

INCORPORATION OF SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS IN URBAN DEVELOPMENT PROJECTS. APPLICATION TO A COASTAL ZONE WITH HIGH WATER TABLE

Sánchez Carratalá, Carlos R.

Universitat Politècnica de València

Proper management of stormwater is a particularly important aspect which largely determines the urban development and its sustainability. Unlike traditional interventions - purely quantitative and focusing on the evacuation of peak flows during a storm-, contamination of rainwater and its effects on the receiving environment have become determinant design factors during the last few decades. Added to that is the convenience of reducing the flow to transport in order to limit the costs of construction and operation of new drainage systems, as well as to permit the continued operation of existing systems if an increase of their catchment areas takes place. All of this has led to a reformulation of urban runoff management, resulting in what is known as sustainable urban drainage systems, whose incorporation into urban development projects should be encouraged and required. This paper describes a number of sustainable drainage measures and presents the application of some of them in the urban development of a coastal zone consisting of a littoral plane with high water table.

Keywords: *Stormwater; Drainage systems; Urban development projects; Coastal zone; Sustainability; Environmental engineering*

INCORPORACIÓN DE SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE EN PROYECTOS DE URBANIZACIÓN. APLICACIÓN EN UNA ZONA COSTERA CON ALTO NIVEL FREÁTICO

La gestión adecuada de las aguas pluviales es un aspecto de especial relevancia que condiciona en gran medida el desarrollo de las zonas urbanas y su sostenibilidad. Frente a las actuaciones tradicionales -de carácter exclusivamente cuantitativo y centradas en la evacuación de los caudales punta en caso de tormenta-, se ha pasado en las últimas décadas a integrar como factores determinantes del diseño la contaminación de las aguas de lluvia y sus efectos sobre el medio receptor. A ello se une la conveniencia de reducir los caudales a transportar al objeto de acotar los costes de construcción y explotación de los nuevos sistemas de evacuación, así como para permitir la continuidad de funcionamiento de los sistemas ya existentes ante un incremento de sus cuencas vertientes. Todo lo anterior ha llevado a una intensa reformulación de la gestión de las escorrentías urbanas, dando lugar a lo que se conoce como sistemas de drenaje urbano sostenible, cuya incorporación en los proyectos de urbanización debe promoverse y exigirse. En esta ponencia se describen diversas medidas de drenaje sostenible y se expone la aplicación de algunas de ellas en la urbanización de una zona costera formada por una plana litoral con alto nivel freático.

Palabras clave: *Aguas pluviales; Sistemas de drenaje; Proyectos de urbanización; Zona costera; Sostenibilidad; Ingeniería medioambiental*

Correspondencia: Carlos R. Sánchez-Carratalá - Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras - E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Valencia - Correo-e: csanchez@mes.upv.es - URL: <http://www.upv.es>

1. Introducción

El desarrollo de una urbanización convencional conlleva un cambio radical en la pendiente y la permeabilidad del terreno. La construcción de viales con calzadas y aceras pavimentadas, junto con la edificación y urbanización de los solares, dan lugar a superficies con muy escasa capacidad de retención e infiltración del agua de lluvia, lo que se traduce en un notable aumento de la escorrentía respecto a la situación original; el aumento de la cantidad de agua que permanece en la superficie puede entonces producir acumulaciones en zonas deprimidas o inundaciones generalizadas con mayor facilidad, que evidentemente resultan indeseables para la funcionalidad urbana. Además, al ser las superficies de los viales menos rugosas y con menos obstáculos, las velocidades del flujo aumentan, pudiendo llegar a ser importantes incluso con pendientes reducidas, lo que, a su vez, reduce el tiempo de concentración de la cuenca de captación y aumenta los caudales punta; de esta forma se pueden generar dentro de la trama urbana riadas que deterioren el equipamiento urbano, arrastren todo tipo de elementos, incluidos árboles y vehículos, entren en las edificaciones, o afecten a las personas. A partir de aquí, lo más lógico es pensar en retirar cuanto antes esas aguas de la superficie para evitar los daños o molestias que, de lo contrario, se producirían.

Un sistema de drenaje urbano convencional está basado precisamente en eso, es decir, en captar lo antes posible las aguas de escorrentía para introducirlas en conducciones subterráneas que las transporten hasta un medio receptor con capacidad suficiente. Los sistemas de drenaje basados únicamente en colectores son caros, especialmente si deben ir acompañados de estaciones de bombeo para recuperar la cota piezométrica perdida por el soterramiento del agua y durante su transporte. Además, a medida que aumenta el tamaño de la ciudad, debe crecer el tamaño y longitud de los colectores, pudiendo resultar insuficientes los ya existentes.

Esa manera de proceder es, en cierto modo, similar a la adoptada en los sistemas de saneamiento urbano, que soterran las aguas residuales para hacerlas invisibles al ciudadano. Sin embargo, las aguas de lluvia son limpias en origen; sólo después de dejarlas circular por superficies contaminadas o de que arrastren residuos y sedimentos, se convierten en aguas con efectos potencialmente dañinos para el medio receptor.

