

El Desarrollo Urbano Sensible al Agua.

Un marco conceptual y estratégico
para la gestión sostenible del
Sistema de Agua Urbana

Julio de 2021

Autores:

Joaquín Suárez López
Jerónimo Puertas Agudo
José Anta Álvarez



El Desarrollo Urbano Sensible al Agua. Un marco conceptual y estratégico para la gestión sostenible del Sistema de Agua Urbana

Autores:

Joaquín Suárez López
Jerónimo Puertas Agudo
José Anta Álvarez

GRUPO DE INGENIERÍA DEL AGUA Y DEL MEDIO AMBIENTE
UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN. MARCO CONCEPTUAL.....	4
1.1. La gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH)	4
1.2. Ciudad, sostenibilidad y agua	5
2. DEL CICLO AL SISTEMA DE AGUA URBANA	8
2.1. Concepto de sistema.....	8
2.2. Del ciclo urbano del agua al "sistema de agua urbana"	9
2.3. La gestión integrada del agua urbana a partir de la visión sistémica	18
2.4. La gestión sostenible de las aguas pluviales y los SUDS	24
3. PRINCIPIOS Y BASES TÉCNICAS PARA LA PROPUESTA DE UNA ESTRATEGIA DE DESARROLLO SENSIBLE AL AGUA	32
3.1. El DUSA como nuevo enfoque en la planificación y gestión de agua	32
3.2. Objetivos del DUSA.....	33
4. RELACIONES DEL SISTEMA DEL AGUA URBANA CON EL ECOSISTEMA INSTITUCIONAL Y OTROS SISTEMAS URBANOS	35
4.1. Ecosistema institucional.....	36
4.1.1. Marco institucional	36
4.1.2. Marco legal	36
4.1.3. Marco económico	37
4.1.4. Participación pública.....	37
4.2. Sistemas urbanos	38
4.2.1. Transporte	38
4.2.2. Energía	38
4.2.3. Residuos sólidos.....	38
4.2.4. Salud	39
4.2.5. Zonas verdes	39
4.2.6. Diseño urbano.....	39
5. MARCO CONCEPTUAL DE ANÁLISIS: DIAGNÓSTICO DUSA	40

1. INTRODUCCIÓN. MARCO CONCEPTUAL

1.1. La gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH)

Hoy en día está reconocido que la gestión integrada de los recursos hídricos y la buena gobernanza son claves en el desarrollo de las políticas del agua que busquen la sostenibilidad.

La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) fue definida por el Comité Técnico de la Asociación Mundial para el Agua (GWP, son sus siglas en inglés, 2000) como "un proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante, pero de manera equitativa, y sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas". Se puede encontrar un abanico de definiciones similares en distintas agencias de Naciones Unidas y organizaciones vinculadas a gobiernos o no gubernamentales.

La GIRH es un proceso de cambio, que busca transformar los sistemas insostenibles de desarrollo y gestión de los recursos hídricos. Tiene un enfoque intersectorial, diseñado para reemplazar el enfoque tradicional y fragmentado de la gestión del agua, que ha derivado en servicios pobres y un uso inadecuado del escaso recurso.

El término "gestión integrada" destaca la necesidad de un enfoque global (holístico) o sistémico, con el fin de agrupar varios sectores, como la salud, la agricultura o la industria (integración horizontal), y varios niveles, como el regional, el nacional, el municipal, el doméstico, etc. (integración vertical). La GIRH busca reemplazar el enfoque tradicional sectorial y fragmentado por uno intersectorial, donde el agua es un componente importante de los ecosistemas, pero también del desarrollo, ya que engloba un valor económico, social y ambiental, y su uso debe estar acorde con el bien común, asegurando la igualdad y sostenibilidad del mismo. Operativamente, el enfoque de GIRH involucra la aplicación de conocimiento de diversas disciplinas, así como las perspectivas de diversos factores para elaborar e implementar soluciones eficientes, equitativas y sostenibles a los problemas hídricos y de desarrollo.

Son principios generalmente aceptados para la gestión integrada del agua la superposición de dos realidades físicas innegables: la unidad del ciclo hidrológico y la cuenca fluvial como unidad básica de gestión.

Si bien el concepto de GIRH ha progresado y se consolida en las cuencas hidrográficas, en el ámbito urbano todavía es necesario proceder a una revisión de conceptos y paradigmas. Los principios y objetivos de la GIRH no son privativas de las cuencas hidrográficas naturales o rurales; de hecho, su aplicación a cuencas urbanas es directa. Del mismo modo que se puede hablar de una cuenca hidrográfica natural se puede definir la "cuenca" urbana, y del mismo modo que se pueden analizar las componentes del ciclo hidrológico en un entorno natural, se puede analizar el "ciclo" del agua urbana.

Como es sabido, la gestión integrada del recurso hídrico no es un concepto binario, que se consigue totalmente o no se consigue en absoluto. No es fácil que un solo gobernante o un solo gestor sea el responsable de la totalidad de la decisión o la gestión. Se trata pues de un objetivo al que tender y que, en general, se alcanza de un modo secuencial en diferentes ciclos de planificación y acción. Todo esfuerzo en unificar decisión y gestión redundará en un avance hacia la GIRH.

En este documento se propone, en primer lugar, progresar sobre el concepto de "ciclo urbano del agua" y consolidar el de "sistema de agua urbana" para posteriormente presentar un marco conceptual y estratégico para la gestión sostenible del denominado "Sistema de Agua Urbana": el Desarrollo Urbano Sensible al Agua, así como una herramienta de análisis y diagnóstico.

1.2. Ciudad, sostenibilidad y agua

Las ciudades son ya ahora el hogar de más de la mitad de la humanidad. Este dato pone en énfasis en la necesidad de generar una reflexión sobre los modelos de ciudad actuales y su impacto sobre los ecosistemas acuáticos, así como sobre la relación de los ciudadanos de las urbes con los servicios de abastecimiento, saneamiento y drenaje. La ciudad es, probablemente, uno de los espacios más directos de aproximación de los individuos con la gestión del agua.

La concentración de la población en las ciudades provoca un progresivo aumento de la complejidad del diseño y gestión de las infraestructuras, y en particular de las relacionadas con la gestión del agua. Las infraestructuras para la conducción, tratamiento y distribución de agua potable, la recogida y depuración de las aguas residuales, o el drenaje de las aguas pluviales, cada vez requieren mayores inversiones para su construcción o ampliación, y cada vez son mayores los recursos que hay que destinar para su operación y mantenimiento con el fin de garantizar una calidad mínima en la prestación de los servicios.

Las directrices y políticas de instituciones y organismos internacionales de referencia en la gestión del agua inciden en la necesidad de mejorar el medio urbano como clave para lograr la sostenibilidad en el uso del recurso.

La ONU, por ejemplo, incide en que comprender las tendencias claves de los procesos de urbanización es crucial para avanzar y la implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Avanzar en el cumplimiento de los ODS implicará, claramente, establecer un nuevo marco para el desarrollo urbano.

Entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el objetivo 6, garantizar la disponibilidad de agua y saneamiento para todos, va más allá del agua potable y el saneamiento, y abarca la higiene, la gestión de las cuencas fluviales, con especial énfasis en la gestión integrada de los recursos hídricos, y las preocupaciones ambientales. Además, lógicamente, los ODS están interrelacionados y muchos dependen especialmente de la gobernanza y la gestión eficaces del agua para su uso en fines alimentarios, para proteger el medio ambiente y para controlar las enfermedades transmitidas por las aguas residuales y por las propias aguas de abastecimiento, si no hay un control adecuado. En el objetivo 11 el agua es claramente uno de los protagonistas para lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.



Figura 1.- Objetivo 6 y su relación más directa con otros ODS.

Más recientemente, la Nueva Agenda Urbana (NAU), documento resultante de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III), que se llevó a cabo en octubre de 2016 en Quito (Ecuador), y que como objetivos fundamentales tiene promover la calidad de vida, una economía incluyente y competitiva, y el desarrollo urbano resiliente y sostenible, cita el agua en 13 de los 175 epígrafes.

La unión Europea en el Sexto Programa Marco «Medio ambiente 2010: el futuro está en nuestras manos», y más concretamente en su “Estrategia temática para el medio ambiente urbano”, establecía como objetivo principal el “contribuir a una mejor calidad de vida mediante un enfoque integrado centrado en las zonas urbanas y de hacer posible un alto nivel de calidad de vida y bienestar social para los ciudadanos proporcionando un medio ambiente en el que los niveles de contaminación no tengan efectos perjudiciales sobre la salud humana y el medio ambiente y fomentando un desarrollo urbano sostenible”

Más recientemente en Europa se han desarrollado las “Estrategias de desarrollo urbano sostenible e integrado” (EDUSI). El artículo 7 del Reglamento FEDER (Reglamento (UE) n.º 1301/2013), recogía que a lo largo del periodo 2014-2020 al menos un 5% de los recursos de este fondo debían ser destinados a financiar medidas integradas para el desarrollo urbano sostenible, en las que las ciudades. El agua era un tema clave en el análisis ambiental y de las condiciones climáticas.

Ya en la actualidad es el “Pacto Verde Europeo” (*Green Deal*) quien establece la nueva hoja de ruta para dotar a la UE de una economía sostenible. La realización de este objetivo exigirá que los retos climáticos y medioambientales se transformen en oportunidades en todos los ámbitos políticos y que se logre una transición justa e integradora para todos.

El Pacto Verde Europeo establece un plan de acción para impulsar un uso eficiente de los recursos mediante el paso a una economía limpia y circular, y restaurar la biodiversidad y reducir la

contaminación. Los ámbitos de actuación de este pactos son muy diversos pero es de gran interés el denominado "Construir y renovar", que se enfoca en conseguir un sector de la construcción más limpio.

También, hoy en día, a nivel internacional, existen diversas estrategias o enfoque metodológicos, que tratan de ayudar a comprender mejor el funcionamiento de las ciudades y su impacto sobre el territorio y las cuencas hidrológicas, lo cual repercute en una mejor planificación y gestión del recurso agua en ellas. En estas estrategias se utilizan enfoques eco-integradores, más completos y sistémicos, que consideran los múltiples impactos territoriales del uso y consumo del agua en las ciudades. Se pueden citar como ejemplos el enfoque "Desarrollo de bajo impacto" (LID), la "Gestión Integral de las Aguas Urbanas" (GIAU), la "Economía circular", el enfoque de la ciudad como "metabolismo urbano", la estrategia "Ciudades del Futuro" (IWA), el "Programa de Ciudades Esponja" (*Sponge Cities*) lanzado por el Gobierno Chino en 2015-2016 (la ciudad de Wuhan fue elegida como piloto por su vulnerabilidad frente a las inundaciones) o el "Water Sensitive Urban Desing" (WSUD). Se podrían citar algunas más.

La "Comisión Nacional del Agua" de Australia define el WSUD como la estrategia que permite garantizar que la gestión del agua urbana es sensible a los ciclos hidrológicos y ecológicos naturales, integrando en la planificación urbana la gestión, protección y conservación de los ecosistemas acuáticos.

Un concepto similar al WSUD es el de "Low Impact Development" (LID) o "Desarrollo de bajo impacto", más utilizado en EE.UU. Al igual que el WSUD, el LID es una estrategia de desarrollo urbano, de urbanización o re-urbanización, que se apoya en los procesos naturales para gestionar las aguas pluviales lo más cerca posible de su origen. En el LID se emplean principios tales como la preservación y la regeneración de las características naturales del territorio, minimizando las superficies impermeables para crear un sistema de drenaje que trate a las aguas pluviales como un recurso y una oportunidad, más que un flujo residual.

Asociada a las estrategias o enfoques de planificación basados en el LID se encuentran el uso de la "Infraestructura verde". "Infraestructura verde" es un término relativamente nuevo y flexible, que se ha utilizado de manera diferente en diferentes contextos. Benedict y McMahon (2006), en su libro de "Green Infrastructure" lo han definido en términos generales como "una red interconectada de espacios naturales y otros espacios abiertos que conserva valores y funciones de los ecosistemas naturales, sostiene el aire limpio y el agua, y ofrecen una amplia gama de beneficios para las personas y la vida silvestre". Sin embargo, la EPA, en su intento de aplicar la "Infraestructura Verde. Declaración de intenciones" (2007), prefiere utilizar el término "infraestructura verde" para referirse, en general, a sistemas y prácticas que utilizan o imitar los procesos naturales tales como infiltración, evapotranspiración (el retorno del agua a la atmósfera, ya sea por evaporación o por las plantas), o uso de las aguas pluviales y las escorrentías en el lugar donde se generan.

Cualquiera de estas estrategias y enfoques comienzan por un conocimiento y un diagnóstico de dónde viene, cómo se utiliza y fluye el agua por las aglomeraciones urbanas. Un buen diagnóstico no es posible sin una visión completa de los elementos que participan y las relaciones que se establecen entre ellos. Los análisis que se realizan de forma tradicional suelen ser incompletos y sectoriales, fragmentados, y por lo tanto no válidos para el objetivo deseado. La visión sistémica, integrada es clave.

A continuación, se hace un análisis y una valoración del sistema de agua urbana que pretende ser más completa y, por lo tanto, más útil en la planificación, en la ejecución de inversiones, en la resolución de ineficiencias y problemas, y se considera que permite un avance más claro hacia la sostenibilidad del uso del recurso y la protección de los medios acuáticos naturales.

2. DEL CICLO AL SISTEMA DE AGUA URBANA

En este apartado se va a presentar el denominado "sistema de agua urbana", pero es fundamental comenzar recordando el concepto de sistema.

2.1. Concepto de sistema

Una definición de "sistema" es la siguiente: conjunto de partes o elementos organizados y relacionados que interactúan entre sí para lograr un objetivo. De forma general se puede decir que los sistemas reciben datos, energía o materia del ambiente (entrada) y proveen información, energía o materia (salida). El sistema circulatorio humano es un buen ejemplo de sistema.

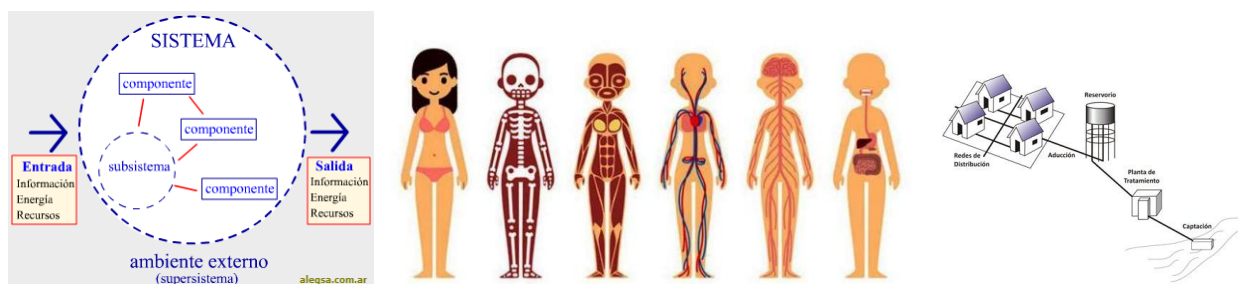


Figura 2. – Croquis sobre el concepto de sistema y ejemplos.

