

Monitorización cuantitativa y cualitativa de alivios en redes de alcantarillado a través de un sistema de ultra-bajo consumo

Russo, B.^{a1,b1}, Ortega, A.^c, Sánchez, J. C.^b, López A.^{d1}, Ortega J.^{d2}, Guasch R.^{a2}, Montes J.^e

^aAquatec (SUEZ Advanced Solutions). Paseo de la Zona Franca, 46-48, 08038, Barcelona, España. Email: a1brusso@aquatec.es;

^{a2}rguasch@aquatec.es

^bGrupo de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GIHA). Escuela Politécnica de La Almunia (EUPLA). Universidad de Zaragoza. Calles Mayor s/n · 50100 La Almunia de Doña Godina (Zaragoza), España. Email: b1brusso@unizar.es ; b2jucasan@unizar.es

^cZaracontech S.L. 50100 Zaragoza. Avda. María Zambrano 31, Torre Oeste, Planta 15, Zaragoza, España. Email: aortegatello@me.com

^dTecnalia I&R. Ronda San Juan Bosco, s/n, 50100 La Almunia de Doña Godina (Zaragoza) España. Email: d1alberto.lopez@tecnalia.com ;

^{d2}jantonio.ortega@tecnalia.com

^eDepartament Ecologia Urbana, Àmbit de Badalona Pròspera i Sostenible, Ajuntament de Badalona, España. Email: jmontes@badalona.cat

Línea temática: Monográfico.

RESUMEN

Gran parte de la contaminación de nuestros medios hídricos receptores procede del desbordamiento de los sistemas de saneamiento (DSS) en tiempo de lluvia. La necesidad, a raíz de la publicación del RD1290/2012, de monitorizar los alivios de estos sistemas al medio para cuantificar las descargas en períodos de lluvia supondrá un gran reto en los próximos años por la cantidad de puntos de alivio que se necesitará monitorizar en un corto plazo de tiempo. Por esta razón, en el marco de dos proyectos de I+D+i (PROMOVER y BINGO), se ha diseñado e implementado un sistema de monitorización de bajo coste, escalable, flexible y de muy bajo consumo, que permita detectar, de forma sencilla, el número de episodios de alivio al medio durante sucesos de lluvia, así como su duración, y cuantificar los volúmenes vertidos y analizar la calidad de las aguas en aquellos puntos que se consideren de interés. El sistema básico se alimenta con baterías de litio y se conecta con tecnología celular 3G a un servidor remoto en el que se representan gráficamente los resultados y se realizan representaciones estadísticas. El servidor publica los datos en un portal accesible desde todo tipo de dispositivos fijos y móviles. Los sensores asociados a este sistema son dos sondas de temperatura, estratégicamente colocadas aguas arriba y aguas abajo del punto de alivio, un sensor de nivel de tipo radar y un sensor de turbidez. En función del contexto y del objetivo de la monitorización (determinación de la frecuencia y duración de alivio, cuantificación de los volúmenes de alivio o estimación de la carga contaminante vertida al medio en función de la correlación de algunos parámetros de calidad con la turbidez), se emplean uno o más sensores de los previamente citados permitiendo, el sistema, una importante escalabilidad.

Palabras clave | DSS (Desbordamiento de sistema de saneamiento), Monitorización, Bajo consumo, Tiempo real, RD1290.

INTRODUCCIÓN

Contexto normativo y estado actual

Gran parte de la contaminación de nuestros medios hídricos receptores procede del desbordamiento de los sistemas de saneamiento (a continuación DSS) en tiempo de lluvia (Butler y Davies, 2010).

Después de muchos años de incertidumbre legal sobre las autorizaciones de desbordamientos de los sistemas de saneamiento en tiempo de lluvia en España, el Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) aprobó en 2012 el Real Decreto 1290/2012 y en 2014 la Orden Ministerial AAA/2056/2014 por la que se aprueban los modelos oficiales de autorización y de declaración de vertido en las cuencas intercomunitarias. Ambas reglamentaciones implican nuevas exigencias y obligaciones hacia los titulares de los vertidos de los sistemas de saneamiento y en general hacia todos los

municipios, sobretodo en referencia a la gestión de los desbordamientos de los sistemas de saneamiento (DSS) en episodios de lluvia. Estas obligaciones se resumen a continuación:

- Los titulares de vertidos industriales y titulares de vertidos urbanos de más de 2000 habitantes equivalentes debieron presentar una relación de los puntos de desbordamiento en episodios de lluvia antes del 31/12/2014.
- El MAPAMA debe redactar las normas técnicas en las que se especifiquen y desarrollen los procedimientos de diseño de las obras e instalaciones para la gestión de las aguas de escorrentía.
- Las confederaciones y comunidades autónomas con competencias para la autorización y denegación de vertidos, deberán incluir en ellas, las condiciones en que los desbordamientos de los sistemas de saneamiento en episodios de lluvia deben realizarse de acuerdo con los criterios fijados por el MAPAMA en las normas técnicas anteriores.
- Las nuevas solicitudes de autorizaciones de vertido (industriales o urbanos mayores de 2000 he.) antes del 2016 y los titulares de autorizaciones de vertido o solicitudes vigentes o anteriores al 31/12/2015 de zonas urbanas mayores de 50000 he. o mayores de 2000 he. que viertan a zonas de baño en 4 años o como máximo antes del 31/12/2019, deberán:
 - Presentar la documentación técnica para describir el sistema, las actuaciones que limiten los desbordamientos y el cronograma de ejecución de estas actuaciones.
 - Disponer de un sistema de cuantificación de desbordamientos (antes del 21/9/2016).
 - Informar anualmente sobre los desbordamientos.
 - Dotar a los puntos de desbordamiento de sistemas de retención de flotantes y de sólidos gruesos.

