

CONTAMINACIÓN EN TIEMPO DE LLUVIA EN LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO SEPARATIVO: PROBLEMÁTICA Y SOLUCIONES EN MEDIO COSTERO

Joaquín Suárez¹, Jerónimo Puertas¹, Alfredo Jácome¹, José Anta¹, Héctor del Río¹, David Hernández², Jean-Pierre Blanco², Roberto Arias², Noela Mouriño¹, José Luis Romero²

(1) Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente. ETSICCP. CITEEC. Universidade Da Coruña.

(2) Administración Hidráulica de Galicia. Xunta de Galicia.

RESUMEN

Los nuevos diseños en ingeniería del saneamiento y drenaje urbano están motivados fundamentalmente por el nuevo conjunto de objetivos de protección del medio acuático que impone la Directiva Marco del Agua.

Hoy en día es sabido que las aguas «blancas», las aguas de escorrentía urbana, no son tales y que la contaminación movilizada en las mismas es significativa, y que su vertido a los sistemas acuáticos implica impactos que pueden llegar a ser importantes. Además, el impacto hidromorfológico es también otro factor a tener en cuenta. La contaminación movilizada por las aguas de escorrentía está muy condicionada por los usos de la cuenca. Las aguas pluviales lavan calles, los tejados, etc. Nutrientes, metales pesados, hidrocarburos son contaminantes que frecuentes en estas aguas.

Las nuevas estrategias de gestión de la contaminación a las aguas pluviales se fundamentan en la utilización de las Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible (TDUS). La Administración Hidráulica de Galicia está impulsando una serie de Instrucciones Técnicas para Obras Hidráulicas en Galicia (ITOGH), que deben servir de guía para el diseño y la construcción de obras de abastecimiento y saneamiento. Dentro del conjunto de instrucciones existen referencias explícitas (ITOGH-SAN-1/0 e ITOGH-SAN-1/4) a los criterios de diseño de TDUS. En este artículo se explicitan las bases conceptuales y de cálculo que justifican los criterios recogidos en las ITOHG.

PALABRAS CLAVE: TDUS, drenaje urbano sostenible, contaminación de aguas de escorrentía urbana, SUDS.

1.- DISEÑO AMBIENTAL DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO Y DRENAJE

Los procesos de urbanización y la alteración del régimen hidrológico

Las actividades del hombre sobre el territorio alteran las condiciones naturales de las cuencas. La magnitud de estos cambios varía en función del porcentaje de cuenca urbanizada y de la evolución de la misma para soportar la presión humana. Un efecto típico de la urbanización, que fundamentalmente implica la eliminación de la vegetación natural y la creación de superficies impermeables, es la modificación de los flujos superficiales. Esta modificación implica la alteración de los hidrogramas, que son mayores y más apuntados (mayores volúmenes de escorrentía, tiempos de respuesta más cortos y caudales máximos más altos), el incremento de los procesos de erosión y sedimentación, y la modificación del régimen térmico como consecuencia de la eliminación de la cubierta vegetal. La urbanización de la cuenca también modifica la liberación y el aporte de todo tipo de sustancias naturales, impurezas, a las masas de agua, que se suman a los contaminantes aportados por las actividades humanas. La alteración del régimen hidrológico y la presencia de contaminantes acaban afectando a los organismos de los medios acuáticos y alteran el carácter de los ecosistemas. El resultado es que la corriente queda significativamente alterada respecto a su estado natural original.

La urbanización implica la generación, por parte del hombre, de nuevas redes artificiales de drenaje que, por una parte, sustituyen a las naturales y, por otra, se deben encargar de recoger las aguas residuales que el nuevo asentamiento genera; surgen, por lo tanto, los sistemas de saneamiento y drenaje. Estos sistemas tienen muy diversos objetivos, pero el más importante es la protección de la calidad y el hábitat de los sistemas acuáticos. Esta protección implica reducir al máximo los impactos provocados tanto por la alteración del régimen hidrológico-hidráulico como por la llegada de contaminantes.

Hoy en día la eficiencia o bondad de un plan de saneamiento integral de una cuenca, que en la actualidad ya suelen incorporar medidas de gestión de las aguas pluviales o de tormenta, se evalúa en términos de cómo se reducirán los problemas de las aguas receptoras y cuándo se alcanzarán unos determinados objetivos de calidad que permitan restaurar determinados usos y recuperar los ecosistemas.

Cuando se estudia la problemática de presiones o impactos de un sistema de saneamiento o drenaje hay que diferenciar tres tipos de fenómenos de contaminación asociados con las aguas pluviales. El primero es el generado por las aguas de escorrentía, más o menos contaminada, que llega de forma directa, o a través de redes de alcantarillado separativas, redes de drenaje, a las masas de agua receptoras. El segundo tipo de fenómeno de contaminación que es generado por el vertido por rebose de alcantarillados unitarios, ó Descargas de Sistemas Unitarios (DSU) en tiempo de lluvia (CSO en la literatura anglosajona), con aguas que son mezcla de aguas pluviales contaminadas y aguas residuales urbanas convencionales. En estas últimas redes hay que tener muy en cuenta el fenómeno de resuspensión de los depósitos de sedimentos y biopelículas existentes en la red, resultado de la sedimentación de partículas y contaminación permitida por el régimen hidráulico existente durante el período seco. El tercer problema de contaminación asociado a las aguas de escorrentía es el generado en las depuradoras. La punta de caudal que asume la red acaban llegando a la depuradora y si supera su capacidad de tratamiento también se produce un rebose en tal punto. Además, el proceso de depuración puede quedar fuertemente alterado, provocando una bajada de rendimientos, que puede llegar a durar semanas, que acaba afectando finalmente a la calidad de las aguas en el medio receptor. Los tres tipos de descargas citados se diferencian en los volúmenes vertidos, en las concentraciones de contaminantes (medias y máximas), y en las fases y períodos de descarga.

Un informe de la US-EPA al Congreso de los EEUU, en 1993, indicaba que entre el 30 y el 40 por ciento de los ríos, lagos y estuarios evaluados no permitían el desarrollo de los usos que se les había asignado. Basado en información recopilada en 51 Estados, el informe indicaba que el arrastre por la escorrentía de la contaminación difusa, incluyendo áreas rurales, urbanas, actividades que utilizaban grandes superficies, y minas, eran los verdaderos causantes del mal estado de la calidad de las aguas.

Características de la contaminación de las aguas de escorrentía urbana

La concentración de actividades humanas genera deposición de polvo, suciedad, arenas, materia orgánica, nutrientes, metales pesados, tóxicos y contaminación bacteriológica sobre las superficies de las cuencas. La escorrentía, generada a partir de los sucesos de lluvia, disuelve y arrastra estos materiales vertiéndolos, en última instancia, en el medio receptor. Evidentemente, como consecuencia de las diferentes actividades y usos que se realizan en ellas, una cuenca natural, una cuenca rural, una cuenca urbana o una cuenca industrial, tendrán aguas de escorrentía con muy diferentes tipos y cargas de contaminación.