Cada sistema puede ser estudiado con el objetivo de comprender el funcionamiento del mismo, descubrir sus límites/fronteras visibles y/o no visibles, entender los objetivos del mismo y cómo interactúan sus partes o con otros sistemas externos.

Cada sistema existe dentro de otro más grande y, por lo tanto, un sistema puede estar formado por subsistemas y componentes, y a la vez puede ser parte de un super-sistema (supra-sistema).

En el ámbito del agua urbana es habitual hablar de sistemas de abastecimiento, sistemas de drenaje y de sistema de saneamiento; cuando se trata de agregar a todos se suele hacer referencia al ciclo urbano del agua.

Cuando se habla, por ejemplo, de sistema de abastecimiento es necesario tener en cuenta que en él interactúan partes artificiales (conductos, depósitos; subsistema artificial), partes naturales (el medio acuático del cual vamos a captar el agua; subsistema natural) y las personas que usan el agua o las que hacen posible que funcione, por ejemplo (subsistema social).

Otra característica muy importante a tener en cuenta en estos sistemas citados es que no son estáticos, son dinámicos, y que evolucionan en el tiempo y, por lo tanto, es preciso que tengan una gran capacidad de adaptación, una alta resiliencia.

2.2. Del ciclo urbano del agua al “sistema de agua urbana”

Es frecuente encontrar representado el ciclo urbano del agua como en las siguientes figuras.

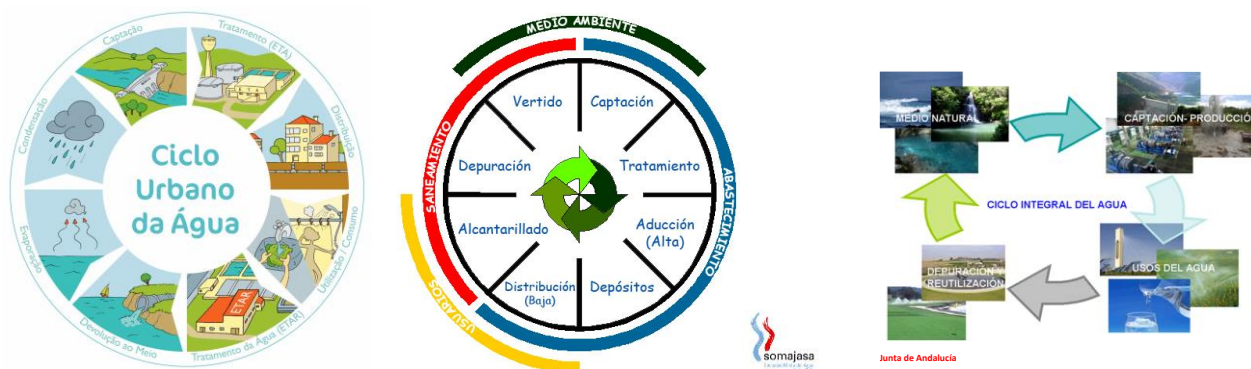


Figura 3.- Representaciones tradicionales del “ciclo” del agua urbana.

Todas ellas tienen dos cosas en común: tratan de reproducir, de cierta forma, el ciclo natural del agua, y en todas ellas aparece el medio natural como uno de los eslabones del ciclo. En algunas de las figuras se ve, incluso, que se trata de integrar la reutilización, pero de forma poco afortunada.

En realidad, el “ciclo” urbano convencional del agua es lineal, y se parece más a la figura que se presenta a continuación.

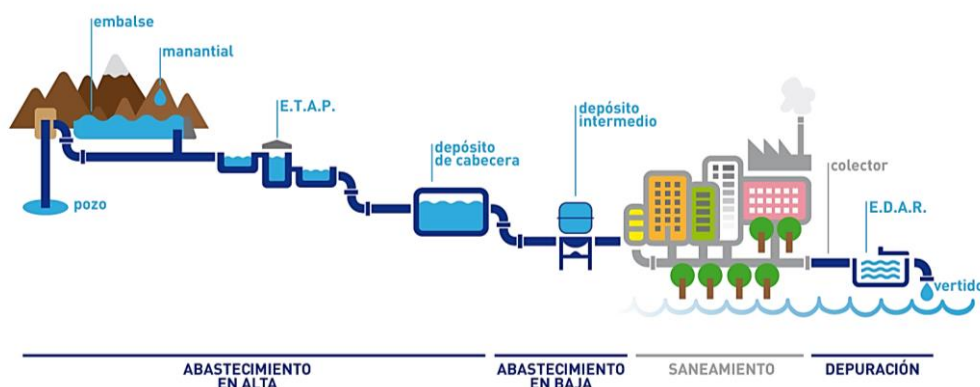


Figura 4.- Uso lineal del agua en las zonas urbanas.

Sin embargo, este esquema es deficiente y escaso, y realmente no permite avanzar en la gestión sostenible del recurso agua, y no integra las nuevas realidades y paradigmas en el agua urbana: la regeneración de aguas residuales para su reúso, el reciclaje de las aguas grises, el aprovechamiento y la

gestión avanzada de las aguas pluviales y de escorrentía, las nuevas estrategias de gestión de las aguas pluviales en sistemas unitarios, el uso de agua desalada, etc.



Figura 5.- Nuevas realidades en la gestión del agua urbana.

Para integrar estos nuevos elementos, y sus interacciones con el resto, es necesario proponer, y hacer evolucionar, un nuevo modelo que permita comprender mejor la complejidad del agua urbana. Es necesario pasar de una visión lineal a una visión circular verdadera, y no de un solo ciclo, sino de varios.

Un buen comienzo para ello es recoger principios y enfoques la GIRH y trasladarlos al agua urbana, como ya se ha citado anteriormente.



Figura 6.- La cuenca hidrológica como unidad básica de gestión a partir de una visión sistémica.

En este documento se propone hablar de Sistema de Agua Urbana en vez de ciclo de agua urbana. El concepto de sistema de agua urbana se considera que es más integrador y holístico, y permitirá hacer comprender y mejorar el uso del agua y las complejas relaciones que se producen en él, así como las interacciones con otros sistemas urbanos. Además, el pensamiento sistémico es una de las claves de la economía circular, en los que el agua es vector clave.

El pensamiento sistémico de la economía circular enfatiza acciones y flujos, analiza dónde las diferentes partes se relacionan entre sí y con el sistema, a diferentes escalas espacio-temporales y en relaciones con variables múltiples. Comprender los flujos en sistemas complejos también nos dice algo más sobre la compensación entre eficiencia y resiliencia.

Para avanzar en este nuevo esquema conceptual también es necesario recordar qué se entiende por gestión del agua. Una buena descripción es la siguiente: "la gestión del agua trata de satisfacer el conjunto de necesidades, minimizando los conflictos entre los diversos usos y preservando al máximo el medio natural, con un coste mínimo para la sociedad". Se trata de buscar la mayor compatibilidad posible entre las necesidades, los usos fuera y dentro del medio natural, y de la protección y mejora de las masas de agua. En la figura se muestra de forma gráfica.



Figura 7.- La relación entre usos consuntivos, no consuntivos y las masas de aguas naturales.

La línea horizontal discontinua trata de representar la separación entre los usos consuntivos, fuera del medio natural, y el medio natural, y los usos que en él se realizan, además del ecosistema a él asociado. A partir de esta división básica se puede empezar a dibujar el sistema de agua urbana básico o tradicional.

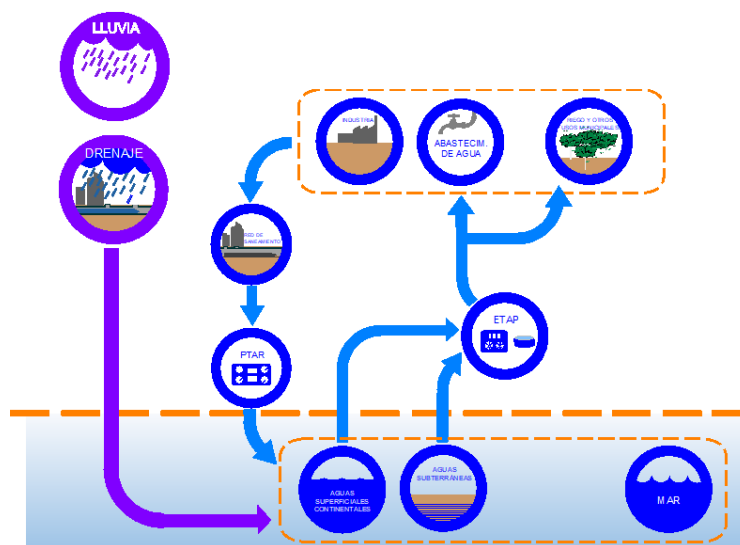


Figura 8.- Elementos y flujos básicos tradicionales del sistema de agua urbana. Configuración en sistemas de saneamiento y drenaje separativo.

Si se empiezan a considerar las nuevas prácticas para aumentar la disponibilidad recurso se puede añadir, por ejemplo, la desalación, que hoy en día es factible a costes relativamente asequibles en determinados contextos socio-económicos.

La regeneración de agua residual y su reúso planificado y seguro, también debe ser incorporada al diagrama. El agua regenerada supone una nueva oportunidad, una fuente complementaria. No se incrementa el recurso, pero si su disponibilidad. Es clave en la economía circular del agua. Otra fuente de agua complementaria son las aguas grises. El reciclaje de agua gris tratada, hasta un cierto nivel en función de los usos, también representa una fuente cuyo potencial debe ser valorado.

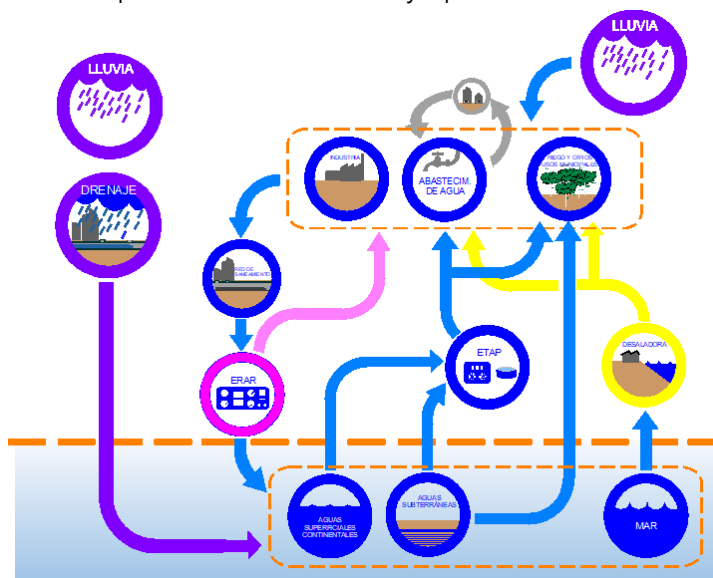


Figura 9.- El sistema de agua urbana incorporando fuentes complementarias/alternativas para usos consuntivos.

En este nuevo diagrama del sistema de agua urbana, los flujos y las interacciones se han multiplicado. Es una visión más compleja y holística, que mira más hacia el futuro.

Un análisis más detallado de los componentes y de sus relaciones pondría de manifiesto la importancia de seis variables básicas:

- Los aspectos cuantitativos: volúmenes, caudales, ...
- Los aspectos cualitativos: presencia de sustancias (mg/L, $\mu\text{g/L}$). La gestión diferencial de la calidad del agua es un nuevo reto a considerar.
- Los aspectos económicos: €/m³.
- Los aspectos energéticos: kw.h/m³
- Los aspectos sociales.
- Los aspectos vinculados a la preservación y mejora de las masas de agua.

El sistema ha sido revisado en la parte de suministro para usos consuntivos, pero no ha sido revisada la parte de saneamiento y drenaje, pero, como ya se ha citado, uno de los retos actuales más importantes es la gestión sostenible de las aguas pluviales y de escorrentía, y no solamente desde un punto de vista cuantitativo.

Los sistemas de saneamiento y drenaje quedan, de manera general, divididos en sistemas de saneamiento combinado, o unitario, y sistemas de saneamiento separativo. Estas variantes del sistema de saneamiento y drenaje deben ser incorporadas al diagrama general.

Una de las ineficiencias más importantes que se producen en los sistemas de saneamiento unitario es la generación de desbordamientos de sistemas unitarios (DSU) en tiempo de lluvia por los aliviaderos de la red y por los de cabecera de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Los DSU han sido ampliamente caracterizados en todo el mundo y se caracterizan por tener, de media, concentraciones similares en DBO₅ y DQO, y el doble en sólidos en suspensión que las aguas residuales de tiempo seco. Las concentraciones máximas son del orden de 3 a 5 veces los valores medios. Suponen un impacto muy significativo sobre las masas de agua receptoras.