Además, con respecto al sistema de cuantificación de alivios, existen en la web del MAPAMA unas “*Instrucciones para cumplimentar el formulario 5 ‘Desbordamientos de sistemas de saneamiento en episodios de lluvia’*” (MAPAMA, 201 de la Orden Ministerial AAA/2056/2014 que detalla el llamado “Programa de vigilancia de los desbordamientos”. En particular, las Instrucciones establecen que:

- Para cada uno de los puntos de desbordamiento se contará con un sistema de cuantificación que permita conocer el número de alivios que se producen en un año.
- Para los puntos de desbordamiento más representativos, se realizará una monitorización con el fin de determinar el caudal realmente vertido. Para ello se instalarán sensores para el registro de los niveles de agua o de caudales en puntos clave de la red, de manera que se pueda conocer cómo es el funcionamiento real de la red y, sobre todo, el funcionamiento de los aliviaderos, en especial, bajo condiciones de lluvia.
- También se realizarán, en los puntos más representativos del sistema, campañas de control de contaminantes vertidos al medio. Este control de contaminantes se realizará sobre los parámetros más representativos del área drenada asociada al desbordamiento. Se podrá efectuar un control en continuo (pH, conductividad, turbidez) combinado con un control periódico de otros contaminantes.

Las mismas Instrucciones proponen, a modo de orientación, la siguiente figura de resumen (Figura 1).

El grado de implementación del RD1290/2012 ha sido, de momento, bastante heterogéneo y relativamente escaso (de momento sólo se han instalado unos 1000 sistemas de cuantificación de alivios correspondiente a un 5% de los 20.000 a instrumentar antes del 21/09/2016). Esto, se debe a una falta de recursos de las administraciones locales y a la poca o nula presión de los organismos de cuencas que justifica el bajo grado de implantación. La mayor implementación ha ocurrido en entidades gestoras de saneamiento de aglomeraciones con más de 50.000 hab. equivalentes y especialmente en 6 CC. AA. (Andalucía, Cataluña, Comunidad Valenciana, Murcia, Navarra y País Vasco). Destacan, también en Cataluña las 3 circulares enviadas a los alcaldes y entidades gestoras de saneamiento recordando las obligaciones del RD1290/2012 y, en una de ellas, detallando las prescripciones técnicas mínimas de los sistemas de monitorización de alivios que se resumen a continuación:

PROGRAMA DE VIGILANCIA DE LOS DESBORDAMIENTOS		
TIPO DE SOLICITUD	SOLICITUDES NUEVAS (a partir de 31/12/2015)	AUTORIZACIONES VIGENTES, EN TRÁMITE O SOLICITADAS ANTES DEL 31/12/2015
Vertido Urbano < 2.000 h.e.	-	-
Vertido Urbano 2.000 - 50.000 h.e. - No Zona Baño	Sistema de cuantificación de aliviros	-
Vertido Urbano 2.000 - 50.000 h.e. - Zona Baño	Sistema de cuantificación de aliviros Sistema para la determinación del caudal	Sistema de cuantificación de aliviros Sistema para la determinación del caudal
Vertido Urbano > 50.000 h.e.	Sistema de cuantificación de aliviros Sistema para la determinación del caudal Control de contaminantes	Sistema de cuantificación de aliviros Sistema para la determinación del caudal Control de contaminantes
Vertido Industrial no IPPC	Sistema de cuantificación de aliviros	-
Vertido Industrial IPPC	Sistema de cuantificación de aliviros Sistema para la determinación del caudal Control de contaminantes	Sistema de cuantificación de aliviros Sistema para la determinación del caudal Control de contaminantes

Tabla 1 | Programa de vigilancia de los desbordamientos de los sistemas de saneamiento (DSS) según las Instrucciones del MAPAMA.

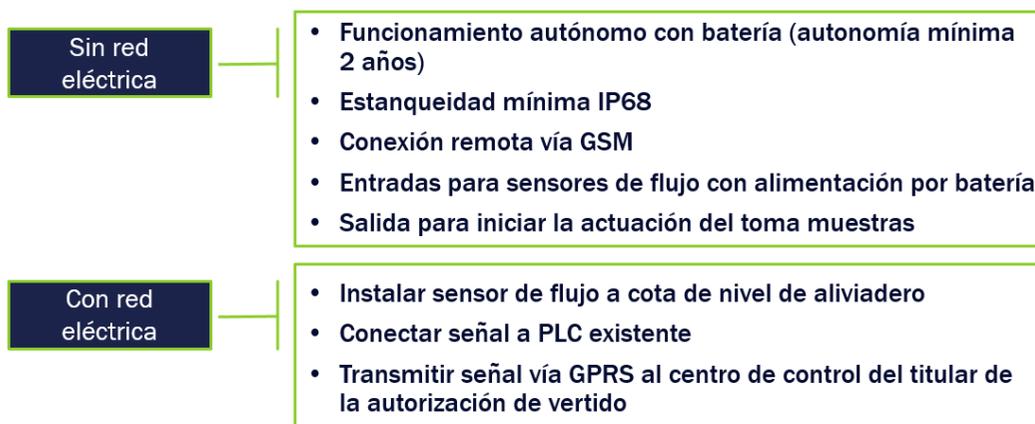


Figura 2 | Especificaciones de los sistemas de monitorización para el cumplimiento del RD1290/2012 para la Agencia Catalana del Agua.