La lluvia y la nieve atrapan contaminantes presentes en la atmósfera en su caída; una primera fracción de la misma se emplea en mojar las superficies, otra se evapora y otra queda atrapada en huecos y depresiones del terreno. Si sigue lloviendo el agua se moviliza hacia los puntos de recogida, drenando las superficies y, a su vez, limpiando y transportando en disolución o en suspensión los contaminantes acumulados hacia la red de saneamiento y drenaje.

El primer intento serio de identificar las fuentes de contaminación de la escorrentía urbana fue en el trabajo de la “American Public Works Association”, realizado en la ciudad de Chicago en 1969. Las conclusiones fueron que las principales fuentes eran los sedimentos y materias acumuladas en la superficie de las calles, contaminantes de las zonas verdes, sustancias depositadas por el viento, las sustancias químicas empleadas para derretir el hielo y las sustancias aportadas por los vehículos. El estudio también indicaba que la fracción

acumulada en las calles era la más importante en términos cuantitativos y, además, la más fácil de gestionar o reducir.

En 1972, el estudio de la EPA (la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU.) “*Water Pollution Aspects of Street Contaminants*”, de Sartor y Boyd, se convirtió en el marco de referencia de las investigaciones relacionadas con la contaminación de las aguas de escorrentía urbana. En el estudio se tomaron muestras de la acumulación de sólidos totales en las calles de 8 ciudades estadounidenses, caracterizando sus propiedades físicas y químicas.

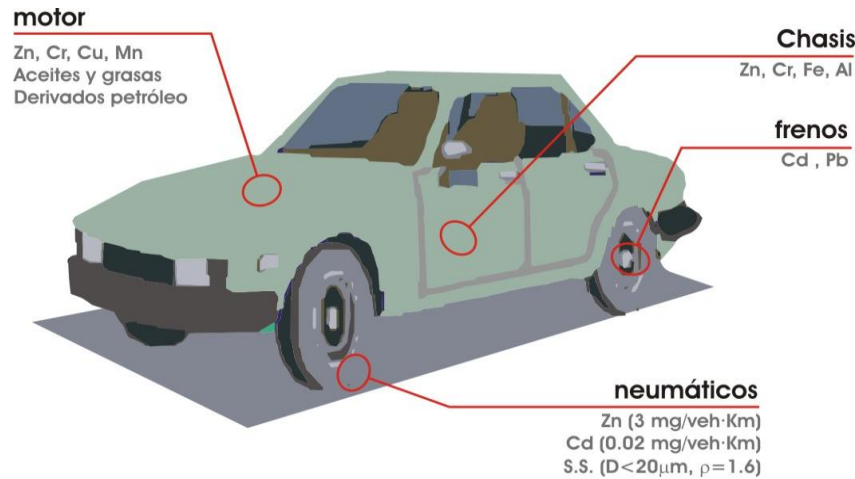


Figura 1.- Contaminación generada por el tráfico rodado.

Tabla 1.- Contaminación asociada con polvo y suciedad en cuencas urbanas (Novotny and Chesters, 1991).

Contaminante	Ref.	Residencial (mg/g)	Industrial (mg/g)	Comercial (mg/g)	Autopistas (mg/g)
DBO ₅	2	9.19	7.50	8.33	2.3
DQO	2	20.82	35.71	19.44	54
Sólidos volátiles	2	71.67	53.57	77.00	51
NTK	2	1.666	1.392	1.111	0.156
PO ₄ -P	2	0.916	1.214	0.833	0.61
NO ₃ -N	3	0.050	0.064	0.500	0.079
Pb	3	1.468	1.339	3.924	12
Cr	3	0.186	0.208	0.241	0.08
Cu	3	0.095	0.055	0.126	0.12
Ni	3	0.022	0.059	0.059	0.19
Zn	3	0.397	0.283	0.506	1.5
CT (UFC/100 mL)	2	160.000	82.000	110.000	-
CF (UFC/100 mL)	2	16.000	4.000	5.900	925

2) Sartor et al., 1974 3) Amy, et al., 1975

Las cargas anteriores son lavadas por las aguas pluviales, con toda la variabilidad intrínseca a las lluvias, y generan flujos con contaminación muy variada. En la tabla siguiente se presentan varias referencias que muestran los valores de concentraciones de contaminantes presentes en aguas de escorrentía superficial.

Tabla 2.- Comparativa de la contaminación entre aguas residuales urbanas y de escorrentía urbana (*US-EPA, 1999*).

CONTAMINANTE (mg/L)	ESCORRENTÍA URBA- NA. Redes separativas		AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS		
	Rango	Valor típico	Antes del tratamiento		Tratamiento secun- dario
			Rango	Valor típico	Valor típico
DQO	200-275	75	250-1000	500	80
SST	20-2890	150	100-350	200	20
P total	0.02-4.30	0.36	4-15	8	2
N total	0.4-20.0	2	20-85	40	30
Pb	0.01-1.2	0.18	0.02-0.94	0.10	0.05
Cu	0.01-0.40	0.05	0.03-1.19	0.22	0.03
Zn	0.01-2.9	0.02	0.02-7.68	0.28	0.08
CF (ufc/100 mL)	400-50000	---	10 ⁶ – 10 ⁸	---	200

A continuación se presenta una tabla con los valores de la carga contaminante movilizada anualmente por la escorrentía urbana. Se puede observar la dependencia de las cargas anuales con el uso de la cuenca: a medida que el grado de impermeabilización y la intensidad de tráfico aumenta la contaminación presente en la escorrentía es mayor.

Tabla 3.- Cargas de contaminación en la escorrentía superficial urbana (*Burton y Pitt, 2002*).

CONTAMINANTE	USO DEL SUELO (kg/ha/año)							Autopistas	Industrial	Parques		
	Comercial	Centro Comercial	Aparca- mientos	Residencial (Densi- dad)			Alta				Media ¹	Baja
				Alta	Media ¹	Baja						
Sólidos Totales	2100	720	1300	670	450	65	1700	670	N/D			
SST	1000	440	400	420	250	10	800	500	3			
P total	1.5	0.5	0.7	1	0.3	0	0.9	1.3	0.03			
NTK	6.7	3.1	5.1	4.2	2.5	0.3	7.9	3.4	N/D			
NH³	1.9	0.5	2	0.8	0.5	0	1.5	0.2	1.5			
NO₃⁻ + NO₂⁻	3.1	0.5	2.9	2	1.4	0.1	4.2	1.3	N/D			
DBO₅	62	N/D	47	27	13	1	N/D	N/D	N/D			
DQO	420	N/D	270	170	50	7	N/D	200	N/D			
Pb	2.7	1.1	0.8	0.8	0.1	0	4.5	0.2	2			
Zn	2.1	0.6	0.8	0.7	0.1	0	2.1	0.4	0			
Cr	0.15	0.04	N/D	N/D	0	0	0.06	0.6	N/D			
Cd	0.03	0.01	0.01	0	0	0	0.02	0	N/D			
As	0.02	0.02	N/D	N/D	0	0	0.02	0	N/D			

¹. Las cuencas monitorizadas estaban drenadas por canales de césped ("swales").

