

# La gestión de inundaciones urbanas

## De la planificación tradicional a la gestión integral inteligente



### Jorge Cabot

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Director de Explotación y Mantenimiento de CLABSA



### Pere Malgrat

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Director Técnico de CLABSA y presidente de la Comisión de Drenaje Urbano de AEAS

### Resumen

En España se ha ido imponiendo en los últimos años un cambio en la filosofía de planificación y gestión de sus redes de drenaje urbano, apostando por la gestión avanzada o inteligente ("smart"), que ha posibilitado una reducción significativa de las inundaciones.

Esta gestión se basa en el uso de modernas tecnologías, como los sistemas de control en tiempo real, y ha inspirado todos los desarrollos tecnológicos efectuados por AGBAR-AQUALOGY desde hace más de 20 años, siendo reconocido como un estándar en la Guía Técnica sobre redes de Saneamiento y Drenaje Urbano del CEDEX, referencia nacional en la materia.

### Palabras clave

Inundaciones urbanas, SIG, modelos de simulación, sistemas de alerta de inundaciones, control en tiempo real, planificación, drenaje urbano

### Abstract

*In the last years, a change of philosophy has occurred in Spain, in the field of planning and management of urban drainage networks, going for an advanced/smart management, which has led to a significant reduction in flooding.*

*This management is based on the use of modern technologies, such as real time controlled systems, and has inspired all the technological developments made by AGBAR-AQUALOGY for over 20 years. Moreover, the acknowledged "Technical Guide on Sanitary Networks and Urban Drainage" (CEDEX, Spain) has recognized it as a national standard.*

### Keywords

*Urban floods, GIS, simulation models, flood warning systems, real time control, planning, urban drainage*

### Introducción a la problemática del drenaje urbano

Mientras que en 1800 solo un 1 % de la población mundial vivía en ciudades de más de 10.000 habitantes, en 1960 dicha proporción era del 20 % y se prevé que en el año 2025 será del 65 %. Esta concentración de la población mundial en las ciudades provoca un progresivo aumento de la complejidad del diseño de las infraestructuras, siendo cada vez mayores las inversiones requeridas en ellas. En lo referente al drenaje, esto ha conllevado un aumento brutal de la urbanización y, por tanto, de la impermeabilidad de las ciudades, produciendo un aumento de los volúmenes de escorrentía y de las velocidades de flujo, reduciéndose a su vez los tiempos de concentración. Estos efectos combinados tienen consecuencias drásticas sobre la magnitud de los caudales punta que se producen en la red de alcantarillado.

En España, igual que en otros países, se siguen produciendo problemas importantes en las ciudades, tales como inundaciones o impacto ambiental negativo en los medios receptores, por deficiencias en las redes de alcantarillado o en su gestión.

La gestión que se ha realizado históricamente sobre el alcantarillado ha sido, en general, muy precaria. De hecho, en muchos casos no se ha hecho ningún tipo de gestión, ya que se partía de la idea que el alcantarillado, una vez construido, funciona prácticamente solo. La disposición enterrada (oculta) del alcantarillado ha favorecido el olvido de su existencia (Fig. 1).

La principal causa de esta concepción simplista de la gestión es el desconocimiento que se tiene de la infraestructura, tanto de su estado físico como del funcionamiento real. Este desconocimiento hace que en época de lluvias exista un descontrol de los caudales, ya que ni se sabe por dónde van ni se puede actuar sobre ellos.



Fig. 1. Ejemplos de inundaciones urbanas

Asociado a la idea de que el sistema “funciona solo”, la planificación y la regulación suelen ser inexistentes o insuficientes. Esto se ve agravado por el hecho de que normalmente se destinan pocos recursos, ya sean humanos, materiales o tecnológicos, a la gestión del alcantarillado.

Cabe destacar además que existe una visión no global del alcantarillado, que no tiene en cuenta que el drenaje urbano forma parte de un todo que es el ciclo integral del agua. Esto hace que algunas de las medidas que se pueden tomar parezcan convenientes para el alcantarillado, pero pueden no ser coherentes con otros aspectos del ciclo integral del agua, pudiendo causar disfunciones en la depuradora o vertidos al medio receptor. A su vez no es infrecuente que se decidan desarrollos urbanísticos poco respetuosos con el drenaje urbano.

**Desarrollo de soluciones: la gestión integral inteligente**

Para cumplir adecuadamente con las tres funciones esenciales del drenaje urbano (protección higiénica de los ciudadanos, protección ante inundaciones y protección ambiental del medio receptor) ya no basta con una gestión tradicional y fraccionada de los sistemas de saneamiento, sino que se debe avanzar hacia una gestión integradora que empiece con una buena planificación, unas adecuadas herramientas tecnológicas, un riguroso control de las obras, una explotación activa y dinámica, un mantenimiento avanzado de las instalaciones, así como la imprescindible coordinación e integración de todas las fases.