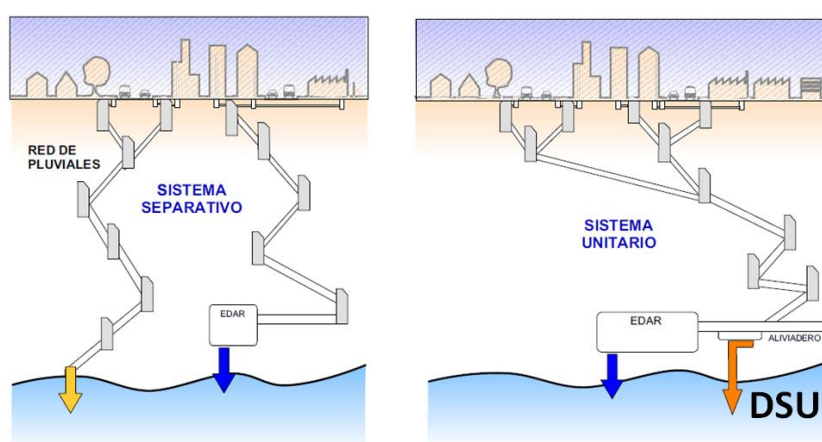
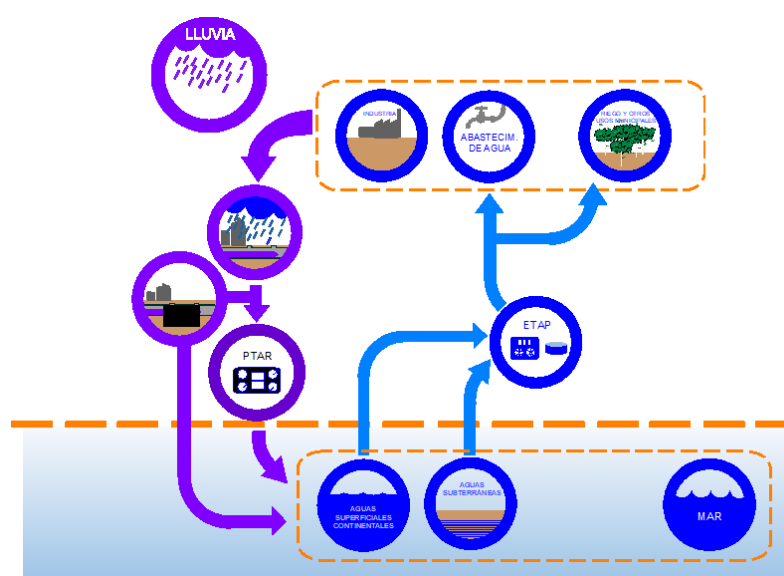


Figura 10.- Los desbordamientos del sistema de saneamiento combinado.

Son soluciones que podrían denominarse curativas y deben ser acompañadas por otras más sostenibles. La construcción de redes “verdaderamente separativas” es un gran avance en la mejora de la eficiencia de los sistemas de saneamiento y drenaje.



Las ciudades, como consecuencia de su evolución histórica, suelen tener subcuencas separativas y subcuencas con sistema combinado; son sistemas mixtos. Además, en la mayoría de los separativos esta separación no es total y muchas aguas pluviales acaban circulando por los conductos de aguas fecales, no estando dimensionados para ello, ni ellos ni la PTAR. Si a esta realidad la sumamos la existencia de flujos de infiltración en las redes y las conexiones ilícitas de aguas residuales a las redes de drenaje de pluviales, el sistema de saneamiento y drenaje empieza a parecerse más a los reales.

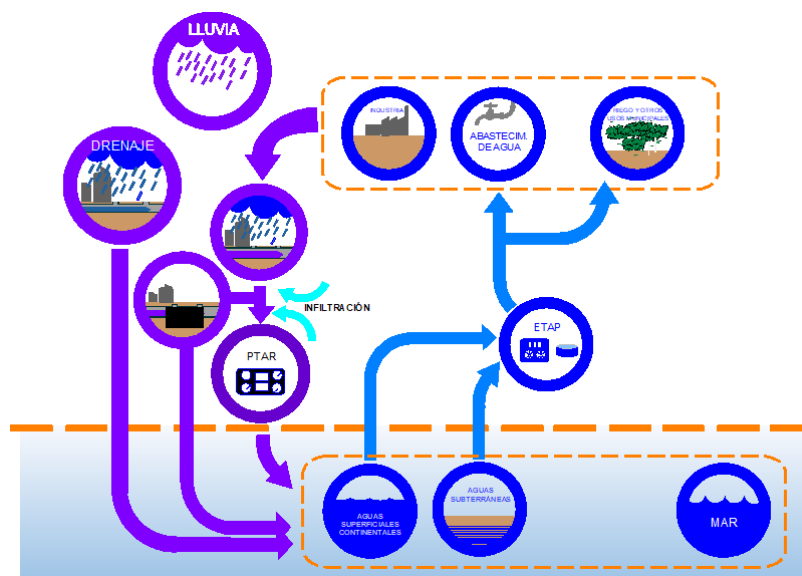


Figura 12.- Elementos y flujos del sistema de saneamiento y drenaje en el sistema de agua urbana.

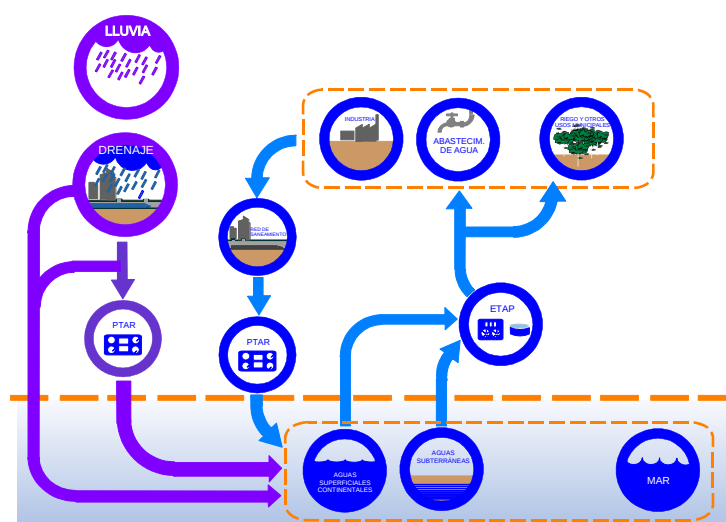


Figura 13.-Implantación de técnicas para el control de la contaminación de escorrentías contaminadas e impactos hidromorfológicos.

No obstante, también es necesario hacer notar que la construcción de redes separativas no siempre es la solución más sostenible. La posible contaminación de las aguas de escorrentía y los impactos hidromorfológicos sobre los ecosistemas acuáticos son aspectos a tener en cuenta y deben de condicionar el diseño de los sistemas de drenaje aguas pluviales. Las aguas de escorrentía que lavan y arrastran la contaminación de determinados suelos urbanos se pueden cargar de contaminación alcanzando concentraciones peores que las de las aguas residuales urbanas. Las escorrentías de vías con una muy alta intensidad de tráfico son un buen ejemplo.

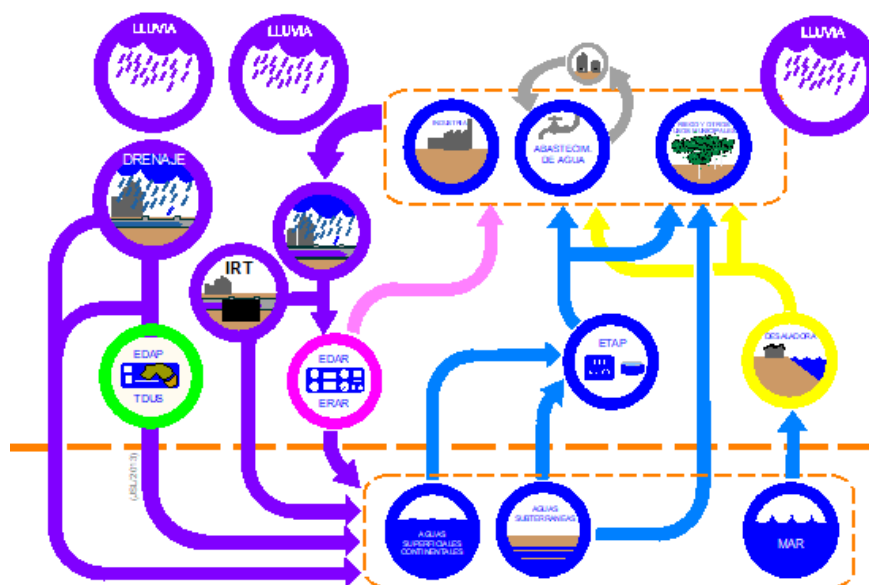


Figura 14.- Esquema del sistema de agua urbana completo.

El esquema de la figura anterior, mucho más complejo que los esquemas iniciales y que el tradicional "ciclo del agua urbana", incluso suponiendo la existencia de todos los nuevos elementos y flujos, es muy ineficiente en la parte de saneamiento y drenaje. Las aguas pluviales perturban todo el funcionamiento de las infraestructuras y la prestación de los servicios. La gestión de las aguas pluviales en los entornos urbanos se ha ido resolviendo con una visión parcial y fragmentada, muy orientada los aspectos cuantitativos, lo cual es esencial, pero muy a menudo resolviendo problemas en subcuencas pero no pensando la influencia aguas abajo, lo cual precisa de planificación, y no se han tenido en cuenta los impactos ambientales por la posible presencia de contaminantes o los impactos hidromorfológicos sobre los ecosistemas acuáticos. Tampoco se han tenido en cuenta las interconexiones con la red de fecales y todo lo que ello conlleva, sobre todo sobre las PTAR. Se ha trabajado con esquemas muy idealizados.

Se deben empezar a cambiar las prácticas y enfoques. Las nuevas estrategias de gestión del sistema de agua urbana deben buscar, entre otros objetivos, que el agua pluvial sea un recurso y no un problema.

El problema, realmente, debe ser atajado en su origen, en la gestión de las aguas pluviales allí en donde caen, en la superficie de la cuenca. Una de las herramientas fundamentales en esta gestión integrada de las aguas de lluvia es el uso de técnicas de drenaje sostenible, y tener como objetivo futuro la creación de un sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS).

Las técnicas de gestión sostenible del agua pluvial y del agua de escorrentía son parte de las denominadas técnicas SUDS, es decir, técnicas que en un gran número luego conformarán el Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) se diseñan para maximizar las oportunidades y los beneficios que se pueden obtener de la gestión del agua superficial. Se puede considerar que la creación de SUDS permite alcanzar beneficios en cuatro ámbitos: cantidad de agua, calidad del agua, servicios urbanos y biodiversidad.

La gestión del agua de lluvia para su valorización o aprovechamiento es normal que, hoy en día, se integre dentro de las estrategias de gestión integrada del agua urbana, en donde juegan un papel muy importante.

El diagrama final obtenido pone de manifiesto la necesidad de una visión sistémica, de malla, que precisa de análisis y balances más complejos, pero que permitirá avanzar en la sostenibilidad de la gestión del agua urbana. Permite identificar también las oportunidades de desarrollo de economía circular.

Los nuevos componentes integrados y las nuevas conexiones representadas ponen de manifiesto que el análisis independiente del sistema de abastecimiento, del sistema de saneamiento y del sistema de drenaje, oculta conflictos e ineficiencias, a la vez, oportunidades de mejora y progreso.

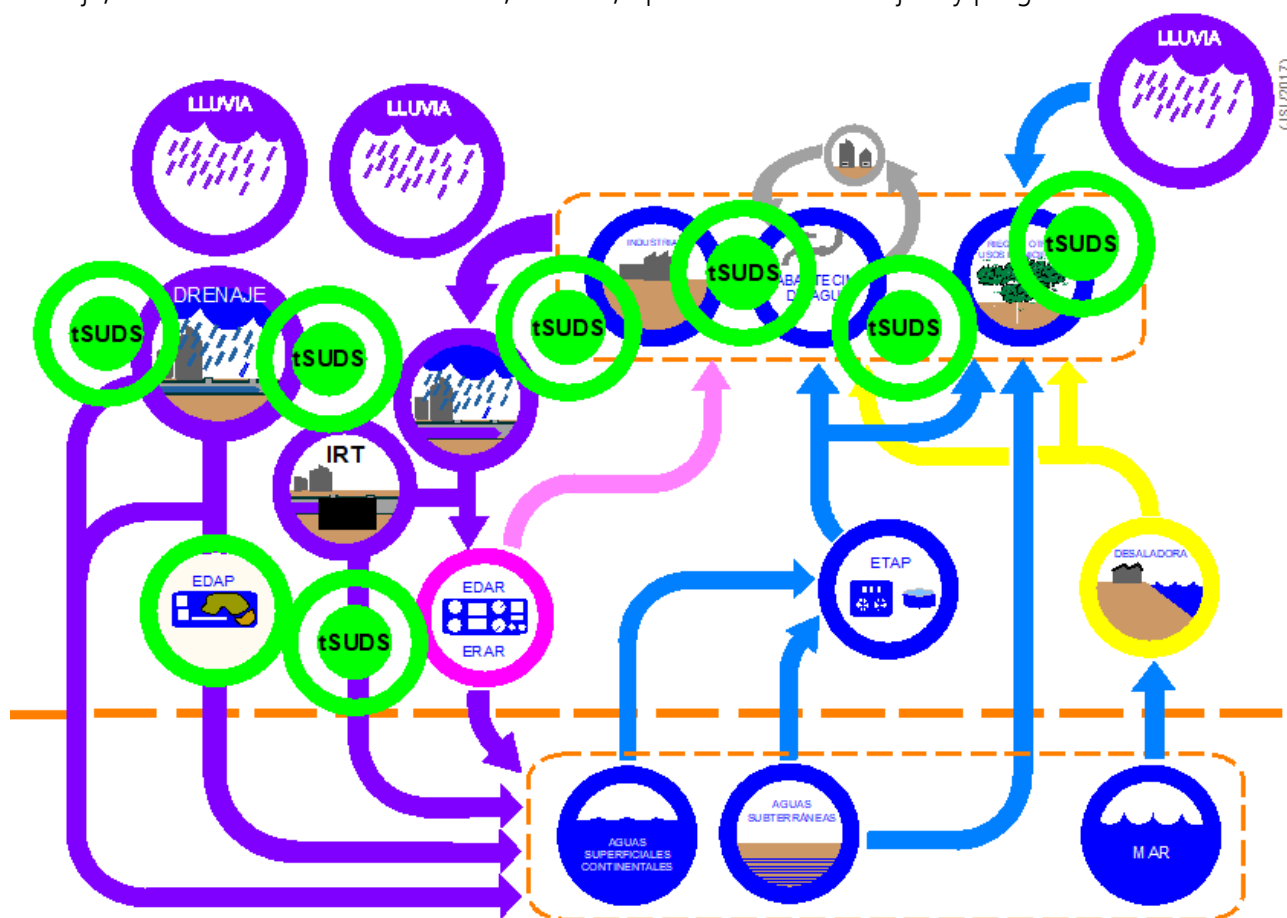


Figura 15.- La integración de las técnicas SUDS en el sistema de agua urbana.

El esquema de la figura anterior muestra (de un modo algo complejo, porque es una interacción compleja), componentes y flujos de agua en el entorno urbano. Se puede observar cómo se contemplan distintas fuentes de agua: abastecimiento tradicional, a partir de fuentes superficiales o freáticas, aguas grises, aguas pluviales o en casos necesarios recursos no convencionales como aguas desaladas, y cómo aparece una red de interacción entre todas ellas y las aguas residuales (tras su depuración o regeneración). Esta red tiene forma de malla y no de ciclo, por lo que habría que comenzar a hablar de sistema de agua urbana.

2.3. La gestión integrada del agua urbana a partir de la visión sistémica

Para comprender mejor el sistema de agua urbana se propone realizar un análisis desde una visión más simple, con menos elementos para posteriormente indagar en la complejidad de las interacciones ya puestas de manifiesto.