Impactos sobre los medios acuáticos receptores

Una revisión de los efectos de la contaminación asociada a la escorrentía urbana sobre la calidad de las aguas receptoras demanda una visión amplia, que contemple desde aspectos físicos, químicos y biológicos del medio receptor, a las características físicas y químicas de la contaminación de la escorrentía. El estado de los sistemas acuáticos naturales estará asociado a las características generales de la cuenca, la localización de los asentamientos urbanos y la historia del desarrollo de los mismos en la cuenca. El tipo de contaminación que aporte la escorrentía dependerá del tipo de industria, de la planificación de los núcleos urbanos y de sus redes de alcantarillado y de la gestión que se haga de las mismas.

Cada masa de agua va a presentar un determinado tipo de respuesta a las cargas de las DSU, dependiendo, principalmente, de los caudales base y de sus dimensiones. En sistemas acuáticos con aguas fluyentes o en el medio costero, en general, la capacidad de recepción puede ser excepcional para evitar niveles bajos de oxígeno disuelto. Sin embargo, pequeñas masas de agua tranquilas o zonas costeras muy confinadas, con altos tiempo de renovación, no se van a poder proteger mediante medidas de control tradicionales, ya que la capacidad de reacción es muy lenta y los efectos acumulativos pueden ser preponderantes.

La naturaleza de la cuenca saneada y drenada, por ejemplo, puede determinar el tipo y la magnitud de los contaminantes tóxicos, mientras que el tamaño y tipo de masa de agua receptora, así como la naturaleza y el estado de los sedimentos, determinarán las posibilidades de dilución o asimilación de las descargas intermitentes sin generar efectos tóxicos.

La gran variabilidad inherente a los fenómenos asociados a contaminación por sucesos de lluvia implica la posibilidad de que, en determinados momentos, se puedan producir situaciones pésimas de contaminación de carácter transitorio.

Referencias legales y normativas sobre impactos provocados por las aguas de escorrentía urbana

Una de las etapas de implantación de la DMA ha sido la identificación de presiones e impactos sobre las masas de agua. La Unión Europea elaboró la guía “Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/ec). Guidance Document nº 3. Analysis of Pressures and Impacts”, que fue trasladada, en parte, al contexto español mediante el documento “Manual para el análisis de presiones e impactos relacionados con la contaminación de las masas de agua superficiales”, en el año 2004. En el documento original se cita como presiones significativas de fuente puntual las relacionadas con los vertidos en tiempo de lluvia (“Storm water and emergency overflows”) y en presiones significativas de fuente difusa identifica las generadas por el “urban drainage (including runoff)”, que incluiría: “industrial/commercial estates, urban areas (including sewer networks), airports, trunk roads, railway tracks and facilities” y “harbours”. Los Planes Hidrológicos de Cuenca deben incorporar medidas para mitigar la llegada a los medios receptores de contaminación por escorrentías.

La “ORDEN MAM/1873/2004, de 2 de junio, por la que se aprueban los modelos oficiales para la declaración de vertido y se desarrollan determinados aspectos relativos a la autorización de vertido y liquidación del canon de control de vertidos regulados en el Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, de reforma del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas”, establece la necesidad de controlar los vertidos de “redes separativas de pluviales” y “vertidos desde aliviaderos”.

En el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica, se dice que la planificación hidrológica tiene por objetivos generales conseguir el buen estado y la adecuada protección del dominio público hidráulico y de las aguas. Debe guiarse por criterios de sostenibilidad en el uso del agua mediante la gestión integrada y la protección a largo plazo de los recursos hídricos, prevención del deterioro del estado de las aguas, protección y mejora del medio acuático y de los ecosistemas acuáticos y reducción de la contaminación. En el artículo 15 de “Presiones sobre las masas de agua superficial” dicta que “en cada demarcación hidrográfica se recopilará y mantendrá el inventario sobre el tipo y la magnitud de las **presiones antropogénicas significativas a las que están expuestas las masas de agua superficial**” y arguye que esta información incluirá entre otras “la estimación e identificación de la **contaminación significativa originada por fuentes difusas, producida especialmente por las sustancias enumeradas en el anexo II del Reglamento de Dominio Público Hidráulico, procedentes de instalaciones y actividades urbanas, industriales, tales como zonas mineras, suelos contaminados o vías de transporte**”.

Sin embargo, en la “Instrucción de planificación hidrológica” (septiembre de 2008), que sigue la doctrina y estructura establecida por la DMA y la metodología seguida en su implantación, identifica como presiones debidas a fuentes de contaminación puntual los “*vertidos de tormentas pluviales procedentes de poblaciones, zonas industriales, carreteras u otro tipo de actividad humana, a través de aliviaderos de depuradoras y otras canalizaciones o conducciones, que tengan un caudal de diseño superior a 100 m³/hora*”(28 L/s). Se preocupa también por las contaminación originada por fuentes difusas, y establece que se estimará e identificará la contaminación significativa originada por fuentes difusas, producida especialmente por las sustancias enumeradas en el

Anexo II del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, procedentes de instalaciones y actividades urbanas, industriales, agrícolas y ganaderas, en particular no estabuladas, y otro tipo de actividades, tales como zonas mineras, suelos contaminados o vías de transporte. Cita también como fuentes de contaminación difusa los transportes e infraestructuras asociadas sin conexión a redes de saneamiento: área ocupada y estimación de fitosanitarios u otros contaminantes permitidos (debe distinguirse entre barcos, trenes, automóviles y aviones y sus respectivas infraestructuras fuera de áreas urbanas).