El objetivo de la salvaguardia de las aguas de baño en Badalona en el marco del proyecto BINGO

El proyecto BINGO (Bringing INnovation to onGOing water management - a better future under climate change) (2015-2020), es un Proyecto financiado por el Programa H2020 de la comisión Europea con el objetivo de proporcionar herramientas de adaptación al cambio climático en el ciclo integral del agua con aplicaciones prácticas en seis casos de estudio entre los cuales se encuentra la ciudad de Badalona.

El objetivo principal del caso de estudio de Badalona es preparar el sistema de drenaje de la ciudad para hacer frente a los impactos del cambio climático sobre las dos problemáticas más importantes en este campo: las inundaciones urbanas y las descargas del sistema de saneamiento al medio receptor (aguas de baño de las playas de la ciudad) durante episodios de lluvia extremos y moderados que los modelos climáticos indican podrían ser más frecuentes en futuro (Figura 3).

El proyecto BINGO pretende, por un lado, minimizar el riesgo económico y social debido a las inundaciones urbanas y, por el otro, minimizar los impactos económicos, sociales y ambientales generados por las descargas de los sistemas de sistemas de saneamiento unitario de la ciudad. En particular, los DSS pueden producir riesgo físico para las personas debido a la contaminación bacteriológica de las aguas de baño, riesgo económico asociado al sector de la pesca, del turismo y del ocio en general al producirse el cierre de las playas en caso de superarse umbrales específicos de contaminación, y pérdida de reputación en las instituciones que gestionan los servicios de playas y de alcantarillado de la ciudad (Figura 4).



Figura 3 | Inundación en Badalona (8/6/2013) y DSS a playa (1/4/2017).

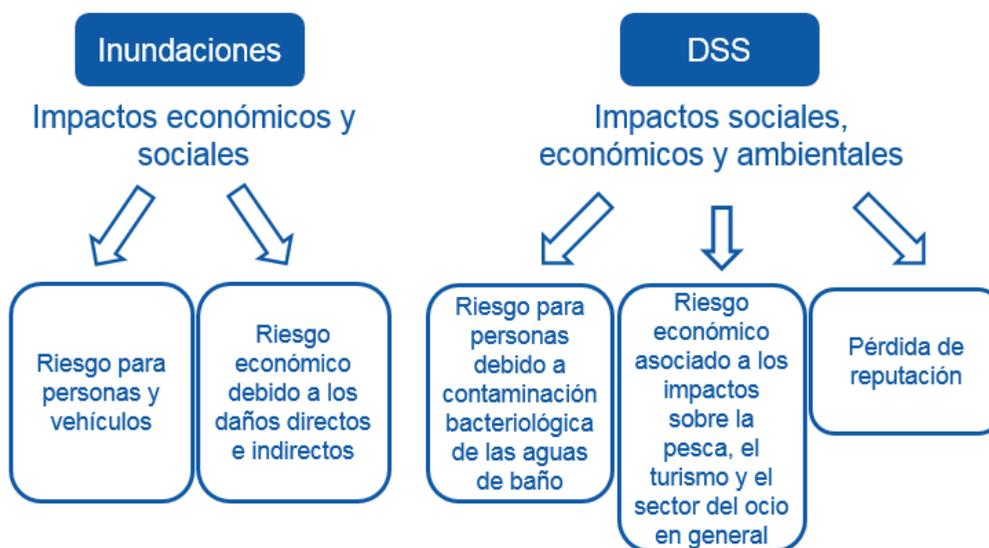


Figura 4 | Marco de la evaluación del riesgo para el caso de estudio de Badalona.

Considerando el nuevo marco legal y los objetivos del Proyecto BINGO, se han seleccionado dos cuencas urbanas con características diferentes en términos de uso del suelo para ser instrumentadas según las nuevas exigencias normativas con el fin de caracterizar cuantitativamente y cualitativamente los alivios al medio y poder calibrar y validar los modelos hidráulicos y de transporte de sedimento de la red de alcantarillado de la ciudad y proporcionar inputs precisos al modelo marino para la simulación de los contaminantes en las aguas de baño.

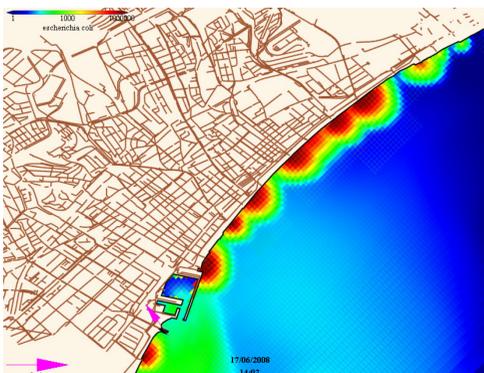


Figura 5 | Simulación de la pluma de contaminación bacteriológica para la ciudad de Badalona durante un evento de lluvia.