Partiendo de esa diferencia radical entre las aguas residuales y las pluviales, resulta conveniente concretar cuál es el origen de la problemática generada por las segundas en el ámbito urbano para analizar si existen alternativas razonables a los sistemas convencionales de drenaje. Una de las causas de la problemática asociada a las aguas pluviales al producirse el desarrollo urbano, es la alteración sustancial del ciclo hidrológico, pues con el proceso de urbanización se dificultan o impiden los procesos naturales de acumulación, filtración e infiltración, se aumenta la velocidad del flujo, y el agua que permanece en la superficie se hace circular por zonas más o menos contaminadas. Esto ya indica cuáles han de ser las claves de la solución, que consistirán en reponer o imitar, en la medida de lo posible, las características del ciclo hidrológico y del flujo natural previos al proceso urbanizador, a la vez que se adoptan medidas para reducir la contaminación de las aguas de escorrentía, aplicando, en su defecto, los tratamientos precisos para restaurar la calidad exigible al agua antes de su vertido al medio receptor. En esto, precisamente, están basados los sistemas de drenaje urbano sostenible, cuya incorporación en los proyectos de urbanización debe promoverse y exigirse.

En esta ponencia se describen diversas medidas de drenaje sostenible, así como su aplicación integrada para la reducción de la escorrentía y la mejora de la calidad del agua de lluvia. Asimismo, se expone la aplicación de algunas de ellas para la mejora de la urbanización de una zona costera formada por una plana litoral con alto nivel freático.

2. Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible

Los sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS, del inglés *sustainable urban drainage systems*), también conocidos genéricamente como *diseño urbano sensible al agua pluvial* (SW-SUD, del inglés *stormwater sensitive urban design*) o mejores prácticas de gestión del agua pluvial (SW-BMP, del inglés *stormwater best management practices*), tienen como objetivo minimizar el impacto del proceso urbanizador para proteger los sistemas naturales, a base de:

- Reducir la cantidad del agua pluvial que se debe transportar hasta el medio receptor.
- Mejorar la calidad de esa agua pluvial.
- Conseguir la integración paisajística de las actuaciones a realizar.
- Maximizar el valor social y ambiental de dichas actuaciones.

La forma de conseguirlo consiste en reproducir o no alterar, en lo posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización. La intervención debe realizarse en todas las fases del proceso urbanizador, es decir: planeamiento, proyecto, construcción y gestión. Para ello, lo ideal es que el drenaje sostenible forme parte sustancial del planeamiento territorial y urbano a través de los distintos instrumentos previstos por la legislación. Sin embargo, no es ésa la situación actual en la mayoría de los países. El grado de implantación es bastante elevado, aunque relativamente reciente, en países anglosajones con normativa y manuales de diseño propios, como ocurre, por ejemplo, en Estados Unidos de América (e.g., Muthukrishnan et al., 2004), Reino Unido (e.g., Woods-Ballard et al., 2007) o Australia (e.g., Victorian Stormwater Committee, 1999; Engineers Australia, 2006); en el continente europeo los sistemas de drenaje sostenible están más extendidos en algunos países del centro y norte que en los del sur de Europa, donde aún son escasas las experiencias (Revitt, Ellis & Scholes, 2003). En España, la tipología más implantada en las dos últimas décadas es la de los depósitos de retención (Perales & Andrés-Doménech, 2007), casi siempre para mantener operativa una red de colectores ya existente frente a incrementos de la cuenca vertiente, a la vez que se reduce el impacto contaminante sobre el medio receptor, especialmente con lluvias de pequeño período de retorno. Asimismo, han proliferado en algunas zonas los pavimentos porosos—sobre todo, a base de adoquines—, si bien, en la mayoría de los casos, no lo ha sido como medida de drenaje, sino simplemente para mejorar la calidad visual de la urbanización; de hecho, en muchas ocasiones los detalles constructivos (con soleras de hormigón e, incluso, con juntas selladas con mortero) nada tienen que ver con favorecer la infiltración, sino todo lo contrario.

3. Medidas de Drenaje Sostenible

Las medidas o actuaciones de drenaje sostenible pueden clasificarse en constructivas y no constructivas, dependiendo de si contemplan o no la introducción de algún elemento constructivo para su implementación. A continuación se exponen las medidas más interesantes dentro de cada tipo.

3.1 Medidas No Constructivas

Las medidas o actuaciones no constructivas de drenaje sostenible, también conocidas como no estructurales o medidas de gestión, presentan un enorme interés, pues permiten abordar el problema mediante prácticas que previenen o reducen el problema en origen, permitiendo así abaratar y maximizar el efecto de las medidas constructivas. Entre ellas, se pueden citar:

- a. Legislación y normativa que obligue a la incorporación de una visión integrada sobre el ciclo del agua en el ámbito urbano y al control de las fuentes de contaminación.