La puesta en práctica de estos conceptos da lugar a la Gestión Avanzada del Drenaje Urbano (GADU), coherente con la actual filosofía de gestión “smart” de las ciudades. Cabe

contemplar la Gestión Avanzada como una meta que precisa de unas etapas de paso obligado y de complejidad creciente, según muestra la figura 2.



Fig. 2. Evolución de la gestión del alcantarillado hacia la Gestión Avanzada

Desde hace más de una década el grupo AGBAR-AQUALOGY ha concebido y está aplicando en Barcelona y su área metropolitana, así como en muchas otras ciudades como Alicante, Murcia, Santiago de Chile, Orán (Argelia), etc., este nuevo tipo de gestión, convirtiéndola en una referencia a nivel tanto nacional como internacional.

Las bases de esta gestión se enumeran a continuación:

- Conocimiento preciso y exhaustivo del sistema, no sólo de la red física sino de su comportamiento. Es la base fun-

damental de cualquier gestión o explotación eficaz, para lo que debe emplearse un adecuado tratamiento informático. La cartografía de la red en un Sistema de Información Geográfica (SIG), un modelo calibrado de simulación hidráulica y de la calidad del agua, y un sistema de telesupervisión y/o telecontrol, son los sistemas informáticos requeridos para obtener ese conocimiento.

- Planificación integral, utilizando, además de las soluciones tradicionales, unos criterios avanzados de regulación y control, técnicas compensatorias de infiltración-retención para un drenaje urbano sostenible (TEDUS), herramientas de modelación y simulación, etc. En este punto deben destacarse otros dos aspectos fundamentales: que la planificación esté permanentemente actualizada y que abarque todo el ámbito de sistema de drenaje, sin olvidar el control de los vertidos o descargas del sistema de alcantarillado en tiempo de lluvia (Fig. 3).



Fig. 3. Ejemplos de depósitos de retención en el Área Metropolitana de Barcelona

- Gestión completa y coordinada en tiempo real, que permite una actuación flexible y dinámica sobre el alcantarillado, pudiendo desencadenar diferentes estrategias operacionales en episodios lluviosos o de vertidos. Esta actuación está basada en una regulación hidráulica que posibilite modificaciones del régimen de caudales, reparto territorial de avenidas, aprovechamiento óptimo de las capacidades de la red e instalaciones existentes y reducción de las puntas de caudal, con lo cual se evitan muchas inundaciones y se reducen los efectos de contaminación medioambiental. Por otro lado, el alto grado de conocimiento del estado de la red, combinado con estrategias adecuadas, permite un mantenimiento selectivo y eficaz del sistema. Todo ello en coordinación con el resto del ciclo hídrico, con el medioambiente y con el urbanismo.

- Enfoque medioambiental y sostenible, orientando las actuaciones y la gestión no sólo a una función de evacuación de las aguas pluviales y residuales, sino primando además que las aguas recogidas y transportadas se restituyan al medio receptor con el mínimo de contaminación posible. Se persigue asimismo que todas las actuaciones tengan el menor impacto posible en el entorno en el que se ejecutan.

Estas características deben estar presentes en todos los ámbitos del ciclo de gestión técnica: planificación, proyecto, obra, explotación y mantenimiento.

Con todo ello, se pretende gestionar mejor los recursos disponibles en contra de la idea de la construcción de infraestructuras de forma indiscriminada. Esto repercute en una mayor eficiencia inversora. Para alcanzar los mismos objetivos, la GADU permite menos inversión, o para el mismo nivel de inversión, se alcanzan objetivos más ambiciosos (Fig. 4).



Fig. 4. Filosofía de la gestión avanzada del drenaje urbano

#### Herramientas para una gestión avanzada

Para aplicar estos principios se hace necesaria la implementación de determinadas herramientas: Los sistemas de soporte

tecnológico, el Plan Director de Alcantarillado y la Operación Centralizada.

Los Sistemas Tecnológicos han de permitir tener conocimiento del comportamiento del sistema gestionado, tanto en tiempo real, para poder actuar sobre él, como en determinados escenarios hipotéticos, para poder planificar su mejora.

Para ello, se dispone de los siguientes sistemas:

- El sistema de información geográfica: constituye el sistema básico más importante y necesario para cualquier actividad o función realizada con el alcantarillado y, en general, con todos los servicios urbanos y con la planificación urbanística. Este sistema incluye no únicamente la cartografía y todas las informaciones asociadas al territorio y a la infraestructura que se está gestionando, sino también la información de las demás instalaciones de drenaje y depuración.
- El sistema de modelización integral: consiste en un modelo informático de la red de alcantarillado, depuradora y medio receptor. El análisis del funcionamiento del saneamiento en general y de los vertidos en tiempo de tormenta en particular, requiere la utilización de modelos de simulación complejos, que necesitan múltiples informaciones inalcanzables sin unos buenos sistemas de información geográfica y de telesuperficie (Fig. 5).