Por último citar la “Ordenanza de gestión y uso eficiente del agua en la ciudad de Madrid”, establece, (Título, de la gestión de la demanda, Capítulo I, Planeamiento urbanístico y nuevos desarrollos urbanos, Artículo 7), el fomento del uso de recursos hídricos alternativos en el planeamiento urbanístico. La ordenanza obliga a que los instrumentos de planeamiento de desarrollo contengan medidas para la utilización de recursos hídricos alternativos, estableciendo sistemas de captación, almacenamiento y tratamiento de las aguas de lluvia en los edificios, en vías urbanas y aparcamientos, y en campos y pistas deportivas. El Artículo 8 de la Ordenanza se centra en “Pavimentos porosos y aguas pluviales”. Establece que en todas las actuaciones de urbanización, incluidos los proyectos de urbanización de planeamiento, los proyectos de obra de urbanización de espacios libres públicos y los proyectos de edificación que incluyan el tratamiento de espacios libres de parcela, deberán utilizarse superficies permeables, minimizándose la cuantía de pavimentación u ocupación impermeable a aquellas superficies en las que sea estrictamente necesario. Esta medida será de aplicación en todos los espacios libres. La Ordenanza considera “superficies permeables”, entre otros, los pavimentos porosos como gravas, arenas y materiales cerámicos porosos; la instalación de losetas, empedrados o adoquines ejecutados con juntas de material permeable tienen también dicha consideración. Se establecen unos mínimos % de superficie permeable. Finalmente cita (Capítulo III, “Riego de parques, jardines y zonas verdes”, Artículo 16. Utilización de recursos hídricos alternativos) que para el riego de parques, jardines y zonas verdes sea prioritaria la utilización de aguas pluviales y/o aguas regeneradas.

LA IMPLANTACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE (TDUS)

Una visión integral de la gestión del sistema de saneamiento y drenaje que minimice los impactos y permita alcanzar los objetivos de calidad de los sistemas acuáticos fijados obliga a desarrollar una estrategia de control total de la contaminación. Un compromiso sostenible entre los recursos hídricos y las demandas de la sociedad debe considerar todos los tipos de contaminación.

La gestión de las aguas de escorrentía y residuales debe ser vista en su totalidad. Así, mientras la eliminación de las fuentes puntuales de contaminación se puede solucionar mediante la construcción de las infraestructuras y el uso de tecnologías existentes, el control, y eliminación, de la contaminación difusa movilizada por las aguas pluviales es un problema mucho más difícil de resolver. Es imperativo que la solución del problema, la degradación de los sistemas acuáticos, pase por establecer estrategias que incorporen el control de la totalidad de las fuentes.

Evidentemente, como consecuencia de las diferentes actividades y usos que se realizan en ellas, una cuenca natural, una cuenca rural, una cuenca urbana o una cuenca industrial, tendrán aguas de escorrentía con muy diferentes tipos y cargas de contaminación, por lo que las estrategias de gestión de esas aguas (técnicas de regulación, tratamiento, medio final receptor, etc.) también deberán ser diferentes.

Con el fin de evitar todos los problemas de contaminación asociados a las aguas pluviales se han desarrollado durante las últimas décadas, y ya son de uso común en muchos países, las Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible (TDUS). La incorporación de TDUS determina una nueva relación entre las fuentes de contaminación, los caudales, los sistemas de transporte, las depuradoras y el medio receptor.

Las Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible (TDUS) pueden consistir bien en la construcción de nuevas infraestructuras (por ejemplo, los conocidos “depósitos de tormenta”), en la modificación de prácticas de diseño tradicionales, o en el cambio de hábitos (por ejemplo los de limpieza viaria de una cuenca). En la literatura anglosajona las TDUS son denominadas «Best Management Practices» (BMP) y su uso está ampliamente

extendido. En Europa, cuando estas técnicas están orientadas a la gestión de las aguas de escorrentía en la superficie de la cuenca se ha adoptado el nombre de “Sustainable Drainage Systems” (SUDS).

Las TGAPs pueden ser utilizadas, por lo tanto, en cualquier en cualquier ámbito del sistema de saneamiento y drenaje, tal como se muestra en la figura siguiente.

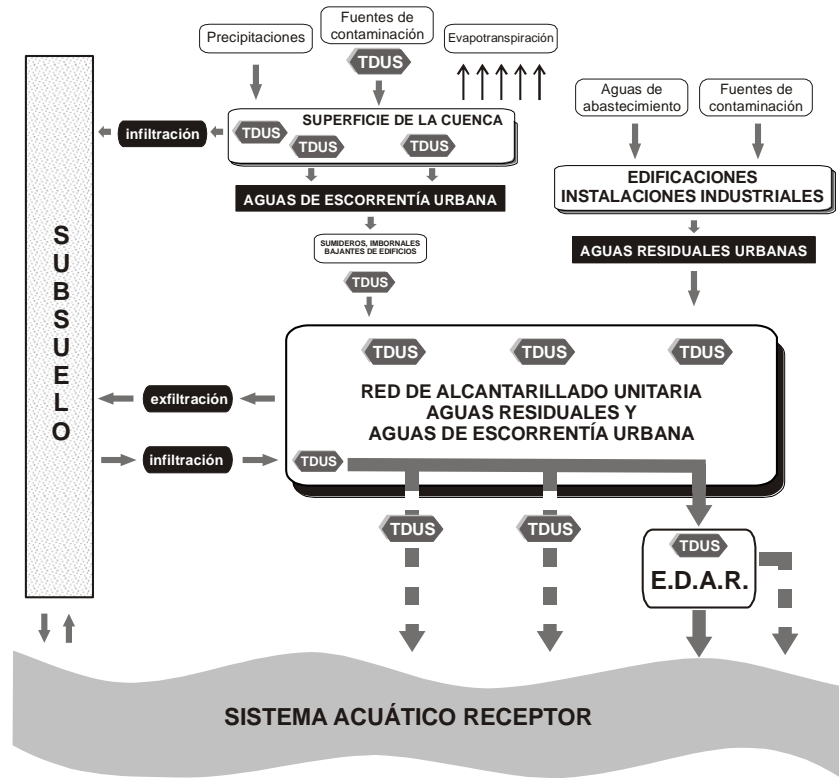


Figura 2.- Componentes de un sistema de saneamiento que incorpora técnicas de drenaje urbano sostenible (TDUS).

Las TDUS son técnicas o procedimientos destinados a que el sistema global de saneamiento y drenaje mejore su eficacia en la recogida, transporte y depuración de las aguas pluviales, o su mezcla con las aguas residuales de tiempo seco. Los beneficios obtenidos al emplear TDUS pueden ser de dos tipos: el control de la cantidad de agua y el control de la contaminación. Las TDUS se pueden clasificar desde numerosos puntos de vista. En la literatura aparecen diferentes clasificaciones según los autores y con terminología aún no consensuada. Dos de las clasificaciones más coherentes son las que se presentan a continuación (Temprano et al., 1996):

- Según el grado de intervención de la estructura en la red:
 - Medidas no estructurales:** son aquellas que no precisan una actuación en la estructura de la red y, por lo tanto, no requieren inversiones elevadas (pavimentos porosos, almacenamiento en las cubiertas, limpieza viaria, almacenamiento en las propias conducciones existentes, etc.). Las técnicas no estructurales se centran en la optimización del funcionamiento del sistema de saneamiento y drenaje existente, en el control reglamentario de vertidos o en la modificación de las actividades de la cuenca. Pueden ser un elemento importante en el plan de reducción de descargas de sistemas unitarios y la minimización de la contaminación asociada a la escorrentía urbana, aunque se debe tener en cuenta que en áreas altamente urbanizadas pueden no ser alcanzables los objetivos deseados.
 - Medidas estructurales:** son aquellas en las que es preciso operar en la estructura de la red o en la depuradora.

