanos pues sus requerimientos espaciales suelen ser importantes. De todas maneras, estos elementos permiten su utilización en muy diversas escalas y el área de actuación puede variar mucho hasta llegar al tamaño de grandes cuencas urbanas.

El tamaño concreto, al igual que cuando se habla de jardines, depende mucho de las circunstancias del caso estudiado.

A nivel constructivo, las soluciones también son muy diversas pero suelen ser relativamente sencillas, pudiendo utilizarse en muchas de ellas materiales naturales como la grava o la arena. En otros casos, se pueden usar módulos prefabricados de distintos tipos de plásticos. Por otro lado, en alguna tecnología puede ser necesario impermeabilizar el fondo pero no es lo normal pues la mayoría tienen como objetivo la infiltración de las aguas pluviales en el terreno.

Por otro lado, en su mayor parte, estas tecnologías pretenden no realizar grandes movimientos de terreno o excavaciones como las necesarias para los sistemas de drenaje convencionales. Por ejemplo, el caso de las superficies permeables tiene la ventaja de que son soluciones que no necesitan grandes excavaciones.

Por otro lado, se reducirán también la cantidad de imbornales y colectores presentes en los espacios urbanos, aunque no se eliminan totalmente pues es necesaria la previsión de salidas del agua sobrante en casos de saturación de los sistemas.

AGUAS RESIDUALES

SS: Sistemas separativos

Claramente y al igual que ocurre en el ámbito de la edificación, la ventaja de los sistemas unitarios frente a los separativos (sean del tipo que sean), espacialmente hablando, es evidente pues necesitan mucho menos espacio y menos longitud de tubería. A nivel urbano, los **sistemas separativos** necesitan alojar en las zanjas como mínimo 2 conductos que, además, no deben estar en la misma vertical para poder repararlos independientemente y tampoco deben

estar a la misma cota por posibles problemas de contaminación, por lo que el espacio necesario, es aún mayor (4 veces más en sección, aproximadamente), destacando, por la misma razón, los **sistemas doblemente separativos** frente al resto.

Lo que no hay que olvidar es que si se combinan estos sistemas con sistemas urbanos de drenaje sostenible con un alto nivel de infiltración y detención de aguas, las redes urbanas de pluviales también reducirían sus diámetros y el espacio que ocuparían.

Constructivamente, los sistemas son similares a los utilizados hasta ahora. Únicamente llamar la atención acerca de la necesidad de complementar estas redes con arquetas de pretratamiento con función, fundamentalmente, desarenadora para evitar la introducción y sedimentación de este tipo de áridos en las redes.

Por otro lado, como se ha adelantado ya, si se implantasen los **sistemas de saneamiento seco** en los edificios, sean del tipo que sean y siempre que el tratamiento de los sólidos y líquidos se hiciese dentro de los propios edificios, podrían ser innecesarios los conductos de aguas residuales en los nuevos desarrollos donde fuese posible esa solución, liberándose una gran cantidad de espacio bajo el terreno.

SC: Sistemas compactos de depuración

De los tres sistemas compactos estudiados, los **naturalizados** son los que más se prestan a ser utilizados en el espacio urbano, por sus mayores dimensiones, aunque también es posible usarlo en el espacio exterior de las edificaciones (jardines privados de viviendas unifamiliares y urbanizaciones). Por otro lado, el **sistema compacto automatizado** también es posible usarlo en espacios urbanos.

Los requerimientos espaciales y constructivos, en este caso, son los mismos comentados en el apartado relativo a la edificación.

PT: Pretratamientos de aguas residuales

El tamaño de las **arquetas de pretratamiento** depende mucho de las condiciones de partida y es importante un buen dimensionamiento para asegurar un correcto funcionamiento, especialmente en épocas secas. Es recomendable introducir una por punto de conexión a la red.

Constructivamente, son sistemas sencillos de construir con un escaso y simple mantenimiento. También las hay de tipo prefabricado.

El resto de elementos (**desbaste, desarenado y desengrasado**) conforman fases de un proceso mucho más complejo que necesita mucho más terreno que dependerá, evidentemente, del tamaño de la población a la que sirve, de la calidad del agua que entra y de los requerimientos del agua saliente según su futuro uso.

Estos elementos no requieren una construcción muy compleja, a excepción del desarenador aireado que requiere una soplante.

TP: Tratamientos primarios

Los tratamientos primarios ya son elementos de un tamaño considerable por lo que se suelen implementar en espacios urbanos o en zonas de parcelas libres de edificación.

Las **fosas sépticas**, generalmente, se disponen enterradas y su tamaño depende de los habitantes a los que da servicio.

En *fosas sépticas de un solo compartimento* se deben disponer filtros en la salida del sistema para minimizar el escape de los sólidos en suspensión, mientras que en *fosas con dos compartimentos* también se pueden emplear elementos filtrantes con el mismo fin, en caso de sobrecarga hidráulica. Estos filtros suelen ser de malla con una luz de 0,8-3,2 mm.

Las *fosas sépticas prefabricadas* que dan servicio a aglomeraciones, presentan formas cilíndricas, dispuestas tanto vertical como horizontalmente. Fosas de mayor tamaño, se construyen de forma cilíndrica, enterrada y dispuesta horizontalmente. Si son construcciones realizadas *in situ*, presentan forma rectangular con relación longitud/anchura de 3/1 y una altura de 1,2-1,5 m, de los que 0,9-1,2 m corresponden a la altura del líquido y unos 0,3 m de resguardo para flotantes y recogida de gases.

Deben realizarse con materiales impermeables, resistentes y anticorrosivos. De hecho, las fosas pequeñas son de plástico (PE, PRFC) de 6 mm de espesor, las grandes son prefabricadas y las construidas *in situ* son de hormigón armado, de 10 cm de espesor, cubierto con capas de agentes protectores.

El espacio requerido para la implantación de los **tanques Imhoff** depende también de los habitantes a los que vaya a servir.

Normalmente son tanques prefabricados de diversos materiales. Si se construyen *in situ*, se hacen de hormigón. El espacio requerido para su

El espacio que ocupan las **fosas anaerobias de alta velocidad** también depende de la población servida.

Suelen ser tanques cubiertos semienterrados (o enterrados) que ocupan un volumen de 0,2 m³/hab. Son rectangulares de relación mínima largo/ancho 3:1 y profundidad 1,5 - 4m.

Conllevan un mantenimiento escaso y simple.

TP: Tratamientos secundarios

Estos son de los sistemas que más espacio necesitan de todos los estudiados. Si además, se utilizan como parte de un proceso completo (pretratamiento, primario, secundario y terciario) el espacio requerido es muy importante.

En el sistema de **lagunaje**, se requiere una superficie mayor a 7m²/h.e. que incluye toda la línea de tratamiento.

La forma redondeada da mejores resultados ya que se eliminan zonas muertas y caminos preferentes. Con la forma rectangular se recomiendan relaciones longitud/ancho en el rango 2/1 a 4/1 favoreciendo un modelo flujo pistón y asegurando un mejor rendimiento. La relación entre las dimensiones en los taludes de lagunas anaerobias es 2:1 (horizontal:vertical), mientras que en lagunas facultativas y maduración es de 3:1.

Se deben proteger contra la erosión provocada por el oleaje 30 cm por encima y por debajo del nivel de agua con escolleras y se emplearán resguardos en torno a 0,5m en lagunas menores de 2 hectáreas, mientras que para lagunas de mayor tamaño, aumentará a 1m.

En cuanto a los materiales necesarios sólo se necesita arena, tierra y una lámina plástica para la impermeabilización.

El sistema de *lagunaje* tiene la ventaja de necesita escaso y simple mantenimiento.

Los **humedales artificiales** se construyen por excavación en el terreno.

Los suelos de los HAFSs presentan una pendiente del 1% en la dirección entrada-salida y los taludes suelen tener una pendiente de 45º, mientras que en los HAFS es algo menor. La geometría del confinamiento de los HAFS guarda una relación longitud/anchura de 5/1 y la de los HAFSs 3/1.

Se deben evacuar efluentes depurados por varios puntos para evitar caminos preferentes.

El control del nivel de agua se realiza mediante tuberías abatibles, flexibles o extensibles.

- En el caso de los HAFSs verticales se conectan tuberías de drenaje (chimeneas) verticales que sobresalen por encima del medio filtrante para favorecer la oxigenación del sustrato.
- En el caso de los HAFSs, las capas de áridos que forman el sustrato constituyen la parte esencial del tratamiento. El tamaño de los áridos oscila entre 3-6mm para aguas poco cargadas y 6-12mm para aguas de alta carga. Hay que impermeabilizar el suelo con arcilla o bentonita compactada o plásticos PEAD, en caso de alta permeabilidad, o compactarlo, en caso contrario.

Por último, se recomiendan determinadas especies de vegetación:

- En HAFS: juncos, aneas, masiega, iris, juncia, etc., plantadas mediante rizomas o semillas.
- En HAFSs: carrizo.

Los **drenes de aireación forzada** necesitan un espacio disponible, de aproximadamente 2,5 m²/h.e.

El sistema está formado por canales de sección trapezoidal rellenos de piedra y compactados en superficie.

Se disponen en conjuntos de tramos de 1m x 1m x 10m (Base 0,5 m) que trabajan en paralelo. Dichos conjuntos o baterías de drenes luego se conectan en serie hasta alcanzar los rendimientos deseados en depuración.

Hay que tener en consideración que los tubos de respiración, sobresalen del terreno 1 m.

Los **lechos de turba** se implantarán en una excavación en el terreno impermeabilizando con paredes y soleras de hormigón, o recurriendo al empleo de láminas de material plástico (PEAD) de 1,5 mm espesor.

Tendrán forma rectangular, para facilitar un reparto homogéneo teniendo cada unidad de filtración una superficie aproximada de 100 m² (15x7m).

Además de que es interesante una cierta pendiente en el terreno, se debe dar una pendiente de 1% en la solera de los filtros hacia la zona del efluente.

Se alimenta mediante tuberías perforadas para una alimentación uniforme, de diámetro 32mm, con una separación de 0,6m.

Se colocarán placas protectoras en los puntos de salida de las tuberías de distribución de la alimentación, con objeto de que el agua no origine agujeros en la turba y cree caminos preferenciales.

Para la ventilación del sustrato filtrante, se dispondrán chimeneas verticales en el fondo de los filtros que sobresalen por la superficie de la turba, ejerciendo un efecto de tiro y renovación del aire presente en los drenes.

En cuanto a los materiales utilizados, las capas de áridos, en orden descendente, serán: gravilla (3-6mm) de 15 cm espesor, gravilla (6-12 mm) de 15 cm espesor, grava (25-40 mm) de 20 cm espesor. El tamaño de la partícula de la turba será menor del 10% del peso total y de entre 0,1-5 mm. El espesor de la turba recomendado es 40 cm.

Un **lecho bacteriano** se trata de un depósito, generalmente cilíndrico, abierto a la atmósfera que alberga un material soporte en su interior. La forma rectangular se emplea con rellenos de módulo laminar de material plástico ordenados o en plantas muy pequeñas.

Dispone de dos sistemas: alimentación-distribución de agua de entrada al filtro y ventilación-recogida de agua tratada.

El tipo de relleno se selecciona en función de la superficie específica y el índice de huecos. Aunque también hay que tener en cuenta la resistencia mecánica y durabilidad. El material de relleno se coloca sobre un falso fondo drenante, que lo sostenga pero que permita el paso del agua.

En cuanto al sistema de aireación, conviene limitar la altura del lecho a 3 m en caso de ventilación natural. Por otra parte, en el caso de ventilación forzada se evita la dependencia de las condiciones climatológicas que presenta la ventilación natural.

Los **filtros verdes** necesitan una gran superficie para su aplicación pues requieren un pretratamiento, es decir, una etapa de desbaste con desarenado y desengrasado.

Se establecerán una o varias especies en la superficie del terreno y se aplicará el agua a tratar mediante algún tipo de riego. En España la especie vegetal más empleada en este tipo de sistemas son chopos, eucaliptos, olmos o sauces.

El **sistema de infiltración rápida** requiere también de un pretratamiento, es decir, una etapa de desbaste con desarenado y desengrasado.

Para evitar riesgos de colmatación de la superficie inferior de las balsas de infiltración, será también necesario un tratamiento primario, generalmente, balsas de decantación.

En las balsas no se suele poner vegetación salvo que se empleen sistema de aspersión como método de aplicación al terreno. En caso de usarlas, se realizará un mantenimiento periódico de las mismas.

En cuanto a la **escalera de oxigenación**, al estar en contacto con la atmósfera, debe estar debidamente protegida y separada de la población para evitar posibles infecciones.

TT: Tratamientos terciarios

En el caso de los **filtros de arena**, la superficie requerida para su implantación puede estar en torno a 1-3 m²/h.e. o, incluso, entre 3-5 m²/h.e.

En cuanto al sistema de entrada al sistema de filtros se hace mediante tuberías perforadas de 32 mm de diámetro, con una separación entre los mismo de 0,6m. Dichos orificios se situarán en la parte superior de la tubería de distribución. Las tuberías de salida del sistema son de 100 mm de diámetro, con las ranuras de salida hacia arriba.

Además, se recuerda la necesidad general de los **filtros de arena** de una etapa de pretratamiento y tratamiento primario previos, como fosas sépticas o tanques Imhoff.

En cuanto al **Reactor Baccou**, puede ser un canal o un recipiente rectangular pero es fundamental que siempre tenga cierre hermético. La lámina transparente de plástico debe estar en contacto directo con el agua asegurándose de que no queda ninguna burbuja de aire.

El tipo de algas utilizadas debe ser planctónicas o bentónicas.

Para asegurar una mejor calidad del agua obtenida en este sistema, el agua de salida de este tratamiento se debe filtrar.

En ambas tecnologías, la construcción es sencilla y el mantenimiento es escaso y simple.

AGUA Y ENERGÍA

AE: Medidas de ahorro de agua en el ámbito energético

A nivel urbano, la **optimización de la presión de suministro** tampoco requiere de espacios adicionales sino de un buen control y mantenimiento de los grupos de bombeo del núcleo urbano.

EA: Medidas de ahorro de energía en el ámbito hidráulico

La ubicación de los **depósitos de almacenamiento de los núcleos urbanos en un sitio elevado** supone la reserva de un espacio muy importante por su dimensión, (que depende de la población a la que sirve) pero, además, el hecho de que tenga que estar en una situación elevada hace que ese espacio ocupe, en muchas ocasiones, lugares privilegiados de la ciudad.

En cuanto a los **sistemas de calentamiento de ACS con energía solar térmica** no es usual a nivel urbano.

2.3.2.2.2. REPERCUSIONES ECONÓMICAS

En este apartado, **se comentan los costes relativos de las diferentes medidas a partir de la información de los costes unitarios, las necesidades de mantenimiento y los requisitos espaciales y constructivos recogidas en las fichas tecnológicas del manual.**

Sería también de gran utilidad y, por ello, se propone **como futura línea de investigación, un estudio de la viabilidad económica de las medidas propuestas** que partiría de un análisis comparado de la información presentada en este trabajo de sobre costes de implantación y de mantenimiento de todas las tecnologías, completando el análisis con el ahorro económico asociado al ahorro de agua y de la energía que supone la implementación de las medidas, a partir de los precios de ambos recursos. Todos estos datos, junto con un estudio en relación a los ciclos de vida, permitirían analizar los periodos de amortización de las tecnologías de manera más exacta así como sus repercusiones a medio y largo plazo.

2.3.2.2.2.1. EN EDIFICIOS

ABASTECIMIENTO DE AGUA

DA: Dispositivos de ahorro de agua

En general, estas tecnologías tienen un coste económico inicial reducido, sobre todo, las que conforman **sistemas adicionales** -los que se colocan en aparatos ya existentes- frente a los sistemas donde se produce una **sustitución** de algún elemento. En este último grupo de medidas, se incluirían los electrodomésticos que son los dispositivos más costosos del mismo por la incorporación continua de innovaciones tecnológicas que tienen el objetivo de reducir los consumos de agua y energía de los aparatos.

En este tema, conviene añadir que, la mayoría de las tecnologías de este grupo, todavía no están recogidas en las bases de costes de nuestro país, lo cual favorece que haya importantes diferencias entre unas ofertas y otras en la amplia gama ofrecida en el mercado. Estas variaciones de precios y las pequeñas diferencias tecnológicas entre unos y otros modelos se reflejan, de hecho, en los estudios y publicaciones existentes sobre el tema que son aún limitados en cantidad y, en su mayor parte, no excesivamente precisos.

También es importante destacar que, al ser dispositivos que no necesitan un espacio adicional para su implementación, no suponen una inversión extra derivada de la adquisición de ese supuesto espacio.

Por otro lado, a los costes de los elementos constructivos y espaciales (que en este caso son nulos), hay que añadir los de la mano de obra. En este caso, los **sistemas adicionales** suponen operaciones que pueden ser realizadas por el propio usuario frente a los casos en que se produce la **sustitución** de un aparato o alguno de sus componentes, donde se suele precisar de personal especializado lo que tiene un coste, aunque no especialmente alto (entre 40 y 100€), que hay que contabilizar a la hora de analizar la viabilidad económica de las soluciones. De todas maneras, en este segundo caso en que puede participar un profesional

especializado, la implantación no supone un proceso complejo y se puede realizar en un periodo de tiempo muy corto y sin necesidad de desalojo de los usuarios del edificio, con las repercusiones que esto podría tener también económicamente para el usuario.

Por último, es importante destacar el nulo coste de mantenimiento de todas estas medidas que favorece también su más rápida implantación respecto al resto, haciendo de ellas las tecnologías más frecuentemente implementadas y las más socialmente aceptadas entre todas las relacionadas con el ciclo del agua.

GF: Gestión activa de fugas

El coste de los **sistemas de alojamiento de instalaciones en los edificios** es, fundamentalmente, el de los materiales utilizados en sus paramentos, las posibles particiones interiores y los puntos de acceso a los mismos, junto con el relativo a la pérdida de espacio que no puede ser utilizado para usos más “lucrativos” para el promotor o provechosos en el caso del usuario. El cálculo exacto dependería del edificio objeto del proyecto.

La elección de unos materiales frente a otros también puede suponer una diferencia económica importante y, en ese sentido, cada vez más se tiende a la utilización de sistemas prefabricados que abaratan el coste final.

Por otro lado, no hay que olvidar que estos conductos reservados para las instalaciones pueden encarecerse de manera importante debido a soluciones obligadas por aspectos de la normativa de protección contra incendios como es el caso, antes nombrado, de las compuertas cortafuego que son obligadas si dichas cámaras conectan sectores de incendio diferentes.

En relación a la introducción de **contadores individualizados** en los edificios de más de un usuario, claramente es más costosa que una solución que contase con un contador general único y comunitario pero es una solución necesaria para reducir los consumos, como se ha comprobado con su implantación en las últimas décadas.

Por otro lado, el hecho de que estén centralizados, como es usual por obligación de las compañías para una más fácil lectura por parte de su personal, supone un coste adicional por la multiplicidad de montantes que parten de las baterías, situadas en la planta de acceso al edificio donde estos se concentran, al que hay que añadir el de las propias baterías que tienen, entre otras funciones, la de unificar las condiciones de partida del agua para todos los usuarios.

En relación a la obligación de que dichos contadores tengan que estar centralizados, es necesario plantearse dicha necesidad con la aparición e implantación de los contadores electrónicos que incorporan sistemas de telelectura pues una descentralización de los contadores permitiría que estos estuviesen más cerca de las unidades de consumo y la estructura de la instalación se simplificaría bastante con el consiguiente abaratamiento de costes de material. Además, el espacio necesario para la instalación sería menor, lo cual también afectaría, de manera indirecta, en términos económicos.

Por último, comentar que el coste de los dispositivos electrónicos de telelectura es relativamente alto pero se compensaría con el ahorro de materiales anteriormente comentado.

A partir de todo lo comentado en relación con esta tecnología, en los casos de rehabilitación de edificios, los costes pueden ser aún mayores pues, de no existir espacio para implantar los contadores individualizados en el cuarto de instalaciones correspondiente, supondría la ampliación del mismo con el coste material subsiguiente.

En cuanto al coste de los **sistemas de detección de fugas**, es relativamente alto pues cada vez se utilizan sistemas más sofisticados tecnológicamente. Generalmente, como se ha comentado y excepto en el caso de los contadores, los aparatos suelen adquirirlas empresas de mantenimiento que se dedican a este negocio aunque, por otro lado, es cierto que no suponen un coste adicional por espacio consumido.

HA: Recursos hídricos alternativos

Las repercusiones económicas de la **utilización de recursos alternativos** (*aprovechamiento de pluviales, reutilización de aguas grises, etc.,...*) dependen totalmente de las técnicas utilizadas.

Partiendo de que es seguro que reducen en un porcentaje muy importante la demanda de agua de las fuentes naturales –como se confirma con los datos recogidos en el *manual*-, habría que hacer cálculos concretos del coste material y de implantación de la tecnologías así como de su mantenimiento para poder realizar un análisis completo, lo cual depende de las tecnologías elegidas, de su posible combinación y de las características del clima, del edificio y de sus usuarios, todos datos dependientes del caso de estudio analizado en cada ocasión.

La complejidad constructiva de cada sistema también varía mucho de un caso a otro y se analiza más detalladamente en los apartados correspondientes a cada uno de ellos.

JH: Jardinería hidroeficiente

Esta solución, utilizada fundamentalmente en espacios exteriores libres de edificación, tiene su máxima posibilidad de aplicación en los edificios combinada con las cubiertas vegetadas.

En este caso y como se verá al estudiar el caso concreto, el coste unitario inicial de la cubierta es mayor que el de una cubierta tradicional, pues habría que añadir el coste del terreno, el de las *especies vegetales elegidas* y el del *sistema de riego* que debe ser también *hidroeficiente*. El coste de estos elementos depende mucho de las elecciones del promotor y, a su vez, de la decisión básica de la superficie final tratada con esta tecnología.