Desde una aproximación general se puede indicar que en el medio urbano conviven, además de los medios naturales fluviales y/o costeros, tres tipos de flujos de agua: el agua de abastecimiento o suministro en general, que puede tener una o varias fuentes; el agua usada o residual, con niveles de contaminación significativos, en general; y el agua pluvial, prácticamente limpia en origen, pero de fácil degradación si no se toman las medidas adecuadas. Un enfoque integrador y sistémico permite la superposición de ámbitos, de las zonas de solape, existentes entre ellas y permite una visión más eficiente para el análisis del sistema de agua urbana



Figura 16.- Croquis básico para el análisis de las interacciones entre las "tres aguas".

En la Figura 16 se muestran algunas de sus posibles interacciones, en el marco de la GIRH (o gestión integrada del agua urbana, en el entorno propiamente urbano). Sin ánimo de ser exhaustivos, se resaltan algunas de las medidas apuntadas en la figura y que implican la interacción global entre las masas de agua. En la superposición del ámbito de las aguas de abastecimiento y de las aguas residuales (aguas usadas) aparece la gestión de la demanda, el reciclaje de agua gris, y el reúso de aguas residuales. En la superposición del abastecimiento con las aguas pluviales y de escorrentía aparece el aprovechamiento de aguas subterráneas y de las aguas pluviales y de escorrentía (muchas de las técnicas de drenaje sostenible utilizan como estrategia de gestión la infiltración de agua al subsuelo, por lo que las aguas

subterráneas adquieren importancia en el ámbito urbano). En la superposición del saneamiento con las aguas pluviales y de escorrentía aparece la gestión de los desbordamientos de los sistemas unitarios (DSU), la gestión de aguas pluviales en las PTAR, o la reducción de la infiltración.



Figura 17.- Oportunidades de gestión sostenible del recurso agua en el sistema de agua urbana .

Si se centra el foco de atención en el **abastecimiento**, un punto fundamental es la diversificación de las fuentes y su especialización en función del tipo de uso. En el pasado los esfuerzos para satisfacer el crecimiento de la demanda de agua de abastecimiento consistían principalmente en incrementar la oferta de recursos, que eran abundantes, con buena calidad, y relativamente baratos. Hoy en día las estrategias más modernas en cuanto a la gestión de la demanda de agua en zonas urbanas se apoyan en la optimización y uso racional del agua, en la eficiencia en la distribución y la medición de consumos, y en una gestión diferenciada de la calidad del agua que permita incorporar a determinados usos las aguas grises, las aguas regeneradas y las aguas de lluvia, como recursos o fuentes complementarias.

El atender a una multiplicidad de demandas suele ser el problema fundamental a la hora de abordar la gestión integrada. En una cuenca natural de cierta extensión las demandas son muy variadas, y en general competitivas (consumo doméstico, industrial, riego, producción energética, etc.), por lo que la satisfacción de las mismas puede dar lugar a conflictos, si la oferta es escasa. El medio urbano no es una excepción, ya que se pueden observar fácilmente distintos tipos de demanda, entre otras las

domésticas y comerciales, las industriales o los usos públicos, municipales normalmente (riego de parques y jardines, limpieza de calles, etc.). El método clásico de satisfacción de estas demandas es a través del suministro de agua potable. En el caso de que se produzca un episodio de escasez, algunos de estos usos se limitan (riego de parques, por ejemplo) pero no ha sido en un pasado inmediato usual considerar fuentes complementarias o alternativas a los suministros convencionales.

Es en este punto en el que cabe introducir una idea clave, que por sí sola justifica la gestión integrada del agua urbana: no todos los usos requieren la misma calidad del agua, y no es eficiente utilizar recursos de alta calidad para fines que no la requieren. Ya en 1958, el Consejo Económico y Social de la ONU propugnaba la política de no utilización de recursos de mayor calidad en usos que pueden tolerar calidades más bajas. Esta "máxima" es el fundamento del aprovechamiento de aguas pluviales, del reciclaje de las aguas grises y de la reutilización de las aguas residuales regeneradas. En una estrategia DUSA se debe fomentar el abastecimiento y uso racional del agua reservando la de mejor calidad, es decir el agua potable, para los usos más exigentes. A modo de ejemplo, no parece razonable utilizar agua potable (de alta calidad, por tanto) para lavar contenedores o baldear calles.

Ante una multiplicidad de demandas diversas en sus necesidades de calidad, los principios de la GIRH (que forman parte de cualquier estrategia de desarrollo urbano sostenible) imponen estudiar, planificar y gestionar una multiplicidad de fuentes, adecuadas a cada uno de los usos. La valoración de los aspectos cuantitativos cuando se dispone de diferentes fuentes (alternativas o complementarias) es importante, pero es clave la garantía de calidades en los suministros.

Una política de optimización y uso racional del agua, de ahorro de agua), que integre la gestión diferencial de la calidad del agua, además de preventiva en cuanto a contaminación, obliga a la revisión de hábitos de consumo y costumbres, con sus correspondientes enmiendas, para optimizar el aprovechamiento cuantitativo y cualitativo de este recurso por los distintos usuarios (particulares, empresas o instituciones) (implantación de estrategias avanzadas de gestión de la demanda). Además, el ahorro que reportan los sistemas para la gestión eficaz del agua se produce no sólo por el menor consumo de ésta, sino por el menor consumo de energía que lleva asociado (por ejemplo, en los bombeos o en el combustible para el calentamiento de la misma). Además, por supuesto, se obtienen beneficios en la conservación del recurso y el medio natural, evitando su degradación, eliminando los costes de la construcción de nuevas infraestructuras y haciendo más fácil el mantenimiento de las ya construidas.

Como ya se ha citado, son fuentes complementarias/alternativas las siguientes:

- Las aguas pluviales. El agua pluvial recogida en su origen y derivada a depósitos sin contacto con zonas de tráfico o zonas contaminadas, y sin contacto con aguas residuales, tiene un nivel de calidad que la hace apta para cubrir una amplia variedad de consumos urbanos (riegos públicos, por ejemplo, o consumos industriales) sin tratamiento adicional o con mínimos tratamientos. Se trata de una tendencia a futuro, aún sin explotar. Una gestión global del sistema permitirá incidir en los decisores en materia urbanística para una mejor gestión de las aguas pluviales.

- Por su parte, las aguas grises, generadas en las viviendas, en edificios de oficinas y servicios, y en las industrias tras un uso del agua que no implique la aportación de residuos fecales o con muchas materia orgánica o grasa, puede ser casi directamente utilizada, reciclada, para un uso en las proximidades de su punto de generación que requiera poca calidad (descargas en inodoros, riego, lavado de vehículos, etc.).
- Las aguas residuales, tras su regeneración, pueden tener un nivel de contaminación compatible con algunos usos, y si se llega a un nivel de tratamiento elevado, se puede considerar esta agua apta para una gran multitud de usos (quizá con la excepción del consumo humano, aunque técnicamente es una opción posible). De nuevo, esta reutilización supone un mejor aprovechamiento del recurso disponible y un aumento de la oferta real, con lo que se minimizan los episodios de escasez.
- Las aguas subterráneas, si las hay. A priori, el agua subterránea es una fuente de alto valor, regulada y de calidad homologable (o superior) a la del agua superficial. Obviamente su calidad debe ser adecuada, con lo que la protección de los acuíferos debe ser una prioridad. Aparecen en esta zona del diagrama porque van a estar muy vinculadas con las nuevas estrategias de gestión de las aguas pluviales.

El aprovechamiento de estas fuentes complementarias produce un ahorro neto en el consumo de agua potable y una reducción de las aguas residuales. Sin embargo, entre las tres fuentes de agua citadas anteriormente las dos primeras necesitan sistemas específicos de captación o distribución que pueden ser emplazados en cualquier vivienda o edificio, mientras que la tercera precisa instalaciones de suministro en las que están implicados diferentes agentes públicos (administración local, empresa suministradora, gestor de la EDAR, etc.) y cuya implantación y gestión requiere un procedimiento más complicado.

Es en los periodos de escasez donde se hace más evidente que se dispone de una oferta de recursos a nivel local, adecuados para satisfacer demandas que requieren distintas calidades, y que considerar estos recursos en una gestión integral, es el modelo apropiado para incrementar los índices de garantía al menor coste posible. Esta situación ilustra como el modelo de gestión integral de recursos también requiere de un gestor comprometido en su desarrollo, que se responsabilice de la explotación de las infraestructuras y de la asignación eficiente de oferta y demanda.

Es obvio que la gestión de estas interacciones exige la gestión integrada del sistema de agua urbana, ya que el agua abastecida, el agua pluvial (a drenar, según la visión clásica) y la residual, forman parte de un sistema integrado. Las ventajas no se agotan en la mejora de la garantía de suministro.

Si se considera como punto de vista el **agua pluvial**, aparecen nuevas virtudes, derivadas de un urbanismo sostenible. El problema tradicional del agua pluvial es su drenaje, para evitar inundaciones. Las inundaciones son tanto mayores cuanto mayor sea la impermeabilidad del medio urbano, porque se evita la infiltración (que es el método natural de captar el agua de lluvia por el terreno). Las medidas orientadas a captar y utilizar el agua pluvial cerca del punto donde llueve (conocidas como técnicas SUDS), que el gestor del ciclo integral del agua puede proponer a los responsables urbanísticos, alivian de un modo notable este problema.

El agua pluvial, limpia en origen, se degrada al circular por zonas de tráfico o de mucha intensidad de urbanización. La captación de un máximo de agua pluvial en origen, antes de su degradación, supone una ventaja ambiental y de generación de recursos, ya que el agua pluvial se puede valorizar para otros usos (por ejemplo, riego o limpieza de calles).

Las estaciones de depuración de aguas residuales (EDAR) no están preparadas para tratar la totalidad del agua pluvial, en época de lluvia, en sistemas en que el alcantarillado es unitario. Si las aguas pluviales se mezclan con las residuales, un cierto porcentaje de esta mezcla puede acabar en el medio natural sin depuración alguna. Cuanto mayor sea el volumen de agua pluvial, más frecuente será esta falta de capacidad, y mayor será la agresión ambiental.

Aun admitiendo que la entidad gestora del ciclo integral del agua no será usualmente competente en urbanismo, sólo desde la gestión integrada del sistema de agua urbana se puede contemplar esta problemática en su conjunto, y se puede por tanto interactuar con la autoridad competente en esta materia con una base técnica sólida.

Por último, desde el punto de vista del **agua residual**, también se pueden señalar ventajas adicionales. Una reducción de los consumos (debido a una mejor gestión del agua) reduce los caudales de tratamiento en las EDAR, lo que redundará en una reducción global del coste del servicio. Esta reducción de coste puede reinvertirse en una mejora de los procesos, que permita obtener agua con un nivel de contaminación suficientemente bajo para su reutilización directa en algunos consumos, o para su regeneración y posterior uso en una amplia variedad de consumos. La estabilidad en los caudales que llegan a la EDAR, provocada por una adecuada gestión de las aguas pluviales, mejora ostensiblemente la gestión de la planta (con determinadas etapas muy sensibles a las variaciones de las características del agua residual que gestiona). Una deficiente gestión del saneamiento puede hacer llegar a la EDAR puntas de caudal muy por encima de su capacidad de tratamiento, lo que generará vertidos y posibles incumplimientos de los estándares de calidad de los medios naturales a los que se vierte.

Una vez analizadas las "tres aguas" es necesario analizar el entorno. El sistema de agua urbano, con toda su complejidad, se asienta en un territorio, con unos determinados caracteres naturales y sociales, con los que interactúa y con los que debe integrarse para satisfacer y proporcionar beneficios económicos, sociales y ambientales.

BENEFICIOS AMBIENTALES

BENEFICIOS ECONÓMICOS



Figura 18.- Los beneficios de la gestión integrada del sistema de agua urbana.

Para que el sistema de agua urbana realmente se integre en el entorno es clave que empiece a ser parte fundamental en las herramientas de planificación local, y en las herramientas de planificación hidrológica de la cuenca.

Una verdadera integración permitirá, también, que el desarrollo de infraestructura verde en el territorio sea realmente útil para la preservación del recurso y para la maximización de la prestación de servicios y usos consuntivos del agua.



Figura 19.- Vinculación del sistema de agua urbana con la planificación local y la planificación hidrológica.

2.4. La gestión sostenible de las aguas pluviales y los SUDS

Una visión integral en el diseño y explotación de un sistema de saneamiento y drenaje que minimice los impactos sobre los ecosistemas acuáticos, y que permita alcanzar los cada vez más exigentes objetivos ambientales en el estado de las masas de agua receptoras, coherente con el enfoque DUSA, obliga a desarrollar nuevas estrategias tanto para tiempo seco como para tiempo de lluvia. Estas nuevas estrategias deben aprovechar al máximo el potencial de todos los elementos del sistema: cuencas drenantes, técnicas SUDS, redes de alcantarillado y sus infraestructuras complementarias, estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) y masas de agua receptoras.

En el ámbito de los sistemas urbanos con redes de saneamiento unitario uno de los mayores problemas de contaminación de las masas de agua está vinculado con las elevadas cargas contaminantes movilizadas y concentraciones que se generan en tiempo de lluvia, sobre todo por los Desbordamientos de los Sistemas Unitarios (DSU). En sistemas de saneamiento separativo la contaminación difusa asociada a las aguas de escorrentía de determinados tipos de suelos (especialmente zonas de alta densidad de tráfico o en determinadas áreas con actividades industriales) es uno de las principales presiones sobre las masas acuáticas producidas por los drenajes pluviales.

Por tanto, en los sistemas separativos, se debe analizar la entrada de aguas contaminadas a las masas de agua en tiempo de lluvia. Esta carga contaminante podría provocar que el agua pluvial pueda ser

considerada incluso como un tipo de agua residual. Esto sucede en España, donde la Orden Ministerial AAA/2056/2014 sobre los modelos de autorización de vertidos, permite considerar el agua pluvial como un agua residual. En estos casos, y siguiendo el texto de la Orden, podrá ser necesario la construcción de una estación depuradora de aguas residuales pluviales, o un conjunto de técnicas de gestión y tratamiento que denominamos técnicas SUDS.

El proceso de urbanización genera variaciones en el ciclo hidrológico, lo que conlleva alteraciones y presiones tanto sobre el propio medio urbano como sobre los medios receptores. Estas presiones son de varios tipos: cambios en la morfología y en el paisaje, cambios en el régimen hidrológico-hidráulico, cambios en los hábitats y cambios de las características físico-químicas del agua.