- Según el lugar del sistema de alcantarillado donde se apliquen:

Control en origen: son aquellas medidas que se aplican a elementos del sistema de drenaje previamente a su incorporación a la red de saneamiento.

Control aguas abajo: son aquellas medidas que se aplican en la red de alcantarillado o en la EDAR.

A continuación se explican brevemente ambas estrategias.

- Control en origen: Son medidas que se implantan normalmente en la superficie de la cuenca. Las técnicas de control en origen se pueden subdividir a su vez en dos categorías:

- Técnicas que reducen el caudal o volumen total de la escorrentía que entra en el sistema de alcantarillado.

Las técnicas que buscan reducir el caudal y volumen consisten, normalmente, en la construcción de depósitos pequeños que se sitúan cerca de la fuente, con lo cual se permite una más eficiente utilización del sistema de conducción aguas abajo. Otra forma de actuar en origen es infiltrar el agua en el suelo de forma que no se genere ni almacenamiento ni flujos superficiales.

Si se controla un porcentaje de las aguas de escorrentía antes de que penetre en la red de alcantarillado se mejora la efectividad del sistema. Este control se puede hacer bien desviando parte de las aguas hacia sistemas que permitan o faciliten la infiltración en el suelo (zanjas drenantes, depósitos de retención, etc.), bien haciendo que el flujo atraviese medios porosos (pavimentos porosos, depósitos de filtración en lecho de arena, etc.) que retrasan y aplanan el hidrograma que luego puede ser introducido a la red. El control también puede consistir en acumular agua en calles, aparcamientos o tejados.

Las instalaciones *in situ* se diseñan para controlar las lluvias cortas e intensas que generan las puntas de caudal más elevadas. El volumen total de escorrentía de tales lluvias es bastante pequeño, y el tiempo de detención es relativamente corto.

Estas medidas permiten evitar los efectos de la impermeabilización de las cuencas, tanto en caudales y volúmenes de agua como en contaminación. Son, por tanto, técnicas preventivas. Reducen o retienen volúmenes de agua contaminada, reducen los vertidos al medio receptor, y también, en muchos casos, realizan algún tratamiento sencillo de las aguas antes del vertido al medio. La problemática que presenta una red unitaria es muy diferente a la que se presenta en una red separativa, pero en ambos son aplicables estas técnicas, ya que se implantan en la cuenca de aportación.

- Técnicas de prevención de la contaminación que reducen la cantidad de contaminantes que entran en el sistema y acaba llegando al medio receptor.

Las técnicas de control en origen se suelen aprovechar para realizar algún tipo de tratamiento sencillo a las aguas de escorrentía basado en fenómenos físicos o biológicos. Se podría hablar de tratamientos blandos (por utilizar una terminología similar a la utilizada en depuración de aguas residuales urbanas) o naturales.

Dentro de las técnicas de control en origen que se basan en la prevención cabe mencionar las siguientes: limpieza de las calles, programas de educación pública, programas de gestión de residuos, control de fertilizantes y pesticidas en jardinería, control de la erosión del suelo (solares, parcelas en construcción, etc.), control de la escorrentía de zonas comerciales e industriales, limpieza de alcantarillado.

El control en origen presenta las siguientes ventajas: proporciona gran flexibilidad para elegir el lugar para la instalación; se puede normalizar el diseño de las unidades de almacenamiento o infiltración; se puede incrementar la eficiencia del sistema de conducción aguas abajo existente; el control del caudal en tiempo real puede incrementar la capacidad del sistema.

Y los siguientes inconvenientes: el mantenimiento y la regulación son difíciles y costosos, ya que hay que inspeccionar un gran número de unidades que proporcionan el mismo nivel de protección que los

controles aguas abajo, que son menores en número pero superiores en tamaño; no son normalmente efectivos para controlar las inundaciones en zonas situadas muy aguas abajo.

- Control aguas abajo:

El control aguas abajo tiene lugar al final de una gran cuenca, en una subcuenca de saneamiento o drenaje, o en una estación depuradora de aguas residuales. Con el control aguas abajo el volumen de almacenamiento se concentra en unos pocos emplazamientos. Estas instalaciones implican disponer de infraestructuras con más capacidad de almacenamiento que las de control en origen. Suelen ser técnicas paliativas, y suelen utilizarse cuando se decide no intervenir en el interior de las subcuencas.

En algunas ocasiones las técnicas aguas abajo incorporan procesos de tratamiento que suelen ser modificaciones o adaptaciones de procesos convencionales. Se pueden citar la utilización de procesos físico-químicos, la flotación, el uso de equipos de pretratamiento, que normalmente precisan energía eléctrica, llegando incluso al uso de sistemas biológicos como los biofiltros o a sistemas de desinfección como los rayos ultravioleta.

El control aguas abajo presenta las siguientes ventajas: tiene un coste de construcción reducido comparado con un gran número de unidades de control en origen; tiene un reducido coste de funcionamiento y mantenimiento; es más fácil de administrar su construcción y mantenimiento.

Y los siguientes inconvenientes: dificultad de ubicación; elevados costes de adquisición de terreno; en sistemas de alcantarillado unitario encajar un almacenamiento en el sistema puede ser difícil; puede tener mayores impactos medioambientales que las técnicas de control en origen.

Las medidas “no estructurales” coinciden, en general, con el control en origen; por su parte, las medidas “estructurales” lo hacen con el control aguas abajo. Además, a las técnicas de control en origen se las podría denominar técnicas preventivas; la filosofía de las técnicas de control aguas abajo suele ser curativa o paliativa.

En las TGAP se suele diferenciar entre sistemas con “retención” y sistemas con “detención” del agua. La detención se refiere al almacenamiento temporal de la escorrentía con objeto de reducir las descargas punta (aplanan y expanden el hidrograma de entrada), tras este corto periodo de tiempo el agua es conducida hacia cursos de agua naturales o artificiales (alcantarillado) para que continúe el ciclo hidrológico. Estas instalaciones se diseñan para vaciarse completamente después de la lluvia. La retención engloba los procedimientos en los que el agua de escorrentía se almacena durante un periodo de tiempo superior y su incorporación de nuevo al ciclo hidrológico se realiza por infiltración, percolación o evapotranspiración y no de forma directa a los cursos de agua. En ocasiones, sin embargo, en los sistemas de retención el agua es reenviada a un cauce o conducto aguas abajo por un desagüe controlado. Un ejemplo de instalación de detención son los depósitos de regulación de una red de alcantarillado mientras que ejemplos de instalaciones de retención serían las zanjas o depósitos de infiltración.