- b. Planificación urbana orientada a la minimización de superficies impermeables y a la reposición del ciclo hidrológico natural para reducir la escorrentía y maximizar la capacidad depuradora del medio. Es lo que se conoce como mejores prácticas de planificación del agua pluvial (SW-BPP, del inglés *stormwater best planning practices*).
- c. Estudios sobre fuentes de contaminación de las aguas pluviales a causa de actividades domésticas, comerciales, industriales, constructivas, etc., para poder proponer medidas destinadas a su eliminación o reducción.
- d. Selección de plantas para ajardinamiento a fin de minimizar las necesidades de riego y asegurar la supervivencia de las plantas durante las épocas secas, a la vez que se consigue una adecuada configuración y naturalización del paisaje urbano.
- e. Control de herbicidas y plaguicidas empleados en parques y jardines para reducir la contaminación de las aguas pluviales por el lavado de plantas y al discurrir sobre superficies vegetadas.
- f. Eliminación de superficies erosionables, incluidas las generadas durante la construcción de obras, para reducir el arrastre de sedimentos al sistema de drenaje urbano.
- g. Limpieza y baldeo de superficies poco permeables para reducir la concentración excesiva de contaminantes entre episodios lluviosos.
- h. Programas de educación y participación ciudadana para concienciar a la población sobre la problemática derivada de las aguas de lluvia y para permitir su intervención en el diseño de la ciudad, incorporando sus opiniones y sugerencias.

Como complemento de las medidas no estructurales antes citadas, se propone en esta ponencia la adaptación de los planes de estudio de titulaciones universitarias relacionadas con la ingeniería civil, el urbanismo y el medioambiente para incorporar el drenaje sostenible y, de forma más general, el estudio del ciclo integral del agua en el entorno urbano, como elemento troncal para el diseño de la ciudad y la naturalización de su paisaje.

3.2 Medidas Constructivas

Las medidas o técnicas constructivas de drenaje sostenible, también conocidas como estructurales, permiten actuar de forma directa sobre la cantidad y la calidad del agua que forma parte de la escorrentía de una tormenta. A fin de realizar una buena selección de las mismas y optimizar su aplicación en cada caso concreto, deben ser entendidas como parte de una línea de tratamiento del agua pluvial, de manera que, a la vez que reducen el volumen total de agua drenada y acotan el caudal punta aguas abajo, también permiten eliminar residuos, sedimentos y otros contaminantes del agua de lluvia antes de su vertido al medio receptor. En este sentido, siguiendo la terminología habitual en estaciones depuradoras de aguas residuales, se puede hablar de medidas de pretratamiento (desbaste grueso y fino, sedimentación de partículas gruesas a medias, desengrasado), de tratamiento primario (sedimentación de partículas medias a finas, filtrado granular, filtrado vegetal), de tratamiento secundario (absorción biológica) e, incluso, de tratamiento terciario (digestión biológica, eliminación de nutrientes). En sistemas sencillos se pueden aprovechar para el desbaste las rejillas de los sumideros de captación del agua que discurre por los viales, junto con un buen programa de limpieza viaria y mantenimiento de dichos sumideros.

Se exponen seguidamente las medidas constructivas de tratamiento más habituales:

- a. Cunetas vegetadas (en inglés *vegetated swales*): son cauces lineales con vegetación, conformados en el terreno y dotados de pendiente longitudinal a modo de canalización, con el objeto de transportar las aguas pluviales procedentes de

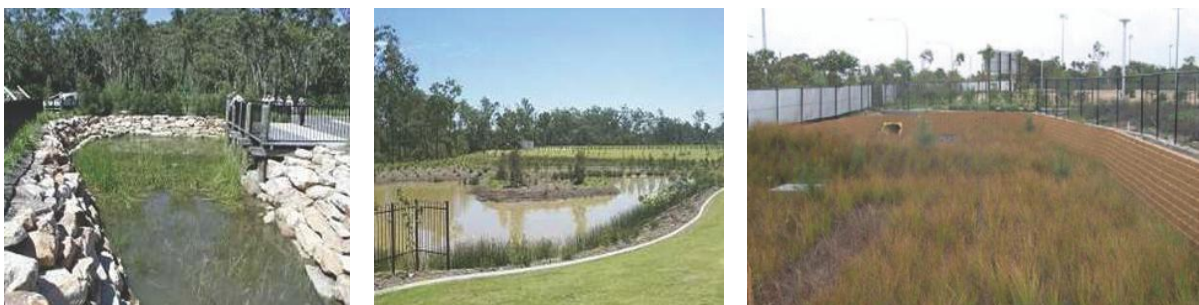
áreas impermeables adyacentes. Dado que prima el proceso de conducción de las aguas, suelen ser cunetas con vegetación de poco porte, normalmente de tipo herbáceo. En la Figura 1 se muestran diversos ejemplos de cunetas vegetadas.