Lo que sí es cierto es que también habrá que considerar, en una posible evaluación final, que la aplicación de estas técnicas de jardinería hidroeficiente se compensan con la revalorización económica del espacio que pasa a ser vegetado con todos los beneficios que ello conlleva.

AGUAS PLUVIALES

AD: Sistemas de captación y almacenamiento directo de aguas pluviales

De partida, hay que dejar claro que estos sistemas utilizan un recurso de partida sumamente barato y de relativa calidad lo que supone costes de mantenimiento y explotación relativamente bajos. Efectivamente, es un recurso que suele ser de buena calidad excepto en los núcleos urbanos muy contaminados en los que, para los usos más exigentes, podría requerir posteriormente una depuración, caso en que el coste se incrementaría de manera importante. En cambio, un tratamiento muy básico para usos menos exigentes no supondría un coste especialmente elevado.

Además, no hay que olvidar que, el simple hecho de recogerla de manera separada para su uso directo, permite su aprovechamiento en el mismo lugar de la recogida suponiendo un ahorro energético y económico importante.

Como contrapartida, como ya se ha comentado, la escasez en la cuantía de las lluvias puede ser un problema relativamente frecuente para la implantación de estos sistemas en el arco mediterráneo, pues supone abastecer sólo una fracción de la demanda. En esos casos, la eficiencia del sistema disminuye al reducirse la demanda atendida y ello incide en su rentabilidad económica.

Además, si las lluvias son poco frecuentes e irregulares, aun cuando sean de un volumen suficiente, obliga a un sobredimensionado del depósito para retener la elevada pluviometría puntual encareciéndose la instalación. En comparación con otros sistemas de suministro alternativo a la red, el tamaño del depósito de almacenamiento de agua para consumo es mayor que en el resto. Esto supone un mayor gasto inicial de material y un coste adicional por el espacio consumido. Además, en la evaluación inicial de costes, tanto en casos de **recogida directa** como **indirecta**, habrá que considerar el hecho de que los aljibes estén enterrados, semienterrados o en superficie, por el coste adicional que pueden suponer las excavaciones correspondientes.

DS: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

El coste relativo de una **cubierta vegetada**, única de las técnicas SUDS utilizadas en edificación, respecto a una cubierta tradicional, tanto en términos de inversión inicial como de mantenimiento, es claramente mayor.

Eso es así porque, en el coste unitario inicial de la cubierta vegetada, habría que añadir el coste del terreno y el de las especies vegetales elegidas. Un sistema de riego no siempre es necesario pero dependerá más de aspectos pertenecientes al ámbito de la jardinería. Por otro lado, es una solución en la que no se puede escatimar en costes de impermeabilización pues, problemas de este tipo, inutilizarían la solución.

Además, es una cubierta que necesita de un mantenimiento más o menos continuo que habrá que contabilizar también y aumentará un poco el posible plazo de amortización final.

En sentido opuesto, en una posible valoración global de la solución, hay que considerar en cambio los ahorros energéticos debidos a su función aislante o, en

caso de la implementación de determinados tipos de vegetación, los posibles beneficios que se puedan obtener de los residuos vegetales.

Otro aspecto muy importante, a nivel económico, que no hay que olvidar es la consecuencia de tener un jardín en la cubierta lo cual puede suponer la revalorización de dicho espacio y del edificio en su conjunto.

AGUAS RESIDUALES

SS: Sistemas separativos

Como consecuencia de la duplicación de redes y la consiguiente mayor ocupación espacial, claramente los costes de implantación iniciales de los **sistemas separativos**, en general, son mayores que en los sistemas unitarios. En el caso concreto de los de los **sistemas doblemente separativos** (con tratamiento independiente de las aguas grises), dichos costes serán aún mayores pudiendo llegar a aumentar hasta un 35% respecto a los de las redes unitarias.

Pero, como ya se ha comentado en otras tecnologías, hay que realizar un análisis más completo y a más largo plazo de los beneficios obtenidos pues el aprovechamiento de las aguas pluviales recogidas y las grises reutilizadas reduce significativamente los consumos de agua de la red amortizándose la diferencia de precios en plazos razonables, lo que se une a un importante ahorro económico asociado y otros beneficios medioambientales importantes.

También es importante recalcar que, si se realizase la **reutilización de las aguas grises dentro del propio núcleo húmedo**, entonces estas repercusiones espaciales y económicas serían mucho menores. Esta solución es una solución muy interesante, sobre todo, en los casos de rehabilitación donde la implantación de sistemas comunes a todos los usuarios es compleja técnicamente y a nivel de gestión.

En cuanto a las repercusiones económicas de la implantación del **saneamiento seco** en los edificios dependen, en gran medida, del sistema utilizado:

- Cuando es de **compostaje in situ**, hay un ahorro económico importante asociado a la reducción de material al desaparecer los bajantes para sólidos siendo muchísimo más económicos los conductos para los líquidos. Como contrapartida, los modelos de inodoro ocuparían algo más por llevar una cámara adicional y serían más complejos y caros, como consecuencia.
- En el caso del **compostaje en tanque remoto** y comunitario, habría que cambiar el modelo de inodoro pero a uno más sencillo que no lleva la cámara de compostaje y solamente separe líquidos de sólidos. Este inodoro ocupa prácticamente lo mismo que los tradicionales. Por otro lado, se mantendrían los bajantes para sólidos y se añadirían conductos para líquidos así como el tanque remoto comunitario que necesitaría un espacio en la zona inferior del edificio (generalmente el sótano) ya que se seguiría trabajando por gravedad.

En ambos casos, habría que valorar el sistema de ventilación frente al de las soluciones tradicionales y habría que analizar la repercusión energética y económica que supondría el propio proceso de compostaje, si hay obtención de energía adicional o no a partir de él.

SC: Sistemas compactos de depuración

De los tres sistemas expuestos, el sistema más utilizado en el interior de las edificaciones es el **sistema compacto automatizado** por su menor impacto espacial y suele ser prefabricado lo cual, aunque en parte, abarata los costes, supone un desembolso inicial más importante frente a los **sistemas naturalizados**. Estos últimos son de muy bajo coste y tecnológicamente más sencillos lo cual los hace ideales para su aplicación en comunidades con pocos recursos económicos, pero generalmente no se usan dentro del ámbito de la edificación.

PT: Pretratamientos de aguas residuales

Las **arquetas de pretratamiento** son mecanismos sencillos de bajo coste. Los modelos prefabricados también han permitido un abaratamiento en los últimos tiempos.

TP: Tratamientos primarios

Como se ha comentado, no suelen utilizarse en el interior de los edificios pero sí en sus zonas exteriores.

TP: Tratamientos secundarios

Estas tecnologías no tienen repercusiones económicas en la edificación a no ser que se usen en sus espacios exteriores, lo cual no es usual.

TT: Tratamientos terciarios

Ya se ha comentado que estas tecnologías son aplicables a escala urbana por lo que se comentan en el apartado correspondiente.

AGUA Y ENERGÍA

AE: Medidas de ahorro de agua en el ámbito energético

La **optimización de la presión de suministro**, no tiene implicaciones espaciales pero sí supone un mayor control y mantenimiento con el consiguiente coste.

En el **diseño de las redes de distribución de ACS**, si fuese necesaria una red de retorno, el coste de la medida es relativamente bajo y sería el correspondiente a la ampliación de los metros de tubería y su correspondiente aislamiento así como todos los elementos de control correspondientes (llaves, etc...).

EA: Medidas de ahorro de energía en el ámbito hidráulico

El coste inicial que supone una **red partida en los edificios** es la consecuencia de la duplicación de baterías para separar aquellos contadores de los usuarios que puedan aprovechar la presión de las redes urbanas sin necesidad de usar el grupo de presión. Ese coste se compensaría con un menor coste del grupo de presión que tendría menores exigencias.

En el caso de un edificio ya construido (rehabilitación) que no se estuviese aprovechando la presión de la red urbana en las plantas inferiores del edificio, sí

que habría que hacer una reforma con un coste inicial importante pero que se terminaría amortizando.

Los **grupos de bombeo de caudal o velocidad variable** son algo más sofisticados que los grupos convencionales pero, por otro lado, económicamente, se compensa con la eliminación del depósito hidroneumático, ganándose espacio tras la operación.

El **aislamiento correcto de las tuberías de ACS** es aplicable siempre, como principio básico de eficiencia energética, con el consiguiente coste de los materiales utilizados.

La **implementación de instalaciones de Energía Solar Térmica para producción de ACS** es la medida que mayor repercusión económica tiene en la edificación pues es un sistema bastante complejo. Además del coste material, hay que tener en cuenta la cantidad de espacio utilizado por dicho sistema que también tiene un valor económico. Lógicamente, en un estudio económico completo hay que tener en cuenta la reducción del consumo de energía que es importante.

2.3.2.2.2. EN EL ESPACIO URBANO

ABASTECIMIENTO

DA: Dispositivos de ahorro de agua

La repercusión económica de la implantación de estas tecnologías en los espacios urbanos de los núcleos de población es mínima pues son tecnologías cuyo ámbito de aplicación es, fundamentalmente, el edificatorio.

GF: Gestión activa de fugas

El coste de las **galerías de servicio** en los núcleos urbanos puede variar mucho en función de su sección, su longitud y de los materiales utilizados. También se tendrán en cuenta los costes de posibles elementos de seccionamiento de los mismos para evitar la propagación del fuego. Además, es importante añadir el coste del suelo utilizado.

En general, supone un coste inicial mayor que otras soluciones pero que se compensa con la enorme cantidad de ventajas que tiene y que hacen que los plazos de amortización se reduzcan. Por ejemplo, se reduce el coste del mantenimiento de las redes a lo largo de los años, se evita levantar los pavimentos en múltiples ocasiones, se evitan los cortes de tráfico, etc... El tener las instalaciones a la vista, dentro de estas galerías, facilita el mantenimiento y la detección de fugas será más rápida y los efectos negativos de las mismas serán menores, también económicamente hablando. Por otro lado, como dato positivo, el hecho de que todas las instalaciones estén enterradas permite utilizar los espacios urbanos para otros usos más rentables.

Por último, hay que insistir en que es necesaria una perfecta coordinación entre las empresas que utilizarán dicho espacio y la administración para reducir tanto los gastos iniciales como los de mantenimiento.

El coste de la introducción de los **contadores** a nivel urbano, dependerá del nivel de sectorización y control que se pretenda conseguir. En el coste inicial de la inversión, habrá que tener en cuenta no sólo el coste de los contadores, diferente según el tipo, sino también el de las arquetas donde estos se ubican.

Al igual que en el caso de la edificación, hay que recordar que generalmente la tecnología que conforma los **sistemas de detección** suelen ser bastante caros y son adquiridos por empresas especializadas en mantenimiento. A nivel urbano, las compañías suministradoras pueden tener sus propios equipos o subcontratan a empresas que realizan el trabajo.

HA: Recursos hídricos alternativos

La repercusión económica del uso de este tipo de recursos, a nivel urbano, es muy importante e incluso más que en el caso de los edificios por la posible utilización de técnicas sostenibles y extensivas de tratamiento con muy bajos costes como, por ejemplo, los sistemas compactos naturalizados que se analizan en el apartado correspondiente.

Por otro lado, también hay que valorar las ventajas que tienen a nivel espacial las soluciones de depósitos enterrados, posibles en varias tecnologías, dejándose libre espacio en superficie para otros usos que mejoren la calidad de vida de la comunidad.

JH: Jardinería hidroeficiente

La implicación económica de estas soluciones, como ya se ha adelantado en el apartado relativo a las repercusiones en los edificios, dependerá de muchos factores como la dimensión del área tratada, las especies elegidas, la existencia o no del acolchado o *mulching* y del método de riego elegido.

AGUAS PLUVIALES

AD: Sistemas de captación y almacenamiento directo de aguas pluviales

A nivel urbano, las repercusiones económicas son similares aunque estaríamos hablando de volúmenes de almacenamiento mucho mayores. En estos casos, se necesita más material para los depósitos pero también aumenta mucho el ahorro de agua. En general, la bibliografía sobre el tema recalca que las soluciones colectivas tienen un menor coste relativo que las individualizadas. Efectivamente, el hecho de almacenar las reservas de varios edificios de una misma zona o barrio en un único depósito reduce el coste relativo. Como otras veces se ha dicho, una solución a mayor escala es casi siempre más rentable pero supone una mayor complejidad de gestión, sobre todo, en los casos de rehabilitación de barriadas.

DS: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

En el caso de los SUDS, que se suelen implementar a nivel urbano, el coste es muy variado dependiendo del sistema elegido y de la presencia de vegetación o no.

En general, suelen ser tecnologías de menor coste que el de las soluciones convencionales aunque, a veces, pueda parecer lo contrario. Por ejemplo, sería el caso de los pavimentos tradicionales continuos que, simplemente, pretenden que el agua corra hacia la multitud de imbornales presentes en las calles. No obstante, esas soluciones tradicionales aumentan los diámetros de las tuberías de las redes urbanas por lo que habría que hacer un análisis económico completo para llegar a una valoración económica justa.

Por otro lado, sí es cierto que, en aquellos casos en las que haya que introducir sistemas adicionales de tratamiento de las aguas para determinados usos más exigentes, se encarecería la solución.

En cuanto a los costes de mantenimiento, la mayoría de las veces son reducidos pero no pueden anularse para evitar los atascos -por el crecimiento de malas hierbas o por obstrucciones por sedimentación- y la consiguiente inutilización de los sistemas. Además, en el caso de los *SUDS vegetados*, se necesita un mantenimiento específico en ese sentido. Por último, hay que tener en cuenta que el hecho de elegir especies vegetales autóctonas reducirá también las necesidades de agua que también suponen un coste económico adicional.

Por último, se vuelve a insistir de nuevo en que hay que considerar la gran cantidad de beneficios que tienen estas soluciones que amortizan la diferencia en un plazo no especialmente largo. Además, los sistemas vegetados mejoran la calidad ambiental del espacio urbano y es un buen sistema para luchar contra el cambio climático.

AGUAS RESIDUALES

SS: Sistemas separativos

El mismo razonamiento sobre las *redes separativas* realizado a nivel de edificio es aplicable a nivel urbano. Es evidente que se necesita más espacio y material, en general, para estos sistemas “duplicados” y más aún para las *redes doblemente separativas* pero también hay que valorar que, al utilizar determinados recursos en origen, los diámetros de las redes pluviales urbanas pueden ser menores. Por otro lado, si se introducen a nivel urbano de sistemas urbanos de drenaje sostenible donde la detención y la infiltración del agua en el terreno es una de las características fundamentales, las redes urbanas de pluviales también reducirían sus diámetros y, por tanto, su coste.

En el caso de la implantación del *saneamiento seco*, si se introduce en los edificios de las nuevas promociones que se hagan en nuevos desarrollos, puede suponer una importante reducción de costes a nivel urbano porque el tratamiento de los residuos se realizaría en los propios edificios y, como ya se ha dicho, incluso una parte importante de las infraestructuras urbanas dedicadas al transporte y depuración de las aguas residuales no sería necesaria.

SC: Sistemas compactos de depuración

Los sistemas que permiten menores costes iniciales, a nivel urbano, son los *sistemas naturalizados* frente a los *sistemas automatizados* por lo que tiene

más sentido su implementación siempre que contemos con el espacio necesario que también tiene que ser valorado.

En general, el mantenimiento de estos sistemas es mínimo y bastante sencillo lo cual también abarata los costes en este sentido.

PT: Pretratamientos de aguas residuales

En el caso de las **arquetas de pretratamiento** en entornos urbanos, el análisis es similar al realizado en el entorno edificatorio. Tiene bajo coste de implantación y también de mantenimiento.

En el **caso del desbaste, desarenado y desengrasado**, el coste dependerá de su tamaño y tipología. De todas maneras, estas tecnologías no suelen implementarse de manera aislada sino en combinación con otras con lo cual el estudio económico debe ser globalizado teniendo en cuenta todas las fases del proceso, incluyendo el coste del terreno donde se ubique el conjunto. Si además, el tipo de terreno es blando y el nivel freático bajo, se abaratarán también los costes.

En general, tienen un bajo coste.

TP: Tratamientos primarios

En cuanto al coste inicial de estos sistemas, la tecnología más económica es la **fosa séptica**, luego la **fosa anaerobia de alta velocidad** y, finalmente, el **tanque Imhoff**.

Una ventaja importante en estos sistemas es que tienen muy bajos costes de mantenimiento que es simple y escaso.

TP: Tratamientos secundarios

A escala urbana, son de aplicación todas las tecnologías del grupo.

Los gastos iniciales son variables en función de las tecnologías elegidas y de los materiales utilizados en éstas.

En cuanto al coste de dichos materiales, no son especialmente altos excepto en el caso de la **turba**, que es muy cara y, además, hay que renovarla cada cierto tiempo, y el material de relleno de los **lechos bacterianos**, que también es costoso. En el otro extremo están los **filtros verdes** que sólo necesitan la vegetación y los **sistemas de infiltración rápida** que sólo necesitan terreno o suelo fértil para desarrollarse.

Por otro lado, no hay que olvidar que son tecnologías que requieren una gran cantidad de espacio que habrá que incluir en los costes iniciales si no disponemos gratuitamente de él.

En cuanto al mantenimiento, en general, son tecnologías que requieren poco gasto energético así como poco y simple mantenimiento -al producirse pocos fangos, entre otras razones- lo cual permite una rápida amortización de los gastos iniciales. Solo, en el caso de los **lechos bacterianos** el consumo energético no es nulo por la presencia de equipos electromecánicos que consumen energía y requieren un mantenimiento más complejo y costoso.

Además, es importante destacar que, en el caso de los **filtros verdes**, se puede aprovechar económicamente la madera obtenida para obtención de celulosa, combustible, etc., y madera secundaria.

TT: Tratamientos terciarios

En las dos tecnologías de este bloque, los recursos materiales necesarios son fáciles de encontrar en el entorno y de bajo coste. Además, la construcción es sencilla y el mantenimiento es escaso y simple.

Por otro lado, en los **procesos de desinfección por microalgas**, es posible utilizar un recurso gratuito en el proceso como es la energía solar. Ello abarata también los procesos frente a los de las tecnologías convencionales.

AGUA Y ENERGÍA

AE: Medidas de ahorro de agua en el ámbito energético

También a nivel urbano, la **optimización de la presión de suministro** sólo supone un mayor control y mantenimiento con el consiguiente coste.

EA: Medidas de ahorro de energía en el ámbito hidráulico

A nivel de espacio urbano, una de las medidas puede tener repercusiones importantes y es la **ubicación de los depósitos en un punto elevado del área urbana** estudiada. Además del coste del espacio para su ubicación, puede ocupar un espacio privilegiado consiguiéndose menores rentabilidades que con otros usos. En algunas ocasiones, se construyen depósitos con cubiertas planas que pueden ser utilizadas con usos más rentables o simplemente como mirador.

2.3.2.3. REPERCUSIONES DE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MANERA CONJUNTA O EN BLOQUE: POSIBLES COMBINACIONES E INTERACCIÓN ENTRE ELLAS. COMPATIBILIDADES E INCOMPATIBILIDADES.

Para finalizar el análisis de las repercusiones a nivel espacial, constructivo y económico que tienen las tecnologías, se ha considerado **interesante llamar la atención sobre las importancia de combinarlas para conseguir mejores resultados** que utilizadas de manera individual. Como ya se adelantó, este apartado es de mucha importancia y con suficiente entidad y extensión en sí mismo y debería incluir un análisis económico detallado de dichas combinaciones. En este sentido, podría conformar un trabajo de investigación independiente, por lo que se ha propuesto como una posible línea de investigación futura.

A pesar de que este apartado no se desarrollará de manera detallada en el presente trabajo, se comentan a continuación una serie de **consideraciones generales que pretenden ser de utilidad para los técnicos y que pretenden concienciar de las múltiples posibilidades de aplicación de estas tecnologías.**

Lo primero que hay que tener presente es que, **en algunos casos, la utilización conjunta de las tecnologías es obligada por razones técnicas** -como ocurre en los procesos de depuración de aguas residuales que, a veces, requieren determinadas combinaciones para su correcto funcionamiento- **pero, en otras ocasiones, las posibles combinaciones son decisiones de proyecto que puede tomar el técnico a partir de un análisis de los posibles beneficios** que se pueden obtener con ellas.

Entre los casos de **combinaciones de tecnologías de depuración de residuales que son necesarios para un buen funcionamiento** de alguna de ellas, hay muchísimas -para más detalle consultar el *Manual de implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones* (CEDEX-CENTA, 2008)- y se destacan, a modo de ejemplo, los siguientes casos:

- **Determinados procesos de pretratamiento de aguas residuales no suelen implementarse de manera aislada** sino en combinación con otras tecnologías pertenecientes a los tratamientos primarios, secundarios o terciarios, como el *desbaste, desarenado y desengrasado*,
- **Algunos tratamientos secundarios necesitan previamente un pretratamiento y/o un tratamiento primario.**

En el caso de los *filtros verdes*, requieren de un *pretratamiento*, es decir, una etapa de *desbaste* con *desarenado* y *desengrasado* al igual que los *sistemas de infiltración rápida* los cuales, además, para evitar riesgos de colmatación de la superficie inferior de las balsas de infiltración, necesitan un *tratamiento primario*, generalmente, balsas de decantación.

Por último, en los *lechos de turba*, las aguas a tratar se someten inicialmente a una operación de *desbaste*, tras el cual se implanta una etapa de *tamizado* y, en el caso de que las aguas presenten elevadas concentraciones de grasa, se someten a una operación de *desengrasado*. Finalmente, para que no se produzca la colmatación del filtro, se implantará una *fosa séptica* que elimine la mayor parte de las partículas sedimentables y flotantes o *tanques Imhoff*. Es decir, que necesitan un *pretratamiento* y, posteriormente, un *tratamiento primario*.