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción de los puntos de alivio objetos de la monitorización

Badalona, con más de 215.000 habitantes en 21.2 km², es la tercera ciudad de Cataluña (España) y forma parte del Área Metropolitana de Barcelona (AMB). La ciudad está situada en la costa del mar Mediterráneo y ocupa parcialmente el delta del río Besòs y los contrafuertes de la Sierra de la Marina.

Las dos cuencas seleccionadas para ser instrumentadas con el fin de monitorizar en tiempo real los alivios al medio, han sido la cuenca de Maria Auxiliadora con una superficie de 0.8 km² y un porcentaje de área impermeable del 85% y la cuenca de la Riera Canyonó de 5.4 km² y un 40% de superficies impermeables. Las cuencas, por su diversidad morfológica y sus áreas de aportaciones, son claramente representativas de gran parte de las otras cuencas que componen el término municipal de Badalona.

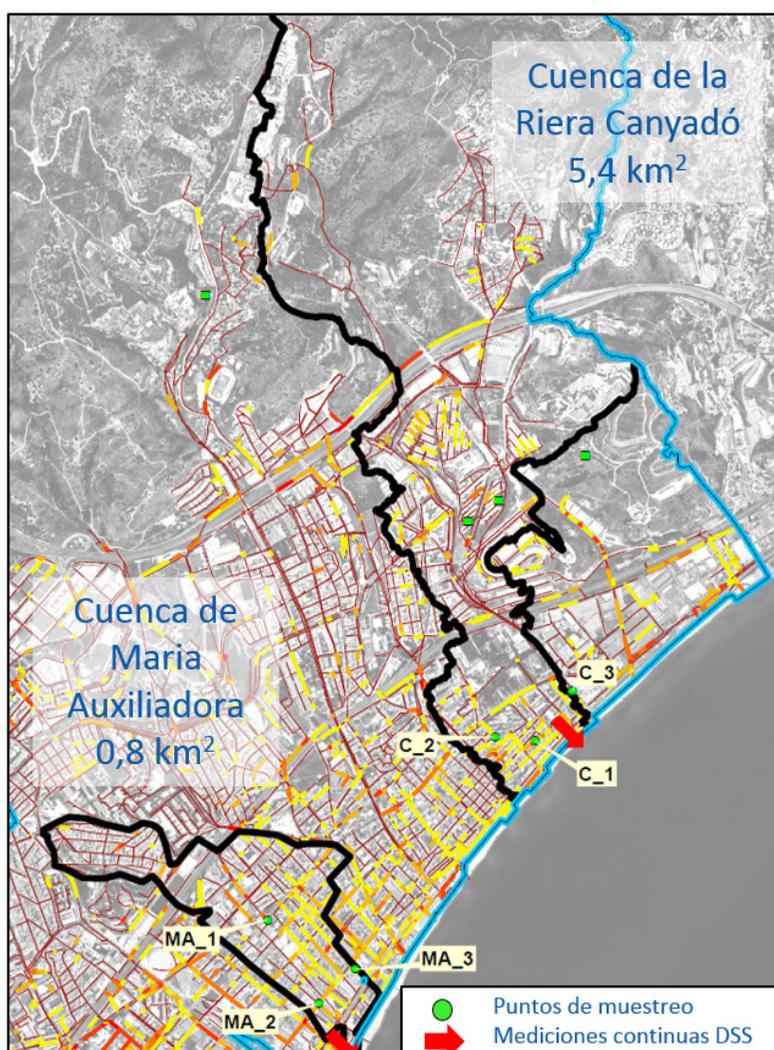


Figura 6 | Cuencas de Maria Auxiliadora y de la Riera Canyonó seleccionadas para la monitorización en tiempo real de DSS.

En los dos casos, hay aliviaderos diseñados para que los caudales residuales de tiempo seco y parte de los caudales de escorrentía (hasta llegar a la ratio de dilución de diseño del mismo aliviadero) sean transportados hasta la Estación de Depuración de Aguas Residuales del Besòs a través de un colector interceptor. Los excesos de caudales que superan esta cantidad se vierten directamente al medio sin ningún tipo de tratamiento previo.

Características del sistema de monitorización

El acceso a un espacio confinado como una red de alcantarillado resulta muy complejo debido a los posibles riesgos de caídas accidentales como a la presencia de sulfhídricos y sustancias explosivas que pueden comprometer muy seriamente la integridad física de las personas. Por estas razones, conseguir un sistema de monitorización robusto y un consumo ultra-bajo de las baterías (con duración de años dependiendo de la frecuencia de alivio) es fundamental para evitar visitas frecuentes de las brigadas a los puntos de alivio para subsanar incidencias en los sensores o para sustituir las baterías.

Al margen de la limitación de los consumos específicos de cada componente del sistema y de la robustez del mismo, se ha trabajado también en el algoritmo de funcionamiento de los sensores para que la captura de datos con o sin alivios sea la más adecuada en términos de resolución temporal necesaria para la monitorización y, al mismo tiempo, óptima en términos de consumo.

En este párrafo, se presentan las características principales del sistema de monitorización de DSS de ultra bajo consumo diseñado por Zaracontech e implementado en los dos puntos de alivio citados anteriormente en el marco del proyecto europeo BINGO (Bringing INnovation to onGOing water management - a better future under climate change) (2015-2019).