De forma general se puede decir que en las técnicas de control en origen se intenta conseguir retención, mientras en los sistemas aguas abajo se suele utilizar detención.

Cuando se implantan TDUS una cuenca lo normal es que se deban poner en práctica tanto técnicas de control en origen como de control agua bajo.

Una gestión efectiva de las aguas pluviales debe ser planificada (por ejemplo mediante planes directores) y gestionada en un marco geográfico de actuación de tamaño medio ó grande, en el puedan surgir sinergias y economías de escala, y los costes puedan ser socialmente asumibles.

Como se ha visto en los párrafos anteriores, no hay una frontera clara entre qué constituye el control en origen y el control aguas abajo. Hay instalaciones de almacenamiento que, hablando estrictamente, pueden clasificarse como cualquiera de los dos tipos.

CONTROL Y TRATAMIENTO EN ORIGEN

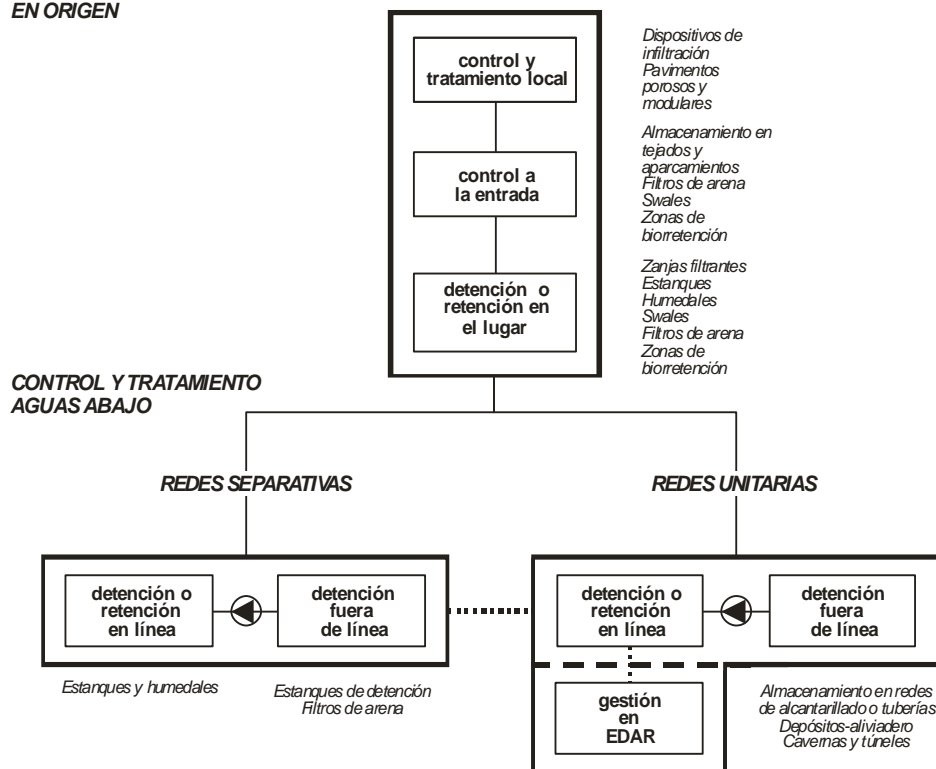


Figura 3.- Clasificación de las TGAP (adaptada de Sthare y Urbonas, 1990).

LAS INSTRUCCIONES TÉCNICAS DE OBRAS HIDRÁULICAS DE GALICIA (ITOHG) Y LAS TÉCNICAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE

Los objetivos generales de las ITOHG respecto a los sistemas de saneamiento y drenaje se basan en los siguientes principios: garantía de la protección sanitaria; control de inundaciones en zonas urbanizadas; desarrollo sostenible.

Estos principios se materializan en los siguientes vectores:

- Garantía del mejor servicio a los usuarios.
- Protección de los medios receptores.
- Planificación y gestión que facilite el dimensionamiento y explotación de las estaciones depuradoras.
- Reducción de caudales de escorrentía.
- Reducción de la contaminación del agua de escorrentía.
- Minimización de vertidos en tiempo de lluvia desde los sistemas unitarios.
- Valorización de las aguas pluviales.
- Promoción de la reutilización de las aguas regeneradas.

En la ITOHG-SAN-1/0 se realiza el siguiente posicionamiento respecto a las aguas pluviales: “Las aguas de escorrentía en la cuenca urbana (antes de entrar en el sistema de saneamiento), y las aguas que circulan por la red de pluviales en sistemas separativos tienen en común el hecho de no estar mezcladas con aguas residuales. Este hecho cierto tiene varias consecuencias:

- Es un agua con un nivel de contaminación muy variable, casi nulo en medios rurales, sin contaminación difusa apreciable, pero muy alto en medios urbanos muy consolidados.
- El vertido directo de esas aguas a los medios receptores puede no ser adecuado, ya que depende de las fuentes de contaminación que converjan en cada cuenca a drenar (por ejemplo la existencia de tráfico

intenso o la presencia de industria con emisiones gaseosas importantes), por lo que deberá comprobarse y justificarse esta posibilidad en todos los proyectos.

- Dado que el tipo de contaminación no es el propio de un agua residual urbana, el tipo de tratamiento adecuado tampoco es el mismo, por lo que se deben considerar tratamientos específicos para estas aguas (más simples, por lo general).
- Tras un tratamiento adecuado, o de modo directo si el agua está poco contaminada, el agua pluvial debe ser considerada un recurso, y procede su almacenamiento y utilización para usos compatibles con su calidad (no para consumo urbano, en general). El vertido de aguas de buena calidad a los cauces fluviales o masas de agua subterránea es un uso compatible con este principio.”

La Instrucción amplía y justifica estos principios, y esboza las TDUS a utilizar, que son detalladas en la ITOHG-SAN-1/4.

La Instrucción SAN-1/0 enumera también los beneficios potenciales que tiene el controlar la cantidad de aguas de escorrentía urbana:

- Prevención o reducción de los incrementos del valor punta de escorrentía causados por el desarrollo urbano (reducción de impactos hidromorfológicos sobre corrientes naturales).
- Mitigación de los problemas de la capacidad del alcantarillado aguas abajo.
- Recarga de los recursos de agua subterránea.
- Reducción o eliminación de la necesidad de mejoras en las infraestructuras aguas abajo
- Disminución de la erosión de los cauces (con un diseño apropiado) a través del control de la velocidad y de la reducción del caudal
- Reducción de la carga contaminante a través de deposición, reacción química y mecanismos de depuración biológicos.
- Mejoras de las características del caudal que llega a la planta de depuración.
- Beneficios estéticos y ecológicos del hábitat en lugares multiuso.
- Control de la deposición de sedimentos.
- Mejora de la calidad del agua a través de la filtración, en su caso, del agua de escorrentía.