- **Los tratamientos terciarios necesitan previamente un pretratamiento y/o un tratamiento primario y, a veces, algún tratamiento posterior.**
Por ejemplo, en el tratamiento con *filtros de arena* son necesarios una etapa de *pretratamiento* y *tratamiento primario* previos, como *fosas sépticas* o *tanques Imhoff*. En el caso del *Reactor Baccou*, para asegurar una mejor calidad del agua obtenida en este sistema, el agua de salida de este tratamiento *se debe filtrar*.

A continuación, se exponen ejemplos de **combinaciones que son decisiones de proyecto que puede tomar el técnico:**

- Por un lado, podríamos **combinar tecnologías de un mismo ámbito para aumentar los ahorros de agua:**
 - A escala edificatoria, el caso más sencillo y menor repercusión en el ahorro de agua es la implantación de *dispositivos de bajo consumo de agua para grifos y rociadores* sobre *grifería hidroeeficiente* lo que supondría una reducción adicional en el consumo a la obtenida por la instalación de los mismos.
 - A escala urbana, un buen ejemplo es la combinación de *distintos tratamientos de depuración de aguas residuales*, distintas a las obligadas por razones técnicas vistas en el punto anterior, con el fin de optimizar los procesos. En este caso, se necesita un conocimiento profundo de las tecnologías y de sus compatibilidades e incompatibilidades.
- Otra posibilidad muy interesante consiste en **combinar tecnologías de distintos ámbitos para conseguir optimizar el consumo hídrico de las instalaciones.**
 - Un ejemplo consiste en la **concatenación de tecnologías de diferentes ámbitos para una optimización total de los recursos hídricos** a partir de la “adecuación de calidades” a los distintos requerimientos, diseñando un recorrido para el agua en función de su calidad. Se puede recoger y almacenar el agua de lluvia en *aljibes* y aprovecharla tras una decantación previa, además de para riego, para su uso en *lavadoras* que la transformarán en agua gris al incorporar detergentes y otros elementos químicos. Dichas aguas grises pueden pasar, entonces, por un *proceso de tratamiento de aguas grises* y ser usadas para otros usos menos exigentes como riego o descarga de inodoros. Finalmente, y tras el paso por dichos inodoros, aquellas se transformarían en aguas negras que ya se verterían a la *red urbana de residuales* correspondiente para su futura depuración y vertido.
 - **Otra variante del caso anterior, de utilidad en zonas aisladas sin acceso a infraestructuras urbanas que cuente con precipitaciones frecuentes y abundantes y con agua de lluvia de buena calidad**, es recogerla y almacenarla realizando un *mínimo tratamiento de la misma en dicho depósito o aljibe con el fin de usarla como agua de consumo* en todos los aparatos de la vivienda excepto inodoros (y lavadoras, según el caso), transportando las aguas grises resultantes a un *sistema de tratamiento de aguas grises* que daría servicio a estos últimos aparatos, al no considerarse el riego prioritario por las condiciones climáticas del lugar. El agua negra obtenida finalmente habrá que depurarla, si es posible, con *tratamientos de depuración con tecnologías no convencionales* tras los cuales pueden verterse a las cuencas naturales sin peligro de contaminación de las mismas. La limitación de este tipo de combinaciones con tantos procesos de tratamiento intermedios es la cantidad de espacio necesario para la ubicación de tanques o depósitos lo que, en

dichos casos de viviendas aisladas, no suele ser un problema pues suelen contar con terreno suficiente alrededor.

En la siguiente figura, se presenta un ejemplo de una vivienda con un esquema similar al explicado.

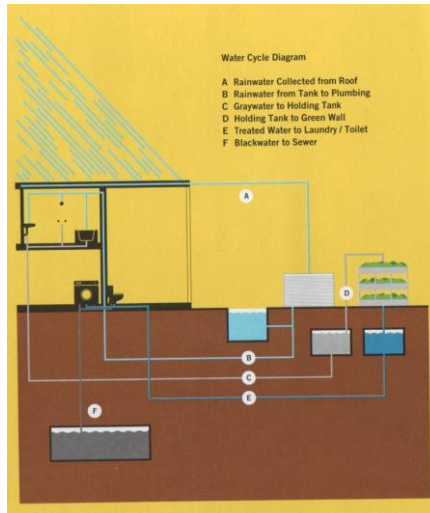


Fig.3. Clovelly Residence (USA). (Revista DWELL, 2007)

- Son, también, **muy interesantes las soluciones que supongan la introducción de especies vegetales** tanto en los espacios urbanos como en los edificios (como los *SUDS de tipo vegetado* –cubiertas verdes, cunetas verdes, humedales artificiales para AP,...- o *algunas técnicas de depuración* -biojardineras, filtros verdes, humedales artificiales para AR,...-), que pueden ser **complementados con técnicas de jardinería hidroeficiente**, utilizando especies autóctonas que reduzcan, o incluso anulen, el consumo hídrico. En los casos más extremos en que no fuese necesario el riego, podrían, incluso, eliminarse completamente los sistemas de irrigación y los posibles gastos energéticos de las bombas.
- Otras combinaciones de tecnologías de distintos sectores tienen como objetivo la **reducción de los requerimientos espaciales y el coste del conjunto**:
 - Por ejemplo, el uso de **tecnologías que favorecen la infiltración, la retención y la detención de pluviales en origen** o cerca del área de captación (caso de la recogida en *aljibes* o el uso de *ciertas tecnologías de drenaje sostenible o SUDS*) da lugar a la reducción de la cantidad de aguas que llega a los conductos de pluviales de las redes urbanas lo que permite menores diámetros de tubería, disminuyendo sus problemas espaciales y **favoreciendo la implantación de los sistemas separativos a nivel urbano**.
 - Si se añade al caso anterior de **aplicación de determinados tipos de SUDS**, la implantación del **saneamiento seco** en los edificios y se plantea la **reutilización de las aguas grises** también dentro de éstos, las únicas redes que habría que diseñar en los espacios públicos serían dichas redes de pluviales, con mucha menor sección que las actuales.
 - Otro ejemplo sería un edificio en el que se implementasen *dispositivos de ahorro* en todos los núcleos húmedos de las viviendas en el que se plantee, además, la implementación de un *sistema de reutilización de aguas grises*. En este caso, **se reducirían los requerimientos espaciales de dicho sistema de reutilización**, si se

cumplen otra serie de condiciones. Al reducirse el agua consumida en las viviendas, también lo hace el agua gris obtenida de los correspondientes aparatos lo cual no es un problema para los usos que podrían aprovechar este tipo de aguas **si, a su vez, se han tomado otra serie de medidas sostenibles**. Por ejemplo, esa cantidad de aguas grises será suficiente en el caso de los *inodoros y urinarios en los que se necesite menos agua* por tener diseños hidroeeficientes o porque se haya implementado en ellos alguna solución que haya reducido sus volúmenes de descarga. También, el agua gris obtenida puede llegar a ser suficiente para el riego de jardines si se han diseñado de acuerdo con las técnicas de *Xerojardinería* porque tendrán menores requerimientos hídricos.

- Por otro lado, hay combinaciones que, además de conseguir ahorro de agua, **afectan de manera importante a la configuración espacial** de los edificios:
 - En el caso de los edificios, la combinación de *sistemas separativos*, en los que las aguas pluviales se recojan en bajantes colocados en la banda exterior del edificio (integrados o no en la fachada), con un *sistema de saneamiento seco con compostaje in situ* que elimina la necesidad de bajantes de residuales evita la presencia de determinadas verticales que son una constante en la arquitectura actual con la consiguiente **eliminación de obstáculos y el fomento de la continuidad espacial**. También facilita soluciones arquitectónicas en las que se eliminan módulos del edificio por razones de diseño, permitiendo una mayor libertad en ese sentido.
 - Por último, hay **combinaciones de tecnologías que permiten compensar el espacio ocupado por cada una de ellas**, ya que la falta de espacio a la hora de introducir *depósitos de muchos de estos sistemas* es una constante. La solución sería complementar estas tecnologías que necesitan tanto espacio para sus tanques con otras como las *bombas de caudal variable* que liberan el espacio necesario para los depósitos hidroneumáticos, que ya no serían requeridos. Esta última implementación permite recuperar un poco del espacio consumido por las instalaciones en los edificios.
 - Un **caso del mismo tipo, ideal en un caso de rehabilitación de un edificio con múltiples usuarios** (por ejemplo, de uso residencial), sería la combinación de la transformación de la red de suministro de agua en una *red partida* (si se comprueba que la presión de la red urbana es suficiente para ello) con la sustitución del grupo de presión por un *grupo de presión de caudal variable*. Se compensaría el espacio que necesita el desdoble de baterías de contadores con el espacio que cedido por la eliminación de los depósitos hidroneumáticos.

Otra consideración importante a tener en cuenta es que, **en la mayoría de los casos, la aplicación de más de una medida a la vez no sólo suma sus efectos sino que puede llegar a multiplicarlos** según la combinación elegida. Tendríamos, en este caso, el ejemplo de las *soluciones en el ámbito energético que suponen un ahorro de consumo de agua*, como el *ajuste de presiones de los equipos de bombeo*, el cual vuelve a revertir en el aspecto energético a nivel del Ciclo Urbano del Agua. Y es que, en general y como se ha recordado ya en múltiples ocasiones, la implementación de una medida que reduzca la demanda de agua de un sector de la población, reducirá sus requerimientos espaciales, energéticos y económicos no sólo en la fase del abastecimiento sino en la de la evacuación.

Por último, no hay que olvidar que **algunas combinaciones pueden tener mayores inconvenientes que ventajas**. Por ejemplo, a nivel general, si introducimos a la vez varios de estos sistemas hidroeficientes con grandes necesidades de almacenamiento como el *almacenamiento de pluviales* para su aprovechamiento o la *reutilización de aguas grises*, los requerimientos espaciales para los nuevos conductos y depósitos aumentan mucho y es necesario, en estos casos, comparar ambos casos por separado y con la combinación de ambos sin perder nunca de vista la demanda de agua para decidir si realmente compensa la superposición de sistemas o la implementación de sólo uno de ellos.

La presentación de todos estos ejemplos pretende, fundamentalmente, concienciar a los técnicos de la **importancia de enfrentarse y analizar el ciclo urbano del agua en su conjunto, comprendiendo también muy bien la relación de las aguas urbanas con los sistemas naturales para poder**, a partir de ahí, **elegir de manera más adecuada** las posibles soluciones o combinaciones a implementar.

Por último, como se afirma en la Guía Aqua-Riba (Aqua-Riba, 2015), para una mejor elección entre las posibilidades de intervención **es necesario, también, un análisis más detallado de los posibles resultados** de la implantación de las tecnologías o combinaciones de ellas, **para lo cual es muy útil el planteamiento o construcción de distintos escenarios futuros** que se pueden analizar, de manera mucho más fiable, **aprovechando las nuevas tecnologías mediante herramientas de modelado de escenarios y sistemas de apoyo a la toma de decisiones** (SAD o DSS por sus siglas en inglés) que permiten integrar una gran cantidad de datos de entrada y proporcionar, a partir de ellos, información que nos ayude a la toma de decisiones en relación a las opciones de intervención existentes. Este campo de la aplicación de las nuevas tecnologías a la gestión es un campo también del máximo interés y que también merece una investigación propia por lo que se propone como otra posible línea de investigación futura.

2.3.3 VALORACIÓN GLOBAL DE RESULTADOS. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO DEL USUARIO Y EN LOS ÁMBITOS ARQUITECTÓNICO Y URBANO.

A partir del análisis de las implicaciones espaciales, constructivas y económicas de la implementación de las tecnologías en los edificios y en los espacios urbanos, en este capítulo, **se pretende valorar cómo va a afectar a la calidad de vida del usuario pero, sobre todo, como puede influir en la elaboración de los proyectos arquitectónicos y urbanos y, en último término, en el diseño de los espacios habitados** -edificios y espacios urbanos- **en un futuro próximo.**

Es necesario analizar los resultados previsibles o efectos de su aplicación, tanto positivos como negativos –ventajas e inconvenientes-, mediante la valoración de dichos efectos o impactos.

2.3.3.1. IMPACTO EN EL ÁMBITO DEL USUARIO.

ABASTECIMIENTO

DA: Dispositivos de ahorro de agua

Además de la posible mejora que se puede producir en la salud del usuario con el uso de **dispositivos** que mejoren la calidad del agua a partir de una posible filtración del agua, la principal ventaja es el ahorro económico que supone la reducción del consumo de agua que ese verá reflejada en la factura correspondiente.

Además, son soluciones muy extendidas porque suponen, como ya se ha dicho, inversiones muy pequeñas y fácilmente implementables, a nivel individual o colectivo, en casos de nuevas construcciones o en casos de rehabilitación.

GF: Gestión activa de fugas

En general, el hecho de que los **huecos de instalaciones del edificio** discurran por zonas comunes facilita el mantenimiento desde éstas sin molestar a los usuarios del edificio entrando en sus viviendas o espacios privados. Si, además, son huecos preparados al efecto con puntos de acceso concretos, las molestias serán aún menores (menos obras y ruidos, etc...) y no habrá gastos económicos asociados a dichas obras, que serían innecesarias. Esa es, de hecho, una de las funciones de las cámaras de instalaciones, los suelos y los techos técnicos.

Se recuerda, también, que el caso especial de las **galerías de servicio en la vía pública**, además de conseguir la protección de las instalaciones, supone una protección de los usuarios que no están en contacto en ningún momento con ellas. Además, un menor levantamiento de los pavimentos de las calles en caso de averías o de sustitución de redes reduce el nivel de ruidos y produce una mejora estética importante en el entorno urbano, factores que suponen un aumento de la calidad de vida de los ciudadanos en las ciudades. Por otro lado, la no necesidad de levantamiento de pavimentos reduce también los costes de mantenimiento que beneficiaría económicamente al usuario, de manera indirecta, junto con ahorro económico asociado al ahorro de agua si se reducen las fugas.

En relación al uso de **sistemas de detección de fugas**, cuanto más efectivos sean, más reducirán los posibles efectos y patologías en los elementos constructivos, limitándose la envergadura de las posibles obras consecuencia de las mismas. Esto reduce las molestias

producidas por dichas obras y los consiguientes gastos. Dicho ahorro económico se suma al ahorro de agua asociado a la reducción de pérdidas de agua descontroladas.

En el caso de la instalación de un **sistema de contadores individualizados**, está demostrado que, cuando cada uno paga lo que consume, hay una reducción de la demanda de agua y esto se traduce en una reducción en la factura del agua. Además, se reducen los problemas vecinales al independizar el pago del agua consumida.

HA: Recursos hídricos alternativos

La repercusión en el usuario de la utilización, tanto en los edificios como en las áreas urbanas, de **recursos hídricos alternativos** (como las aguas subterráneas, pluviales, grises o regeneradas) es, fundamentalmente, económica al reducirse el consumo de agua procedente de la red urbana. En cuanto al plazo de amortización de las inversiones realizadas dependerá mucho del caso estudiado. En algunas ocasiones, es posible que, desde el primer mes, se produzca un ahorro en la factura del agua.

En el caso de la tecnología del *almacenamiento y recuperación de acuíferos (ARA)*, además de suponer otra fuente de recursos alternativa a la red urbana con los mismos beneficios económicos, supone una mejora medioambiental muy importante al estar ligada a zonas verdes con alto valor paisajístico lo que también mejora la calidad del entorno del ciudadano.

JH: Jardinería hidroeficiente

Como consecuencia de la plantación de especies vegetales autóctonas y la introducción de la técnica del acolchado o *mulching*, características de la **Xerojardinería**, así como de la implementación de **sistemas de riego eficiente**, se produce una reducción de la demanda de recursos hídricos a la red urbana que repercutirá, también, en la factura de agua del usuario.

Además, todas estas tecnologías permiten un diseño paisajístico más rico y una mejora de la calidad del espacio urbano con un aumento de la superficie de las zonas verdes en las ciudades, que repercute de manera directa y cotidiana en el usuario de los núcleos urbanos. El aumento de los espacios vegetados en la ciudad supone, sin duda alguna, una mejora de la calidad de vida de sus habitantes.

AGUAS PLUVIALES

AD: Sistemas de captación y almacenamiento directo de aguas pluviales

Independientemente de los posibles riesgos para la salud, que se han comentado en el apartado correspondiente y que tienen solución, estos sistemas suponen una reducción importante en la factura del agua, como todos los sistemas de utilización de recursos alternativos.

Por otro lado, es importante controlar los posibles impactos paisajísticos de los aljibes que pueden ser estéticamente indeseables. Evidentemente, los efectos en el paisaje urbano son muy diferentes en el caso de que los depósitos sean enterrados, semienterrados, superficiales o elevados.

DS: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

Para el usuario, con la utilización de las **cubiertas vegetadas** en el ámbito de la edificación, se consigue una mejora importante consecuencias del aumento del aislamiento térmico y acústico de este tipo de cubierta. Al reducirse de manera importante el consumo energético de las instalaciones de climatización y calefacción, esto supone una reducción importante de los gastos energéticos y económicos. Por otro lado, funcionan como barrera acústica, ya que reducen la reflexión del sonido y aumentan el aislamiento. Además, estos sistemas protegen el aislamiento de la cubierta contra la radiación UV, el calor, el frío y el granizo, prolongándose su vida útil.

Por otro lado, hay que llamar la atención también sobre los inconvenientes de esta tecnología de las cubiertas verdes que, en el caso de que su puesta en obra no sea muy correcta, podría producir problemas de humedades. Además, puede ser un problema proliferación de insectos no deseados, si no se realiza un buen mantenimiento.

Si se da esa falta de mantenimiento **en otras soluciones de SUDS** a nivel urbano, esto puede producir también el problema de la acumulación de residuos con la aparición de fauna no deseada e incluso olores desagradables por lo que la elección de la ubicación es clave para el usuario.

No obstante, la presencia de vegetación (tanto en las cubiertas de los edificios como en los espacios urbanos en el caso de aquellos SUDS de tipo vegetado) mejora el entorno del usuario y su calidad de vida, con un efecto de mejora de la calidad del aire y de reducción del efecto “isla de calor” en la ciudad reduciendo la temperatura ambiental. Por otro lado, se da la posibilidad de crear nuevos espacios para recreo y ocio o para usos más productivos como **huertos urbanos** que ofrecen la posibilidad de cultivo de productos para consumo pudiéndose compatibilizar, en los nuevos espacios, determinada vida animal asociada a la vegetación que se implante, favoreciendo así la biodiversidad.

En conclusión, podemos decir que son sistemas bien aceptados por parte de la comunidad por la cantidad de beneficios que conlleva, excepto si existen otras razones que sean un obstáculo para su implantación como las de tipo socioeconómico. En ese sentido, es difícil introducir estas soluciones en muchos casos de rehabilitación de barriadas donde las condiciones económicas no son buenas y la media de edad de los habitantes es elevada ya que no les interesan inversiones que supongan plazos de amortización medios o largos.

AGUAS RESIDUALES

SS: Sistemas separativos

Los **sistemas separativos**, en general, fundamentalmente influirían en el usuario en la reducción del consumo de agua y en la factura correspondiente, siempre que se lleve a cabo el aprovechamiento de los recursos alternativos.

En el caso de un **sistema doblemente separativo** donde se aprovechan las aguas grises, existe la posibilidad de instalar **sistemas dentro del propio núcleo húmedo** que son muy interesantes. Esta solución es más viable en los casos de rehabilitación de edificios pues permite a los usuarios realizarla de manera individual independientemente de las actuaciones de otros vecinos.

En cuanto a la implantación de los **sistemas de saneamiento seco**, supone una mayor implicación por parte del usuario para un mantenimiento correcto del sistema, sobre todo, en el caso de los **inodoros secos de compostaje in situ**. En general, con la mentalidad actual, esto supondría con mucha probabilidad un rechazo por parte del usuario para su implantación por la necesidad de mantenimiento a la que no está acostumbrado y por el miedo a los malos olores, cuestión que la tecnología controla a base de cámaras cerradas y el vertido de material inerte que los anula después de utilizar los aparatos. En ese sentido, la ventaja del **compostaje en tanque remoto** es que el proceso se realiza lejos del usuario siendo mucho más cómodo y con menos riesgo de molestias para él.

Por otro lado, y como gran ventaja en comunidades con recursos muy limitados, estos sistemas permiten la obtención de abonos y fertilizantes naturales así como la descentralización del tratamiento de los residuos reduciendo mucho la dependencia tecnológica.

A cambio, hay que concienciar y enseñar al usuario a optimizar la tecnología y usarla correctamente para evitar problemas en el futuro.

SC: Sistemas compactos de depuración

Todos estos sistemas, cuando terminan en una reutilización del agua tratada, suponen un ahorro de agua que repercute económicamente en el usuario de manera importante y directa.

En cuanto a los **sistemas compactos automatizados**, suelen tener un bajo impacto visual porque el tanque se suele disponer enterrado, aunque en ocasiones sobresalga ligeramente del perfil del terreno.

En el caso de los **sistemas compactos naturalizados**, también suponen bajo impacto visual, destacando la buena integración paisajística de las **biojardineras** que, además, no generan olores desagradables.

Por otro lado, es importante destacar que los sistemas naturalizados son sistemas sencillos que pueden ser implementados y mantenidos sin muchos medios y sin necesidad de energía adicional por lo que permiten una cierta independencia tecnológica para usuarios con pocos recursos. Los sistemas automatizados también conllevan un sencillo y escaso mantenimiento pero el coste de implantación inicial es más alto.

PT: Pretratamientos de aguas residuales

Las **arquetas de pretratamiento**, al ser sistemas sencillos de construir con un escaso y simple mantenimiento, no generan dependencia tecnológica y es posible su uso en comunidades con recursos limitados.

Además, el impacto visual de las arquetas es bajo porque suelen disponerse enterradas, aunque, en ocasiones, sobresalgan ligeramente del perfil del terreno. Por otro lado, en los frecuentes casos en los que se tratan únicamente aguas pluviales, las arenas no contendrán muchos residuos orgánicos que puedan desprender olores desagradables.