Como antecedente a las instalaciones de Badalona, hay que destacar que, previamente, en el marco de otro proyecto, PROMOVER (Proyecto de monitorización inteligente de vertidos de redes de alcantarillado) dentro del Programa de Apoyo a Agrupaciones Empresariales Innovadoras (AEIs) del Ministerio de Industria, Energía y Turismo), se había instalado un primer prototipo en una cámara de alivio de la red de alcantarillado de la ciudad de Zaragoza (Russo *et al.*, 2015). La principal diferencia entre los sistemas propuestos en los dos proyectos (PROMOVER y BINGO) reside en la necesidad de optimizar los consumos del sistema debido a que en Badalona no se disponía de una acometida eléctrica para su alimentación como en Zaragoza. Esto se ha conseguido a través de una serie de innovaciones ligadas al uso de baterías de alta capacidad y de circuitos integrados de ultra-bajo consumo. Además, la incorporación de un sistema microcontrolador, con la electrónica de interfaces analógicos y digitales, permite la conexión de una variedad de dispositivos periféricos suficiente para los sensores utilizados. Este microcontrolador normalmente está dormido, en modo de bajo consumo y cuando se activa para realizar alguna medida o establecer alguna comunicación, únicamente se alimentan aquellos componentes que se necesitan en cada momento. Finalmente, debido a que la comunicación de datos es una fuente importante de consumo, es posible configurar su frecuencia en remoto, diferenciando, claramente, el periodo en que se producen desbordamientos en el cual es interesante observar la evolución de las variables en tiempo real.

El sistema Zaracontech puede ser configurado e implementado a tres diferentes niveles cuyas características se resumen a continuación, siendo el último, el que se ha finalmente empleado en las instalaciones de Badalona.

- **Sistema Te:** La detección de alivios se hace mediante el uso de 2 sensores de temperaturas colocados estratégicamente en contacto con el flujo de residuales, uno, y en correspondencia del labio del aliviadero el otro. En condiciones de alivio, las temperaturas convergen rápidamente detectando la ocurrencia de un desbordamiento y proporcionando información sobre su duración. El *sistema Te* es el sistema más sencillo, barato y de muy bajo consumo que proporciona información sobre la frecuencia y la duración de los alivios cumpliendo con el grado de exigencia mínimo del programa de vigilancia del MAPAMA.
- **Sistema TeN:** La detección de alivios es la misma que el caso anterior. Sin embargo, en función del gradiente de temperatura, se activa un sensor de nivel de tipo radar que confirma el alivio descartando los falsos positivos que pueden generarse por efecto de inversiones térmicas. Además, a partir de la geometría de la cámara de alivio o del colector, según el caso, se estima el caudal vertido al medio receptor. Este sistema permite obtener información sobre frecuencia y duración de los alivios, así como estimación de los caudales vertidos.
- **Sistema TeNtu:** Este sistema se compone dos sondas de temperatura, un sensor de nivel y un sensor de turbidez. En este caso el sistema se basa en la puesta en marcha secuencial de los equipos de medidas. Al detectarse una coincidencia de temperatura entre las sondas, el sensor de nivel radar se pone en

funcionamiento y, en el caso de no detectar falsos positivos, se activa también el sensor de turbidez. Al finalizarse el alivio, tanto el sensor de nivel como el de turbidez se apagan permitiendo un gran ahorro en consumo. Este equipo permite, además de la medida de la frecuencia y duración del alivio y de la estimación de caudales, también la estimación de la calidad del agua en función de la turbidez que puede relacionarse con una cierta confianza con otros parámetros de calidad como los Sólidos en Suspensión, los metales pesados, etc.

El último grado de implementación ha sido el empleado en los puntos de monitorización de los DSS de las cuencas de Maria Auxiliadora y Riera Canyadó. A continuación se resumen las variables medidas y sus objetivos de cara al cumplimiento del programa de vigilancia propuesto en las Instrucciones del MAPAMA (Figura 7).



Figura 7 | Variables medidas y objetivos de las misma en el sistema de monitorización implementado en el proyecto BINGO.

Con respecto al sistema de comunicaciones, se utiliza un sistema remoto de monitorización con comunicaciones Wireless mediante tecnología celular 3G. El acceso a la plataforma es disponible desde PC, Smart Phone y Tablet.

Finalmente, debido a que la comunicación de datos es una fuente importante de consumo, es posible configurar la frecuencia de transmisión de datos en remoto, diferenciando, claramente, el periodo en que se producen desbordamientos en el cual es interesante observar la evolución de las variables en tiempo real. También se puede configurar en remoto el intervalo de captura de datos para cada uno de los sensores.