- El sistema de telecontrol: la explotación avanzada de la red de drenaje urbano de una ciudad requiere un sistema de control en tiempo real basado en sensores y en actuadores automatizados en la red (bombeos, depósitos de retención, compuertas).

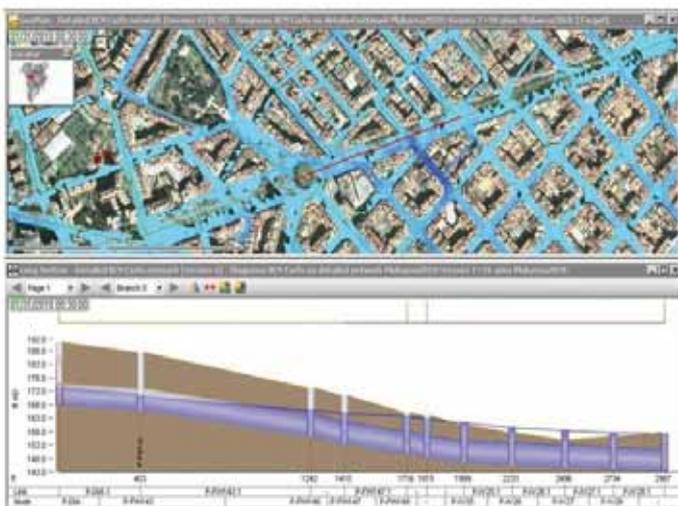
Un Plan Director de Alcantarillado es un documento técnico que permite conocer el estado de la red, sus deficiencias para alcanzar los objetivos que se fijen, así como las actuaciones necesarias para poder conseguirlos y su valoración. Su metodología se basa en tres etapas sucesivas:

- Diagnóstico: análisis detallado de la situación y deficiencias actuales, con especificación de los criterios, metodologías y planteamientos utilizados.
- Propuesta de actuaciones: propuesta valorada de soluciones para resolver dichas deficiencias, acompañada de una serie de recomendaciones y normativas de aplicación.
- Prognosis: Comprobación de la bondad de la solución para el horizonte del plan.

La operación de los sistemas de alcantarillado y drenaje es la gran olvidada. Como veremos más adelante, es recomendable que el diseño de las redes de drenaje incluya la implantación de actuadores de regulación de los caudales, que deben ser operados en tiempo real; pero, independientemente de que una red disponga o no de esos mecanismos, debe ser objeto de operación. En su concepción más básica, la operación puede definirse como el proceso de supervisión y actuación por el que se garantiza que la infraestructura cumple con su cometido. La operación debe pues: definir unos objetivos/indicadores de funcionamiento, medir los parámetros necesarios para verificarlo, actuar en caso de fallo del sistema, analizar las causas de los fallos y emergencias, y proponer medidas correctivas. En esta última etapa, enlaza, en parte, con el proceso de planificación. Para ser eficaces, estos procesos requieren, al menos para ciudades de un cierto tamaño, del establecimiento de un centro de control.

**Aplicación de la gestión inteligente a la planificación y gestión de inundaciones**

La aplicación de la gestión inteligente a la planificación y gestión de los sistemas de drenaje urbano debería contemplar las siguientes características, tal como los autores han postulado en la Guía del CEDEX sobre redes de saneamiento y drenaje urbano:



**Fig. 5. Ejemplo de modelización de una zona inundable durante un episodio de lluvia extremo**

- Considerar el estudio de las cuencas vertientes en su integridad, lo cual, en muchos casos, implica un ámbito hidrológico supramunicipal. Ello choca a veces con el carácter municipal que tienen los planes directores de alcantarillado.

- Basarse en la incorporación armoniosa al desarrollo y mejora urbana de cauces naturales, estanques, alcantarillas, dispositivos de control y tratamiento, así como dispositivos de captación y desagües. Ello implicará, por ejemplo, que cualquier modificación o ampliación de la red existente, se realice teniendo en cuenta el conjunto de la red de alcantarillado.

- Lo deseable es que el drenaje no se implante en una urbanización una vez desarrollada, sino que sea una fuente de concepción en el diseño urbanístico, empezando a influir, a ser posible, ya a nivel de la planificación urbanística.

- Estudiar la aplicabilidad de técnicas de drenaje urbano sostenible, que permiten reducir los caudales circulantes en la red y su contaminación asociada, fomentando la infiltración de la escorrentía y su restitución al ciclo natural.