Figura 1: Ejemplos de Cunetas Vegetadas



- b. Franjas filtrantes vegetadas (en inglés *vegetated filter strips*): son bandas de terreno con vegetación, relativamente anchas y dotadas de pendiente transversal, capaces de aceptar un flujo muy somero distribuido (en manta) procedente de la escorrentía de áreas impermeables próximas. La vegetación suele ser de muy poca altura, como la de las cunetas vegetadas, aunque suelen llevar algunos árboles o arbustos aislados.
- c. Zanjas filtrantes y pozos filtrantes (en inglés *filter trenches* y *filter pits*): son zanjas y pozos rellenos con un material filtrante, generalmente arena. Este tipo de elementos no tiene como finalidad primordial la infiltración, aunque a veces sea un proceso que también tiene lugar si no se impide y el terreno circundante lo permite. Cuando se disponen en recintos construidos in situ o prefabricados suelen conocerse como filtros granulares (en inglés *granular filters*).
- d. Zanjas de infiltración y pozos de infiltración (en inglés *infiltration trenches* y *infiltration soakaways*): son zanjas o pozos poco profundos (de 0,5 a 1,5 m) rellenos con material drenante, natural o sintético, a los que se vierte la escorrentía de superficies impermeables próximas para su infiltración al terreno circundante. Los pozos pueden tener formas y tamaños diversos; cuando son de superficie extensa comparada con el espesor, se suelen denominar lechos de infiltración.
- e. Estanques de sedimentación (en inglés *sedimentation basins*): son balsas naturales o excavadas en el terreno de pequeña profundidad (alrededor de 1 m) diseñadas preferentemente para promover la sedimentación de los sólidos en suspensión. En los estanques de sedimentación se deben distinguir dos zonas para su correcto funcionamiento: la zona de agua superior que sirve para que se produzca la decantación, y la reserva de volumen inferior para el almacenamiento de sedimentos. En la Figura 2 se muestran diversos ejemplos de estanques de sedimentación.

Figura 2: Ejemplos de Estanques de Sedimentación



- f. Estanques de infiltración (en inglés *infiltration basins*): son depresiones naturales o excavadas en el terreno, diseñadas para almacenar el agua y forzar su infiltración al terreno. Los estanques de infiltración son similares en cuanto a su funcionamiento a las zanjas de infiltración, pero mientras que éstas almacenan el agua de lluvia de forma subterránea, aquéllos lo hacen sobre la superficie del terreno. En la Figura 3 se muestran diversos ejemplos de estanques de infiltración.

Figura 3: Ejemplos de Estanques de Infiltración



- g. Sistemas de biorretención (en inglés *bioretention systems*): consisten en la introducción de zanjas o pozos filtrantes bajo otros elementos dotados de vegetación tales como parterres, cunetas o estanques, lo que da lugar a sistemas de drenaje muy eficientes para la eliminación de sedimentos y contaminantes, así como para la laminación de caudales gracias a la retención producida por el elemento filtrante subterráneo. En la Figura 4 se muestran diversos ejemplos de sistemas de

Figura 4: Ejemplos de Sistemas de Biorretención: cuneta vegetada con zanja filtrante; alcorque con pozo filtrante; parterre con lecho filtrante



biorretención.

- h. Humedales artificiales (en inglés *constructed wetlands*): son cuerpos de agua poco profunda (de hasta 1,0 m) con abundante vegetación capaz de soportar su inundación parcial o total. Este tipo de elementos suelen disponer de un baipás para que los episodios tormentosos de período de retorno superior al de diseño no dañen la vegetación o pongan en suspensión los sedimentos acumulados. En la Figura 5 se muestran diversos ejemplos de humedales artificiales.
- i. Pavimentos porosos (en inglés *porous pavements*): este tipo de pavimentos permiten que parte de la escorrentía percole hacia una subbase granular para su almacenamiento temporal o infiltración al terreno subyacente.

Figura 5: Ejemplos de Humedales Artificiales



- j. Depósitos de retención (en inglés *retention tanks*) también llamados depósitos de laminación: son depósitos, normalmente subterráneos, para almacenar volúmenes de escorrentía a fin de laminar el hidrograma de la tormenta. El material más utilizado para su construcción es el hormigón armado o pretensado, dado el importante volumen de este tipo de infraestructura y la impermeabilidad necesaria para evitar flujos o daños a construcciones próximas. Suelen ser la alternativa a los estanques de retención en espacios muy consolidados y con importantes limitaciones en superficie.

Aparte de las anteriores, se pueden citar otras medidas como las cubiertas verdes (en inglés *green roofs*), las lagunas de tratamiento (en inglés *treatment ponds*), el almacenamiento freático (en inglés *aquifer storage*), o la restauración de la vegetación riparia (en inglés *riparian restoration*). La integración paisajística debe ser considerada, con carácter general, como un aspecto fundamental de las medidas de drenaje urbano.

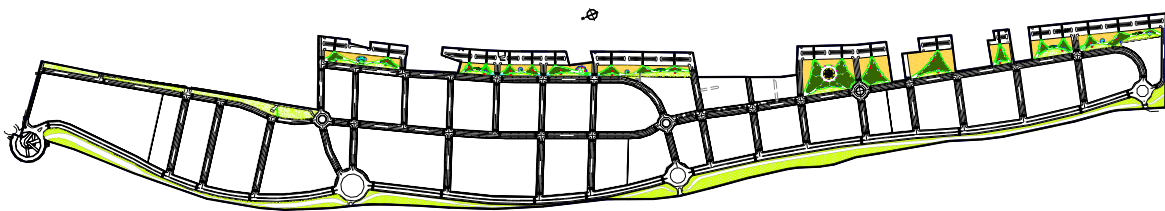
Aunque la posibilidad de aplicación de las técnicas de drenaje sostenible es evidente para zonas de nuevo desarrollo urbano, no hay que desdeñar su aplicación en zonas urbanas ya consolidadas, especialmente las medidas relativas a la construcción de depósitos de retención, la permeabilización de los pavimentos y la utilización de superficies vegetadas o no para la acumulación, filtración e infiltración de las escorrentías próximas.