Los cambios en la geomorfología y en el paisaje que se producen durante la transición del espacio rural-natural y abierto a los usos determinados por la urbanización tienen un profundo efecto en el ciclo hidrológico. El desarrollo urbano dentro de una cuenca genera una serie de impactos directos en las masas de agua entre los que se pueden destacar los cambios en las características de los flujos, en la morfología de los cauces, y en la fluctuación de los niveles de agua extremos. El impacto acumulativo de estos cambios debe ser analizado y mitigado conforme se avanza en la implantación de una estrategia de gestión integrada y sostenible del saneamiento y del drenaje urbano.

Algunas presiones concretas que pueden generar impactos significativos son:

- Aumento de los volúmenes de escorrentía.
- Aumento de los caudales punta.
- Mayores velocidades en los flujos.
- Tiempos de concentración más cortos.
- Mayor frecuencia de procesos de llenado y vaciado de los cauces de la cuenca urbana.
- Aumento de las inundaciones.
- Caudales de estiaje más bajos debido a la reducción de la infiltración.
- Incremento de la temperatura de la masa de agua.

Quizás el impacto más significativo que se produce como consecuencia de las alteraciones morfológicas en las corrientes urbanas es el que se produce sobre el hábitat produciéndose una degradación de su estructura, y una disminución de la biomasa y la biodiversidad.

Para mitigar los impactos producidos por las alteraciones del ciclo hidrológico natural de las cuencas hidrográficas, nuevamente se pueden plantear estrategias basadas en la implantación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. La aplicación de técnicas SUDS nos permitirá recuperar la hidrología natural existente antes de la urbanización de las cuencas. Se habla, en ocasiones, de rehabilitación hidrológica.

Por tanto, a la hora de plantear el diseño y la implantación de SUDS se deben buscar dos objetivos fundamentales:

- La invarianza hídrica, entendida como la no alteración de la hidrología natural. Para analizar este criterio se trabajará con eventos de precipitación extrema, que se vinculan a precipitaciones de diseño con un periodo de retorno (nivel de riesgo) determinado.
- El control de la contaminación, reduciendo tanto las masas como las concentraciones máximas de contaminantes que lleguen a las masas naturales. Este criterio de control se vincula en las fases

de diseño a lo que se conoce en la literatura como "volumen de calidad de agua". El volumen de calidad de agua hace referencia al volumen de almacenamiento que debe ser tratado por las técnicas SUDS y se vincula a lluvias habituales.

Además de los beneficios vinculados al control de la cantidad y calidad del agua, la implantación de SUDS permite ofrecer nuevos servicios y zonas de recreo y ocio para la ciudadanía, así como mejorar la biodiversidad y potenciar los servicios ecosistémicos de los núcleos urbanos. Esta jerarquía de actuación se presenta en la Figura 20 y está vinculada al concepto de diseño multifuncional de los SUDS.

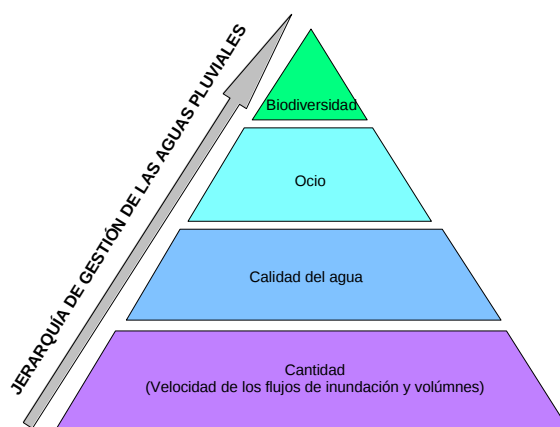


Figura 20.- Jerarquía de gestión de las aguas pluviales.

Así, los sistemas urbanos de drenaje sostenibles (SUDS) están diseñados para maximizar las oportunidades y los beneficios que podemos obtener de la gestión del agua superficial. Hay cuatro categorías principales de beneficios que se pueden lograr mediante los SUDS: cantidad de agua, calidad del agua, servicios y biodiversidad; se conocen como los cuatro pilares del diseño de SUDS. Estos cuatro categorías se conocen como los pilares de los SUDS (ver Figura 21).



Figura 21.- Beneficios principales o pilares de los SUDS

Los SUDS pueden tomar muchas formas y adaptarse a múltiples contextos o emplazamientos. Algunos tipos de SUDS incluyen integrar vegetación y estanques, mientras que en otros se utilizan soluciones tecnológicas y compactas, incluso patentadas. En términos generales, los SUDS se proyectan y diseñan para administrar y usar el agua de lluvia cerca de donde cae, en la superficie, y los que incorporan vegetación, tienden a proporcionar los mayores beneficios. La mayoría de los esquemas SUDS usan una combinación de técnicas, o componentes SUDS, para lograr los objetivos de diseño generales para cada subcuenca.

Un concepto de diseño central para los SUDS es el "tren de gestión de las aguas pluviales", esquematizado en la Figura 22. Se puede definir como el uso de forma secuencial de componentes o técnicas, que colectivamente proporcionan los procesos necesarios para controlar la escorrentía (caudales y los volúmenes) y para reducir las concentraciones de contaminantes a niveles aceptables.

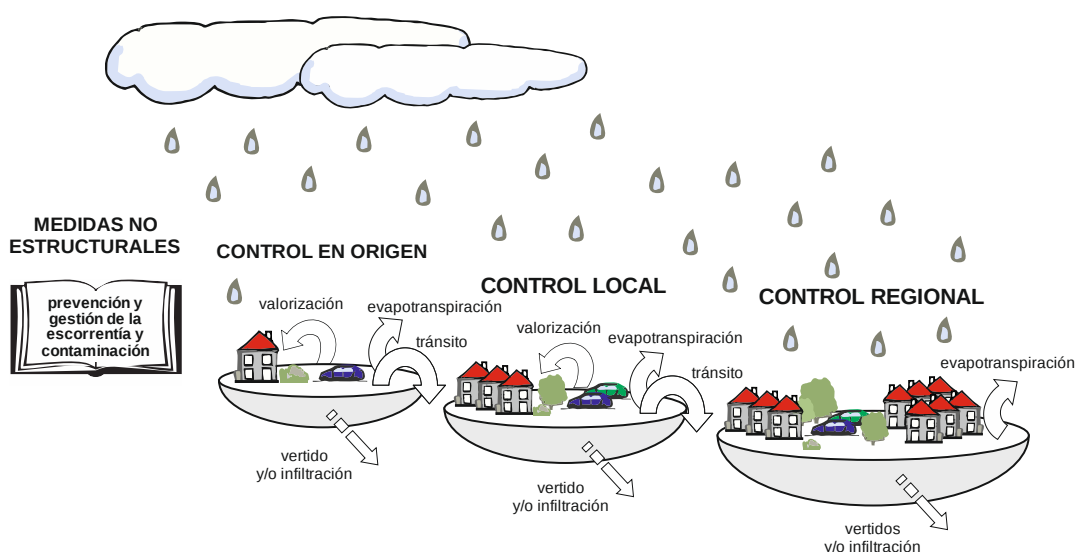


Figura 22.- Componentes del tren de gestión en la concepción de los SUDS.

Los procesos o funciones que se pueden integrar en un tren de gestión son, en resumen:

- Recogida y almacenamiento de agua de lluvia: técnicas que capturan el agua de lluvia y facilitan su uso dentro del edificio o en el entorno local.
- Superficies permeables: superficies estructurales que permiten que el agua penetre, reduciendo así la proporción de escurrimiento que se transporta al sistema de drenaje. Muchos de estos sistemas también incluyen algún almacenamiento y tratamiento.
- Infiltración: componentes que facilitan la infiltración de agua en el suelo. Incluyen zonas de almacenamiento temporal para acomodar los volúmenes de escorrentía antes de la liberación lenta al terreno.
- Transporte: técnicas que transmiten los flujos a los sistemas de almacenamiento aguas abajo. En algunos casos estas técnicas también proporcionan control y tratamiento del flujo.

- Regulación y almacenamiento: técnicas que controlan los flujos y, donde sea posible, los volúmenes de escorrentía que se descargan de una subcuenca, almacenando el agua y liberándola lentamente. Estos sistemas también pueden proporcionar un tratamiento adicional de la escorrentía.
- Tratamiento: técnicas que eliminan o facilitan la degradación de contaminantes presentes en la escorrentía.

Hay muchos tipos de elementos o técnicas de control y tratamiento de las aguas pluviales y de escorrentía que se pueden integrar en un SUDS. La variedad en cuanto a formas y funciones de las técnicas SUDS permiten que un sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) se pueda adaptar en cualquier lugar. El proyectista puede elegir una cantidad de técnicas de drenaje urbano sostenible diferentes y adaptar la composición general del SUDS al contexto local (Figura 23).

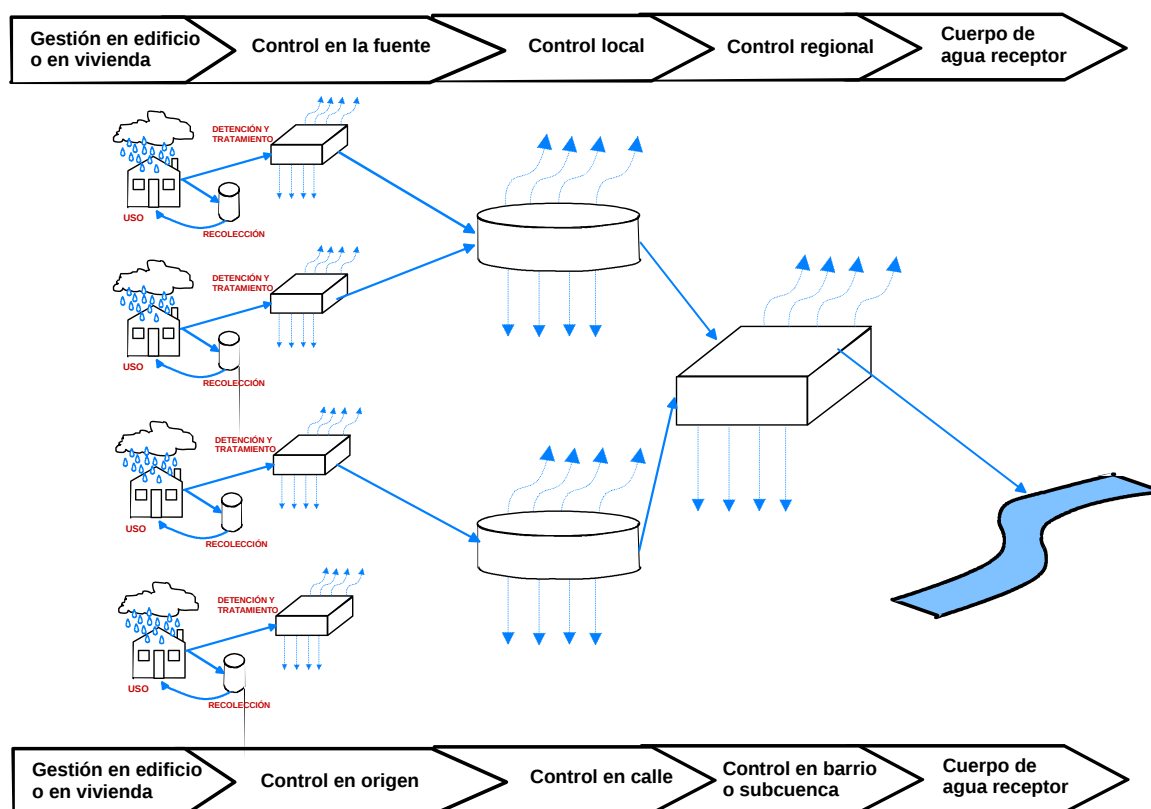


Figura 23.- Estrategia de implantación progresiva de los SUDS.

Siempre que sea posible, la escorrentía se debe gestionar en la fuente (es decir, cerca de donde cae la lluvia) y los flujos residuales podrán transportarse aguas abajo a otros elementos de almacenamiento o tratamiento, cuando sea necesario. El proyectista diseñador puede utilizar el tren de gestión para crear corredores verdes, unir hábitats y agregar valor para actividades recreativas, educación y ocio, como se ejemplifica en la Figura 24 y Figura 25.

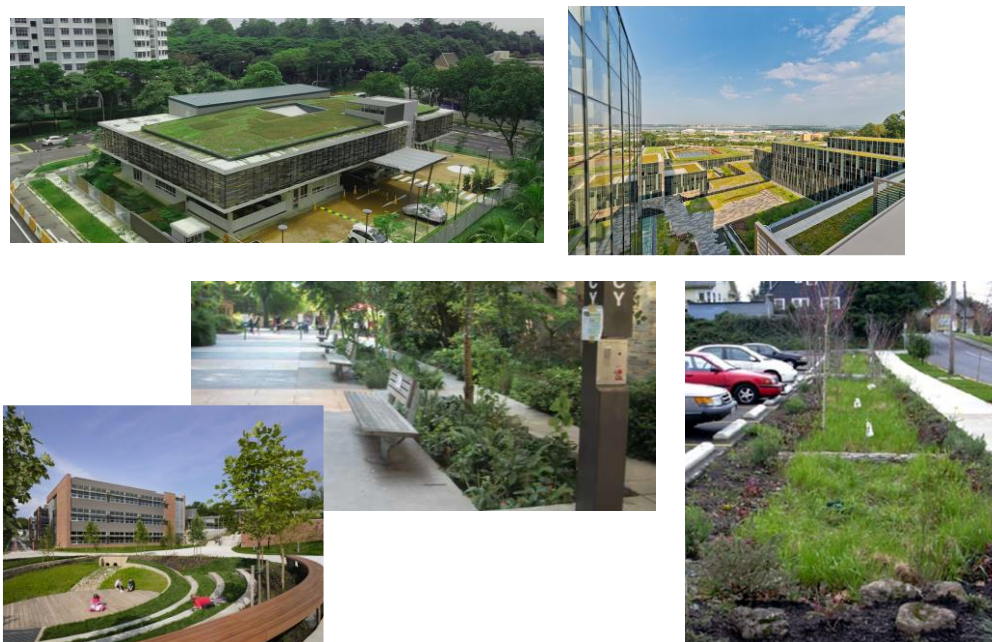


Figura 24.- Ejemplos de espacios urbanos en los que se han integrado técnicas SUDS.