- Tener en cuenta que, además del flujo del agua por el sistema “inferior” de drenaje constituido por sumideros y red subterránea de alcantarillado, existe un flujo por un sistema “superior” (concepto llamado de drenaje dual), constituido por los cauces a cielo abierto y las estructuras viarias, que ha de ser capaz de evacuar los caudales que no absorba la red de alcantarillado (Fig. 6).

- Considerar la posibilidad de implantar instalaciones de control en tiempo real de los flujos de la red de alcantarillado, que permiten reducir los problemas de inundaciones gracias a un mejor aprovechamiento de la capacidad de la red (aumentando su resiliencia frente a factores de evolución incierta, como el cambio climático), y disminuir el impacto ambiental de sus vertidos en tiempo de lluvia al medio receptor, gracias a una gestión diferente de los caudales generados en caso de lluvias poco intensas. Esas técnicas de control en tiempo real, se pueden quedar en muchos casos en un nivel básico de sistemas de telesupervisión en tiempo real que no permitan en un principio actuar sobre el comportamiento del sistema, pero sí manejar sistemas de alerta rápida de inundaciones, que ayuden a decidir quién hace qué, en caso de inundaciones. Estos sistemas han de permitir no sólo una gestión endogámica del propio sistema de drenaje urbano, sino que han de ayudar a los organismos externos de protección civil, bomberos, policía local, etc., y municipales (políticos y téc-



Fig. 6. Ejemplos de TEDUS

nicos) a decidir mejor qué hacer y cuando actuar en caso de inundaciones urbanas (Fig. 7).

- El funcionamiento de la red de alcantarillado, deberá estudiarse con un modelo matemático hidrológico-hidráulico de simulación calibrado con datos de sensores de telesupervisión.

- El alcantarillado deberá restituir al medio receptor las aguas de lluvia captadas, en las mejores condiciones posibles, minimizando el impacto de los vertidos en tiempo de lluvia (Descargas del Sistema Unitario o DSU, en el caso de redes unitarias, mayoritarias en España).

- Abordar el estudio del sistema de saneamiento urbano de una forma integral, es decir, no sólo contemplando la red de alcantarillado, sino también la depuradora y el medio receptor. Ello obligará, entre otras cosas, a estudiar las inundaciones fluviales o exógenas, conjuntamente con las del sistema de drenaje urbano o endógenas.



**Fig. 7. Ejemplo de Centro de Control en tiempo real del sistema de drenaje urbano**

- En las zonas sensibles a inundaciones se deberán estudiar soluciones locales específicas, en aras a conseguir una apreciable mejora de su funcionamiento.

Como corolario, se puede establecer que la planificación y la gestión de inundaciones urbanas será en el futuro mucho más integral, debiendo coordinarse con la planificación de las inundaciones de origen fluvial, e incluyendo no sólo medidas infraestructurales, sino también medidas de operación en tiempo real que, a nivel básico, pueden consistir en sistemas de información y alerta rápida de inundaciones, y que, en los casos más complejos, pueden requerir sistemas de regulación en tiempo real que permitan actuar sobre los caudales de la red. Todo ello ha de contribuir a diseñar y construir sistemas de drenaje más resilientes y adaptables al cambio climático y al cambio global en general (Fig. 8).

**Conclusiones**

Desde 1992 se ha ido imponiendo en España un nuevo paradigma, diseñado e implementado por AGBAR-AQUALOGY y aceptado como un estándar nacional en la Guía Técnica de referencia del CEDEX, consistente en una filosofía de gestión avanzada del drenaje urbano (GADU) o gestión integral inteligente, basada en un profundo conocimiento del sistema de drenaje, que da pie a una planificación detallada, elaborada con visión integradora, seguida de un cuidadoso control de las actuaciones ejecutadas, una explotación activa del sistema y un mantenimiento de éste en óptimo estado de funcionamiento. Todo ello se lleva a cabo utilizando las más modernas herramientas de gestión y la integración tecnológica, con el objetivo de mejorar la funcionalidad del sistema reduciendo los problemas, lógicamente al mínimo coste posible, y procurando a su vez la máxima protección de la salud y seguridad de los ciudadanos y del estado ecológico de los medios receptores.

Este proceso paulatino de modernización de la gestión del alcantarillado, llevado a cabo en Barcelona, Alicante, etc.,

ha requerido abandonar los viejos conceptos de una gestión estática y reactiva de la red, por una gestión dinámica y proactiva basada en el conocimiento, que ha permitido, entre otros aspectos, eliminar o reducir la problemática de inundaciones existente en dichas ciudades y diseñar sistemas de drenaje más resilientes frente a los escenarios futuros de cambio. El éxito del modelo lo ha convertido en una referencia mundial dentro del ámbito del drenaje urbano. **ROP**



**Fig. 8. Ejemplo de sistema de alerta integral en el río Besò**