4. Estudio de Caso

El Sector "Playa" del suelo urbanizable de Almenara (Castellón) está situado en el área urbana de la playa de dicho término municipal, en la partida conocida como Casas del Mar. Ocupa los terrenos comprendidos entre: el poblado Barrio del Mar y el Sector "Puente de la Arena", al Norte; la partida conocida como Malvarrosa, del término municipal de Sagunto, al Sur; el poblado Barrio del Mar y otros terrenos del interior de la zona de protección de la ribera del mar, al Este; y la vía pecuaria denominada Cañada del Mar o Camino de Serratella, al Oeste. La vía pecuaria antes mencionada, separa el Sector "Playa" del marjal de Almenara, importante paraje natural en el que se puede encontrar una gran variedad de hábitats característicos del paisaje costero mediterráneo, incluidos humedales permanentes con vegetación hidrofítica, como los Estanques de Almenara. El marjal de Almenara forma parte de la Red Natura 2000 y está incluido dentro del Catálogo de Zonas Húmedas de la Generalidad Valenciana, en el que pertenece al grupo denominado albuferas y marjales litorales.

En la Figura 6 se muestra una fotografía aérea del ámbito de actuación del Sector "Playa" de Almenara, en la que se observa su implantación dentro del entorno urbano y natural más próximo; también se presenta la planta general de urbanización del Sector. La configuración del Sector "Playa" es la de una banda irregular de terreno paralela a la playa, de unos 2.650 m de longitud y anchura variable entre unos 175 y 360 m, con una superficie total de 67,61 ha. La ordenación está definida en dirección Norte-Sur por un vial longitudinal perimetral junto al borde Oeste (ronda perimetral), un vial central —ambos en toda la extensión del

Figura 6: Ámbito de Actuación y Planta General de Urbanización del Sector “Playa”



Sector—, y un tercer vial junto al borde Este que sólo discurre por la parte central Norte, coincidiendo con la zona donde el Sector es más ancho. En dirección Este-Oeste, se dispone una serie de viales transversales de menor longitud que definen las distintas manzanas. Por la parte Norte del Sector pasa la acequia de Torreblanca y por la parte Sur el Sector limita con la acequia de Benavites.

La zona donde se implanta el Sector “Playa” es una plana litoral formada por terrenos de uso agrícola, de cota absoluta comprendida entre +0,80 y +1,30 m sobre el NMM en la mayor parte de la superficie, con una cota promedio en torno a la +1,10 m. El nivel freático es bastante variable, dependiendo de la pluviometría y de los bombeos realizados en el marjal adyacente para riego y para control de niveles de agua. Además, no es el mismo en todo el ámbito del Sector, resultando algo más alto en la parte Norte que en la parte Sur. En verano, puede estimarse que el nivel promedio se encuentra en torno a la cota -0,40 m, mientras que en invierno dicho nivel suele situarse hacia la -0,10 m. No obstante, con ocasión de períodos de lluvia intensa y prolongada, los niveles pueden llegar a ser muy altos, habiéndose comprobado niveles promedio de hasta +0,50 m, con zonas del Sector en las que la capa freática ha subido hasta la cota +0,80 m, llegando a anegar alguna depresión puntual.

4.1 Problemática Existente

El proyecto de urbanización original con el que se licitaron las obras, abordaba la evacuación de las aguas pluviales mediante un sistema de drenaje urbano convencional. La solución planteada con carácter general en dicho proyecto era la de mantener las rasantes de los viales sensiblemente paralelas al terreno natural, a tan sólo unos 0,50~0,80 m por encima de este último, por término medio. Esto implicaba, entre otras cosas, la necesidad de diseñar una red de residuales demasiado somera y con demasiadas estaciones de bombeo.

La evacuación de las aguas de lluvia se planteaba en superficie, ante la imposibilidad de disponer una red de pluviales por encima del nivel freático que no exigiera una elevada inversión inicial, así como numerosos y costosísimos bombeos, de elevado coste también de explotación y mantenimiento. Sólo se preveía una conducción subterránea de pluviales en el tercio Norte del vial central, para no tener que evacuar las aguas por superficie hacia el Barrio del Mar, pues se trata de una zona deprimida con problemas de inundabilidad. La solución de rasantes adoptada, con una pendiente tipo del 3 por mil en viales longitudinales y transversales, dividía el Sector en dos cuencas a lo largo del vial longitudinal central, de forma que la evacuación de las aguas pluviales de aproximadamente un 65% de la superficie total se realizaba hacia el marjal y la del 35% restante hacia la playa.