En la selección de una técnica de drenaje urbano sostenible de un SUDS, y en su incorporación en un tren de gestión, deben tenerse muy presentes las operaciones de mantenimiento y explotación posteriores, ya que la tendencia (y la esencia de su eficacia) de una gran parte de estas técnicas es a retener y a acumular sedimentos y materiales finos, con lo que determinadas técnicas o procesos se verán anulados si no se procede a la retirada de estos en un determinado plazo de tiempo. Es importante remarcar que las técnicas SUDS para el control en origen y control local, es decir, aquellas en las que el agua pluvial no entra en la red de saneamiento y drenaje, son válidas tanto para sistemas unitarios como separativos.



Figura 25.- Sección de calle con integración de técnicas SUDS.

Como ya se ha citado, los sistemas urbanos de drenaje sostenibles (SUDS) están diseñados para maximizar las oportunidades y los beneficios que podemos obtener de la gestión del agua superficial. Los beneficios buscados condicionan los criterios que utilice el proyectista para su elección.

Uno de estos beneficios está vinculado al aprovechamiento de aguas pluviales para usos como el riego o el baldeo de calles. La recogida del agua de lluvia es la estrategia más antigua de acumulación de agua para periodos de escasez. Actualmente el abastecimiento regular de agua a las poblaciones ha hecho caer en desuso la utilización de esta fuente alternativa de agua. Por otro lado, el elevado consumo de agua en comparación al de unas décadas atrás hace que muchos de estos depósitos sean totalmente insuficientes para cualquier uso. Sin embargo, en determinadas climatologías y en medianas y pequeñas instalaciones, el agua de lluvia puede utilizarse para regar los jardines o como agua para ser mezclada con las aguas grises. Únicamente es necesario disponer de un sistema de captación, un depósito para su acumulación y un equipo de presión. Las técnicas SUDS deben permitir esta acumulación, un cierto tratamiento, para conseguir valorizar y aprovechar el agua pluvial y de escorrentía.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta un listado técnicas SUDS disponibles para integrar, teniendo en cuenta cada emplazamiento, en el desarrollo urbano.

Tabla 1.- Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible y procesos principales y secundarios asociados.

	REGULACIÓN Y ALMACENAMIENTO		FILTRACIÓN	INFILTRACIÓN	BIOFILTROS	HUMEDALES
	Detención	Retención	Filtración	Infiltración	Biofiltración	Biotratamiento
Cubiertas con detención						
Balsas de detención y/o infiltración						
Aljibes						
Estanques						
Pavimentos permeables						
Filtros de arena						
Pozos, zanjas y depósitos de infiltración						
Drenes filtrantes						
Alcorques de infiltración						
Cubiertas vegetadas						
Cunetas vegetadas						
Franjas filtrantes						
Parterres inundables						
Humedales artificiales						

Proceso
PRINCIPAL

Proceso
SECUNDARIO/OCASIONAL

Cada elemento del SUDS puede combinar uno o más procesos que contribuyen al atrapamiento, a la degradación o a la transformación de los contaminantes. Se aprovechan los aspectos hidráulicos y los procesos físicos, biológicos y químicos. Una técnica de drenaje sostenible puede estar compuesta por

dos o más etapas de tratamiento con el fin de reducir o eliminar diferentes tipos de contaminantes mediante diferentes procesos, y permite alcanzar los objetivos de calidad en un efluente antes de ser vertido a una masa de agua superficial o subterránea.

En una técnica SUDS es habitual encontrar etapas destinadas a retener los residuos gruesos (basuras, gravas, etc.) o de retención de sedimentos, con el fin de proteger los sistemas de filtración o infiltración, así como para evitar colmar con sedimentos otras etapas cuyos procesos principales de tratamiento están orientados a reducir los contaminantes que se presentan en forma disuelta. Los tratamientos orientados a la eliminación de la basura y los sedimentos, y su mantenimiento, son vitales para garantizar la efectividad a largo plazo de todos los componentes de un SUDS.

Como ya se ha citado, los sistemas urbanos de drenaje sostenibles (SUDS) están diseñados para maximizar las oportunidades y los beneficios que podemos obtener de la gestión del agua superficial. Los beneficios buscados condicionan los criterios que utilice el proyectista para su elección. A continuación, se presentan los criterios utilizados por el CIRIA (2015) para la elección de un componente o técnica en un SUDS:

- **Cantidad de agua:**
 - Utilizar la escorrentía de aguas pluviales como un recurso.
 - Proteger la morfología y la ecología en las masas de aguas superficiales receptoras.
 - Preservar y proteger los sistemas hidrológicos naturales del lugar.
 - Drenaje eficaz del emplazamiento o lugar.
 - Colaborar en la gestión del riesgo de inundación en la cuenca.
 - Gestionar el riesgo de inundación en el lugar.
 - Flexibilidad/adaptabilidad del sistema para hacer frente a cambios futuros
- **Calidad del agua:**
 - Colaborar en la gestión de la calidad del agua del medio receptor (superficial y subterráneo).
 - Resiliencia del sistema para hacer frente a los cambios futuros.
- **Usos recreativos:**
 - Promover la multifuncionalidad.
 - Mejorar los aspectos visuales.
 - Aportar sistemas seguros de gestión de las aguas superficiales.
 - Apoyar la capacidad de recuperación/adaptabilidad a los cambios futuros.
 - Maximizar la comprensión sobre la función y funcionamiento.
 - Apoyar el aprendizaje ambiental de la comunidad
- **Biodiversidad:**
 - Apoyar y proteger hábitats y especies naturales locales.
 - Contribuir a la consecución de los objetivos locales de biodiversidad.
 - Contribuir a la conectividad del hábitat.
 - Crear ecosistemas diversos, autosostenibles y resilientes.

Finalmente decir que los SUDS son una estrategia de adaptación al cambio climático:

- Resiliencia frente a inundaciones, introduciendo soluciones basadas en la naturaleza que reduzcan y laminen los caudales, dejando espacio en los sistemas actuales para posibles incrementos en la intensidad de las precipitaciones.
- Resiliencia frente a sequías, fomentando la infiltración del agua en origen y contribuyendo a recargar los acuíferos, aliviando el estrés hídrico y reduciendo la necesidad de importar agua potable.

- Reducción del efecto isla de calor, aumentando el verde en la trama urbana y construyendo cubiertas vegetadas.
- Disminución de la demanda energética de los edificios, reduciendo la temperatura del interior y aportando sombra a las fachadas.
- Reducción del consumo energético en la gestión del agua urbana, reduciendo la cantidad de escorrentía que entra a la red de saneamiento (necesidad de bombeo y depuración).

3. PRINCIPIOS Y BASES TÉCNICAS PARA LA PROPUESTA DE UNA ESTRATEGIA DE DESARROLLO SENSIBLE AL AGUA

3.1. El DUSA como nuevo enfoque en la planificación y gestión de agua

Una propuesta integradora de muchos de los principios, enfoques y objetivos citados anteriormente es el denominado "Desarrollo Urbano Sensible al Agua" (DUSA).

El desarrollo urbano sensible al agua (DUSA) se basa en un enfoque holístico de la planificación (el urbanismo y la ordenación territorial) y el desarrollo urbano, que tiene como objetivo minimizar los impactos negativos en el ciclo natural del agua y proteger, y mejorar, la salud de los ecosistemas acuáticos, sin dejar de prestar beneficios a la sociedad.

Se adopta el término "desarrollo" en vez de "diseño" (o concepción) porque actualmente cuando el concepto de desarrollo se aplica a una comunidad de seres humanos, se refiere al progreso en el sentido social, económico, político o cultural, y también se relaciona directamente como parte del "desarrollo" sostenible.

Desde este enfoque se promueve una aproximación al desarrollo urbano que se adapte a las características naturales de los emplazamientos o lugares, que proteja los ecosistemas naturales, y que optimice el uso del agua como recurso. Intenta hacer compatibles las actividades humanas con los ecosistemas a través de la gestión inteligente de todos los flujos de agua. Tiene como objetivo ofrecer soluciones sostenibles en el denominado "ciclo del agua" en las zonas urbanas. Se busca una gestión eficiente de todos los subsistemas del sistema de agua urbana.

El DUSA trata de integrar, mediante un proceso flexible, participativo e iterativo, los elementos del sistema de agua urbana con el desarrollo urbano de la ciudad y la gestión de la cuenca fluvial para maximizar los beneficios económicos, sociales y ambientales de manera equitativa.

Históricamente, los sistemas de agua urbana se han desarrollado utilizando un enfoque de diseño lineal, es decir, fuente, tratamiento, transporte, distribución, recolección, tratamiento y eliminación. El DUSA se apoya en la economía circular y en una visión de sistema, de metabolismo complejo.

El proceso DUSA varía según el tipo de reto específico del agua de una ciudad y el nivel de desarrollo de sus instituciones de gestión del agua. El resultado de un enfoque DUSA no está predeterminado y será diferente en área urbana a desarrollar o rehabilitar, en cada ciudad, o en cada aglomeración urbana.

Reformulando los principios rectores de la gestión integrada del sistema de agua urbana, el DUSA trabaja en tres dimensiones principales:

- **LOS SERVICIOS VINCULADOS AL AGUA URBANA DE FORMA DIRECTA E INDIRECTA:** El suministro de agua, la gestión de aguas pluviales, y el saneamiento, así como la gestión de residuos sólidos,

la gestión y diseño de calles y viales, la gestión de espacios verdes y de ocio, la gestión energética, etc.

- **EL DESARROLLO URBANO:** La estrategia DUSA no se limita a una planificación coordinada para el desarrollo de la ciudad y los servicios de agua; el desarrollo urbano ha de ser un instrumento para una mejor gestión del sistema de agua urbana, ya que el modo en el que las ciudades se desarrollan está influenciado por el suministro de servicio de agua y a la vez tiene un impacto sobre el mismo.
- **LA GESTIÓN DE LAS CUENCAS:** El enfoque DUSA busca asegurar que la gestión/planificación a nivel de cuenca tenga una eficiente coordinación con las especificidades de las realidades del nivel de ciudad, en especial en el caso de cuencas con importantes demandas de agua urbana, y a la inversa. Hoy en día, cuando se trabaja en planificación hidrológica, y siguiendo las directrices de la Directiva Marco del Agua, la costa se considera integrada, al igual que las masas de agua portuarias.

La gestión integrada del recurso agua, tanto a escala de aglomeración urbana como de cuenca hidrográfica, es clave en el desarrollo urbano sostenible.

3.2. Objetivos del DUSA

A continuación, se presentan los principales objetivos del DUSA, organizados en tres bloques principales: objetivos ambientales, objetivos sociales y objetivos económicos.

OBJETIVOS AMBIENTALES:

- **Conservar los espacios naturales, y rehabilitar o recuperar los degradados.** Ya desde los primeros procesos de planificación se deben identificar los valores naturales y las masas de agua que pueden verse afectados por el desarrollo urbano y se deben elaborar estrategias de protección.
- **Mantener, o alterar lo menos posible, el equilibrio hidrológico** mediante el uso de procesos naturales de almacenamiento, infiltración y la evaporación, para la gestión de las aguas pluviales. Se recargan las masas de agua subterráneas, con lo que los flujos basales en estiaje se garantizan mejor, flujos que son importantes, por ejemplo, para el ecosistema y para las captaciones de abastecimiento.
- **Reducir los flujos de escorrentía pluvial**, tanto en volumen como en caudales máximos, con el fin de reducir los procesos de erosión y minimizar los impactos hidromorfológicos, y también reducir la movilización de la contaminación depositada en las superficies urbanas.
- **Incorporar la recogida, tratamiento y aprovechamiento de las escorrentías**, incluyendo agua de los tejados. Se busca que el agua pluvial no sufra ningún tipo de deterioro o contaminación, eliminar la que pudiera tener (mediante técnicas blandas o biorremediación) y aprovecharla de forma económica y eficiente para el mantenimiento de zonas verdes y recreativas (u otros usos domésticos, municipales o industriales), para la recarga del freático o para su devolución al medio natural libre de contaminación y con flujos controlados (barreras de mitigación). La creación de los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) es una de las claves en este objetivo.
- Se busca **racionalizar la demanda en el sistema de suministro de agua y potenciar el uso de fuentes de suministro complementarias**. Hay que estudiar, planificar y gestionar una

multiplicidad de fuentes (fuentes complementarias de abastecimiento), adecuadas a cada uno de los usos (haciendo una buena gestión diferencial de la calidad del agua), y fomentar el uso racional y eficiente en todas las ocasiones. Potenciar las fuentes complementarias ayuda a mejorar nuestra capacidad de resistencia a la sequía y el cambio climático.

- **Minimizar la generación de aguas residuales.** Se contribuye a mejorar el funcionamiento de las infraestructuras de saneamiento existentes y puede reducirse la necesidad de su ampliación.
- **Reducir la contaminación y minimizar las descargas** de agua contaminada al medio natural a través de cualquiera de los flujos; reduciendo los desbordamientos de los sistemas unitarios y las descargas de aguas pluviales contaminadas.
- **Facilitar el trabajo de las EDAR** de forma que se garanticen la calidad de los efluentes y se den oportunidades a la reutilización.
- **Proteger la calidad de las aguas superficiales y subterráneas** reduciendo la presencia de contaminantes proporcionando, de este modo, una cierta protección tanto para los ecosistemas y las fuentes de agua para abastecimiento tanto de origen subterráneo como superficial.
- **Incrementar la diversidad de hábitats acuáticos.**

OBJETIVOS SOCIALES:

- **Crear entornos urbanos y residenciales de mayor calidad natural.** Los árboles y las plantas mejoran el paisaje y la habitabilidad del medio urbano, al proporcionar áreas recreativas y la presencia de cierta vida silvestre. Los estudios muestran que el valor de las propiedades es más alto cuando los árboles y otros tipos de vegetación están presentes.
- **Crear corredores que unan espacios o nodos de actividad social significativa.** Los espacios verdes pueden ser polos de atracción para la práctica de deportes o para fomentar un uso social del espacio público, y pueden generar una red más o menos conexas de corredores de usos públicos de alto valor añadido.
- **Aminorar el efecto de isla de calor urbano.** Las temperaturas de verano en las zonas urbanas densas pueden tener valores del orden de 10 °C, en promedio, superiores a las zonas suburbanas cercanas. La vegetación crea sombra, reducen la cantidad de calor que absorben los materiales y emiten vapor de agua, lo que permiten enfriar el aire caliente. La limitación de superficies impermeables y el uso de las superficies impermeables de colores claros (por ejemplo, hormigón poroso) también ayudan a mitigar las temperaturas urbanas.
- **Aumentar los equipamientos públicos en las zonas urbanas.** Se pueden integrar espacios de usos múltiples, como jardines, parques o áreas deportivas, que además se integran paisajísticamente. Se contribuye, facilita e incentiva el aumento de superficie vegetada en las zonas urbanas, aportando simultáneamente nuevos recursos de agua, de gran calidad, para su mantenimiento.
- **Mejorar de la salud y el bienestar de las personas.** Por ejemplo, los árboles y la vegetación que se utilizan en muchas técnicas SUDS permiten mejorar la calidad del aire mediante el filtrado de muchos contaminantes transportados por el aire y colaboran a la reducción de enfermedades respiratorias.