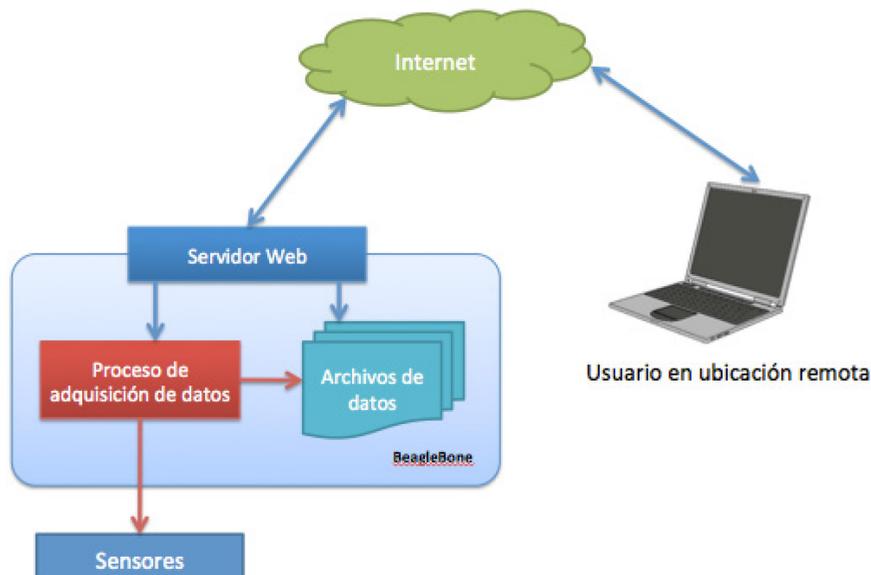


Figura 8 | Arquitectura del sistema de monitorización en tiempo real implementado en los dos puntos de alivio de Balalona.

Relación entre parámetros de calidad y uso de la turbidez como parámetro característico para la evaluación de la calidad de agua en un DSS

Como se ha dicho, uno de los mayores problemas de la degradación de la calidad del agua en las ciudades son los vertidos incontrolados de aguas contaminadas procedentes de las redes de alcantarillado a partir de los puntos de alivio. Se estima que el 50% de la contaminación vertida al medio receptor procede de vertidos en tiempo de lluvia.

Las variables que influyen en la calidad del agua y en particular en la caracterización cualitativa de los DSS son muchas. Existen hoy en día sondas multiparamétricas que pueden emplearse para la medición de más de un parámetro a la vez. Otra opción son los tomamuestras automáticos que generalmente se emplean para campañas de una cierta duración y necesitan la recogida periódica de las muestras. Además, algunas variables de calidad de los DSS no pueden medirse en tiempo real debido a que necesitan análisis de laboratorio posterior a la recogida de las muestras.

Sin embargo, algunos parámetros de calidad pueden relacionarse entre sí, aunque esta relación es específica en cada caso al depender de la morfología de la cuenca, de su grado de urbanización y tipología de usos del suelo, de la pluviometría de la zona, de la topología de la red y, en general, del sistema de drenaje. Diferentes estudios han demostrado que muchos contaminantes pueden asociarse a los sólidos en suspensión (SS) de los caudales circulantes en una red de alcantarillado (concepto de “co-pollutant”), así que parámetros como la DQO, DBO5 o el NKT pueden expresarse en función de la concentración de sólidos en suspensión (Seco, 2014). Otra vez, estas relaciones dependen de factores locales y no deberían generalizarse.

La turbidez es un parámetro que depende de muchos factores, aunque los fundamentales son las características de las partículas en suspensión presentes en el agua (forma, color, tamaño o la relación entre la fracción orgánica e inorgánica). Estas características dependen, por una parte, del tipo de cuenca y por la otra, del momento temporal en el que se realiza la muestra (por ejemplo durante tiempo seco o durante un suceso de lluvia) (Anta *et al.*, 2014). Sin embargo, en bibliografía, está ampliamente reconocido que algunos de los parámetros indicadores de la contaminación están correlacionados.

Como se ha dicho, la determinación de la concentración de sólidos en sí, especialmente la de los sólidos en suspensión, es un buen indicador de la presencia de contaminación general en el agua de lluvia. Esto es así porque la mayoría de contaminantes se encuentra asociada a los sedimentos, y más concretamente a las partículas más finas (Bertrand-Krajewski, 2004 y Llopert-Mascaró *et al.*, 2010). Desafortunadamente la medida de sólidos en suspensión y sólidos volátiles no puede efectuarse en tiempo real. Sin embargo, Anta *et al.* (2009) encontraron buenas correlaciones entre la turbidez determinada en laboratorio y las concentraciones de SST (sólidos en suspensión totales) y ST (sólidos totales). Además, más recientemente, algunos estudios desarrollados para la redacción del “Manual Nacional de recomendaciones para el diseño de tanques de tormenta” (Barro, J. R. *et al.*, 2014; Russo *et al.*, 2015) han confirmado este tipo de relaciones en la entrada de algunos tanques de retención de redes unitarias (Figura 9).

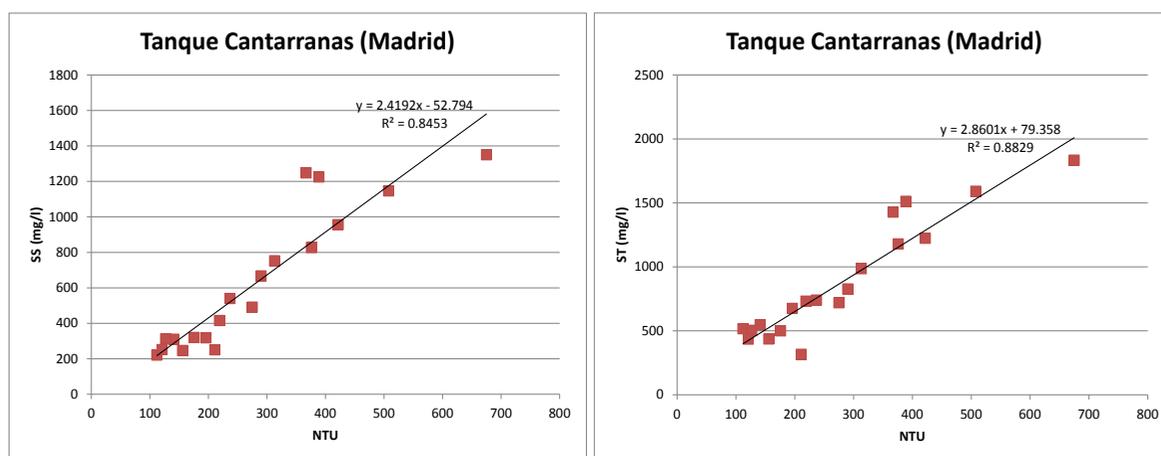


Figura 9 | Correlación entre sólidos en suspensión (SS) y turbidez (a la izquierda) y sólidos totales (ST) y turbidez (a la derecha) en la entrada del tanque de Cantarranas de Madrid (Russo *et al.*, 2015)