En cambio, en **sistemas abiertos**, las altas temperaturas, sobre todo en verano, favorecen los malos olores, sobre todo, si no se retiran con frecuencia los residuos. Por ello, hay que estudiar muy bien la ubicación de todos los elementos del sistema respecto a la población.

TP: Tratamientos primarios

Las **fosas sépticas**, al disponerse enterradas en suelo, no producen ningún impacto visual aunque así hay un alto riesgo de malos olores, debido a los compuestos azufrados.

De manera similar, las **fosas anaerobias de alta velocidad**, que suelen ir enterradas o semi-enterradas, tienen también un bajo impacto visual y un probable impacto olfativo.

Por último, los **tanques Imhoff** suelen ir enterrados. Sí pueden generar impactos olfativos pero no producen ruido.

Por otro lado, señalar que ninguna de las tres tecnologías genera dependencia tecnológica lo cual también es una ventaja para el usuario.

TP: Tratamientos secundarios

En general, este tipo de tecnologías no convencionales necesita un mantenimiento simple y escaso, no generando dependencia tecnológica pero, por su escala, no será llevado a cabo por el usuario directamente.

Realmente estas tecnologías, al requerir grandes superficies, suelen estar ubicadas en espacios más alejados de los núcleos urbanos y suelen formar parte de procesos más complejos que requieren de una parcela de grandes dimensiones para implementarse. Por ello, es necesaria una gestión más compleja para ponerlas en práctica, estando presente en muchas ocasiones la administración.

En ese sentido, la relación que tiene el usuario con ella es más lejana y tiene más que ver con el paisaje que generan y otro tipo de efectos, como los malos olores o la proliferación de fauna indeseada. En aquellos núcleos donde se producen estos efectos negativos, estas tecnologías tienen una baja aceptación social.

A continuación, se van a comparar los tratamientos secundarios no convencionales en relación a dichos aspectos.

El **sistema de lagunaje** permite una buena integración en el entorno pero produce malos olores en la laguna anaerobia y es posible la proliferación de mosquitos, por lo que tiene una baja aceptación social.

En los **humedales artificiales** la integración en el paisaje es muy elevada aunque surge el problema de la posible aparición de mosquitos y también de plagas que puedan afectar a la vegetación en los HAFS. En este caso, son poco probables los malos olores.

Los **drenes de aireación forzada** también se integran bien en el paisaje con la ventaja de que el régimen subsuperficial evita el contacto directo con el agua y la producción de olores.

Los **lechos de turba** también se integran bien en el paisaje, siempre que estén excavados y, frente a otras tecnologías, la turba tiene capacidad de adsorber olores con lo cual se elimina el impacto olfativo.

Los **lechos bacterianos** no presentan una buena integración paisajística pues son de gran altura y no se pueden excavar por problemas asociados a la ventilación. Además, es posible la generación de malos olores y hay riesgo de aparición de insectos.

En el caso de los **filtros verdes**, la integración en el paisaje es alta produciendo además madera que puede ser utilizada o comercializada por la comunidad. El riesgo de malos olores es bajo y también la aparición de mosquitos.

En los **sistemas de infiltración rápida** la integración en el medio rural es elevada y no genera malos olores.

Por último, la **escalera de oxigenación** puede integrarse bien con el entorno urbano pero, al estar parte en contacto con la atmósfera, puede emitir olores que molesten a las comunidades más cercanas.

TT: Tratamientos terciarios

En cuanto al mantenimiento de estas tecnologías, es escaso y simple, lo cual no genera dependencia tecnológica y permite su utilización en comunidades con pocos recursos. Como en todo este tipo de tecnologías de gran escala, el mantenimiento no lo suele hacer el usuario directamente, sino personal contratado al efecto.

Al igual que en los casos anteriores, el impacto de estas tecnologías en el usuario tienen más que ver con el impacto paisajístico.

En los **filtros de arena**, el impacto visual es bajo ya que los filtros suelen disponerse enterrados, pero sí se generan impactos olfativos ya que requieren la implantación de *fosas sépticas* o *tanques Imhoff*.

El **Reactor Baccou** también se entierra y tiene poco impacto visual, pero es poco probable que se desprendan olores desagradables pues las arenas resultantes no contienen muchos residuos orgánicos.

AGUA Y ENERGÍA

AE: Medidas de ahorro de agua en el ámbito energético

En el ámbito del usuario, un **ajuste de presiones** supone un menor gasto de agua y de energía con el consiguiente ahorro económico en ambas facturas. Además, la reducción de las presiones excesivas aumenta la calidad del servicio que puede resultar incómodo o molesto, en ocasiones.

EA: Medidas de ahorro de energía en el ámbito hidráulico

En general, todas las medidas suponen un ahorro energético que se refleja en la factura correspondiente.

Los **grupos de bombeo de caudal o velocidad variable** permiten un ajuste instantáneo de las presiones en los puntos de consumo lo cual supone un aumento de la calidad del servicio para el usuario.

En cambio, como contrapartida las **instalaciones de calentamiento de ACS mediante Energía Solar Térmica** utilizan mucho espacio del edificio, entre otros, los espacios más soleados de las cubiertas, impidiendo su uso para el disfrute de los usuarios.

2.3.3.2. IMPACTO EN EL ÁMBITO ARQUITECTÓNICO. LA INFLUENCIA EN EL DISEÑO DE LOS EDIFICIOS Y SU CONFIGURACIÓN FINAL.

ABASTECIMIENTO

DA: Dispositivos de ahorro de agua

A nivel proyectual, la implantación de estos *mecanismos* no supone un cambio respecto a la manera actual de proyectar los espacios arquitectónicos, ni supone un cambio en la configuración espacial de los edificios ya que no requiere de necesidades espaciales diferentes a las de las tecnologías tradicionales.

GF: Gestión activa de fugas

A nivel de diseño de los edificios, los *sistemas de alojamiento de instalaciones* son de los que más afectan al proyecto y, en este sentido, es necesario meterlos desde el principio siendo casi imposible introducirlos después, por ejemplo, en un caso de Rehabilitación.

Además, al diseñarlos, hay que recordar el obligado cumplimiento de la normativa de protección contra incendios siendo necesaria la introducción de las compuertas cortafuego en los conductos verticales si conectan diferentes sectores de incendio. Esta cuestión puede llegar a fomentar, en los casos donde los recursos económicos del promotor sean escasos, soluciones de compartimentación vertical frente a las soluciones de compartimentación horizontal. La compartimentación vertical puede llegar a suponer un mayor número de núcleos de comunicación en los edificios ya que cada sector debe poder ser evacuado a través de recorridos de evacuación independientes del resto de los sectores.

En el caso de los sistemas de contabilización, el impacto que tuvo en su día la *individualización de contadores* en el diseño arquitectónico fue debido, fundamentalmente, a la necesidad de centralizarlos todos en un mismo lugar, generalmente ubicado en la planta de acceso al edificio.

En ese caso, además de tener que dedicar un espacio mayor a la contabilización y en una planta de máximo “tráfico”, se obligaba a desplegar todo un “peine” de montantes desde dicha planta hasta todas y cada una de las unidades de consumo. A pesar del enorme número de campañas que se realizaron -con facilidades de financiación, en muchas ocasiones-, aún quedan muchos edificios antiguos donde implementar esta medida y es una reforma que no es fácil de realizar. Se suelen aprovechar los proyectos de rehabilitación para la introducción de este tipo de medidas y supone un estudio exhaustivo del edificio para buscar el sitio que menos impacto suponga. En la mayoría de las ocasiones, como se ha comentado, es necesario ubicar los nuevos montantes en los patios de servicio, si los hay, introduciéndolos en las unidades habitacionales a través de sus zonas húmedas (en muchas ocasiones, por los lavaderos). Por otro lado, en muchas ocasiones, si no hay espacio suficiente para la centralización de contadores es necesario llevarla a una planta diferente o realizar una pequeña ampliación del edificio con un posible impacto estético negativo que se intentará disimular lo máximo posible.

Por último, excepto el caso de la implantación de contadores ya comentado, realmente el resto de los *sistemas de detección de fugas* no tienen una influencia a nivel espacial en los edificios por lo que no suponen un cambio a la hora de plantearse el diseño de los edificios. Lo que sí es cierto es que la recomendación de que los huecos de instalaciones discurran junto a zonas comunes de los edificios para facilitar el mantenimiento, favorece

el uso de estos aparatos desde dichas zonas comunes y una más rápida detección de las pérdidas de líquido.

HA: Recursos hídricos alternativos

La influencia de la implementación de estos sistemas en el diseño de los edificios varían mucho según la tecnología utilizada.

En general, a nivel arquitectónico, la introducción de **sistemas de aprovechamiento de pluviales** y **sistemas de reutilización de aguas grises**, supone una reserva importante de espacios para los depósitos y depuradoras correspondientes, para los equipos de bombeo - si fuesen necesarios- y para los nuevos conductos. Este último requerimiento aumenta, en general y si no se plantean soluciones ingeniosas, las secciones de las cámaras destinadas a las tuberías, cuestión común a todos los sistemas que introducen de nuevas calidades de agua en la edificación.

En resumen, habrá que considerar un mayor número de redes, mediante la separación de los distintos tipos de efluentes (incluyéndose redes de aguas grises o terciarias) y la reserva de espacios no existentes en los edificios tradicionales destinados al almacenamiento y tratamiento en algunos casos de estos recursos. Como consecuencia, los espacios dedicados a las instalaciones en los nuevos edificios aumentan respecto a los existentes en los modelos tradicionales, si no se complementan estas tecnologías con otras que compensen esa pérdida espacial.

JH: Jardinería hidroeficiente

Al ser una tecnología que, fundamentalmente, cambia la forma de diseño de las zonas verdes aplicando criterios de sostenibilidad, afecta poco al ámbito del edificio y a la forma de proyectar en Arquitectura.

AGUAS PLUVIALES

AD: Sistemas de captación y almacenamiento directo de aguas pluviales

En principio, a nivel arquitectónico, la introducción de **sistemas de captación de pluviales** supone una reserva de espacio importante –mayor cuanto menor superficie de captación haya en relación con las necesidades a cubrir y cuanto más irregular sea la pluviometría de la zona- que afectará de manera muy diferente si se plantea en la cubierta del edificio o en planta baja o sótano. En el primer caso, es necesario considerar la carga a nivel estructural y de cimentación.

Por otro lado, además de analizar si el área de captación es suficientemente grande como para cubrir una parte importante de la demanda que merezca la pena la implementación del sistema, el proyectista deberá valorar los factores que pueden influir en la calidad final del agua para que sea suficiente, como la calidad del aire o los materiales de dichas áreas de captación siendo algunos incompatibles con determinados usos. También es importante la elección de sistema de separación de primera lluvia en lugares donde haya una cierta contaminación ambiental.

A nivel conceptual y como ya se ha comentado, con estas tecnologías las edificaciones tienden a aumentar sus espacios reservados a instalaciones o de servicios.

DS: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

A nivel de edificación, la tecnología más recomendada es la **cubierta vegetada** pues es un elemento que consigue varios objetivos a la vez, como son la descontaminación y biofiltración del agua de lluvia recogida, el aislamiento acústico y térmico de los espacios interiores del edificio y la naturalización del entorno.

Como contrapartida, esta solución constructiva varía sustancialmente respecto a las soluciones tradicionales de cubiertas y debe ser puesta en obra con el mayor cuidado para evitar problemas de humedades en el futuro. También, es importante considerar las pendientes de los diferentes paños y su compatibilidad o no con determinados tipos de cubiertas vegetadas. Podrían, por ejemplo, implantarse en cubiertas inclinadas pero, en este caso, deberían ser de tipo extensivo.

A nivel estructural, la cubierta vegetada puede suponer una carga adicional importante que hay que tener en cuenta en los cálculos. Hay que considerar el peso saturado del conjunto suelo-agua y la capacidad resistente de la estructura del edificio. La carga que supone la utilización de cubiertas vegetadas varía habitualmente entre los 60 y los 500 kg/m² (drenajeurbanosostenible.org, 2015) según la tipología utilizada.

También, hay que advertir de que es necesario un estudio concienzudo de compatibilidad de estos elementos vegetales con otros elementos de la cubierta como posibles tanques de agua, sistemas de climatización, captadores para calentamiento de ACS y otros equipos de instalaciones necesarios para el funcionamiento del edificio.

Además, también hay que elegir bien los sistemas de riego en este tipo de cubiertas, aunque lo ideal, como ya se ha dicho, es elegir vegetación compatible con la climatología de la zona y que no necesite riego adicional a la propia lluvia.

Por último y como gran ventaja, es importante ser consciente de que la introducción de esta tecnología en los proyectos puede fomentar la reutilización de espacios hasta ahora poco explotados como las cubiertas de los edificios al favorecer las condiciones climáticas en dichos espacios que, en determinados lugares o latitudes, pueden pasar de un estado original relativamente inhóspito en determinadas épocas del año a ser muy agradables como espacios de recreo, ocio, huertos urbanos, etc... De hecho, la explotación de las virtudes de la vegetación en relación a los sentidos (vista, olfato, tacto,...) puede ser una clave para la reocupación de dichos espacios. Ello se puede hacer a diferentes niveles, introduciendo únicamente una capa vegetal o mediante la plantación de arbustos, o incluso árboles, con flores y frutos que a la vez que aportan color y aromas, generan sombras que favorecen las bajadas de la temperatura, cuestión fundamental en climas cálidos.

Como ya se ha comentado, además, determinadas tipologías de cubiertas vegetadas favorecen la biodiversidad, al generarse espacios donde puedan estar presentes también especies animales o fauna asociada a dicha vegetación.

Todo esto se suma a las amplias posibilidades de diseño de estas cubiertas que pueden ser un atractivo más para su frecuente uso.

AGUAS RESIDUALES

SS: Sistemas separativos

A nivel arquitectónico, el planteamiento de un **sistema puramente separativo** supone, en un primer planteamiento, la ampliación de los conductos verticales donde se ubican los bajantes para ser compatible con el desdoblamiento de éstos. Otra posibilidad que no

obliga a la ampliación de dichas cámaras, y que puede ser considerada una gran ventaja, es recoger las aguas pluviales en puntos situados en las bandas exteriores de los edificios, haciendo discurrir estos bajantes junto a la fachada (por dentro o por fuera) o, incluso, integrándolos en ella. Esta solución libera de obstáculos la planta del edificio dejando, únicamente, dentro de ella los bajantes de residuales que se podrían eliminar con el uso de otras técnicas para llegar a la liberación prácticamente total del espacio, cuestión ya bastante conseguida desde el ámbito estructural.

En el caso de un **sistema doblemente separativo**, la sección de las cámaras para los bajantes sería aún mayor pues aparece un nuevo conducto, aunque de menor sección, que es el de aguas grises y, también, será necesario un espacio para la subida de las aguas grises regeneradas. En este caso, no podemos alejarnos de los núcleos húmedos, como en el caso de los bajantes de pluviales, al estar las aguas grises totalmente ligadas a dichos núcleos.

En los casos de rehabilitación, puede no existir el espacio necesario y supondría buscar espacios en el exterior del edificio, siempre que sea posible, por zonas de servicio para evitar un impacto estético indeseable. Si no las hay y deben ir en fachada pueden disimularse con sistemas económicos como la pintura o con sistemas más sofisticados a base de lamas que los escondan.

Sí es cierto que, si se realizase la *reutilización de las aguas grises dentro del propio núcleo húmedo*, entonces estas últimas repercusiones no se darían y, únicamente, aparecerían en dicho núcleo nuevas tuberías para el agua gris y el agua tratada, lo que no modificaría en nada la manera de proyectar. El único inconveniente es que siempre es más barato y eficiente, en un edificio de múltiples usuarios, la implantación de sistemas colectivos. En cambio, es una solución ideal para casos de rehabilitación cuando sólo algunos vecinos quieren tomar medidas en ese sentido.

Por último, recordar que, a la hora de proyectar, la implementación de estos **sistemas separativos** influye en una posible ampliación de la altura de la planta por donde discurren las redes horizontales (colectores), independiente de la reserva de espacio necesaria para los depósitos, depuradoras y equipos de bombeo correspondientes a los distintos sistemas.

En cuanto al **sistema de saneamiento seco**, en el caso de **inodoros con compostaje in situ**, el cambio que se produciría en los proyectos arquitectónicos sería realmente importante pues desaparecería la necesidad que existe actualmente de mantener determinadas verticales (los bajantes de residuales) en los edificios que limitan, en muchos casos, la continuidad espacial de los espacios. Como los conductos para líquidos tienen una menor sección y se podrían hacer de material flexible no supondrían un obstáculo en dichos espacios. Por tanto, la continuidad de los espacios dependería ya únicamente de los sistemas estructurales elegidos que, cada vez, permiten mayores luces. Sólo la permanencia de los conductos de ventilación puede seguir suponiendo un obstáculo espacial pero, al ser una ventilación forzada, también permite cierta flexibilidad de recorrido.

Si el sistema es **con compostaje en tanque remoto**, entonces, siguen presentes los bajantes de residuales y habría que considerar el espacio necesario para dicho tanque en la zona inferior de los edificios compatibilizándolo con el resto de depósitos de otras instalaciones. Como ventaja técnica, el proceso de compostaje se realizaría en un sistema colectivo con mayor eficiencia y menor coste global.

Ambas tecnologías son difícilmente aplicables en casos de rehabilitación.

SC: Sistemas compactos de depuración

Los **sistemas compactos automatizados** son los que más repercusiones tienen en el proyecto arquitectónico pues son los que, por su menor ocupación respecto a los naturalizados, se utilizan más en este ámbito. A la hora de proyectar, es importante tener en cuenta el espacio ocupado que es mucho, a pesar de todo.

Los **sistemas naturalizados** suelen ser más utilizados en exteriores por lo que, en proyectos de edificación con espacios libres, son perfectamente aplicables. No obstante, no es lo usual si no hay implicación, en aspectos sostenibles, por parte del promotor que suele preferir sistemas que ocupen menos espacio por razones de rentabilidad.

PT: Pretratamientos de aguas residuales

La influencia de las **arquetas de pretratamiento** en los proyectos arquitectónicos, a nivel espacial, es mínima lo cual no exime de su colocación, si son necesarias.

El **resto de tecnologías** no afectan a nivel edificatorio.

TP: Tratamientos primarios

Estos tratamientos no se suelen ubicar en el interior de los edificios y, en todo caso, se colocarían en sus espacios exteriores.

TP: Tratamientos secundarios

Al ser tecnologías que se aplican a escala urbana, la influencia en los proyectos de arquitectura es mínima excepto en el caso de las tecnologías que son aplicables a pequeña escala que pueden implementarse en las zonas exteriores de un edificio.

TT: Tratamientos terciarios

No influyen tampoco estas tecnologías en la arquitectura, pues se aplican a escala urbana.

AGUA Y ENERGÍA

AE: Medidas de ahorro de agua en el ámbito energético

A nivel de proyecto arquitectónico, el **ajuste de la presiones de suministro** implica un buen diseño y cálculo de la red.

La **colocación de redes de retorno** tampoco es complicada a nivel proyectual pero fomenta la colocación de las zonas húmedas concentradas y cerca del equipo de calentamiento de agua. Este último factor afecta claramente al diseño de los edificios y, de hecho, muchos pliegos de condiciones de la administración incluyen este tipo de consideraciones para ahorrar el máximo de materiales.

EA: Medidas de ahorro de energía en el ámbito hidráulico

A nivel arquitectónico, el aprovechamiento de la presión de la red urbana supone diseñar una **instalación de suministro de agua partida**, lo cual, realizado desde el origen, no tiene el más mínimo problema. Si se independizan desde la fase de proyecto, la repercusión económica es mínima pues se compensaría el aumento del gasto por la colocación de una

segunda batería con la reducción correspondiente a un grupo de presión más económico. Como ya se ha comentado, el coste es parecido de ambas soluciones pero, a la larga, el consumo energético es menor, evitando además excesos de presión en las plantas inferiores que requieran la colocación de válvulas reductoras de presión. Conceptualmente, dichas válvulas suponen una pérdida de energía que ya ha sido producida.

En el caso de un edificio ya construido en el cual que no se estuviese aprovechando la presión de la red urbana en las plantas inferiores del edificio, sí que habría que hacer una reforma con un coste inicial importante, si hay espacio disponible para ello.

Los **grupos de bombeo de caudal o velocidad variable** son algo más sofisticados que los grupos convencionales pero su implementación se compensa con la eliminación del depósito hidroneumático. Esto supone un ahorro espacial a tener en cuenta a la hora de proyectar los edificios.

El **aislamiento correcto de las tuberías de ACS y de calefacción por agua** supone un espacio que, aunque mínimo, no hay que despreciar.

La **implementación de instalaciones de Energía Solar Térmica para producción de ACS**, es la medida que mayor repercusión tiene en los proyectos arquitectónicos pues es un sistema bastante complejo y con unos enormes requerimientos espaciales, como ya se explicó en el apartado de las repercusiones de los sistemas.

Una de las consecuencias más importantes que ha tenido su implementación, a nivel proyectual, ha sido la ocupación de los espacios de las cubiertas del edificio con mejores condiciones de soleamiento. En ese sentido, es importante buscar soluciones que permitan dicha captación sin reducir la calidad de vida del ciudadano. La colocación de esos captadores en otros lugares como paramentos verticales o pérgolas permite un mejor aprovechamiento del espacio. Es fundamental, también, tener en cuenta en los cálculos estructurales la colocación de los captadores, su sistema de apoyo y su superficie para considerar las tensiones que el viento puede provocar en la estructura y la cimentación del edificio.