Las aguas vertidas hacia el marjal eran recogidas en una cuneta perimetral y transportadas hacia las acequias Norte y Sur, donde se preveían sendas estaciones de bombeo. La dificultad de implementar una solución como la mencionada es manifiesta, habida cuenta que, al tener la cuneta un alzado en diente de sierra, era necesario disponer una conducción de grandes dimensiones a un nivel por debajo de dicha cuneta que fuera recogiendo las aguas acumuladas en sus puntos bajos y que las llevara hasta las mencionadas estaciones de bombeo, diseñadas para un caudal muy elevado. Dicha conducción debía discurrir por debajo del nivel freático en prácticamente todo su trazado, con los problemas constructivos y de explotación debidos a ello, incluido el derivado de posibles infiltraciones masivas a la conducción. Aparte de todo esto, está el hecho de que la cota dispuesta en el borde exterior de la ronda perimetral era en algunos puntos inferior incluso a la del Camino de Serratella, lo cual significaba que un fallo o insuficiencia de los bombeos daría lugar a una inundación parcial de la ronda perimetral, al quedar impedida la salida natural de las aguas hacia el marjal adyacente.

Por su parte, las aguas evacuadas hacia la playa eran vertidas sin más hacia las edificaciones existentes fuera del polígono y hacia el parque litoral, sin que el proyecto de urbanización original planteara una solución de cotas que incorporara, en la medida de lo posible, la realidad de las zonas consolidadas —tanto de las edificaciones como de los caminos de acceso— o la forma de evitar que el agua quedara encharcada o pudiera inundar algunas zonas. El proyecto de urbanización original tampoco realizaba ninguna previsión sobre cotas del parque litoral en el que se debía construir el paseo marítimo, ni sobre la franja discontinua de aparcamientos del Sector prevista junto a dicho parque. A todo lo anterior, debe unirse el hecho de que la solución de rasantes adoptada en el proyecto había sido planteada independientemente de las edificaciones consolidadas, dando lugar en algunos casos a diferencias apreciables entre la cota de acera y la de parcela o acceso de dichos consolidados.

Además, los caudales de aguas pluviales a evacuar considerados en el proyecto de urbanización original se obtuvieron para una intensidad de 67 mm/h, valor correspondiente a un tiempo de concentración del orden de 1,2 h, aceptable para los puntos finales de la red, pero claramente por debajo de la intensidad a considerar en áreas tributarias menores.

4.2 Solución Adoptada. SUDS Aplicados

Como alternativa a los múltiples problemas inherentes a la solución de cotas planteada en el proyecto de urbanización original, se propone, por parte del nuevo Agente Urbanizador, una modificación sustancial de las rasantes de los viales que, manteniendo la evacuación de la escorrentía fundamentalmente por superficie, permita asegurar el drenaje de la mayor parte del Sector hacia el borde Oeste, a la vez que se protegen las capas estructurales de los firmes frente a las subidas excepcionales del nivel freático y se respetan, en la medida de lo posible, los accesos a las edificaciones consolidadas existentes. Asimismo, se introducen diversas medidas de drenaje sostenible como medio para reducir los volúmenes de escorrentía y mejorar su calidad, lo que permite eliminar en su mayor parte la red

subterránea de colectores. En este caso, no existe ninguna obligación normativa para ello, por lo que la motivación fundamental para aplicar algunos SUDS radica en aprovechar las diversas sinergias técnico-ambientales que presentan, mientras se consigue una materialización efectiva del compromiso social y medioambiental que siempre debe guiar el ejercicio profesional de los técnicos involucrados en el desarrollo urbanístico.

Se establecen los siguientes criterios de diseño para la determinación de la solución finalmente propuesta:

- La evacuación de las aguas pluviales se realizará por superficie, con una pendiente tipo del 3 por mil, igual a la considerada en el Proyecto de Urbanización. De ser posible, se procurará que la evacuación sea siempre por gravedad, al tratarse de una solución más robusta y fiable y de menores costes de explotación.
- Se procurará evacuar la menor cantidad posible de aguas hacia el borde Este, debido a que la zona adyacente a la playa se encuentra algo deprimida y, por lo tanto, con mayores problemas de inundabilidad. En cualquier caso, se dispondrán los elementos de drenaje necesarios para garantizar que las aguas que puedan acumularse en esa zona sean eliminadas con rapidez hacia la capa freática.
- Las rasantes dispuestas intentarán respetar, en la medida de lo posible, las cotas de parcela o acceso de las edificaciones consolidadas dentro del Sector y de las existentes a lo largo de todo el borde Este del mismo. Cuando esto no sea posible, se admitirá el drenaje de los consolidados situados dentro del Sector a la red de aguas residuales, pero disponiendo los dispositivos necesarios para limitar el caudal aportado a la red a, como máximo, el comúnmente adoptado para cámaras de descarga. En casos muy concretos en que la rasante venga obligada por la entrada rodada directa a un garaje ya existente, podrán disponerse sumideros conectados a la red de residuales, siempre que el caudal evacuado sea mínimo.
- Se impondrá una cota mínima de +1,00 m en toda la banda de aparcamientos junto al parque litoral para facilitar el drenaje y evitar que la subida circunstancial del nivel freático pueda dar lugar a problemas en esa zona. Sólo en el caso en que la evacuación hacia la playa impuesta por los consolidados dé lugar a una cota en la banda de aparcamientos inferior a la mencionada se podrá plantear la creación de algún punto bajo en el interior del Sector cuyas aguas serán recogidas mediante sumideros y bombeadas hacia el borde Oeste.
- Respecto a las aguas evacuadas hacia el Oeste, su recogida se realizará mediante un canal perimetral integrado en la zona verde existente junto al Camino de Serratella, que desagüe hacia las acequias Norte y Sur. Dicho canal deberá disponer de un cierto resguardo respecto a la ronda perimetral, de manera que en caso de lluvias superiores a la de diseño el agua desborde hacia el marjal sin inundar dicho vial.
- La evacuación de las aguas de lluvia hacia las acequias y, eventualmente hacia el marjal, deberá asegurar el cumplimiento de las condiciones impuestas en la Declaración de Impacto Ambiental respecto al desbastado y desengrasado previo de dichas aguas.