Por todo eso, en el caso piloto se eligió la turbidez como indicador de la contaminación de los DSS vertidas al medio, siendo este parámetro también uno de los mencionado por las Instrucciones del MAPAMA para la monitorización cualitativa de los alivio de especial interés. Como se ha dicho, las relaciones entre la turbidez y los SST (o ST), así como las correlaciones con otros contaminantes deben estudiarse caso por caso al depender de muchos factores como el uso del suelo y la densidad demográfica de la cuenca, el régimen de lluvias, etc. Con este fin, en el marco del proyecto BINGO, se instalarán también dos tomamuestras asociados a los sistemas de monitorización en los dos puntos de alivios localizados en Badalona con el fin de obtener dichas correlaciones paramétricas entre diferentes contaminantes de interés.

RESULTADOS

Las medidas de los sensores se almacenan en un datalogger de recogida de datos y se comunican a un centro de control. Los mismos datos pueden descargarse en formato texto o CSV y visualizarse tanto en versión alfanumérica como gráfica a través de una plataforma de visualización. Además de las medidas directas de los cuatro sensores, se representa también una estimación del caudal estimado a partir de determinadas funciones propuestas para los casos de alivio en cámara o en colectores y una estimación de los sólidos en suspensión cuya relación con la turbidez puede ser definida por el usuario a partir de datos de ampos específicos.

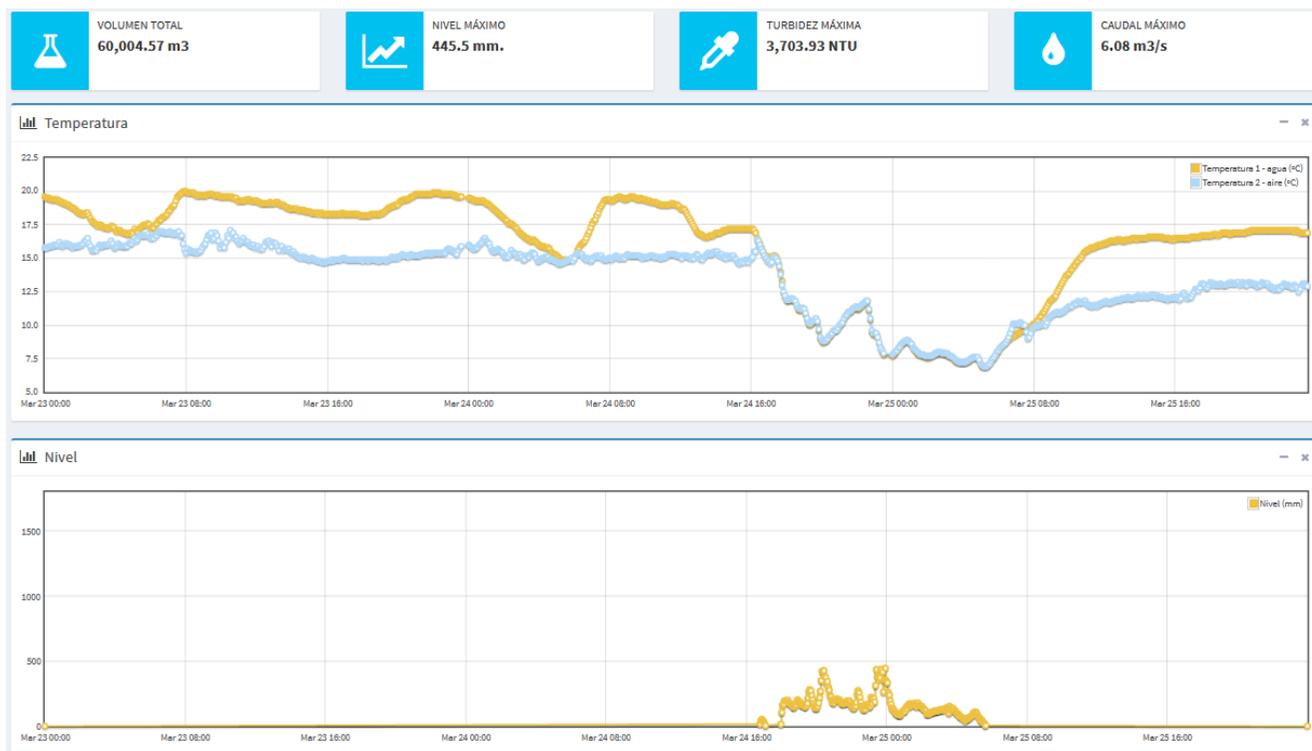


Figura 10 | Medidas de temperatura y nivel durante el DSS del 24/03/2017 en el punto de alivio de Maria Auxiliadora (Badalona).