2.3.3.3. IMPACTO EN EL ÁMBITO URBANO. LA INFLUENCIA EN EL DISEÑO DE ESPACIOS DE LA CIUDAD Y SU CONFIGURACIÓN FINAL.

ABASTECIMIENTO

DA: Dispositivos de ahorro de agua

En relación al diseño de los espacios urbanos, estas tecnologías no suponen ningún cambio en la forma de proyectar pues son tecnologías aplicadas en el ámbito de la edificación, fundamentalmente.

GF: Gestión activa de fugas

La tecnología conformada por **galerías o cajones de servicio** es la tecnología que más puede afectar a los espacios urbanos porque necesitan espacios importantes, pudiendo discurrir bajo la acera -en el mejor de los casos para evitar al máximo las vibraciones del tráfico- o bajo la calzada. En parte, esta decisión depende de las necesidades espaciales del conducto (según instalaciones alojadas y acceso o no del personal de mantenimiento) y de la disponibilidad de terreno.

Por todo esto, la introducción de este tipo de tecnología, supone un cambio fundamental en la forma de proyectar los espacios urbanos donde es importante coordinar todas las instalaciones y no sólo las de tipo hidráulico. Las secciones transversales de las calles adquieren un papel fundamental en el diseño, debiendo cumplirse las recomendaciones en cuanto al orden entre instalaciones y las posibles incompatibilidades que se recogen en la *ficha tecnológica* correspondiente. Además, como se comentó que había cierta reticencia por parte de muchas empresas por miedo a sabotajes, es necesario implementar soluciones que los impidan, como rejas y otros sistemas que protejan las instalaciones pero no su visualización para la fácil detección de fugas.

Por último, comentar que, en los espacios urbanos, al igual que ocurría con las cámaras de instalaciones en los edificios, las *galerías de servicios* se deben introducir desde el primer momento en los proyectos de nuevas barriadas o ensanches. La introducción de estos sistemas en casos de rehabilitación de barriadas y, en general, en áreas de ciudad ya construida, y más aún en centros históricos, es realmente complicada por la falta de espacio no ocupado ya por la maraña de instalaciones preexistentes, muchas de ellas ilegales.

En cuanto al impacto de la **individualización de contadores** en los espacios urbanos, es muy poco común. Cuando se produce, es más bien de tipo estético, como consecuencia de posibles ampliaciones para ubicar las centralizaciones mal resueltas en los edificios cercanos.

En cuanto a la implementación de sistemas de contabilización a nivel urbano para el control del consumo en sus infraestructuras, en sí mismo, tiene poca influencia en la configuración espacial de la ciudad.

Por tanto, a nivel de diseño de proyectos urbanos, la influencia de la implantación de esta tecnología es mínima.

Tampoco supone un impacto a nivel urbano la utilización de **sistemas de detección** por sofisticados que sean, ni supone un cambio a la hora de proyectar esos espacios.

HA: Recursos hídricos alternativos

También, a nivel urbano, es necesario reservar espacios para almacenamiento de recursos hídricos alternativos, que pueden ser abiertos o cerrados dependiendo del tipo de efluente y de su calidad así como de su posible aplicación posterior. La normativa es la que admite o no los posibles contactos de los usuarios con el agua en función del riesgo de contaminación.

Además, a nivel de infraestructuras urbanas, también aparecerán redes con aguas de distintas calidades (redes terciarias) con los controles y señalizaciones correspondientes.

Por último, también existe la posibilidad de introducir **ARAs** en los espacios urbanos que son instalaciones ligadas, en muchas ocasiones, a zonas verdes con alto valor paisajístico.

En ese sentido, en el proceso de planificación de los espacios urbanos, se introducen nuevos elementos que hay que integrar con el resto de los presentes como el mobiliario urbano, la vegetación, etc...

JH: Jardinería hidroeficiente

A nivel proyectual, estas técnicas permiten ampliar las posibilidades de diseño urbano y paisajístico, el cual puede enriquecerse mucho como consecuencia del aumento de la vegetación en la ciudad, aumentando y mejorando la calidad del área de actuación.

Es una medida que busca el aumento de la naturalización de las ciudades pero mediante la utilización de menos recursos y un diseño inteligente. Afecta al proceso de diseño de espacios libres en el sentido de que obliga a una zonificación del área ajardinada y una distribución de las especies en función de sus necesidades hídricas, con el consecuente diseño de la instalación de riego *ad hoc*.

AGUAS PLUVIALES

AD: Sistemas de captación y almacenamiento directo de aguas pluviales

Al igual que en el caso de los proyectos arquitectónicos, los proyectos urbanos se encuentran con el reto de introducir nuevos elementos (áreas de captación, depósitos, etc...) ligados a nuevos recursos que son, a su vez, muy sensibles analizando el posible impacto visual a nivel paisajístico.

En ese sentido, es responsabilidad del proyectista, con el fin de obtener un agua de calidad suficiente para el uso requerido en el área de estudio, un análisis de los factores que pueden influir en ella como las características ambientales del entorno (elementos presentes en el aire, etc...), los materiales de las áreas de captación o la posibilidad de incluir algún tipo de tratamiento adicional. Tendrá que valorarse, además, la necesidad de introducir elementos que permitan la eliminación de las aguas más contaminadas captadas con las primeras lluvias (*separador de primera lluvia*, etc...).

DS: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

La introducción de los SUDS en los proyectos de diseño de los espacios urbanos aporta muchos beneficios pero es importante ser consciente también de los requerimientos constructivos y espaciales de los mismos.

En general, podemos decir que las soluciones de los problemas de aguas de lluvia pueden facilitarse si, al inicio del proyecto, se planifica la red de drenaje de manera coordinada

con el resto de elementos de la urbanización, teniendo especial cuidado con los efectos que se pueden producir en las cimentaciones de los edificios presentes o en las vías de circulación. Para evitar patologías en la edificación, deben guardarse ciertas distancias de seguridad con las estructuras subterráneas de todos ellos, que no deben ser menores a 3 m. Todo ello, junto con el alejamiento de los elementos de drenaje respecto a los lugares de paso, puede evitar accidentes personales y otro tipo de patologías en los elementos de urbanización.

Además, es importante tener en cuenta que deben existir elementos que conecten los SUDS con la red urbana de saneamiento, de manera que ésta pueda evacuar los excesos de escorrentía que se puedan producir cuando la precipitación rebasa, puntualmente, la capacidad de carga de estos dispositivos, evitándose así los encharcamientos e inundaciones, uno de los objetivos básicos de estos sistemas.

Como ya se ha adelantado en el impacto para el usuario, es fundamental un estudio exhaustivo de la ubicación de estos sistemas que partirá del profundo conocimiento de la zona de actuación por las posibles consecuencias negativas que pueden tener en caso de un incorrecto mantenimiento.

En cuanto al uso de los SUDS, especialmente aquellos que cuentan con elementos vegetados, generan una mejora sustancial de la calidad del paisaje urbano de los espacios donde se ubican por las posibilidades de diseño de dicha vegetación que potencie sus cualidades estéticas y porque dicha vegetación mejora la integración de los edificios en el paisaje protegiéndolos a su vez, mediante una buena elección de las especies (caducas o perennes), de las inclemencias del tiempo en las épocas más duras.

Además, sus amplias posibilidades de diseño que pueden convertir esos espacios en focos de atracción para actividades muy variadas como actividades de ocio y recreo, productivas (huertos urbanos,...), comerciales o de socialización que permitan la reutilización frecuente de estos espacios, cuestión fundamental en los casos de rehabilitación de barriadas. Este atractivo se puede potenciar fomentando el aumento de la biodiversidad con la presencia de fauna asociada a las especies vegetales elegidas en las tipologías vegetadas de SUDS.

AGUAS RESIDUALES

SS: Sistemas separativos

En el caso de los **sistemas separativos a nivel urbano**, tema ya muy estudiado por los diferentes autores, es necesaria una mayor reserva de espacios en planta y en sección, siendo los cruces entre conductos de distintos tipos de efluentes lo más complejo de resolver a nivel proyectual.

Ya se ha comentado la importancia de introducir, a nivel urbano, sistemas urbanos de drenaje sostenible donde la detención y la infiltración del agua en el terreno es una de las características fundamentales, para reducir los diámetros de las redes urbanas de pluviales.

En el caso de implantación de **sistemas de saneamiento seco**, que haría a nivel de edificios donde se efectuaría todo el tratamiento de sólidos y líquidos que conforman las aguas residuales, se simplificaría mucho el proyecto urbano pues, en esas zonas de nuevo desarrollo donde esa técnica fuese posible, desaparecería la red de residuales liberándose una gran cantidad de espacio bajo el terreno, que se podría ceder a otro tipo de elementos, como depósitos de nuevos recursos alternativos.

SC: Sistemas compactos de depuración

Los sistemas más ecológicos, por sus bajas repercusiones energéticas y económicas, son los **sistemas compactos naturalizados** por lo que lo ideal es introducir éstos en los proyectos de urbanización frente a los **sistemas automatizados**, suponiendo un reto más en el diseño de los espacios urbanos, sobre todo, si se quiere potenciar la naturalización de las ciudades.

PT: Pretratamientos de aguas residuales

En general, los tratamientos de **desbaste**, **desarenado** y **desengrasado** suelen ser parte de un proceso mucho más complejo, conformando únicamente una de las primeras fases del mismo.

Por lo tanto, lo realmente complicado en los proyectos de tipo urbanístico es la **ubicación de ese conjunto que conforma el sistema de depuración completo** que, en los casos de las tecnologías no convencionales, suelen ocupar mucho terreno y suele ser origen de malos olores y donde puede proliferar fauna no deseada. Por esta razón, el proyectista debe estudiar muy bien su ubicación, debiendo colocarlo cerca de zonas industriales u otro tipo de usos que no sean los residenciales, sin olvidar el estudio previo de los vientos dominantes y la posibilidad de introducir vegetación para crear barreras que, además de reducir su impacto visual y acústico pueda compensar los malos olores si se introduce alguna especie aromática. También, en la mayoría de los casos, se puede excavar el terreno para bajar la cota del conjunto y reducir todo tipo de impactos. Además, es muy importante, a nivel proyectual, las conexiones de las diferentes tecnologías entre sí. También hay que dejar claro que, muchas de estas estrategias, ya se tienen en cuenta en la ubicación de los sistemas de depuración y estaciones depuradoras convencionales. (Arizmendi, 1991)

En cambio, la influencia, a nivel espacial y de molestias a los usuarios, en los proyectos de las **arquetas de pretratamiento** es mínima lo cual no exige de su colocación para un mejor funcionamiento de las infraestructuras urbanas, sobre todo, en las de aguas pluviales.

TP: Tratamientos primarios

Estos elementos se suelen colocar en espacios libres y son nuevos elementos a considerar en el proyecto de espacios urbanos.

Generalmente, si forman parte de un proceso donde se encadenan varias tecnologías, suelen conformar una estación depuradora que hay que ubicar correctamente en una escala superior de planeamiento, como ya se ha comentado en el punto anterior.

TP: Tratamientos secundarios

Este tipo de tratamientos, que son los que más espacio necesitan en los procesos de depuración, se aplican generalmente a escala urbana, por lo que sí afectará muchísimo en la manera de abordar los proyectos urbanísticos. **En general**, y como ya se ha dicho, se suelen combinar con otras tecnologías y, por tanto, ocupan parcelas relativamente grandes, teniendo que tener en cuenta las consideraciones hechas previamente sobre la ubicación de las estaciones depuradoras.

En estas medidas, es especialmente importante el problema de los malos olores y la presencia de insectos u otra fauna indeseada.

Por último, tener en cuenta el impacto en el espacio urbano de elementos lineales como la **escalera de oxigenación** que pueden suponer una barrera física en las poblaciones que habrá que solucionar con diseños ingeniosos que permitan el paso por encima de ellos sin eliminar el efecto de la oxigenación.

TT: Tratamientos terciarios

El efecto sería similar en términos urbanísticos al de las anteriores medidas estratégicas. Lo más importante es el estudio de la ubicación de los elementos considerando los diferentes impactos medioambientales.

AGUA Y ENERGÍA

AE: Medidas de ahorro de agua en el ámbito energético

Un buen diseño y dimensionado de las redes de agua y saneamiento urbanos es lo que garantizará una **presión ajustada** evitando las pérdidas innecesarias de energía. De hecho, los distintos autores, entre otros Arizmendi (1991), recomiendan en la planificación de dichas infraestructuras considerar en el cálculo las presiones mínimas a pie de edificios en función la altura más frecuente de todas ellas y nunca dimensionar para la edificación más alta pues, de nuevo, supondría aumentar innecesariamente las presiones en los edificios más bajos y la introducción de mecanismos de reducción de las mismas. Lo recomendable es que los edificios que sobresalgan de la media complementen la presión urbana con grupos de presión en el interior de los edificios.

Además, la **colocación de los depósitos de almacenamiento urbano en puntos elevados** de la población o del área de trabajo es básica para conseguir ahorros energéticos y no necesitar bombeos innecesarios.

EA: Medidas de ahorro de energía en el ámbito hidráulico

La colocación de **captadores de Energía Solar Térmica** en los espacios urbanos es una solución que permitiría recuperar el espacio privilegiado de las cubiertas pero, para ello, también hay que pensar bien su ubicación en dichos espacios libres para que se conviertan en un elemento atractivo y no en un obstáculo más para el proyecto. La colocación en pérgolas y umbráculos que den sombra a zonas de aparcamiento es una solución interesante que hay que contemplar.

El **resto de tecnologías** del grupo no tienen mucha implicación a nivel proyectual.

2.4. CONCLUSIONES

2.4.1. CONCLUSIONES GENERALES.

Se han obtenido las siguientes conclusiones generales **en relación a la posible implementación, desde un punto de vista integral, de las tecnologías sostenibles en los modelos de gestión del Ciclo Urbano del Agua:**

- La incorporación de estas tecnologías sostenibles favorece una **gestión más eficiente del agua en nuestros edificios y núcleos urbanos**, tanto en términos hidrológicos como energéticos.
- El **aumento de la presencia de la vegetación** en los entornos habitados, muy presente en estas estrategias, supone una **oportunidad de naturalización de las ciudades**, con una **mejora notable de nuestros ecosistemas urbanos** mediante la consecución de un **modelo de ciudad con bajas emisiones de CO₂ que permite luchar contra el cambio climático**. La naturalización de los espacios arquitectónicos y urbanos es una de las claves más importantes de este tipo de medidas.
- Además, la consideración anterior es totalmente compatible con la nueva manera de enfocar los proyectos que, dentro de la línea de la Sostenibilidad, debe ir encaminada a **proyectar espacios y entornos mucho más amables y agradables para las personas que los habitan** reduciendo los impactos visuales, acústicos, olfativos y ambientales al máximo, con una adecuada combinación de estrategias. **Por otro lado, en relación al usuario**, la implantación de este tipo de tecnologías, a pesar de suponer una reducción de la demanda de agua y energía por su parte, **no reduce en ningún caso la calidad del servicio que, en general, se mantiene e, incluso a veces, se mejora** con la consiguiente **influencia positiva en su salud**. Por tanto, un mejor conocimiento de todas estas tecnologías permitirá el **avance hacia una Arquitectura y un Urbanismo más competitivo y sostenible que mejoren** su higiene, salubridad, confort y calidad de vida en general, **aspectos cada vez más demandados por los ciudadanos que conforman la sociedad actual**.
- Por todo lo anterior, **es primordial, para la elección adecuada de tecnologías, la comprensión del Ciclo Urbano del Agua en su conjunto, así como la relación de las aguas urbanas con los sistemas naturales**.
- **Esta visión global nos permitirá, en muchos casos, seleccionar, en vez de una sola medida, la combinación de varias**, lo cual puede no sólo sumar sus efectos sino multiplicarlos según la combinación elegida.
- Por otro lado, en la sistematización de tecnologías realizada **se pueden observar tecnologías de muy diferente tipo y aplicables a muy diferentes escalas** (vivienda, edificio, espacio urbano), lo cual **nos permite trabajar con unas u otras según el ámbito de la intervención**. Algunas de estas medidas se podrán aplicar en todas ellas (como el caso de las relativas a la *reutilización de aguas grises*) con la diferencia fundamental de la creciente complejidad de gestión según se eleva la escala de la intervención debido al mayor número de agentes sociales implicados y la mayor divergencia de intereses existente.
- También **es posible aplicar las tecnologías según diferentes niveles de compromiso** de los usuarios, de la comunidad y/o de la Administración. Se pueden tomar medidas que únicamente supongan una mejor y más eficiente gestión de los recursos y que abaraten los costes directos para los ciudadanos, tomar medidas desde una visión más integral del sistema donde se aprovechen los recursos alternativos mediante procesos de tratamiento de aguas, implementar procesos donde el objetivo sea recuperar las condiciones hidrológicas previas a

los desarrollos urbanos de las últimas décadas o llegar a mejorar dicha situación llegando al equilibrio hidrológico total. **Este nivel dependerá del grado de concienciación de los diferentes agentes afectados pero también de las posibilidades reales**, que pueden ser de tipo técnico, espacial, económico, social y medioambiental.

- **En relación a las posibilidades reales**, para poder elegir las soluciones correctas, **es necesario un estudio previo de los condicionantes reales del contexto del proyecto al que se enfrente el técnico en cuestión**. En la mayoría de los casos, y si se analiza con detenimiento la información del *manual* implementado, se observa que la aplicación de las tecnologías depende, en gran parte, de las condiciones específicas del caso de estudio, **como las características del terreno** (tipo de suelo, pendientes, área disponible, etc...), **del clima** (frecuencia e intensidad de la pluviometría, temperaturas, exposición al sol directo, etc...), **del edificio o área urbana objeto de estudio** (tipología de los edificios, alturas, superficies libres disponibles y sus materiales, etc...) **e, incluso, de los usuarios** (número, características socio-económicas y culturales, inmersión en situación global de crisis, nivel de concienciación, etc...). **También, es fundamental distinguir**, tanto a nivel edificatorio como urbano, **si se trata de un proyecto de nueva planta o de un proyecto de rehabilitación**, para seleccionar las tecnologías viables en cada caso, siendo, en general, más complicada la implantación de la mayoría de ellas en el segundo caso, sobre todo, si hay requerimientos espaciales, constructivos y económicos importantes. Pero la correcta elección de las tecnologías **dependerá, además, de otras variables que quedarían fuera del ámbito del presente trabajo, como son los factores socioculturales y económicos del ámbito de actuación** que permitirán una contextualización total del problema y, como consecuencia, actuaciones más adecuadas y ajustadas. Realmente, un estudio de viabilidad completo debe analizar estas soluciones en todos los ámbitos: tecnológico-constructivo, físico-espacial, económico, social, de la salud y medioambiental. En este trabajo se han comentado todos estos aspectos pero analizando con mayor detalle y detenimiento los tres primeros por ser los que más afectan a la Arquitectura y al Urbanismo.
- **Por otro lado**, como ya se ha comentado, **las posibilidades de implantación de las tecnologías**, que se enmarcan dentro de las *medidas estructurales*, **están influidas en gran parte por el grado de concienciación** de los diferentes agentes **para lo cual son fundamentales las medidas de tipo no estructural** que consigan implantar una Nueva Cultura del Agua.
- **Por último, el éxito final de la implantación dependerá, en gran parte, de un uso y mantenimiento adecuado de las instalaciones o dispositivos que permita optimizar los recursos y las tecnologías** consiguiendo los máximos rendimientos así como una prolongación máxima de la vida útil de las mismas y, de esta manera, mejorar la relación coste-eficiencia de la inversión.

2.4.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.

2.4.2.1. SOBRE LA SISTEMATIZACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS. MANUAL DE TECNOLOGÍAS.

Cumpliendo el objetivo fundamental de la tesis doctoral, se ha localizado, seleccionado, organizado y sistematizado la información relativa a las tecnologías sostenibles en relación con el Ciclo Urbano del Agua, generando un documento, a modo de *manual*, donde se exponen las características comunes de los distintos grupos de tecnologías (*medidas* o líneas estratégicas de intervención) y las específicas de cada una de ellas, todo ello realizado desde el punto de vista de la Sostenibilidad.

A partir de ahí, se puede concluir que se han realizado las siguientes aportaciones:

- Se ha realizado una **recopilación, organización y sistematización de la información relativa a las tecnologías de gestión del Ciclo Urbano del Agua disponibles en la actualidad.**
- Se ha elaborado un **manual de aplicación directa al diseño de edificios y espacios urbanos a modo de herramienta de trabajo práctica y útil para los técnicos implicados en la planificación urbana.**
- Con dicho *manual*, se ha dado un paso más para **facilitar, en los próximos años, la toma de decisiones e inserción real de las tecnologías en proyectos arquitectónicos y urbanos, a partir de una visión actualizada y de conjunto de las tecnologías disponibles y desde el conocimiento** profundo de cada una de ellas y de sus repercusiones espaciales, técnicas y económicas.
- Con este documento, se ha potenciado una **visión global y conjunta del Ciclo Urbano del Agua en el diseño de edificios y espacios urbanos** de nuestras ciudades.
- También, se ofrece una **visión transversal e interdisciplinar muy útil para el diseño de las instalaciones**, tanto a nivel edificatorio como urbano. **Se ha integrado, en un único cuerpo o documento, conocimiento procedente de la Arquitectura y de la Ingeniería, conformando uno de los aportes más novedosos** de la presente tesis.
- En relación a esta sistematización, **desde el punto de vista metodológico, se corrobora:**
 - La **necesidad de agrupar las tecnologías** por *sectores* o ámbitos del Ciclo Urbano del Agua y en grupos de *medidas* o líneas estratégicas de actuación con características comunes **para su más fácil localización y comprensión.**
 - La **utilidad de agrupar las características comunes a los grupos de tecnologías previamente a su análisis de manera individual**, aportando así una idea general del conjunto (que evita, además, repeticiones superfluas) y terminando con la exposición de la información específica sobre ellas en las *fichas tecnológicas*.
 - La **necesidad de distribuir, en cada una de las fichas tecnológicas, las características por campos**, comenzando por aquellos que permiten el conocimiento de las tecnologías y ayudan a tomar la decisión sobre su posible uso y acabando por los que constituyen recomendaciones más detalladas, en caso en que se decida su implantación o se quiera profundizar en su conocimiento.