La Instrucción tiene presente que el control y la valorización de las aguas pluviales es un principio cuya implementación tiene varias vertientes. Además de la construcción y explotación de infraestructuras adecuadas, se requiere una concienciación social y un cambio de paradigmas, que necesariamente deben adoptarse de modo gradual. Se considera fundamental trabajar en varios frentes: limpieza de las calles; programas de educación pública; programas de gestión de residuos; control de fertilizantes y pesticidas; control de la erosión del suelo; y control de la escorrentía de zonas comerciales e industriales; promoción y potenciación de la construcción y explotación de TDUS.

En la ITOGH-SAN-1/4 se describen detalladamente un amplio abanico de tipologías de TDUS, tanto de control en origen como de control aguas abajo en redes de drenaje de pluviales.

La Instrucción recomienda la adopción de las TDUS para el control de la contaminación de las aguas de escorrentía en los siguientes casos:

- En núcleos rurales, con población superior a 1000 habitantes, a excepción de núcleos que puedan producir una alta cantidad de contaminación difusa (pesticidas, erosión do solo, etc.), en los que se deben aplicar las TDUS en cualquier caso.
- En zonas urbanas e industriales.
- En aparcamientos de superficie superior a 0,5 ha.
- En carreteras con IMD superior a los 20.000 vehículos/día.

- En zonas como gasolineras, inmediaciones de estaciones de ferrocarril o autobuses o similares.

En el caso en que los medios acuáticos receptores estén clasificados con alguna figura de protección recogida en la Directiva Marco del Agua se aconseja utilizar TDUS en los siguientes casos:

- En núcleos rurales, con población superior a 5000 habitantes, a excepción de núcleos que puedan producir una alta cantidad de contaminación difusa (pesticidas, erosión del suelo, etc.), en los que se deben aplicar las TDUS en cualquier caso.
- En zonas urbanas e industriales.
- En aparcamientos de superficie superior a 0,25 ha.
- En carreteras con IMD superior a los 10.000 vehículos/día.
- En zonas como gasolineras, inmediaciones de estaciones de ferrocarril o autobuses o similares.

TDUS recomendadas

Se recomiendan las siguientes tipologías de TDUS:

Control y tratamiento local:

- Dispositivos de infiltración, como cunetas o pozos de infiltración.
- Pavimentos porosos o modulares.

Retención o detención a nivel subcuenca:

- Estanques de detención (secos).
- Estanques de retención (húmedos).
- Depósitos de hormigón, normalmente subterráneos.
- Humedales artificiales.
- Bandas de césped o cunetas con de césped.
- Sistemas de filtración en lecho de arena (superficiales, perimetrales, subterráneos).

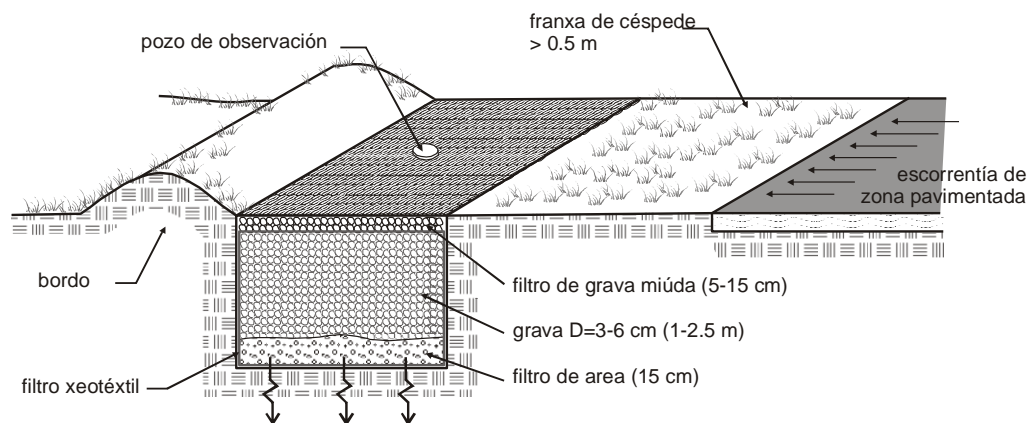


Figura 4.- Esquema dunha gabiá de infiltración.

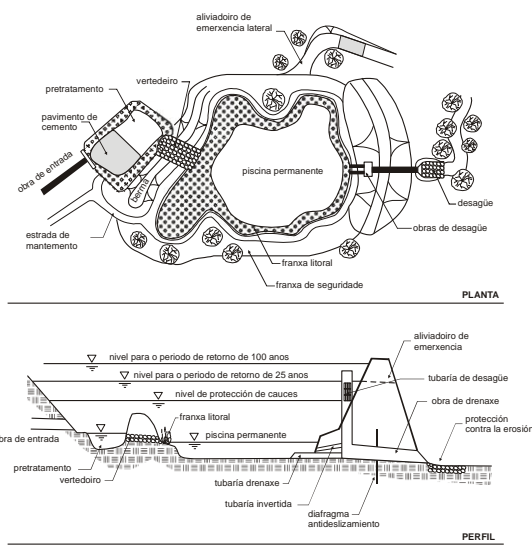


Figura 5.- Esquema dun estanque de retención .

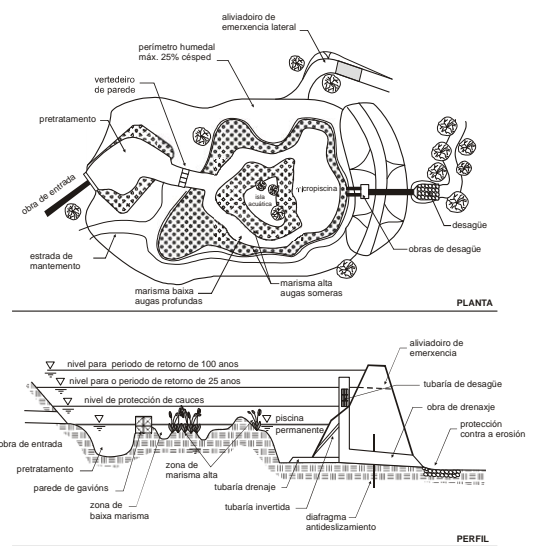


Figura 6.- Esquema de un humedal artificial.