Al margen del cumplimiento de la normativa vigente, este sistema y los resultados recogidos a lo largo de la duración del proyecto, permitirán a la empresa Aquatec, que lidera el caso de estudio de Badalona en el marco del proyecto BINGO, calibrar y validar un módulo de transporte de sedimento asociado al modelo hidráulico de la red de alcantarillado de la ciudad y caracterizar los inputs del modelo marino de propagación de contaminantes en las aguas de baño de la ciudad.

CONCLUSIONES

La ciudad de Badalona es uno de los casos de estudio del proyecto europeo BINGO (Bringing INnovation to onGOing water management - a better future under climate change) (2015-2020), cuyo objetivo es proporcionar herramientas de adaptación al cambio climático en el ciclo integral del agua.

En particular, el objetivo principal del caso de estudio de Badalona es preparar el sistema de drenaje de la ciudad para hacer frente a los impactos del cambio climático más importantes en este campo: las inundaciones urbanas y las descargas del sistema de saneamiento al medio receptor durante episodios de lluvia extremos y moderados que los modelos climáticos indican podrían ser más frecuentes en futuro.

En el marco del proyecto, se ha instalado un sistema de monitorización para la detección de alivios en tiempo real. El sistema, de ultra-bajo consumo, permite una caracterización cuantitativa y cualitativa de los alivios de acuerdo a la normativa vigente sobre DSS por medio de una serie de sensores cuya configuración, en términos de captura de datos y transmisión, se hace de manera inteligente para optimizar recursos.

Los datos pueden visualizarse y descargarse a través de una plataforma accesible desde cualquier aparato que tenga conexión a internet.

Finalmente, debido a que la comunicación de datos es una fuente importante de consumo, es posible configurar su frecuencia en remoto, diferenciando, claramente, el periodo en que se producen desbordamientos en el cual es interesante observar la evolución de las variables en tiempo real. También se puede configurar en remoto el intervalo de captura de datos para cada uno de los sensores.

La instalación de estos sensores, así como la implementación del sistema de monitorización en tiempo real, permite, a la vez, el cumplimiento de la normativa vigente para la vigilancia de los puntos de alivio de gran interés y recopilar datos esenciales para calibrar y validar un módulo de transporte de sedimento asociado al modelo hidráulico de la red de alcantarillado de la ciudad y caracterizar los inputs del modelo marino de propagación de contaminantes en las aguas de baño de la ciudad.

AGRADECIMIENTOS

Los trabajos presentados en este artículo se han realizado en el marco del proyecto BINGO (Bringing INnovation to onGOing water management - a better future under climate change) (2015-2019) del programa de financiación europea H2020 (Grant agreement No. 641739). (<http://www.projectbingo.eu>).

REFERENCIAS

Anta J., Cagio J., Suárez J., Peña E.. 2009. Análisis de la movilización de sólidos en suspensión en una cuenca urbana separativa mediante la aplicación del muestre en continuo de la turbidez. *Ingeniería del agua* 16 (3).

Barro J. R., Anta J., Comas P., Falcó X., García J., Malgrat P., Puertas J., Suárez J., Sunyer D., Villanueva A.. 2014. Manual nacional de recomendaciones para el diseño de tanques de tormentas. Dirección General de Aguas. MAGRAMA.

Bertrand-Krajewski J.-L.. 2004. TSS concentration in sewers estimated from turbidity measurements by means of linear regression accounting for uncertainties in both variables. *Water Science and Technology*, 50 (11), 81–88.

Butler, D., Davies, J. W.. 2010. *Urban drainage*. Third edition. E&FN SPON.

Corominas Ll., Gutiérrez O., Acuña V.. 2015. Sistema de monitorización de desbordamientos en redes de tuberías. Institut Català de Recerca de l'Aigua (ICRA). ES2490065B1. 2/9/2015.

Llopart-Mascaró A., Gil A., Martínez M., Puertas J., Suárez J., Del Río H., Paraira M.. 2010. Caracterización analítica de las aguas pluviales y gestión de las aguas de tormenta en los sistemas de saneamiento. En 6a Jornadas técnicas de saneamiento y depuración. Control Analítico de la depuración de aguas residuales. Murcia.

V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña

Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA). 2012. Real Decreto 1290/2012, de 7 de septiembre, por el que se modifica el reglamento de dominio público hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, y el Real Decreto 509/116, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-Ley 11/1995 de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA). 2014. *Instrucciones para cumplimentar el formulario 5 'Desbordamientos de sistemas de saneamiento en episodios de lluvia*.

http://www.mapama.gob.es/es/agua/participacion-publica/2014-03-10_Guia_Formulario_5%C2%B4_tcm7-321443.pdf

Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA). 2014. Orden AAA/2056/2014 de 27 de octubre, por la que se aprueban los modelos oficiales de solicitud de autorización y de declaración de vertido.

Russo B., Ballester Ll., Castrillo J. I., Jaría J. D., Olona N., Sánchez J. C.. 2015. Monitorización inteligente de las descargas de sistemas unitarios (DSU) en un caso piloto de la ciudad de Zaragoza. IV Edición de las Jornadas de Ingeniería del Agua. Córdoba, España.

Seco I.. 2014. In Sewer Organic Sediments Transport. Tesis Doctoral, ETSICCP Barcelona, UPC.