2.4.2.2. SOBRE LAS REPERCUSIONES ESPACIALES, CONSTRUCTIVAS Y ECONÓMICAS DE LA APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS EN EL ÁMBITO DE LA ARQUITECTURA Y EL URBANISMO. LA INFLUENCIA EN EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y URBANO

A partir de la sistematización de la documentación, principal objetivo del trabajo de investigación, se ha aportado un análisis pormenorizado de las repercusiones que dichas tecnologías tienen en el ámbito de la Arquitectura y el Urbanismo, comenzando con un estudio de los requerimientos e implicaciones espaciales, constructivos y económicos de las tecnologías y terminando con una revisión del impacto que éstos tienen en la calidad de vida del usuario pero, sobre todo, en el diseño arquitectónico y urbano, tanto a nivel proyectual como a nivel real.

Las **conclusiones** a las que se ha llegado **en relación a los campos arquitectónico y urbano**, son las siguientes:

- En relación a los efectos en los campos de la Arquitectura y el Urbanismo, **la implantación de las tecnologías supone un cambio en la manera de proyectar edificios y espacios urbanos ya que aparece la necesidad de incorporar nuevos elementos y sistemas, así como aspectos y enfoques innovadores en el proceso proyectual**. Entre los últimos, destacan la necesidad de proyectar desde el conocimiento profundo del contexto, con una visión global del Ciclo Urbano del Agua y del resto de recursos y, siempre, buscando la mejora medioambiental dentro de un modelo responsable respecto a nuestra generación y las generaciones futuras.
- Por otro lado, es fundamental ser consciente de que **la implantación de estas estrategias pueden modificar, en el futuro, la configuración física y espacial de nuestros edificios y espacios urbanos**, al igual que las exigencias de las normas de protección en caso de incendios han llegado a hacerlo, concretando la situación de los núcleos de comunicación de los edificios, la configuración de los huecos en las fachadas o los materiales que se pueden utilizar en determinados elementos constructivos.
 - **Una posible consecuencia o efecto, que se puede considerar una ventaja en el ámbito edificatorio**, consiste en la consecución de una **mayor flexibilización de los espacios en los casos en los que se puedan eliminar bajantes** –como en el caso del *saneamiento seco con compostaje in situ*- o **resituarlos** –como en el caso de los bajantes de pluviales, si realizamos *redes puramente separativas*, en los que éstos se colocarían en la banda exterior del edificio, integrados o no en la fachada-.
 - **Otra consecuencia que afecta de manera más global es que**, con la implementación de las tecnologías recogidas en este trabajo de investigación, las edificaciones y los espacios urbanos **umentarían los espacios necesarios para alojar instalaciones respecto al modelo actual**, fomentándose una tendencia contraria a la vigente en la que se pretende reducir al máximo dichos espacios “de servicio” alejando, lo antes posible, aquellos recursos que son considerados actualmente como “residuos”. Como contrapartida, se produce una disminución de la demanda de agua y de energía con los consiguientes beneficios medioambientales y económicos para el usuario.
 - En principio, **en los edificios, las plantas inferiores (baja y sótano) serán las más afectadas pues alojarán muchos de los elementos de mayor volumen** (por razones estructurales y energéticas), **pero las cubiertas cobran una importancia fundamental siendo otros de los espacios más afectados** pues en ellas se tendrían que integrar varias de estas nuevas tecnologías como las *cubiertas vegetadas*, los *tanques, depósitos o aljibes*, los elementos de las *instalaciones de calentamiento de ACS térmica* o los *conductos de ventilación de los sistemas de saneamiento seco*.
 - En los **espacios urbanos también aparecen nuevos elementos**, como *galerías de servicios*, nuevos conductos de *redes terciarias, depósitos o aljibes, pozos* de distinto tipo, tecnologías no convencionales de *depuración de tipo extensivo*, elementos vegetales, etc... **que hay que coordinar con los ya existentes** (otras infraestructuras, mobiliario urbano, etc...) y siempre bajo criterios de Sostenibilidad (*Xerojardinería*, etc...).

- Por otro lado, la implantación de estas tecnologías, que fomentan **los espacios con vegetación** con múltiples posibilidades de diseño, **pueden convertir esos espacios en focos de atracción para actividades muy variadas, como actividades de ocio y recreo, productivas (*huertos urbanos*), comerciales o de socialización** que permitan la reutilización frecuente de estos espacios, cuestión fundamental en los casos de rehabilitación. Este atractivo se puede potenciar aún más fomentando el aumento de la biodiversidad con la presencia de fauna asociada a las especies vegetales elegidas en determinadas tecnologías. **La posible recuperación de estos espacios y su nuevo papel es clave en el diseño urbanístico de los edificios y de los núcleos urbanos.**

2.4.3. PROPUESTA DE FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A lo largo del proceso en el que se ha desarrollado esta investigación, **han surgido aspectos del máximo interés y utilidad** para el ámbito de la Arquitectura y el Urbanismo **sobre el objeto de estudio de esta investigación**, las tecnologías sostenibles referentes al Ciclo Urbano del agua, que merecen ser tratados de manera más detallada, por lo **que se proponen como futuras líneas de investigación que permitan avanzar en temas ya planteados en este trabajo**. A continuación, se enumeran estas propuestas:

- 1- **Elaboración de epígrafes y precios de unidades de obra relativas a la gestión sostenible del agua para la actualización de las bases de costes en España.** Se trataría de completar y actualizar los bancos de precios actuales de nuestro país, proponiendo nuevos epígrafes de las unidades o tecnologías estudiadas en el presente trabajo así como sus precios descompuestos y unitarios a partir de un estudio exhaustivo de los precios de mercado.
- 2- **Análisis detallado y discusión de la viabilidad económica de las tecnologías propuestas aplicado a un caso de estudio.** Este trabajo partiría de un análisis comparado de la información presentada en este trabajo sobre costes de implantación y de mantenimiento de todas las tecnologías, completándolo con el análisis del ahorro económico asociado a los ahorros de agua y de la energía que suponen la implementación de las medidas, a partir de los precios de ambos recursos. Todo ello habría que realizarlo en un caso de estudio concreto donde se conozcan datos de partida exactos para la realización del análisis, en el que la introducción de un estudio adicional en relación a los ciclos de vida y de la huella hídrica, permitiría realizar un estudio de viabilidad mucho más completo y real en el que se determinasen los periodos de amortización de las tecnologías de manera más exacta, incorporando, si es posible, las diferentes posibilidades de financiación de las medidas.
- 3- **Estudio pormenorizado de posibles combinaciones de tecnologías sostenibles en la gestión del Ciclo Urbano del Agua. Análisis de su viabilidad y sus repercusiones.** A partir del estudio de las compatibilidades e incompatibilidades entre las distintas medidas, se trata de elegir las combinaciones de más interés a partir de un estudio detallado de su viabilidad tecnológica-constructiva, física-espacial, económica, social, desde el punto de vista de la salud y medioambiental, así como de sus repercusiones en dichos ámbitos.
- 4- **Posibilidades de aplicación de las TIC en la gestión sostenible del Ciclo Urbano del Agua. Métodos de optimización de la elección de tecnologías mediante el uso de *herramientas de modelado de escenarios futuros y sistemas de apoyo a la toma de decisiones (SADs)*.** El análisis exhaustivo de estos métodos, tecnologías innovadoras con un enorme potencial de análisis de datos, facilitaría en gran medida la elección entre las diferentes tecnologías.

3. RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se ha sistematizado la información actualmente disponible sobre estrategias y tecnologías sostenibles para un mejor manejo y gestión del Ciclo Urbano del Agua, con el fin de facilitar a los técnicos implicados en la planificación urbana un mayor conocimiento de las mismas y, así, aumentar sus posibilidades de inserción, a nivel real, en los proyectos de Arquitectura y Urbanismo de nuestros núcleos urbanos.

Se ha comenzado con un repaso de la caracterización de los recursos hídricos y de los diferentes modelos de gestión del Ciclo Urbano del Agua -así como de los estudios e investigaciones que se han realizado en los últimos años sobre el tema, a nivel nacional e internacional- centrándonos en el análisis de las consecuencias del modelo convencional y estructuralista frente a las del modelo sostenible e integrado que se propone en la actualidad. Como resultado de dicha comparación, se llega a la conclusión de la necesidad de la implantación de tecnologías que se planteen desde la Sostenibilidad y de su acercamiento urgente a los agentes implicados en ella.

A partir de ello, se realiza la recopilación y sistematización de tecnologías en un documento organizado a modo de *manual* -principal objetivo de la tesis y herramienta fundamental para su implantación en los espacios habitados-, tras la cual se ha realizado un análisis de todas ellas, fundamentalmente en lo que se refiere a las repercusiones de su aplicación en los edificios y en las áreas urbanas, tanto de nueva planta como en los casos de rehabilitación. Se ha comenzado dicho análisis haciendo un repaso de las necesidades y requisitos espaciales y constructivos de las técnicas, tanto a nivel edificatorio como urbano, y se ha completado, de manera general, con las implicaciones económicas de la implantación de las mismas, también distinguiendo entre los dos ámbitos. Por otro lado, se ha considerado de mucho interés tratar las posibles combinaciones entre las tecnologías para una optimización máxima de los recursos hídricos, pero sin olvidar los energéticos, ya que están íntimamente relacionados, consiguiendo, de esta manera, una mayor eficiencia en el consumo y una menor repercusión medioambiental de Ciclo Urbano del Agua que tanto ha dañado los ecosistemas naturales en las últimas décadas por la aplicación de técnicas poco ecológicas.

Tras dicho análisis se ha evaluado el impacto que todas estas estrategias y tecnologías suponen en el desarrollo de los proyectos arquitectónicos y urbanísticos y, como consecuencia, lo que puede significar en los campos de la Arquitectura y el Urbanismo de las próximas décadas. Previamente, se ha evaluado su impacto o repercusión en los usuarios de los espacios habitados y en su calidad de vida.

Como conclusión global, se puede afirmar que la aplicación de estas tecnologías, que se plantean desde la Sostenibilidad, puede llegar a suponer grandes mejoras a nivel del usuario, edificatorio, urbano y medioambiental. Sí es cierto que la envergadura del impacto dependerá, en gran medida, junto con la disponibilidad espacial y económica, del grado de concienciación, implicación y compromiso de los usuarios, comunidades y administraciones, según la escala de aplicación de cada una de ellas. Además, lo ideal es que se puedan aplicar en todas las escalas simultáneamente, independientemente de la posibilidad de combinarlas en cada una de ellas lo cual, siempre, optimizará los resultados.

Por todo ello, el presente trabajo de investigación pretende ser una aportación que apoye y potencie las nuevas corrientes que defienden un cambio en el tratamiento de los recursos hídricos en nuestras ciudades mediante una gestión más sostenible del agua a través del acercamiento a los técnicos, de manera sistematizada, de las estrategias y tecnologías hidroeficientes existentes para su aplicación real en los edificios y los espacios libres pertenecientes a dichos núcleos urbanos.

4. BIBLIOGRAFÍA

En el presente trabajo de investigación, se plantea la distinción entre dos grupos de referencias bibliográficas y fuentes de información:

- **Bibliografía general:** En ella se enumeran las referencias consultadas y citadas en relación a los recursos hídricos y a la *gestión del Ciclo Urbano del Agua*.
- **Bibliografía específica:** En ella se enumeran las referencias consultadas y citadas en relación a las *tecnologías de manejo y gestión del agua en la edificación y el urbanismo*, tema central de la tesis. Dentro de este apartado, se han separado, a su vez, las de carácter general y las dedicadas a cada uno de los sectores en los que se divide dicho ciclo en la actualidad (Abastecimiento, Aguas Pluviales, Aguas Residuales y Agua-Energía).

El tipo de cita utilizado en el trabajo ha sido la **cita americana**, por ser muy frecuente actualmente y por resultar muy útil a la hora de realizar las consultas.

4.1. REFERENCIAS GENERALES

Referencias bibliográficas

AGUILERA KLINK, F. (1997): "Prólogo", en ARROJO, P. y NAREDO, J.M.: *La gestión del agua en España y California*, Ed.Bakeaz, Bilbao.

ALLAN, T. (1999): "Water in international systems: a risk society analysis of regional problemsheds and global hydrologies", en *Sustainability, Risk and Nature: the Political Ecology of Water in Advanced Societies*. Oxford, European Science Foundation.School of Geography, pp.73-82.

ANDER-EGG, E. (1995): *Introducción a la planificación*, Ed.Lumen, Buenos Aires.

AQUA-RIBA (2013-2015): *Sistemas de Gestión Sostenible del Ciclo del Agua en la Rehabilitación Integral de Barriadas de Andalucía (Aqua-Riba)*, Proyecto de investigación I+D+i, Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía (coord.), Programa Operativo FEDER-UE de Andalucía 2007-2013. Exp. G-GI3001/IDIN. www.aopandalucia.es/innovacion/principal.asp?alias=AQUA-RIBA&zona=convocatoria_2012-2014&t=0

AQUA-RIBA (2015): *Guía para la incorporación de la gestión sostenible del agua en áreas urbanas. Aplicación a la rehabilitación de barriadas en Andalucía*, Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía y Universidad de Sevilla, Sevilla.

ARROJO AGUDO, P. (1999): "La nueva cultura del agua ante el reto de un nuevo plan hidrológico nacional", en *Economistas*, Colegio de Madrid, nº 80, pp.441-450.

ARROJO AGUDO, P. (2005): *El reto ético de la nueva cultura del agua: funciones, valores y derechos en juego*, Ed.Paidós, Barcelona.

ARROJO AGUDO, P. (2010): "La Crisis Global del Agua", en Serie *Cuadernos*, Ed.Cristianisme I Justicia, Barcelona.

ARROJO AGUDO, P. (2015): "Una nueva ética del agua", en revista electrónica *Guía Nueva Cultura del Agua*, Ed. Fundación Nueva Cultura del Agua, www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/el-agua-patrimonio-de-vida/una-nueva-etica-del-agua

ARROJO, P. y NAREDO, J.M. (1997): *La gestión del agua en España y California*, Ed.Bakeaz, Bilbao.

AYALA CARCEDO, F.J. (1997): *Impactos del posible cambio climático sobre los recursos hídricos, el diseño y la planificación hidrológica en la España peninsular* (inédito, copia facilitada por el autor).

AYALA CARCEDO, F.J. (1999): "De la política hidráulica a la política del agua sostenible", en *Tecnoambiente*, nº 90, ITGE, pp.5-9.

BAKKER, K. (ed.) (1999): *Societal and Institutional Responses to Climate Change and Climatic Hazards: Managing Changing Flood and Drought Risk (SIRCH). Working Paper 3: A Framework for Institutional Analysis*, Environmental Change Unit, University of Oxford.

- BAKKER, K. y DEL MORAL, L. (2000): *Drought as a trigger of institutional adaptation; a comparison of responses to drought in urban water management in Spain and the UK*, SIRCH working-paper.
- BASSOLS COMA, M. (2003): "La Ordenación del Territorio en la Directiva Marco Comunitaria del Agua", en PÉREZ PÉREZ, E. (coord.) *Aplicación en España de la Directiva Europea Marco de Agua*, Ecoiuris, Madrid, pp.33-65.
- BUTLER, D., MEMON, F.A., MAKROPOULOS, C., SOUTHALL, A. y CLARKE, L. (2010): *WaND_Guidance on Water Cycle Management for New Developments*. CIRIA. [gow.epsrc.ac.uk/NGBOViewGrant.aspx?GrantRef=GR/S18373/01](http://www.gow.epsrc.ac.uk/NGBOViewGrant.aspx?GrantRef=GR/S18373/01)
- CARRASCO, G. (2009): "Proyecto Ecocity. Manual para el diseño de Ecociudades en Europa", en *Revista INVI*, nº 24, 197-200.
- CONSEJO DE EUROPA (1968): *Carta del Agua*, Estrasburgo.
- CRESPO, A. (2006): *La crisis del agua refleja otras crisis*, BBC.com
- DE LA CALLE MARCOS, A. (2015): "¿Quién manda en la política del agua? La política del agua: Unión Europea, España, Comunidades Autónomas y Entidades locales", en revista electrónica *Guía Nueva Cultura del Agua*, Ed. Fundación Nueva Cultura del Agua, www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua
- DEL MORAL ITUARTE, L. (2000): "Problemas y tendencias de la gestión del agua en España: del proyecto Borrel al proyecto Matas", en ESTEVAN A. y VIÑUALES V. (2000): *La eficiencia del agua en las ciudades*, Ed.Bakeaz, Bilbao, pp.13-51.
- DEL MORAL ITUARTE, L. (2007): "Los abastecimientos urbanos de agua en Andalucía: prioridad social y responsabilidad ciudadana", en *El agua en la pintura andaluza. Realidades del agua en Andalucía*, Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, pp.473-485.
- DEL MORAL ITUARTE, L. (2009a): "Debates sociales, económicos y ambientales en la nueva política del agua: avances y dificultades en su aplicación en Andalucía" en *Anduli. Revista Andaluza de Ciencias Sociales*, nº 8, 2009, pp.21-34.
- DEL MORAL ITUARTE, L. (2009b): "Nuevas tendencias en gestión del agua, ordenación del territorio e integración de políticas sectoriales" en *Scripta Nova, Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, Vol. XIII, nº 285, Universidad de Barcelona.
- DEL MORAL ITUARTE, L. (2011): "El nuevo Plan Hidrológico de la Demarcación del Guadalquivir: avances y dificultades en el proceso de cambio de modelo de gestión del agua" en *Hábitat y Sociedad*, nº 2, pp.187-196. www.habitatysociedad.us.es
- DEL MORAL ITUARTE, L. (2015): "Paradigmas del agua y del territorio", en revista electrónica *Guía Nueva Cultura del Agua*, Ed. Fundación Nueva Cultura del Agua, www.nuevaculturadelagua.es/guia-nueva-cultura-del-agua/el-agua-patrimonio-de-vida/paradigmas-del-agua-y-del-territorio
- DEL MORAL ITUARTE, L. y GIANSANTE, C. (2000): "Constraints to Drought Contingency Planning in Spain: the Hydraulic Paradigm and the Case of Seville", *Journal of Contingencies and Crisis Management, Special Issue "Contingency Planning for Water Security"*, Blackwell, Oxford, United Kingdom, 2000, vol. 8, num. 2, pp 93-102.
- DEL MORAL, L., GIANSANTE, C. y BABIANO, L. (2000): "L'évolution des modalités d'allocation de la ressource en eau en Espagne" en *Révue d'Economie Méditerranéenne (REM)*, nº2, 2000.
- DEL MORAL, L. y SAURÍ, D. (1999): "Changing Course. Water policy in Spain" en *Environment*, vol. 41, nº 6, pp.12-36.
- DELIBES DE CASTRO, M. (2015): "El agua, recurso natural", en revista electrónica *Guía Nueva Cultura del Agua*, Ed. Fundación Nueva Cultura del Agua, www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/el-agua-patrimonio-de-vida/naturaleza-arte-vida
- DRAIN, M. (dir.) (1995): *Les conflicts pour l'eau en Europe Méditerranéenne*. Montpellier, Université Paul-Valéry.
- DRAIN, M. (dir.) (1998): *Regulation de l'eau en milieu méditerranée. Risques et tensions*, Territoires en Mutation, 3, Montpellier.
- ESTEVAN, A. (2000). "Planes integrales de gestión de la demanda de agua", en *La eficiencia del agua en las ciudades*. Ed.Bakeaz, Bilbao. pdf.bakeaz.efaber.net/entry/content/83/NCA07_Estevan.pdf.