OBJETIVOS ECONÓMICOS:

- **Ahorrar costes de tratamiento de las aguas de abastecimiento.** Se reducen los costes al mantener mejor calidad en las masas de agua existentes y al producir menor cantidad de agua potable al haber menor demanda.
- **Ahorrar costes de inversión en las redes.** Se reducen los diámetros de las conducciones para el drenaje de las aguas pluviales y residuales.
- **Reducir costes de inversión al reducir todos los flujos residuales.** Tanto en sistemas de saneamiento unitario como en separativos, se reducen todas las inversiones necesarias en todas las infraestructuras a ellos asociadas (colectores, túneles, sistemas de bombeo, sistemas de depuración, etc.), además de reducir los costes de explotación y mantenimiento.
- **Ahorrar costes de los promotores,** al no tener que incrementar la capacidad de los sistemas de drenaje aguas abajo.
- **Mejorar el valor de mercado de las propiedades al mejorarse el entorno.**
- **Producir ahorros en los costes energéticos de viviendas y edificios.** Al integrar los edificios en un entorno DUSA se potencian las estrategias basadas en el denominado "building envelope", que en esencia es una la interfaz entre el edificio y el entorno, y controla las interacciones entre ellos.

La adopción de la estrategia DUSA requiere un enfoque proactivo y holístico que sea capaz de comprender las consecuencias de dicha transición y, de ese modo, ayudar a superar las barreras socioeconómicas, a la vez que se produce un crecimiento económico sostenible y equitativo y se protegen los recursos naturales escasos.

4. RELACIONES DEL SISTEMA DEL AGUA URBANA CON EL ECOSISTEMA INSTITUCIONAL Y OTROS SISTEMAS URBANOS

El planteamiento de una gestión del sistema urbano del agua bajo los principios del Desarrollo Urbano Sensible al Agua (DUSA), requiere un marco institucional adecuado que permita hacer frente a los desafíos y a la problemática relacionados con la gestión del agua. El análisis de este ecosistema institucional (marco normativo, capacidades, participación pública, etc.) es un pilar fundamental para conocer en qué punto está una ciudad y hacia donde deben dirigirse los esfuerzos para promover y transitar hacia el Desarrollo Urbano Sensible al Agua (DUSA).

A su vez, en dicho proceso o tránsito hacia el DUSA, el sistema urbano del agua interacciona, directa o indirectamente, con otros sistemas urbanos (energía, transporte, salud etc.), creando interdependencias y acoples que deben ser analizados y tenidos en cuenta.

Con el objetivo de ilustrar esta visión integral del contexto urbano en relación a los principios DUSA, se describe a continuación de una manera resumida las relaciones del sistema del agua urbana con los elementos institucionales, la participación pública y otros sistemas del entorno urbano.

4.1. Ecosistema institucional

Los aspectos institucionales que afectan a la gestión del agua urbana son variados y su análisis requiere un esfuerzo de síntesis y selección que permita su evaluación y eventual comparación con otras ciudades o marcos de referencia en la implementación del Desarrollo Urbano Sensible al Agua. Teniendo esto en cuenta, el análisis del marco legal, normativo y económico es una parte fundamental para la comprensión de cómo afecta el ecosistema institucional al sistema urbano del agua.

4.1.1. Marco institucional

Para la adecuada gestión del sistema urbano del agua es preciso un marco institucional robusto y dotado de la estructura y los medios técnicos y humanos necesarios. Un marco legal ambicioso y perfectamente desarrollado, no podrá ser aplicado sin unas instituciones o entidades con las competencias y capacidades suficientes para abordar los mandatos legales y velar por el cumplimiento de la normativa. Del mismo modo, la disponibilidad de fondos siempre va a necesitar las estructuras y capacidades adecuadas para su correcta ejecución, bien sea para llevar a cabo inversiones en infraestructuras o gestionar servicios relacionados con el sistema urbano del agua.

Uno de los factores clave a analizar es la distribución de las competencias y su asunción por parte de las instancias encargadas. Las atribuciones en materia de agua deben estar claras y las entidades deben poder desarrollarlas y asumirlas correctamente. Este proceso puede ser lento, y su compaginación con los desarrollos normativos y la disponibilidad de fondos compleja, pero el despliegue de un marco competencial adecuado es algo fundamental y prioritario para el Desarrollo Urbano Sensible al Agua.

Del mismo modo, la coordinación entre los diferentes departamentos y entidades relacionadas con el agua es otro de los pilares fundamentales del Desarrollo Urbano Sensible al Agua. Esta coordinación debe producirse a diferentes niveles de trabajo: político-estratégico, burocrático y técnico; y también a distintas escalas: local, regional, nacional e internacional. A su vez, el enfoque de cuenca hidrográfica debe ser tenido en cuenta en el diseño y la coordinación de las entidades relacionadas con la gestión del agua.

4.1.2. Marco legal

Para avanzar en la gestión del sistema urbano del agua con criterios de Desarrollo Urbano Sensible al Agua, es necesario un marco legal y normativo que respalde los objetivos de gestión, la gobernanza y la sostenibilidad del sistema urbano del agua en su conjunto. Para ello, es necesario contar una ley de aguas, o un conjunto de leyes coherentes, y unos reglamentos y directrices, que incidan en el ciclo del agua urbana instando a una gestión basada en principios DUSA, y que considere las interacciones entre los distintos elementos que forman parte, o que interaccionan, con el sistema urbano del agua.

Los desarrollos normativos vinculados al agua urbana deben cubrir adecuadamente el estado de la técnica en los aspectos cuantitativo y cualitativos, incluyendo parámetros a controlar e indicadores de desempeño y criterios para el diseño de las instalaciones y el proyecto de los sistemas. A su vez, la implementación de criterios DUSA debe incidir en reglamentos que cubran adecuadamente la vinculación entre el sistema de saneamiento y el de drenaje, el desarrollo de SUDS, y de infraestructuras y fuentes de abastecimiento alternativo.

4.1.3. Marco económico

El contexto económico es un factor que condiciona el avance en el Desarrollo Urbano Sensible al Agua en diferentes ámbitos y cuyo impacto debe ser analizado desde diferentes perspectivas.

La priorización por parte de las administraciones públicas de las inversiones y medidas relacionadas con el ciclo urbano del agua es un elemento clave para conseguir un Desarrollo Urbano Sensible al Agua. El análisis de las políticas y estrategias de agua, y su contraste con el efectivo y necesario respaldo presupuestario para cada una de las acciones, diferenciando las inversiones en los diferentes sistemas de infraestructuras (abastecimiento, saneamiento y drenaje) de las medidas blandas como, por ejemplo, la planificación, el monitoreo, la sensibilización etc.; permitirá valorar cuáles son los puntos débiles en relación al sistema urbano del agua y cuáles serán las áreas críticas para avanzar e implementar el DUSA.

La inversión en infraestructuras de elevado coste, tecnológicamente poco apropiadas, y poco sostenibles económicamente, es uno de los factores que lastran el desarrollo del sistema urbano del agua en su conjunto, por lo que bajo el enfoque DUSA deben ser tenidos en cuenta todos los factores relacionados con la viabilidad económica de inversión y la operación de las infraestructuras durante todo su ciclo de vida. El Desarrollo Urbano Sensible al Agua debe incidir en el desarrollo de un modelo de financiación sostenible para el conjunto del sistema el agua urbana, combinando los análisis de inversión en infraestructuras con los análisis de costes de operación y mantenimiento, vinculándolos con un sistema tarifario justo orientado a la sostenibilidad del sistema.

4.1.4. Participación pública

El propósito de la participación pública es la mejora del proceso de toma de decisiones, asegurando que dichas decisiones están influenciadas por la experiencia de aquéllos a los que afectarán. A su vez, la participación pública fomenta la consideración de opciones creativas e innovadoras y asegura que las medidas y los nuevos mecanismos pueden funcionar y sean aceptados por el público. En relación con la gestión del agua, la participación pública se desarrolla vinculada, principalmente, a los procesos de planificación. Los principios de la participación pública en el ámbito del agua son los siguientes:

- Propiciar el diálogo y la mediación como estrategias para la elaboración de la planificación.
- Realizar un análisis previo para identificar y caracterizar los actores del proceso participativo.
- Reconocer la existencia de muy diversas posiciones.
- Proporcionar un escenario común entre todos los protagonistas relacionados con la gestión del agua, resaltando los intereses comunes y creando cauces adecuados para afrontar los conflictos.
- Presentar las conclusiones obtenidas durante el proceso en foros relevantes.
- Implicar al conjunto de instituciones, locales, regionales, y estatales.
- Profundizar en las políticas de complementariedad entre los poderes públicos y la sociedad civil desde la máxima información y el respeto a las posiciones.

El Desarrollo Urbano Sensible al Agua debe tener en cuenta el desarrollo de acciones de participación pública por parte de las entidades vinculadas a la gestión del agua urbana. En ese sentido, las leyes relacionadas con la gestión del agua urbana deben incluir indicaciones claras sobre la obligatoriedad de la participación pública y sobre los mecanismos para implementarla. Del mismo modo, debe existir una estrategia de divulgación y educación social que fomente y permita una participación pública consciente y ecuaníme. Estos procesos pueden ser implantados gradualmente y requieren de un proceso de

aprendizaje por parte de todas las partes implicadas: administraciones públicas, sociedad civil y actores de interés.

4.2. Sistemas urbanos

De acuerdo con el enfoque DUSA, el sistema urbano del agua se interrelaciona, directa o indirectamente, con otros sistemas urbanos que deben ser analizados y tenidos en cuenta.

4.2.1. Transporte

El impacto del transporte y las infraestructuras a él vinculadas, es un factor de gran relevancia a la hora de analizar el conjunto del "ecosistema urbano". Las relaciones y la interdependencia, o sinergias, entre las infraestructuras del sistema de transporte y las del sistema del agua urbana deben ser abordadas para minimizar por ejemplo los efectos de los eventos extremos como las inundaciones o las lluvias torrenciales. El impacto de dichos eventos sobre el transporte puede ser muy negativo (pérdida de vidas, daños a infraestructuras clave, interrupción de comunicaciones y suministros, etc.).

Del mismo modo, es fundamental que las entidades con atribuciones el sistema del agua y del transporte, se coordinen y aborden asuntos de especial relevancia como, por ejemplo, la incorporación de técnicas SUDS en los criterios de diseño de las infraestructuras de transporte, o el análisis de la carga contaminante procedente del lavado de las vías de transporte en el diseño, operación y mantenimiento de las infraestructuras del sistema urbano del agua. Dicha coordinación deberá estar apoyada y respaldada por los pertinentes desarrollos normativos y reglamentarios.

4.2.2. Energía

Los sistemas actuales de agua y energía son interdependientes. El agua se usa en todas las fases de producción de energía y generación de electricidad; y se requiere energía para extraer, transportar y suministrar agua de calidad para los diferentes usos humanos, y a su vez, para tratar las aguas residuales antes de su regreso al medio ambiente.

El nexo agua-energía representa un desafío a escala local, regional, nacional e internacional. Comprender dichos desafíos y desarrollar las soluciones necesarias, requiere que los actores involucrados coordinen sus acciones con el objetivo de compatibilizar el buen estado de las masas de agua con el suministro de energía y agua potable. Para ello es necesario invertir en estudios y avances tecnológicos prestando especial atención al triángulo Administración-Empresa-Conocimiento. La coordinación institucional y los avances tecnológicos, deben ir acompañados del desarrollo de normativas y regulaciones que incidan en enfoques de sostenibilidad y eficiencia.

4.2.3. Residuos sólidos

La relación entre el sistema urbano del agua y el de recogida de residuos sólidos se materializa principalmente mediante dos tipos de interacciones: la incorporación y afección de residuos sólidos a los sistemas urbanos de saneamiento y drenaje, y la afección de los vertederos y vertidos a las masas de agua. La recogida de residuos sólidos y la limpieza de los espacios públicos y vías urbanas, evitará la incorporación a los conductos de saneamiento y/o drenaje de la ciudad de residuos que acabarán obstruyendo o disminuyendo el rendimiento de las infraestructuras y también contaminado el agua. A

su vez, una buena gestión de los vertederos, acompañada de una recogida selectiva de residuos, permitirá abordar la problemática de los lixiviados y sus posibles afecciones al sistema urbano del agua. Ambas cuestiones, deben ir acompañadas de medidas de sensibilización y educación a la ciudadanía para evitar el depósito incontrolado de residuos en los cursos de agua, incidiendo también en la buena utilización de las infraestructuras de saneamiento. Como sucede con el resto de sistemas urbanos, será necesaria la coordinación entre las entidades responsables, y el desarrollo de estudios y normativas adecuadas.

4.2.4. Salud

El sistema urbano del agua y el de salud están estrechamente ligados por la vinculación entre la calidad y el estancamiento del agua, y el desarrollo de ciertas enfermedades hídricas. La calidad del agua empleada para el abastecimiento de la población debe estar controlada y cumplir con unos requisitos que garanticen su salubridad. Para ello, el sistema de abastecimiento debe cumplir con unos estándares mínimos de funcionamiento y la cobertura debe extenderse a toda la población. A su vez, los sistemas de saneamiento y drenaje deben funcionar correctamente para evitar que masas de aguas contaminadas sean focos de infección y propagación de enfermedades. Nuevamente, para abordar la problemática con eficacia, debe existir un marco de colaboración claro y estable entre las administraciones responsables del agua y la salud.

4.2.5. Zonas verdes

El sistema urbano del agua y su relación con las zonas verdes y jardines debe ser explorado bajo el enfoque de provisión de servicios ambientales y ecosistémicos. Estos servicios pueden afectar clara y positivamente al sistema urbano del agua, incidiendo, por ejemplo, en el buen estado de las masas de agua y los ecosistemas, favoreciendo el drenaje, o la conectividad de cursos de agua naturales, etc. Para ello las entidades responsables de ambos sistemas deben trabajar coordinadamente con una visión global e interconectada que incorpore las diferentes fases de planificación, diseño y mantenimiento de las zonas verdes; así como su posible vinculación con las infraestructuras relacionadas con el agua, como pueden ser las técnicas SUDS o la incorporación del enfoque de Infraestructura Verde.