La aplicación de estos criterios y de los condicionantes existentes conduce a una solución en la que la mayor parte de las aguas pluviales del Sector son evacuadas hacia el Oeste, siendo recogidas en su totalidad en un canal perimetral, lo que se consigue pese a la existencia de multitud de consolidados que obligan a bajar las cotas de viales en buena parte de la mitad Sur del Sector. Por esta misma causa resulta necesario colocar una estación de bombeo de aguas pluviales en la zona de consolidados conocida como "Los

Alemanes”, donde es preciso crear un punto bajo para no bajar en exceso la cota de la banda de aparcamientos litoral, que la haría fácilmente inundable.

Se disponen sumideros puntuales cada 25 m como máximo a lo largo de todo el borde exterior de la ronda perimetral, y sumideros corridos en ese mismo borde frente a las desembocaduras de casi todos los viales transversales, a través de los cuales se produce la descarga de las aguas pluviales al canal perimetral dispuesto en la zona verde adyacente. Coincidiendo con todos estos sumideros se realiza una interrupción en la mediana de la ronda perimetral para permitir el paso del agua hacia ellos por el camino más corto posible. Los sumideros puntuales se conectan mediante un pequeño colector muy somero a uno de los dos pozos de registro a los que vierte el sumidero corrido más cercano existente en cada desembocadura. Se dispone, asimismo, un pozo desengrasador en cada una de las dos tuberías de vertido al canal de cada desembocadura. En la zona ocupada por los sumideros corridos se realiza también un badén en la acera exterior a fin de facilitar la evacuación de las aguas hacia el canal, con ocasión de lluvias muy intensas. También se disponen sumideros corridos en los ramales de las rotondas del vial perimetral que coinciden con viales transversales que desaguan hacia el canal perimetral para reducir una afluencia excesiva de agua hacia las rotondas. Las rejas de los sumideros puntuales y corridos vienen a funcionar como rejilla de desbaste. Además, tanto los sumideros como algunos pozos de registro se dotan de arenero, lo que permite efectuar también la eliminación de las partículas gruesas a medias.

El canal perimetral se diseña para un período de retorno de 10 años y cuenta con rebosaderos para el desagüe, a través del Camino de Serratella, a la zona deprimida adyacente del marjal en el caso de caudales superiores al de diseño. La sección de dicho canal está formada, en buena parte de su longitud, por una solera drenante a base de bolos, cajero de tierras ajardinado con talud 4H:1V en el lado del vial perimetral, y cajero de hormigón en masa en el lado del Camino de Serratella. Una pequeña cuneta de hormigón armado junto al talud de tierras define de forma rígida el perfil longitudinal del canal para su posterior mantenimiento. En aquellos tramos en los que la escasa anchura de la zona verde impide incluir una sección como la descrita para transportar el caudal de diseño, se proyecta una sección con solera y cajeros de hormigón en masa. En el comienzo del tramo que vierte hacia el Sur la anchura es muy reducida, por lo que se adopta una sección en tubería protegida por un terraplén. El canal tiene una pendiente de sólo el 0,6 por mil en el tramo que vierte hacia la acequia de Benavites en el Sur, y del 1,0 por mil en la mayor parte del tramo que vierte hacia la acequia de Torreblanca en el Norte. Estas pendientes tan reducidas, junto con la gran capacidad de retención del canal, hacen que la sección con solera de bolos funcione en la práctica como un estanque de infiltración, especialmente cuando el nivel en las acequias de desagüe es elevado. El cajero en talud ajardinado hace la función de cuneta vegetada, ya que el flujo es longitudinal.

En la Figura 7 se muestran varias fotografías del canal perimetral con la solera de bolos y uno de los cajeros vegetados.

Figura 7: Canal Perimetral con Solera de Bolos y Cajero Vegetado



En los viales que desaguan hacia la playa y en los que lo hacen hacia la estación de bombeo de pluviales de “Los Alemanes”, se disponen también sumideros puntuales cada 25 m como máximo, que vierten a zanjas de infiltración dispuestas bajo las zonas de aparcamiento o junto al bordillo donde no las hay; en los viales colindantes con zonas verdes, las zanjas se colocan bajo los parterres. Dichas zanjas están formadas por un dren de grava de 0,60x1,00 m de sección, envuelto por una manta de geotextil no tejido a modo de filtro, que percola el agua a través de la arena circundante. Se trata con ello de reducir al mínimo posible las aguas evacuadas hacia el parque litoral y las que deben bombearse hacia el canal perimetral. En todo el contacto entre la banda de aparcamiento Este y el parque litoral adyacente también se coloca una zanja de infiltración longitudinal, con dren de 0,90x1,50 m de sección y constitución similar a las de los viales, para permitir la percolación hacia la capa freática de las aguas que escurren hacia esta zona deprimida.