- EUROPEAN COMMISSION (2009): *Study on water performance of buildings*. Bio Intelligence Service.
- EUROPEAN COMMISSION (2010): *Escasez de agua y sequía en la Unión Europea*. Observatorio Europeo de la Sequía.
- EUROPEAN COMMISSION (2012): *3rd European Water Conference*, Brussels, 24-25 May 2012. Summary Report, waterblueprint2012.eu/sites/default/files/Conference%20Summary%20Report.pdf
- EUROPEAN COMMISSION (2015): *Presentaciones del Taller sobre Escasez y Sequía*, iagua.es/201/05/presentaciones-del-taller-sobre-escasez-y-sequia-celebrado-el-pasado-mes-de-abril en Bruselas
- EUROPEAN COMMISSION-CORDIS (n.d.) (2012): *Sustainable Water ActioN: building research links between EU and US*. cordis.europa.eu/projects/rcn/102474_en.html.
- FAGGI, P. (1996): "Water in developing countries: productive and strategic values", en ALLAN, J.A. y RADWAN, L. (coords): *Proceedings of the European seminar on water geography: Perceptions of the values of water and water environments*. SOAS, University of London, pp. 113-116.
- FEITELSON, E. (1996): "The implications of changes in perceptions of water in Israel for peace negotiation with Jordan and the Palestinians", en ALLAN, J.A. y RADWAN, L. (coords): *Proceedings of the European seminar on water geography: Perceptions of the values of water and water environments*. SOAS, University of London pp. 17-22.
- FIGUEROA ABRIO, A. (2011): "La integración de la planificación urbanística y la gestión del agua: una aproximación general en Andalucía" en *VII Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua*, Ed. Fundación Nueva Cultura del Agua, Talavera de la Reina.
- FUSTER, A. (Coord.) (2005): *Eco-barrios en Europa. Nuevos entornos residenciales*. EMVS. Ayuntamiento de Madrid y Programa LIFE.
- GIANSANTE, C. (1998): *The Guadalquivir River Basin: Drought and Water Scarcity. Draft Case Study*. SIRCH Project, Oxford.
- GÓMEZ MENDOZA, J. y DEL MORAL ITUARTE, L. (1995): "El Plan Hidrológico Nacional: criterios y directrices", en GIL OLCINA, A. y MORALES GIL, A. (eds.): *La planificación hidráulica en España*, Alicante, Caja de Ahorros del Mediterráneo, pp. 331-378.
- GÓMEZ MENDOZA, J. y ORTEGA CANTERO, N. (1987): "Geografía y Regeneracionismo en España", *Sistema*, nº 77, pp. 77-89.
- HERNÁNDEZ MORA, N. (2015): "La Guía Nueva Cultura del Agua", presentación de la *Guía Nueva Cultura del Agua*, Ed. Fundación Nueva Cultura del Agua, www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/presentacion-de-la-guia/la-guia-nueva-cultura-del-agua
- HERRERAS ESPINO, J.A. (1996): "Los mercados del agua. La experiencia de California", en *Revista de Obras Públicas*, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, nº 3.352, pp.21-43
- JIMÉNEZ BELTRÁN, D. (2015): "Cambio climático como clímax para el cambio, ¿también para el agua?", en revista electrónica *Guía Nueva Cultura del Agua*, Ed. Fundación Nueva Cultura del Agua, www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/presentacion-de-la-guia/agua-y-sostenibilidad
- JUNTA DE ANDALUCÍA/CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE/AGENCIA ANDALUZA DEL AGUA (2007): *El agua en Andalucía. Análisis prospectivo de Andalucía 2020*. Centro de Estudios Andaluces. Sevilla.
- JUNTA DE ANDALUCÍA/CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES (1993): *Bases para la Política Hidráulica en Andalucía*, Sevilla.
- JUNTA DE ANDALUCÍA/CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTE (1998): *Plan Director de infraestructuras de Andalucía. Documento aprobado por la Comisión de Redacción*, Sevilla.
- JUNTA DE ANDALUCÍA/CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES (2006): *Plan de Ordenación del Territorio de Andalucía*.
- LARA, A., DEL MORAL, L., PRIETO-THOMAS, A., POZO-MORALES, L. y OTERO, L. (2014): "Propuesta metodológica para la incorporación del agua en la rehabilitación de barriadas", Comunicación en *Congreso BIA-URBAN REGENERATION FORUM. Hacia una Ciudad Sana, Área Temática "Ciudad y Paisaje. De la Ciudad Tradicional al Ecosistema Urbano"*, Bilbao.

- LEBRATO MARTÍNEZ, J. (2006): *Agua para consumo humano*, en I Congreso Internacional del Agua, Sevilla.
- LLAMAS, R. (1998): *El agua subterránea como recurso económico, ecológico y como agente geológico*, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid.
- LÓPEZ DE ASIAIN, M., EHRENFRIED, A. y PÉREZ DEL REAL, P. (2007): "El Ciclo Urbano del Agua. Un nuevo modelo de sistema integral de gestión", *Idea sostenible*, Revista electrónica, Año 4, nº16. Noviembre 2007.
- LÓPEZ MARTOS, J. (2000): "Agua y territorio", *Obras Públicas (OP)*, nº50, pp.46-53.
- LÓPEZ ONTIVEROS, A. (1998): "El regadío, salvación de la patria y fuente de felicidad, según los congresos nacionales de riegos (1913-1934)", *Demófilo. Revista de Cultura Tradicional de Andalucía*, nº 27, pp. 27-64.
- MAIRAL BUIL, G. y BERGUA AMORES, J.A. (1998): "Del economicismo al culturalismo. El agua y los conflictos sociales", *Demófilo, Revista de Cultura Tradicional de Andalucía*, nº27, pp.11-26.
- MARTÍNEZ BLANCO, A. (1982): "Repercusión de la Constitución Española de 1978 en el régimen de aprovechamiento de las aguas", Comunicación en *I Congreso Nacional de Aguas de Murcia* presentado como Artículo en Revista de Administración Pública, nº99. Sept/Dic, 1982.
- MARTÍNEZ GIL, F.J. (1976): *Una nueva cultura del agua*. Colección *Nueva Cultura del Agua*, nº 1. Ed.Bakeaz, Bilbao, 131 págs.
- MARTÍNEZ GIL, F.J. (1997): *La nueva cultura del agua en España*, Ed.Bakeaz, Bilbao.
- MARTÍNEZ GIL, F.J. (2008): *Una nueva cultura del agua en un mundo en crisis*, Colección *Actas*, 71. Fundación Seminario de Investigación para la Paz. *Jornadas El agua derecho humano y raíz de conflictos*, Zaragoza, pp.549-564.
- MARTÍNEZ GIL, F.J. (2015a): "La nueva cultura del agua en España. Situación y perspectivas", en revista electrónica *Guía Nueva Cultura del Agua*, Ed. Fundación Nueva Cultura del Agua, www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua
- MARTÍNEZ GIL, F.J. (2015b): "Una nueva cultura del agua: su significado y su porqué", en revista electrónica *Guía Nueva Cultura del Agua*, Ed. Fundación Nueva Cultura del Agua, www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua
- MAYS, L. W. (2009): *Integrated Urban Water Management: Arid and Semi-Arid Regions*, Urban Water Series, UNESCO IHP, UNESCO Publishing.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (1998): *Libro Blanco del Agua en España*, Madrid.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE/RED DE REDES DE DESARROLLO LOCAL SOSTENIBLE, *Estrategia de Medio Ambiente Urbano* (2006): www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/medio-ambiente-urbano/ESTRATEGIA_MAU_15_JUNIO_2006_tcm7-177733.pdf
- NAREDO, J.M. (1997): *La Economía del Agua en España*, Fundación Argentaria, Madrid.
- NAREDO, J.M. (1999): "El agua y la solidaridad", en *Ciudades para un futuro más sostenible, El Boletín de la Biblioteca*, nº 11. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n11>
- NAVARRO, J., SENDRA, J.J., PRIETO-THOMAS A., PANEQUE, C., DOMÍNGUEZ, V., CARRASCO M.J. y ACOSTA, I. (2009): *Estudio del uso eficiente del agua en el entorno urbano andaluz. Situación y posibilidades de mejora*, Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla.
- OMS-Organización Mundial de la Salud (2008): *Safe Water and Global Health*.
- ONU-Organización de las Naciones Unidas (2004): Reseña *on line* en BBC.com http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/international/newsid_3601000/3601498.stm
- ONU-Organización de las Naciones Unidas (2005): *Día Mundial del Agua: 2.400 millones de personas la beben contaminada*, Informe.
- O'RIORDAN, T. y JAGER, J. (1996): "Social Institutions and Climate Change", en O'RIORDAN, T. y JORDAN, A. (eds.): *Politics of Climate Change: A European Perspective*, Ed. Routledge, Londres, pp. 65-105.
- ORTEGA CANTERO, N. (1992): "El Plan Nacional de Obras Hidráulicas", en GIL OLCINA, A. y MORALES GIL, A. (eds.), *Hitos históricos de los regadíos españoles*, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, pp.335-364.
- PANEQUE, P. y PEDREGAL, B. (2000): *Social perception of water in the Lower Guadalquivir River basin: Myths and Values*, SIRCH Project, Madrid.

- PRAT FORNELLS, N. (1998): "Estado ecológico de los ecosistemas acuáticos en España", en ARROJO, P. y MARTÍNEZ, J. (eds.): *El Agua a debate desde la Universidad. Hacia una nueva cultura del agua*. Zaragoza, 45-62.
- PRAT FORNELLS, N. (2002), "La nueva cultura del agua y la gestión y ordenación del territorio", en DEL MORAL ITUARTE, L. (coord.): *La Directiva Marco del agua: realidades y futuros* en III Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del agua, Sevilla, pp.491-496. <http://www.us.es/ciberico/sevilla326.pdf>
- PRIETO-THOMAS, A. (2008): "Agua, Iluminación Natural y Soleamiento en el Patrimonio Arquitectónico del Imperio Romano: Las Termas con Heliocamino de Villa Adriana en Tívoli (Italia)", Comunicación en *II Coloquio Internacional Irrigación, Energía y Abastecimiento de Agua en el Arco Mediterráneo*, Alcalá de Guadaíra (Sevilla).
- PRIETO-THOMAS, A. y NAVARRO, J. (2004): "Iluminación natural, soleamiento y patrimonio arquitectónico. Estudio de soleamiento de las Termas con Heliocamino de Villa Adriana en Tívoli (Italia)", Artículo en libro de actas del *XII Congreso Ibérico y VII Iberoamericano de Energía Solar*, vol. 1., pp.163-168.
- RIESCO CHUECA, P. (1999): "La traza de lo medioambiental en la cultura contemporánea", en *Argumentos de Razón Técnica*, nº 2, pp.137-152.
- RUIZ, J.M. (2000), "El agua fugitiva", *El Correo Español-El Pueblo Vasco*, 13 de julio.
- SALAZAR, S.A. (2009): *Conflictos del agua. El oro azul*, en II Congreso Internacional del Agua, Sevilla.
- SAMPEDRO, D. y DEL MORAL, L. (2014): "Tres décadas de política de aguas en Andalucía", en *Cuadernos Geográficos* 53(1), pp. 36-67.
- SAURI, D. y DEL MORAL, L. (2001): "Recent developments in Spanish water policy. Alternatives and conflicts at the end of the hydraulic age", *Geoforum*, 32 (2001), pp. 351-362.
- SAURI, D., DURÁ, A. y MUÑOZ, F. (1998): "Sostenibilidad y conflictos distribucionales: El caso de las tasas sobre el agua en el área metropolitana de Barcelona", en *El Agua a debate desde la Universidad. Hacia una nueva cultura del agua*. Zaragoza.
- SCHMIDT R.H. y PLAUT, S.E. (1995): "La política hidráulica de California e Israel", en *El Campo*, 132, Servicio de Estudios del Banco Bilbao-Vizcaya, pp. 295-325.
- SWYNGEDOUW, E. (1999): "Modernity and Hybridity: Regeneracionismo, the Production of nature and the Spanish Waterscape, 1890-1930", *Annals of the Association of American Geographers*, 89 (3), pp. 443-465.
- TELLO, E. (1998): "La 'guerra del agua en Barcelona': alternativas económico-ecológicas para un desafío socio-ambiental", en *El Agua a debate desde la Universidad. Hacia una nueva cultura del agua*. Zaragoza.
- THOMPSON, S.A. (1999): *Water Use, Management and Planning in the United States*, Academic Press, Nueva York.
- UNESCO y WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (ONU) (2009): *Water in a Changing World*. Sterling, Va.: Earthscan.
- VIÑAS MÁRQUEZ, A., (2015a): "Arjé, sustancia y símbolo. Valores intangibles del agua en revista electrónica *Guía Nueva Cultura del Agua*, Ed. Fundación Nueva Cultura del Agua, www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua
- VIÑAS MÁRQUEZ, A. (2015b): "El agua patrimonio de vida", en revista electrónica *Guía Nueva Cultura del Agua*, Ed. Fundación Nueva Cultura del Agua, www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua
- WORLD COMMISSION ON DAMS (2000): *Dams and Development: A new Framework for Decision Making*, www.dams.org

Webs

ACEPESA: www.acepesa.org

AGUA VIRTUAL: www.angelamorelli.com/water/

APLICACIÓN PARA UN PREDIMENSIONADO BÁSICO DE LA INSTALACIÓN: www.konstruir.com/C.T.E/HE-4-Contribucion-solar-minima-de-agua-caliente-sanitaria/index.php

AQUAVAL: www.aquavalproject.eu

SISTEMATIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA UNA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL CICLO URBANO DEL AGUA.
REPERCUSIONES ESPACIALES, CONSTRUCTIVAS Y ECONÓMICAS EN LA EDIFICACIÓN Y EL URBANISMO.

CALIFORNIA STORMWATER QUALITY ASSOCIATION: www.casqa.org

CENTRO AGUA (Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua): www.centro-agua.org/

CENTRE D'ESTUDIES JOAN BARDINA. Introducción progresiva de las galerías de servicios en las vías públicas de ciudades y pueblos. bardina.org/braues01.htm

CORDIS, Servicio de Información Comunitario sobre Investigación y Desarrollo: cordis.europa.eu/home_es.html

DAYWATER: daywater.in2p3.fr

DECREN WATER CONSULT: www.dwc-water.com/es/tecnologias/soluciones-sanitarias/inodoro-seco-wc-seco/index.html

DRENAJE URBANO SOSTENIBLE: drenajurbanosostenible.org

DRENAJE SOSTENIBLE: drenajesostenible.com

E2stormed: www.e2stormed.eu/

ECOTECH (Instituto de Ciencias y Economía ambiental): ecotech.com/

EUROPEAN COMMISSION /ENVIRONMENT /WATER: ec.europa.eu/environment/water/index_en.htm

FUNDACIÓN CENTA (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua): www.centa.es/

FUNDACIÓN NUEVA CULTURA DEL AGUA: www.fnca.eu/

GRUPO GIEST (Grupo de Investigación Estructuras y Sistemas Territoriales), Universidad de Sevilla: grupo.us.es/giest/es/node/17

GRUPO TAR (Grupo de Tratamiento de Aguas Residuales), Universidad de Sevilla: www.aguapedia.org/

GRUPO TEP 130 (Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Acústica, Óptica, Iluminación y Energía), Universidad de Sevilla: www.iucc.us.es/index.php/es/componentes/grupos/6-tep-130-arquitectura-patrimonio-y-sostenibilidad

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION: www.iwahq.org

INTERNATIONAL HYDROLOGICAL PROGRAMME: www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/ihp/

ITA (Instituto Tecnológico del Agua), Universidad Politécnica de Valencia: www.ita.upv.es/

IVE (Instituto Valenciano de la Edificación), Valencia: www.five.es/

JUNTA DE ANDALUCÍA/CONSEJERÍA DE INNOVACIÓN, CIENCIA Y EMPRESA/AGENCIA ANDALUZA DE LA ENERGÍA, Cálculo de la radiación solar en Andalucía: www.agenciaandaluzadelaenergia.es/Radiacion/radiacion1.php

LIBRO DIGITAL DEL AGUA: servicios2.marm.es/sia/visualizacion/lda/

MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE BAÑO ECOLÓGICO SECO. es.scribd.com/doc/24456867/manual-de-construccion-de-bano-ecologico-seco

MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO DE GRUPOS DE PRESIÓN. manualdeusoymantenimiento.generadordeprecios.info/Instalaciones/Fontaneria/Depositos_grupos_de_presion.html

MÉTODO F-CHART, www.scalofrios.es/Calor/Solartermica/software/f-chart.pdf

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE-MAGRAMA, *Programa Hogares Verdes* (2011): www.magrama.gob.es/es/ceneam/programas-de-educacion-ambiental/hogares-verdes/

NaWaTech: www.nawatech.net/

PACIFIC INSTITUTE, The World's water Information on the World's freshwater resources: www.worldwater.org/

PLUVISOST: www.sostenipra.cat/pluvisost/

PORTAL DEL AGUA DE LAS ISLAS BALEARES. www.caib.es/sacmicrofront/contenido.do?mkey=M0808011112185729323&lang=ES&cont=28643

PREPARED ENABLING CHANGE: www.prepared-fp7.eu

SISTEMA INTEGRADO DE INFORMACIÓN DEL AGUA:
servicios2.marm.es/sia/consultas/servlet/consultas.GlobalFilter?tipo=masiva&sid=generate
SWITCH-Managing Water for the City of the Future/Gestión Integral del Agua Urbana para la Ciudad del Futuro:
www.switchurbanwater.eu
TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD: www.twdb.state.tx.us/index.asp
UNESCO, Agua: www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/
UNESCO/ EUROPEAN REGIONAL CENTRE FOR ECOHYDROLOGY:
www.erce.unesco.lodz.pl/story/international-projects
UNICEF: www.ecostrategia.com/articulos/hemeroteca/unicef2.pdf
ZINNAE-Clúster Urbano para el Uso Eficiente del Agua. Zaragoza: www.zinnae.org/

4.2. REFERENCIAS ESPECÍFICAS

4.2.1. SOBRE TECNOLOGÍAS EN GENERAL

- AENOR (2009): *Publicación monográfica: Ingeniería del agua*, Recopilación Normas UNE, 3ª Ed.
- ARIZMENDI BARNES, L.J. (1991): *Instalaciones Urbanas. Infraestructura y Planeamiento*. Tomos I, II y III, Ed. Bellisco (MBH), Madrid.
- ARIZMENDI BARNES, L.J. (1990): *Cálculo y normativa básica de las Instalaciones en los edificios*, Tomos I y II, 2ª Ed, Ed.EUNSA.
- ARIZMENDI BARNES, L.J. (2000): *Cálculo y normativa básica de las Instalaciones en los edificios*, Tomos I y II, 6ª Ed, Ed.EUNSA.
- ARIZMENDI BARNES, L.J. (coord.) et al (1996): *Guía para la Redacción de Proyectos de Urbanización*, Tomos I y II, Ed.CSCAE (Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España), Madrid.
- ARIZMENDI BARNES, L.J. (coord.) et al (2007): *Guía para la Redacción de Proyectos de Urbanización*. Ed. CSCAE (Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España). Madrid.
- BRY, S. (2010): *Sustainable Infrastructure. The Guide to green engineering and desing*, Ed. Wiley, EEUU.
- CENTER FOR NEIGHBORHOOD TECHNOLOGY/AMERICAN RIVERS (2010): *The Value of Green Infrastructure: A Guide to Recognizing Its Economic, Environmental and Social Benefits*.
- CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R. y MAYS, L.W. (1988): *Applied Hydrology*, Ed. McGraw-Hill, Nueva York (EEUU).
- CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R. y MAYS, L.W. (1994): *Manual de Hidrología Aplicada*. Ed. Mc Graw-Hill. Santafé de Bogotá, Colombia. p.584.
- COMUNIDAD DE MADRID (2012): *Guía de Hidroeficiencia Energética*, Consejería de Economía y Hacienda y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid y Fenercom, Madrid. www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-Hidroeficiencia-fenercom-2012.pdf
- DIETZ, M.E. (2007): "Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions" en *Water, Air, and Soil Pollution* 186(1-4): 351–363. doi:10.1007/s11270-007-9484-z.
- HERCE VALLEJO, M. y FARRERONS, J.M. (2002): *El soporte infraestructural de la ciudad*. 1ª Edición. Ed. UPC (Universidad Politécnica de Cataluña). ITT. Barcelona.
- KWOK A.G. y GRONDZIK W.T. (2007): *The Green Studio Handbook. Environmental strategies for schematic design*. 1ª Ed. Ed.Elsevier Inc. Oxford (Reino Unido).
- KWOK A.G. y GRONDZIK W.T. (2011): *The Green Studio Handbook. Environmental strategies for schematic design*. 2ª Ed. Ed.Elsevier Inc. Oxford (Reino Unido).
- LOW IMPACT DEVELOPMENT CENTER (2010): *Low impact Development Manual for South California*. www.casqa.org/sites/default/files/downloads/socallid-manual-final-040910.pdf

- NAM, A. (2010): *Building blocks of the policy review on Water Scarcity & Droughts in the EU. Water efficiency of buildings*. European Commission, DG ENV, Protection of Water Environment. Brussels. http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/water_efficiency.htm
- PALMA CARAZO, I.J. (2003): *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y Técnicas de Reciclaje*. Ed. EUNSA.
- ROZOS, E., MAKROPOULOS, C. y BUTLER, D. (2010): *Design Robustness of Local Water-Recycling Schemes*, Journal of Water Resources Planning and Management, Asce Library.
- RUBIO REQUENA, P.M. (1979): *Instalaciones Urbanas. Tecnología e Infraestructura Territorial*, Control Ambiental, Madrid.
- SARTE, S. y BRY, S. (2010): *Sustainable Infrastructures: the guide to green engineering and design*, Ed. Wiley & Sons, New Jersey (EEUU), atibook.ir/dl/en/Engineering/Architecture/9780470453612_sustainable_infrastructure.pdf
- SASSI, P. (2006): *Strategies for sustainable architecture*. Ed. Taylor & Francis e-Library, Oxon-New York (EEUU), library.uniteddiversity.coop/Ecological_Building/Strategies_for_Sustainable_Architecture.pdf
- TRAPOTE JAUME, A. (2011): *Infraestructuras Hidráulico Sanitarias*, Tomos I y II, Colección *Textos Docentes*, Universidad de Alicante.
- UNIVERSITY OF ARKANSAS/COMMUNITY DESIGN CENTER (2010): *Low Impact Development: a design manual for urban areas*, Fay Jones School of Architecture, University of Arkansas Press, Fayetteville, Arkansas, http://www.bwdh2o.org/wp-content/uploads/2012/03/Low_Impact_Development_Manual-2010.pdf
- WISE, S., BRADEN, J., GHALAYINI, D. et al (2010): *Integrating valuation methods to recognize green infrastructure's multiple benefits*. Center for Neighborhood Technology.