4.2.6. Diseño urbano

El diseño urbano y su planificación están estrechamente ligados al sistema urbano del agua. Las infraestructuras relacionadas con el sistema del agua deben ser diseñadas en coordinación con la planificación y ordenación urbanística de la ciudad. De este modo, los planes urbanísticos deben ser una herramienta de referencia para el desarrollo de la ciudad y también de su sistema de agua. A su vez, estos deben tener en cuenta, e integrar, otros instrumentos de planificación ambiental y de gestión de los recursos hídricos de nivel superior, como por ejemplo los planes de cuenca.

El arriba mencionado enfoque de Infraestructura Verde, concebido como una red estratégicamente planificada de espacios naturales, semi-naturales y otros elementos ambientales, diseñados y gestionados para ofrecer una amplia gama de servicios ecosistémicos, y la incorporación de una visión integral del sistema urbano del agua de acuerdo con criterios de Desarrollo Urbano Sensible al Agua, constituyen otras dos áreas de acción fundamentales en la relación entre el sistema urbano del agua y el diseño urbano.

5. MARCO CONCEPTUAL DE ANÁLISIS: DIAGNÓSTICO DUSA

La implementación práctica de todas las ideas recogidas en los apartados anteriores se plasma en la planificación del desarrollo de las ciudades. Todo proceso de planificación parte de una fase de diagnóstico, que puede ser orientado a no perder la perspectiva global del sistema del agua urbana, incluyendo sus componentes hídrica (distintos tipos de agua), institucional y urbana. Existen muchos modelos de planificación desarrollados por diversos organismos con diferentes ámbitos como la gestión del riesgo de inundaciones, para la dotación de abastecimiento o el saneamiento y drenaje.

El modelo conceptual de diagnóstico DUSA puede integrarse dentro de las fases del ciclo de planificación, como en la realización del diagnóstico inicial, la priorización y desarrollo de planes de acción, o en fases posteriores de evaluación que puede retroalimentar la visión inicial de la planificación. En cualquier caso, el diagnóstico DUSA se basa en una serie de principios y herramientas que se detallan a continuación.

En primer lugar, el diagnóstico DUSA se basará en un modelo de planificación participativo basado en indicadores, algunos de carácter más general o de estado, y otros que pueden exigir un importante trabajo técnico (mediciones, modelizaciones, encuestas, etc.). En cualquier caso, los indicadores empleados deben ser compactados para su comprensión global por parte de todos los miembros del grupo de planificación. Para lograr esta comprensión ágil, se propone un marco conceptual basado en tres capas de análisis, y una herramienta informática de apoyo.

El uso de una herramienta informática para el diagnóstico participativo permite una interacción ágil y transparente con los miembros del grupo planificador. Se debe considerar una herramienta sencilla, de modo que todos los miembros del grupo comprendan perfectamente su funcionamiento y puedan manejarla. A modo de ejemplo, se sugiere un esquema de aplicación adaptada al medio urbano y que cumple con las necesidades de análisis DUSA comentadas en los párrafos anteriores.

Es importante destacar que el acercamiento al diagnóstico puede ser macroscópico, para detectar los problemas más notables y sensibilizar a los decisores de la necesidad de coordinación, o puede bajar al detalle en alguno o todos los ámbitos del estudio. Así, se podrán desarrollar diagnósticos más ágiles de tipo político, que permitan obtener una visión global del problema, y otro tipo de diagnóstico más detallados o técnicos, que se pueden aplicar para resolver un problema determinado, como por ejemplo la dotación de suministro o un problema de drenaje. En función de los datos disponibles el diagnóstico podrá ser más o menos ajustado. En cualquier caso, la constatación de la inexistencia de datos y la necesidad de adquirir datos mejores también es un producto a tener en cuenta.

Desde este punto de vista, el modelo propuesto es más un marco conceptual que una herramienta de cálculo, pero su interacción o conexión con otros modelos puede hacerlo tan complejo y completo como se desee.

Con respecto al marco conceptual del análisis DUSA, este se fundamenta en tres capas de análisis (que pueden estar abiertas a debate), y que pueden ser analizadas con distintos grados de detalle. Estas capas se denominan:

- Capa interna. Conformada por los distintos tipos de agua de abastecimiento, residual, pluvial y las masas de agua natural
- Capa intermedia. Conformada por los elementos del marco institucional y social.

- Capa externa. Conformada por los sectores urbanos relacionados con el sistema del agua urbana.

Capa interna: los distintos tipos de agua



Figura 26.- Capa interna. Subsistemas de agua urbana.

En esta primera capa representa en la Figura 4 se analiza el grado de optimización en la gestión en el medio urbano de los cuatro tipos de agua en los que se puede esquematizar el problema:

- Agua para abastecimiento.
- Agua utilizada, derivada al saneamiento y posterior depuración.
- Agua pluvial, que puede generar escorrentía.
- Agua en los medios naturales, de los que se extrae o a los que se entrega.

Mediante un **sistema de indicadores** cuya complejidad puede ser adaptada a cada nivel de detalle exigido en las distintas fases de la planificación, se determina el grado de optimización en la gestión de estas masas de agua. Además del valor numérico, es importante que el modelo genere **resultados gráficos** de fácil comprensión. En el ejemplo que se presenta en la Figura 5, que fue el aplicado a nivel piloto en el curso desarrollado en Bolivia, a los círculos que marcan cada tipo de agua se les superpone una circunferencia que simboliza el **grado de optimización en su gestión** (de modo óptimo, la circunferencia engloba todo el círculo). Este no es más que un ejemplo del modelo propuesto y de la visualización de los resultados que se podrá desarrollar y concretar posteriormente a las fases de debate inicial de la propuesta.

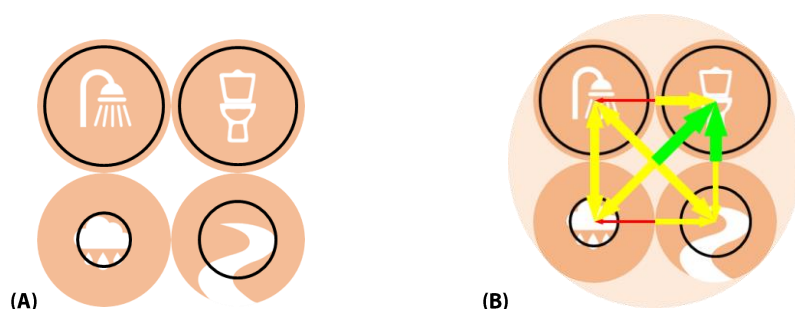


Figura 27.- (A) evaluación del desempeño de los subsistemas (A) Y SUS INTERACCIONES (B).

Además del análisis de los distintos tipos de agua, es necesario estudiar sus interacciones. Como posibles ejemplos cabe citar la reutilización de aguas grises domésticas, que son parte del agua residual y generan un ahorro de agua de abastecimiento, o la gestión de la contaminación de las aguas pluviales previamente a su vertido a los medios receptores, que disminuye el nivel de contaminación en los mismos. **Estas interacciones se pueden analizar con indicadores** (cuantitativos o cualitativos), y su valor se puede esquematizar mediante conectores (flechas, por ejemplo en la Figura 27 (B)).

La complejidad del análisis llevará a que el detalle en estas interacciones sea mayor o menor, y que cada una de estas capas pueda (o no) ser desagregada en función de distintas características de cada uno de los servicios, aplicando un sistema de indicadores de mayor detalle (como Aquarating para el caso del servicio de abastecimiento, o los indicadores IWA para saneamiento, por ejemplo).

Capa intermedia. Marco institucional-social

Como se indicó, la gestión del agua requiere de un marco social, jurídico, institucional, técnico, ambiental y económico que sea consistente y que apoye y asuma los principios del DUSA. Es importante dentro del proceso de planificación y diagnóstico, plantear hasta qué punto cada uno de estos niveles es robusto, está alineado con los principios del DUSA y está coordinado con el resto.



Figura 28.- Capa intermedia. Análisis del marco institucional y social.

De un modo homólogo a lo presentado en el apartado anterior, se analizará la robustez y adecuación al DUSA de cada sector mediante unos indicadores cuantitativos o cualitativos que deben ser debatidos y consensuados en el seno del grupo de planificación. La representación gráfica de estos sectores se presenta en la Figura 28

Estos indicadores permitirán determinar el **grado de idoneidad de cada sector para afrontar los retos del DUSA**, lo que se indicará con una circunferencia sobre los círculos que simbolizan cada sector. Del mismo modo, también cabe hablar de las interacciones entre los distintos niveles institucionales o sociales. Es posible que exista por ejemplo una importante demanda social, pero se debe saber si la sociedad que promueve es consciente de la legislación existente, o de las posibilidades o limitaciones técnicas, o de las limitaciones que pueda imponer la protección ambiental o los recursos económicos, por ejemplo. De modo recíproco, es importante saber si los legisladores o las instituciones ejecutoras son sensibles a las demandas sociales al redactar sus reglamentos o al promover los proyectos. Estas interacciones (en ambos sentidos) deben ser analizadas también con indicadores (cuantitativos o cualitativos), discutidas

en el grupo de planificación, consensuadas, y plasmadas en la herramienta informática, de modo numérico y gráfico.

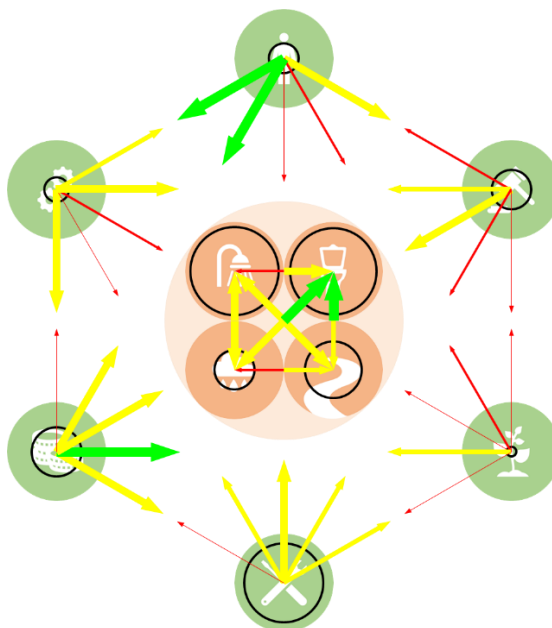


Figura 29.- desempeño e interacciones en el marco institucional y social.

En la Figura 28 se presenta un ejemplo gráfico de estas interrelaciones. Este tipo de análisis debe permitir visualizar posibles disfunciones o **desequilibrios** entre los actores. Por ejemplo, un sector técnico fuerte frente al resto de sectores débiles indicaría que el concepto del DUSA sólo está asentado a un nivel académico. De ser fuerte sólo el sector social, se trataría de una demanda no satisfecha y difícil de asumir al no haber un sustrato técnico-legal o institucional que lo avalen. En definitiva, es preciso hacer crecer los círculos de un modo más o menos homogéneo, y a medida que los círculos crezcan, también lo harán, de modo natural, sus interacciones.

Capa externa.- El sistema urbano

La gestión del agua es un elemento clave en la gestión urbana, pero no es el único, y no está desacoplado del resto. No es viable que una ciudad implante los criterios del DUSA al margen del resto de actividades urbanas. Los sistemas implicados son muchos y sus **interacciones** prácticamente innumerables, pero se han seleccionado las más relevantes para este análisis por su evidente interconexión (ver Figura 30).



Figura 30.- Sistemas urbanos interconectados con el agua: salud pública, energía, residuos sólidos y reutilización, parques y jardines, transporte y, en general, planificación y diseño urbano.

Sería prolijo detallar en qué medida cada uno de estos sistemas interacciona con el agua. En algunos casos, como el de salud pública, es muy evidente que el agua potable debe cumplir unos requisitos sanitarios y que el agua de los cauces apta para el baño también debe cumplirlos, y que algunas de las actividades humanas pueden atentar contra esa calidad mínima exigible. El diseño urbano, como marco global de desarrollo, debe armonizar al agua con el resto de los sistemas y darle la relevancia que merece en los procesos de planificación. El resto de las interacciones no se comentan, pero es obvio que las hay, en ambos sentidos.

Análisis del diagnóstico. Temas importantes

Del análisis realizado con el modelo conceptual DUSA se extraerán **necesidades o debilidades** a corregir y se pueden incorporar en las distintas fases de la planificación. Es deseable extraer una serie de "temas importantes", ya que una discusión exhaustiva puede poner sobre la mesa una enorme cantidad de acciones, sobre todo si el punto de partida es deficiente. En general es deseable que los distintos elementos de las distintas capas, y sus conexiones, tengan una evaluación similar y vayan creciendo de un modo homogéneo, de modo que, si algún elemento está muy descompensado, será conveniente invertir en su crecimiento.

Obviamente la capa externa no es algo sobre lo que en general se pueda actuar desde el sector del agua (más allá de las interconexiones que surjan desde este sector), pero sí es bueno analizar hasta qué punto el escaso desarrollo de estos sectores puede limitar la aplicación de criterios DUSA. Dado que los responsables institucionales (por ejemplo, municipales) en general tienen atribuciones sobre estos sectores, es una información que puede serles relevante. En concreto, el cómo el agua debe ser tenida en cuenta en la planificación de los desarrollos urbanos es muy sustantivo.

Tomando como base el modelo de planificación y decisión que proporciona la herramienta informática aflorarán una serie de cuestiones que en la actualidad no están bien resueltas y que pueden requerir inversión (estructural o no estructural). Cada una de estas grandes cuestiones debe ser analizada y desgranada en acciones que se pueden incorporar en las distintas fases de la planificación.

Algunos ejemplos de acciones potenciales son:

- Desarrollos reglamentarios para regular el uso o la gestión de los distintos tipos de agua.
- Campañas de sensibilización social.
- Planes urbanísticos que incluyan infraestructuras verdes-azules.
- Fortalecimiento técnico de las instituciones responsables de la gestión del agua.
- Evaluación del efecto de los vertidos urbanos sobre un cauce.
- Construcción de un tanque de tormenta, o de técnicas SUDS.

Además, durante el **proceso de planificación** mediante participación pública se debe analizar (cuantitativa o cualitativamente) cómo estas inversiones pueden hacer crecer los indicadores y por tanto cuáles son las más perentorias o interesantes.

En lo que respecta por ejemplo a la relación con los **centros de conocimiento**, este proceso de análisis orientará sobre qué líneas de conocimiento son las que merecen ser potenciadas desde el punto de vista de su aportación a la solución del problema global. De este modo, se pueden promocionar estudios para cubrir carencias u obtener datos que se consideran importantes. Este modo de priorizar

puede ser aplicado al desarrollo reglamentario, las acciones ambientales o la elaboración de los presupuestos municipales o autonómicos. Es importante colaborar con centros de conocimiento locales.