En los viales transversales se dispone un bombeo lateral del 2% hacia ambos lados. En los viales longitudinales el bombeo es del 1% hacia la dirección hacia la que se evacuan las aguas de lluvia, salvo en la ronda perimetral que es del 2% hacia el marjal. La pendiente transversal de la franja costera de aparcamientos hacia el parque litoral se establece en el 1%. En las zonas verdes situadas entre las manzanas edificables y la banda de aparcamientos litoral, se utilizan pavimentos permeables de tierra morterenga y se reducen las pendientes al 2% para evitar su erosión. Además, los parterres se dotan de vegetación abundante, principalmente de tipo tapizante, lo que favorece los procesos de filtración e infiltración. Las zonas de esos parques más cercanas a la playa se dejan con acabado en arena y se plantan con vegetación de tipo dunar. El comportamiento funcional de todos esos parterres es el de franjas filtrantes vegetadas. En la Figura 8 se muestran varias fotografías de las zonas verdes con la vegetación de tipo tapizante y la de tipo dunar.

Figura 8: Zonas Verdes con Vegetación Tapizante y de Tipo Dunar



5. Conclusiones

Las medidas de drenaje urbano sostenible, tanto las constructivas como las de planificación y gestión, tienen como objetivo reducir la cantidad y mejorar la calidad del agua pluvial que se debe transportar hasta el medio receptor, así como conseguir la integración paisajística y maximizar el valor social y ambiental de las actuaciones a desarrollar. Dentro de las medidas no estructurales, se propone la adaptación de los planes de estudio de titulaciones universitarias relacionadas con la ingeniería civil, el urbanismo y el medioambiente para incorporar el drenaje sostenible y, de forma más general, el estudio del ciclo integral del agua en el entorno urbano, como elemento troncal para el diseño de la ciudad y la naturalización de su paisaje.

En lo relativo a las medidas constructivas o estructurales, se sistematiza su clasificación con especial atención a la función desarrollada por cada una de ellas y su jerarquía dentro de la línea de tratamiento del agua pluvial que todo sistema de drenaje urbano sostenible pretende implantar. La identificación del tamaño de las partículas eliminadas, la diferenciación de las funciones de filtración e infiltración, la valoración de la importancia relativa de la detención frente a la retención, así como la caracterización de los procesos de eliminación de materia orgánica y nutrientes que puedan darse, configuran los aspectos clave para una mejor selección y combinación de las medidas a adoptar en cada caso concreto.

Se aconseja la introducción de medidas de drenaje urbano sostenible en los proyectos de urbanización, incluso cuando el planeamiento o la normativa urbanística aplicables no lo exigen. En particular, se presenta la aplicación de SUDS para mejorar el proyecto de urbanización original de un Sector situado en una plana litoral con elevado nivel freático. Las medidas están basadas, fundamentalmente, en aumentar la infiltración del agua pluvial al terreno (zanjas de infiltración, estanques de infiltración, pavimentos porosos), lo que unido a otras medidas de pretratamiento (desbaste, desarenado, desengrase) y de filtración a través de superficies ajardinadas (cunetas vegetadas, franjas filtrantes vegetadas), permite conseguir la evacuación de las aguas pluviales de una zona muy extensa y prácticamente plana, con una mínima red subterránea de colectores y con una pequeña capacidad de

bombeo, lo que resulta en unos costes de construcción y mantenimiento muy ajustados; y todo ello, con una adecuada integración paisajística en el entorno y un cumplimiento estricto de las condiciones impuestas para la protección medioambiental del marjal adyacente.

Agradecimientos

El autor agradece a la empresa Quabit Inmobiliaria, S.A., dedicada a la gestión de suelo, promoción residencial, desarrollo y gestión de patrimonio, y gestión de cooperativas y comunidades, el apoyo prestado para el desarrollo del trabajo objeto de la presente ponencia

6. Referencias

- Engineers Australia (2006). *Australian runoff quality: A guide to water sensitive urban design*. T.H.F. Wong (Ed.) Canberra, ACT, Australia: Engineers Australia.
- Muthukrishnan, S., Madge, B., Selvakumar, A., Field, R., & Sullivan, D. (2004). *The use of best management practices (BMPs) in urban watersheds*. EPA/600/R-04/184. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development.
- Perales, S., & Andrés-Doménech, I. (2007). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: Una alternativa a la gestión del agua de lluvia. *V Congreso Nacional de la Ingeniería Civil*. Sevilla, España, 15 pp.
- Revitt, D.M., Ellis, J.B., & Scholes, L. (2003). *Review of the use of stormwater BMPs in Europe*. Report 5.1. EU 5th Framework DayWater Project. Middlesex, UK: Middlesex University.
- Victorian Stormwater Committee (1999). *Urban stormwater: Best practice environmental management guidelines*. Collingwood, VIC, Australia: CSIRO Publishing.
- Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., & Shaffer, P. (2007). *The SUDS manual*. London, UK: CIRIA.