4.2.2. SOBRE LA GESTIÓN DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA

- BARBERÁN ORTÍ, R. y COLÁS ELVIRA, D.J. (2013): *La renovación de los equipamientos asociados al uso de agua en viviendas y edificios. Evaluación ambiental, financiera y económica para la ciudad de Zaragoza*, Clúster Urbano para el Uso Eficiente del Agua (ZINNAE), publicación realizada en el marco del proyecto RENOVEA. Zaragoza.
- BARCELÓ ROIG, M.M. y UYÁ MARTÍN, N. (2011): *Manual de Xerojardinería. Guía pràctica per a l'ús eficient de l'aigua al jardí a les Illes Balears*, Govern de les Illes Balears.
- BUENO, Mariano. Manual para Horticultores Ecológicos. www.compostadores.com
- BURES, S. (1993): *Xerojardinería*. Ed. Horticultura S.L.
- COBACHO, R., ARREGUI, F., GASCÓN, L. y CABRERA, Jr.E. (2004): "Low-flow devices in Spain: how efficient are they in fact. An accurate way of calculation". Revista *Water Science & Technology: Water Supply*. Volumen 4 Número 3. pp.91-102. IWA Publishing- www.researchgate.net/publication/265991346_LOW-FLOW_DEVICES_IN_SPAIN_HOW_EFFICIENT_ARE_THEY_IN_FACT_AN_ACCURATE_WAY_OF_CALCULATION
- CONTRERAS LÓPEZ, F. (2006): *Clasificación de especies de jardín según sus necesidades hídricas para la región de Murcia*.
- CUBILLO, F., MORENO, T., y ORTEGA, S. (2008): *Microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid*, en Cuadernos I+D+I, Nº4, Ed. Canal de Isabel II, coordinada por Subdirección de Comunicación y RR.PP.
- DIPUTACIÓN DE BARCELONA (2010): *El ahorro de agua doméstica. Guía del usuario*, Área de Medio Ambiente, Barcelona, <http://www1.diba.cat/liblioteca/pdf/49525.pdf>
- ECOLOGISTAS EN ACCIÓN. *Manual de Jardinería Ecológica*.
- ECOLOGISTAS EN ACCIÓN. *Manual de Xerojardinería*.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E. y GARCÍA RODRÍGUEZ, M. *La recarga artificial de acuíferos en el mundo. Estado de la cuestión y experiencias*. Universidad Alfonso X El Sabio. TRAGSATEC. Madrid.

- JARDINERÍA, DECORACIÓN Y PAISAJISMO. Materiales para Jardinería. articulos.infojardin.com/articulos/xerojardineria_1.htm
- GILDEMEISTER H. (1998): *Su jardín mediterráneo. Cómo crear un paraíso verde con poco agua*. Palma de Mallorca.
- GISBERT J., PULIDO-BOSCH A., VALLEJOS A., MARTÍN-ROSALES W., MOLINA-GARCÍA, J.M. y FRUCTUOSO M. (2005): *Estimación de la recarga en clima semiáridos. El caso del borde meridional de la Sierra de Gádor*. López-Geta, J.A.; Rubio, J.C. y Martín Machuca, M. (Eds.), VI Simposio del Agua en Andalucía. IGME. 301-312.
- KAZNER, C., WINTGENS, T. y DILLON, P. (2012): *Water Reclamation Technologies for Safe Managed Aquifer Recharge*, European Water Research, IWA Publishing.
- KUNKEL G. (1998): *Jardinería en zonas áridas*. Ediciones Alternativas. Almería.
- LÓPEZ LILLO, A. (1993): *Elementos ornamentales de la flora autóctona*. Uso del agua en las áreas verdes urbanas. Canal Isabel II y Agencia de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid.
- LÓPEZ PATIÑO, G. (2008): *Sistemas de ahorro de agua. Hidroeficiencia*, en Curso Fundación FIDAS-COAS, Sevilla.
- LÓPEZ PATIÑO, G., NAVARRO, M. y VALERO, A. (2012): *Guía de sistemas de ahorro de agua en la edificación*, en Colección "Guías de Sostenibilidad", Foro Edificación Sostenible de la Comunitat Valenciana. Mesa del Agua, Ed. Instituto Valenciano de la Edificación, Valencia, www.five.es/tienda/product_info.php?products_id=170
- MAGISTER M. (1999): *Diseño de jardines privados de bajo consumo de agua*. Curso de jardinería de bajo consumo de agua. CENEAM. Valsaín (Segovia)
- MARTÍN-ROSALES W., GISBERT J., PULIDO-BOSCH A., VALLEJOS A. y FERNÁNDEZ-CORTÉS A. (2007): *Estimating groundwater recharge induced by engineering Systems in a semiarid area (southeastern Spain)*. Environmental Geology 52: 985-995.
- MINAYA OVEJERO, M.J. (2008): *Tipologías y dispositivos de Recarga Artificial (AR) existentes y diseñados en el marco del Proyecto Dina-Mar*. Ponencia de la Jornada de Difusión del Proyecto Dina-Mar. <http://www.dina-mar.es/>
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO (2008): *Inventario de tecnologías disponibles en España para la lucha contra la desertificación. Fichas de gestión integral de acuíferos*. http://www.magrama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/desertificacion-restauracion-forestal/lucha-contra-la-desertificacion/lch_inv_tec_gestion_acuiferos.aspx
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO (2008): *Inventario de tecnologías disponibles en España para la lucha contra la desertificación. Tipologías y dispositivos de recarga artificial*. http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/desertificacion-y-restauracion-forestal/lucha-contra-la-desertificacion/lch_inventario_tec.aspx
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO (2008): "Inventario de tecnologías disponibles en España para la lucha contra la desertificación. Gestión de la recarga de acuíferos: su implicación en la lucha contra la desertificación. Tipologías y dispositivos de recarga artificial." http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/desertificacion-y-restauracion-forestal/0904712280144db8_tcm7-19635.pdf
- PHILIP, R. (2011): *Kit de capacitación SWITCH. Módulo 3: Abastecimiento de Agua*, www.switchtraining.eu/espanol/
- PULIDO BOSCH A. (2001): *Sobreexplotación de acuíferos y desarrollo sostenible*. Pulido Bosch, A.; Calaforra Chordi, J.M. y Pulido Leboeuf, P.A. (Eds.) Problemática de la gestión del agua en regiones semiáridas. Instituto de Estudios Almerienses. Diputación de Almería. 115-132.
- SOVOCOL K. y MORGAN. (2005): *Xeriscape Conversion Study. Final Report*. Southern Nevada Water Authority.
- VICENTE J. (1999): *Programas de conservación y mantenimiento en parques públicos y privados, para el ahorro de agua*. Encuentro Internacional "Eficiencia del agua en las ciudades". Zaragoza.

VIÑUALES V., FERNÁNDEZ, M. y GONZÁLEZ, E. (Coord) (2000): *Guía Práctica de Xerojardinería*, en Colección “Guías prácticas para un uso eficiente del agua”, Fundación Ecología y Desarrollo, Ed.Bakeaz, Bilbao.

VIÑUALES V., FERNÁNDEZ, M. y GONZÁLEZ, E. (Coord) (2002): *Guía práctica de tecnologías ahorradoras de agua para viviendas y servicios públicos*. Colección “Guías prácticas para un uso eficiente del agua”, Fundación Ecología y Desarrollo, Ed.Bakeaz, Bilbao.

SOBRE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES

AQUAESPANA (2011): *Guía técnica de aprovechamiento de aguas pluviales en edificios*, www.aquaespana.org/repositori/documents/actualitat/es/Guia%20Tecnica%20Aguas%20Lluvia%20AqEsp-2011.pdf

CHENG, M.S, ZHEN, J.X. y SHOEMAKER, L. (2009): *BMP decision support system for evaluating stormwater management alternatives*. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China* 3(4): 453–463. doi:10.1007/s11783-009-0153-x

CHOULI, E., AFTIAS, E. y DEUTSCH, J.C. (2007): *Applying storm water management in Greek cities: learning from the European experience*. *Desalination* 210(1-3): 61–68. doi:10.1016/j.desal.2006.05.033

CIRIA (1996): *Infiltration drainage. Manual of good practice*, Report 156, Construction Industry Research & Information Association, Londres.

CIRIA (2000): *Sustainable urban drainage systems: A design manual for England and Wales*, Report C522, Construction Industry Research & Information Association, Londres.

CIRIA (2004): *Sustainable drainage systems: Hydraulic, structural and water quality advice*. Report C609, Construction Industry Research & Information Association, Londres.

ELLIS, J.B., DEUTSCH, J.C., MOUCHEL, J.M. et al (2004): “Multicriteria decision approaches to support sustainable drainage options for the treatment of highway and urban runoff”, *Science of the Total Environment* 334-335: 251–260. doi:10.1016/j.scitotenv.2004.04.066

GARCÍA MARÍN, A. (2007): *Análisis multifractal de series de datos pluviométricos en Andalucía*, Tesis Doctoral, Dpto. Ingeniería Rural, E.T.S. Ingenieros Agrónomos y de Montes, Córdoba, helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/433

GOBIERNO DE CHILE/MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (2005): *Guía de diseño y especificaciones de elementos urbanos de infraestructura de aguas de lluvias*, Santiago de Chile (Chile), www.minvu.cl/opensite_20090529093818.aspx

GONZALO, B. y PERALES, S. (2013): *Integración de las aguas pluviales en el paisaje urbano: un valor social a fomentar*, www.ciccp.es/biblio_digital/Urbanismo_I/congreso/pdf/040205.pdf

JONES, P. y MacDONALD, N. (2007): “Making space for unruly water: Sustainable drainage systems and the disciplining of surface runoff”, *Geoforum* 38(3): 534–544, doi:10.1016/j.geoforum.2006.10.005

LEE, J.G., SELVAKUMAR, A., ALVI, K., et al (2012): “A watershed-scale design optimization model for stormwater best management practices”, en *Environmental Modelling & Software* 37: 6–18. doi:10.1016/j.envsoft.2012.04.011

MAHARJAN, M., PATHIRANA, A., GERSONIUS, B. et al (2009): “Staged cost optimization of urban storm drainage systems based on hydraulic performance in a changing environment”, *Hydrology and Earth System Sciences* 13(4): 481

PERALES MOMPARNER, S. (2014): Curso “Gestión Integral del Agua de Lluvia en Entornos Urbanos: Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS)”, en Instituto Didactia, Almería (España).

PERALES, S. y ANDRÉS-DOMÉNECH, I. (2007): *Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia*, Equipamiento y servicios municipales, ISSN 1131-6381, Nº. 133 (Septiembre-Octubre), 2007, pp. 66-77.

PERALES, S. y ANDRÉS-DOMÉNECH, I. (2008): “Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia”, en *Retema: Revista técnica de medio ambiente*, Madrid: C & M Publicaciones,

- 1988=ISSN 1130-9881, Año nº 21, Nº 124, 2008, pp. 92-104, http://www.ciccp.es/biblio_digital/V_Congreso/congreso/pdf/010310.pdf
- PERALES, S., ANDRÉS-DOMÉNECH, I. y FERNÁNDEZ, A. (2008): “Los sistemas urbanos de drenaje sostenible en la hidrología urbana”, en *IX Simposio de Hidrogeología, Asociación Española de Hidrogeólogos*, Elche (Alicante).
- PRIETO-THOMAS, A. y LARA, A. (2014): “Integración de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Rehabilitación del Espacio Urbano”, Comunicación en Congreso “*Greencities & Sostenibilidad. Inteligencia aplicada a la Sostenibilidad Urbana*”, Área temática “*Actuaciones Sostenibles del Espacio Urbano*”, Málaga.
- PRIETO-THOMAS, A., LARA, A., POZO-MORALES, L. y OTERO, L. (2014): “Naturalización en la Rehabilitación Urbana mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible”, Póster en Congreso *BIA-URBAN REGENERATION FORUM. Hacia una Ciudad Sana*, Área Temática “*Naturalización de las Ciudades*”, Bilbao.
- REVITT, D.M., ELLIS, J.B. y SCHOLE, L. (2003): *Report 5.1. Review of the use of stormwater BMPs in Europe*, DayWater Project, Middlesex University, leesu.univ-paris-est.fr/daywater/REPORT/D5-1.pdf
- SCHOLE, L., REVITT, D.M., y ELLIS, J.B. (2004): *Determination of numerical values for the assessment of BMP*, DayWater Project, Middlesex University. cordis.europa.eu/result/rcn/43572_en.html
- SCHOLZ, M. y KAZEMI YAZDI, S. (2008): “Treatment of Road Runoff by a Combined Storm Water Treatment, Detention and Infiltration System” en *Water, Air, and Soil Pollution* 198(1-4): 55–64. doi:10.1007/s11270-008-9825-6
- SFPUC-San Francisco Public Utilities Commission (2009): *Storm Water Design Guide Lines*, San Francisco, www.sfwater.org/index.aspx?page=446
- URBONAS, B. y STAHRE, P. (1993): *Stormwater management practices and detention for water quality, drainage and CSO management*, PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (EEUU).
- US EPA (2007): *Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development (LID): Strategies and Practices*, EPA 841-F-07-006
- WANG, L., WANG, Y. y W, GONG, Z. (2006): *Integrity of local ecosystems and storm water management in residential areas*. Journal of Ocean University of China (English Edition) 5(4): pp.363-367.
- WOODS-BALLARD *et al.* (2007): *The SUDS Manual*, CIRIA, Londres, http://www.ciria.org/Resources/Free_publications/the_suds_manual.aspx

4.2.3. SOBRE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

- AAEA- Asociación Argentina de Economía Agraria (2013): La inclusión de la dimensión económica de la Evaluación de Impacto Ambiental. ISSN 1669-2314
- ALPASLAN, B. Universidad de Marmara, Estambul. http://mimoza.marmara.edu.tr/~bilge.alpaslan/enve301/Lectures/Chp_5.pdf
- AQUAESPANA (2011): *Guía técnica española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios*, www.aquaespana.org/repositori/documents/actualitat/es/GUIA%20TECNICA%20ESPANOLA%20RECICLAJE%20AGUAS%20GRISES%20CS-AG%20AQUA%20ESPANA.PDF
- ARAS, E. y BERKUN, M. (2012): *Effects of tailwater depth on spillway aeration*.
- BAYLAR, A. y BAGATUR, T. (1999): *Study of Aeration Efficiency at Weirs*.
- BERLAND, J.M., BOUTIN, C., MOLLE, P. y COOPER, P. (2001): *Guía de procesos extensivos de depuración de las aguas residuales. A las pequeñas y medias colectividades (500-5.000 h.e.)*, Comisión Europea.
- BUTTS, T.A (1988): *Development of design criteria for sidestream elevated pool aeration*. Illinois Department of Energy and Natural Resources.
- CASTILLO CASTILLO, L. (2012): *Manual Ecológico Seco*, www.slideshare.net/PlanHuerta/castillo-lourdes-manual-sanitario-ecologico-seco
- CEDEX-CENTA (2010): *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

- CENTA (2007): *Manual de tecnologías no convencionales para depuración de aguas residuales*. Fundación Centa.
- COMISIÓN EUROPEA (2001): *Procesos extensivos de depuración de aguas residuales*, Oficina Internacional del Agua, Francia, ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/info/pdf/waterguide_es.pdf
- GRUPO TAR (2008): *Investigación y desarrollo tecnológico en ingeniería del agua posible. Desarrollo de canales abiertos de saneamiento (CAS)*, Junta de Andalucía, Sevilla.
- GRUPO TAR (2009): *Difusión internacional de la Ingeniería del Agua Posible. Experiencia de CAS en el exterior*, Ministerio de Medio Ambiente.
- HERNÁNDEZ LIZARRAGA, A. (2014): *Sistema Escalonado de Tratamiento de Aguas Residuales*. Proyecto Fin de Máster Ingeniería del Agua, Grupo TAR.
- IGME (2013): *La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno*, Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España.
- LAHORA, A. *Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: La EDAR de Los Gallardos (Almería)*, Gestión de Aguas del Levante Almeriense S.A. www.almediam.org/PDF/humedales_17.pdf
- LARA BORRERO, J.A. (1999a): *Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales*, Trabajo final de Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental, Instituto Catalán de Tecnología, UPC (Universidad Politécnica de Cataluña), Barcelona, www.aprchile.cl/pdfs/Humedales.pdf
- LARA BORRERO, J.A. (1999b): *Depuración de Aguas Residuales Urbanas mediante Humedales Artificiales*, Tesis de Maestría, Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental, UPC (Universidad Politécnica de Cataluña), Barcelona, sites.google.com/site/humedalesartificiales/
- LEBRATO, J., POZO-MORALES, L., PRIETO-THOMAS, A. DOMÍNGUEZ, V. et al (2004): *Tratamiento de Aguas. Modulo I*, Ed.Master en Ingeniería del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, I.S.B.N. 84-933034-3-7.
- LEBRATO, J., POZO-MORALES, L., PRIETO-THOMAS, A. DOMÍNGUEZ, V. et al (2005): *Manual Municipal de Control de Vertidos. Apoyo técnico para la problemática de los vertidos*, Ed.Master en Ingeniería del Agua, Diputación de Sevilla, 84-934114-3-4.
- LUNA LOAYZA, C. (2010): *Tratamiento de aguas residuales servidas con escaleras de oxigenación en pequeñas comunidades campesinas de la Sierra Peruana: Caso de las comunidades Huaccoto y Kircas*. Proyecto Fin de Máster Ingeniería del Agua, Grupo TAR.
- MORENO MARÍN, A. (2008): *Fotobiorreactor cerrado como método de depuración de aguas residuales urbanas*, Tesis doctoral, idus.us.es/xmlui/handle/11441/15673
- PALMA CARAZO, I.J. (2003): *Las aguas residuales en la arquitectura sostenible. Medidas preventivas y Técnicas de Reciclaje*. Ed. EUNSA.
- POZO-MORALES, L. (2010): *Canales autoconstruibles de saneamiento como sistemas de transporte, evacuación y mejora de calidad de aguas negras*, Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla.
- POZO-MORALES, L. et al (2011): *Tratamientos convencionales y posibles del agua*. Ed.Escuela Internacional de Ingeniería del Agua de Andalucía.
- POZO-MORALES, L., FRANCO, M., GARVI, D. y LEBRATO, J. (2013): "Influence of the stone organization to avoid clogging in horizontal subsurface-flow treatment wetlands" en *Ecol Eng*, 54 (2013) pp.136-144.
- POZO-MORALES, L., FRANCO, M., GARVI, D. y LEBRATO, J. (2014): "Experimental bases for the design of horizontal subsurface flow treatment wetlands in naturally aerated channels with an anti clogging stone layout", en *Ecol Eng*, 70 (2014), pp. 68-81, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857414001761
- ROSALES ESCALANTE, E. (2006): *Manual para la construcción de biojardineras. Iniciativa Integrada para un Ambiente Urbano Sostenible*, es.scribd.com/doc/86342156/Manual-Construccion-y-mantenimiento-de-biojardineras-ACEPESA#scribd
- SENACYT (2010): *Guía para la Selección de Tecnologías de Depuración de Aguas Residuales por Métodos Naturales*. Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador) y Senacyt.
- SHILTON, A. (2005): *Pond Treatment Technology*, IWA Publishing.

TALIB, A.D., YUSOFF, A., SHAHRIR A. y ROSLINA AIDA R. (2010) *Fundamental development and the design of an efficient cascade aerator*.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (2008): *Constructed Wetlands Manual*.

4.2.4. SOBRE LA GESTIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-ENERGÍA

AAE-Agencia Andaluza de la Energía (2009): *La incorporación de la energía solar al proyecto arquitectónico*, Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa, Junta de Andalucía, Sevilla, www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/5_incorporacion__energia_solar_proyecto_arquitectonico.pdf

AGUADO ALONSO, J. "Vínculo entre Agua y Energía. Una oportunidad para el ahorro de recursos". *Revista electrónica madri+d*, www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2010/07/19/131479

AVEN-Agencia Valenciana de la Energía (2008): *Guía práctica de Energía Solar Térmica*, Depósito Legal: V-1051-2008, Valencia.

CABRERA, E. (2011): *El binomio agua -energía. ¿Un asunto de moda o de interés real?*, Fundación Ciudadanía y Valores, Valencia.

CALIFORNIA ENERGY COMMISSION (2005): *California's Water-Energy Relationship. Final staff report*. LA, CA, www.energy.ca.gov/2005publications/CEC-700-2005-011/CEC-700-2005-011-SF.PDF

COMUNIDAD DE MADRID (2012): *Guía de Hidroeficiencia Energética*, Consejería de Economía y Hacienda y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid y Fenercom, Madrid. www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-Hidroeficiencia-fenercom-2012.pdf

FERRO, F. y LENTINI, E.J. (2015): *Eficiencia energética y regulación económica en los servicios de agua potable y alcantarillado*, Publicación de las Naciones Unidas, Santiago de Chile, repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37630/S1421127_es.pdf;jsessionid=4B41192CC5D03371C977B0F11487B3F2?sequence=1

IDAE (2010): *Guía técnica de agua caliente sanitaria central*, en Serie "Ahorro y Eficiencia Energética en la Climatización." http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_08_Guia_tecnica_agua_caliente_sanitaria_central_906c75b2.pdf

IDAE (2011): *Análisis del consumo energético del sector residencial en España, Informe final*, 16 de julio de 2011, Proyecto SECH-SPAHOUSEC, Secretaría General Departamento de Planificación y Estudios, www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf

MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, F.J. (2011): *Estudio de la huella energética del abastecimiento urbano de agua de la provincia de Almería*, Trabajo de Investigación, Master Agua y Medio Ambiente en Áreas Semiáridas (AQUARID). Dpto. Hidrogeología y Química Analítica. Universidad de Almería. repositorio.ual.es:8080/jspui/bitstream/10835/1152/1/Estudio%20de%20la%20Huella%20Energetica%20del%20Abastecimiento%20Urbano%20de%20Agua%20de%20la%20Provincia%20de%20Almeria_Martinez%20Rodriguez,%20Francisco%20Javier.pdf

NOVOTNY, V., ELMER, V. FURUMAI, H., KENWAY, S. y PHILLIS, O. (2010): *Water and Energy framework and footprints for sustainable communities*. World Water Congress, IWA Cities of the future program.

ONU (2014a): *Conferencia Anual 2014 "Preparando el Día Mundial del Agua", 13-16 Enero 2014: Alianzas para mejorar el acceso, la eficiencia y la sostenibilidad del agua y la energía*, Zaragoza. www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_energy_2014/

ONU (2014b): *Informe de la Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2014. Resumen Ejecutivo Agua y Energía*. Zaragoza, unesdoc.unesco.org/images/0022/002269/226962S.pdf

TELLINGHUISEN, S. (2009): *Water Conservation = Energy Conservation*, Western Resource Advocates, Colorado (EEUU).

WANG, Y.D. (2009): *Integrated Policy and Planning for Water and Energy*, Journal of Contemporary Water Research & Education, 142: 46-51. onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1936-704X.2009.00052.x/full

* * *