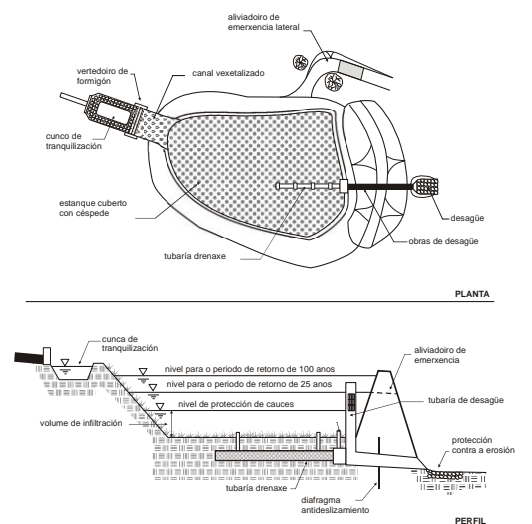


Figura 7.- Esquema dun estanque de infiltración.

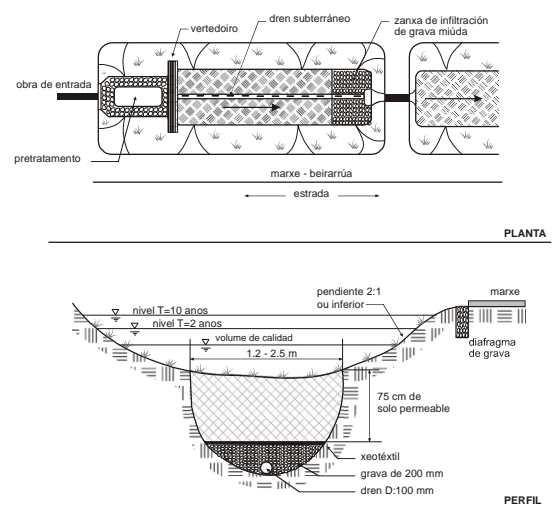


Figura 8.- Esquema dunha cuneta de céspede.

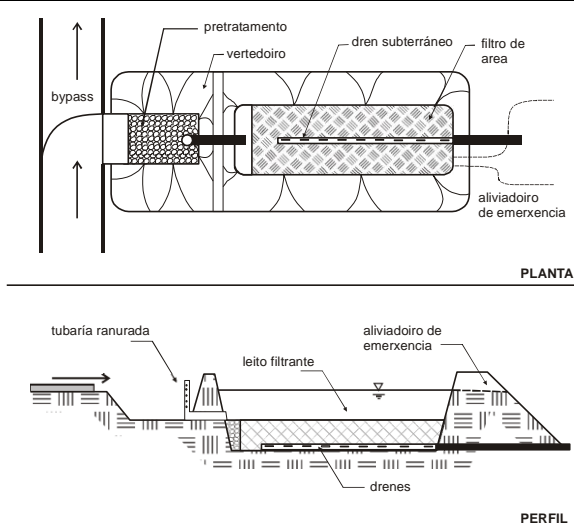


Figura 9.- Esquema dun filtro superficial .

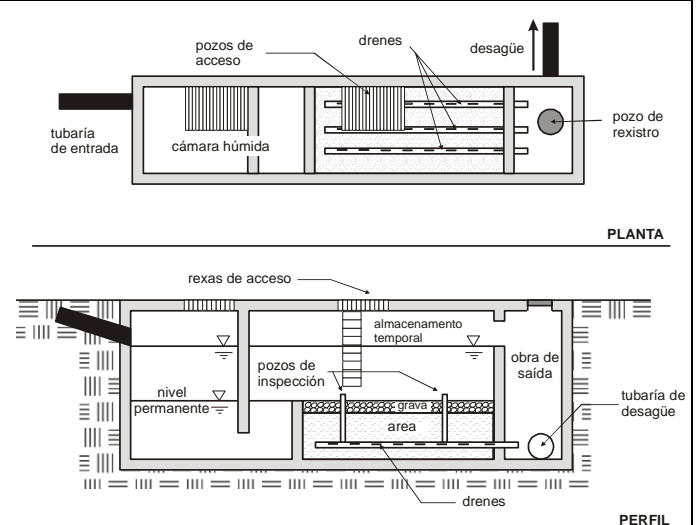


Figura 10.- Esquema de un filtro subterráneo.

CONCLUSIONES

En el texto precedente se ha esbozado una problemática, la de la contaminación asociada a las aguas de escorrentía urbana que, en determinados contextos, pueden generar impactos significativos sobre los medios acuáticos receptores y las soluciones que se proponen desde la Administración Hidráulica de Galicia. La ITOGH-SAN-1/4 supone un impulso a las Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible, es decir al desarrollo urbano sostenible.

Es importante concienciar a todos los agentes implicados de la necesidad perentoria de cumplir con los objetivos impuestos por la Directiva Marco, y asumir que este cumplimiento pasa por invertir (tanto en construcción como en explotación) no solo en EDAR sino también en la red y en la superficie de la cuenca, en el origen del problema. La ordenación del territorio y el planeamiento urbanístico se convierten en herramientas claves en la gestión sostenible de los recursos hídricos en el medio urbano.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Xunta de Galicia, Consellería de Medio Ambiente, y en particular a la Administración Hidráulica de Galicia, impulsora de la serie ITOHG. El trabajo que se presenta aquí es un esfuerzo colectivo, impulsado por D. José Luis Romero, Director Xeral de Augas de Galicia y Presidente de la EPOSH.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Burton, GE, Pitt RE (2002). *Stormwater handbook*. Lewis publishers.

EPA-821-R-99-012; (1999); “Preliminary data summary of urban storm water best management practices”; Office of Water; US-EPA.

EPA (2004); “Storm Best Management Practices Design Guide. 3 Volumes”; disponible en <http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r04121/600r04121.htm>

Novotny, V. and G. Chesters, "Delivery of Sediments and Pollutants from Non point Sources", Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 44, No. 6, pp. 568-577, 1989.

Sartor, J. D. y Boyd, G. B. (1972); “Office of research and monitoring, U.S. Environmental Protection Agency. Water pollution aspects of street surface contaminants”. NTIS. Washington D. C. Págs. 236. ISBN: EPA-R2-72-081.

Stahre, P.; Urbonas, B.; (1990); “Stormwater detention for drainage, water quality, and CSO management”; Prentice Hall, EE.UU.; 338 pags., ISBN 0-13-849837-7.

Suárez López, J.; Cagiao Villar, J.; Puertas Agudo, J.; Jácome Burgos, A.; Beneyto González-Baylín, Anta Álvarez, J.; (2005); “Vertidos de sistemas de saneamiento unitario en tiempo de lluvia: control de impacto sobre ríos”; Ing. y Territorio; nº 71, PAGS. 44-55, ISSN: 1695-9647

Xunta de Galicia (2008); “Instruccions Técnicas para Obras Hidráulicas en Galicia”. Administración Hidráulica de Galicia.