

# MONITORIZACIÓN Y PREDICCIÓN DE LAS EMISIONES DE SULFÚRICO Y METANO EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO EN CIUDADES MEDITERRÁNEAS

**Oriol Gutierrez<sup>1,2</sup>, Keshab Sharma<sup>2</sup>, Joana Batista<sup>1</sup>, Maite Pijuan<sup>1</sup>, Manel Poch<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Catalán de Investigación del Agua, ICRA. Edificio H<sub>2</sub>O- Parque Científico y Tecnológico, Emili Grahit 101-17003 Girona

<sup>2</sup> Advanced Water Management Centre, Gehrman Building, Research Road, The University of Queensland, St. Lucia, Queensland 4067, Australia.  
Email: ogutierrez@icra.cat

## Introducción

Los sistemas de alcantarillado (o colectores) son un componente integral y muy importante de la gestión de las aguas residuales urbanas y aguas pluviales. Su función principal es el transporte de las aguas residuales y/o pluviales hasta las plantas de tratamiento o directamente al medio receptor. Sin embargo la naturaleza y composición del agua residual comporta una serie de complejas transformaciones químicas i bioquímicas que ocurren en colectores.

Cuando en un sistema de alcantarillado prevalecen las condiciones anaeróbicas, el sulfato presente en el agua residual es reducido a sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) mediante un grupo de microorganismos llamados las bacterias sulfato-reductoras (SRB- Sulfate reducing bacteria). La acumulación de H<sub>2</sub>S en la fase gas de colectores produce efectos perjudiciales tales como i) mal olor y molestias en torno al colector, ii) riesgos de salud debido a la toxicidad del H<sub>2</sub>S, y iii) corrosión acelerada del sistema de alcantarillado y las zonas de entrada en las aguas residuales plantas de tratamiento, (EDAR) (Boon, 1995; Boon et al., 1998). Así pues la acumulación de H<sub>2</sub>S resulta en un profundo impacto en la integridad estructural de la red de alcantarillado, su entorno y, sobre todo, en el funcionamiento y costes de las plantas de tratamiento de aguas residuales (Thistlethwayte, 1972; Hvitved-Jacobsen, 2002). En sistemas de alcantarillado en alta, el coste de la reparación o reemplazo de las partes destruidas por la corrosión es muy alta, del orden de varios cientos a varios miles de €/metro dependiendo del diámetro de la tubería y profundidad.

Pero el sulfhídrico no es el único compuesto perjudicial que se genera en los sistemas colectores. Estudios recientes demuestran que, bajo ciertas condiciones, la producción y acumulación de metano (CH<sub>4</sub>) en los sistemas de alcantarillado puede ocurrir (Guisasola et al., 2008; Foley et al., 2009). El metano además de ser explosivo en concentraciones bajas, es uno de los principales contribuidores de gases de efecto invernadero al calentamiento global, con una vida útil de unos 12 años y un potencial de calentamiento global de alrededor de 21-23 veces mayor que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Las emisiones totales de gases de efecto invernadero procedentes de los sistemas colectores de aguas residuales se habrían subestimado. Concretamente el último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC et al., 2006 ) no tuvo en cuenta la producción de metano a partir de sistemas de drenaje cerrados o subterráneos, a pesar de algunos indicios de que las aguas residuales domésticas es una de las fuentes antropogénicas de metano (Minami and Takata, 1997).

En el contexto Mediterráneo las emisiones, sulfhídrico y metano des de colectores aún no se han incluido en la gestión integral de los sistemas de agua urbanos (UWS) a pesar de los impactos locales y globales descritos anteriormente. El clima de la región mediterránea, con inviernos relativamente poco lluviosos y veranos cálidos-secos (Martínez et al., 2010), presenta las condiciones para sufrir un aumento de las emisiones perjudiciales desde colectores a corto-mediano plazo. De hecho los modelos de cambio climático predicen que las regiones mediterráneas se verán más frecuentemente afectadas por episodios de sequías, inundaciones y temperaturas generales más altas (Meehl and Tebaldi, 2004; Barceló and Sabater, 2010). Estos constituyen factores desencadenantes de las emisiones de alcantarillado, con un aumento de la actividad bacteriana debido a la temperatura y una disminución de la calidad del agua residual en periodos de sequia. Por lo tanto, los gestores de aguas residuales se enfrentan al desafío de operar sus sistemas cumpliendo los más altos estándares de tratamiento y al mismo tiempo reducir su huella de carbono.

Este trabajo consiste en la primera cuantificación combinada de la formación de  $H_2S + CH_4$  en colectores del área mediterránea y constituye el primer paso para desarrollar estrategias de minimización de ambos compuestos en estos sistemas de aguas residuales. Los resultados servirán para diseñar las estrategias de operación óptimas para los gestores de aguas residuales que actualmente operan sus activos con un conocimiento parcial de los impactos producidos por sus colectores.

## METODOLOGÍA

La metodología utilizada combina campañas de muestreo en colectores reales con modelización matemática avanzada con el modelo UQ-Sewex (Sharma et al., 2008). Los trabajos experimentales se llevan a cabo en el colector principal del municipio de l'Escala, en la Costa Brava, Girona (Figura 1). L'Escala es un pueblo turístico con importante producción de sulfhídrico debido a un número de colectores anaerobios con altos tiempos de retención hidráulica de aguas residuales (TRH) y un clima cálido-templado.

El  $H_2S$  disuelto en el agua se mide online con espectrómetros modelo spectrolyser (s::can).  $H_2S$  en fase gas se monitoriza en continuo con detectores Oddalger © Apptek. También se realizan campañas de muestreo online en las cuales se analizan concentración de materia orgánica disuelta (DQO total, DQO soluble, ácidos grasos volátiles), diferentes compuestos de azufre (sulfhídrico, sulfato, sulfito, tiosulfito) y también concentración de metano disuelto en el agua residual. La muestras offline son analizadas por la unidad de servicios analíticos de ICRA.

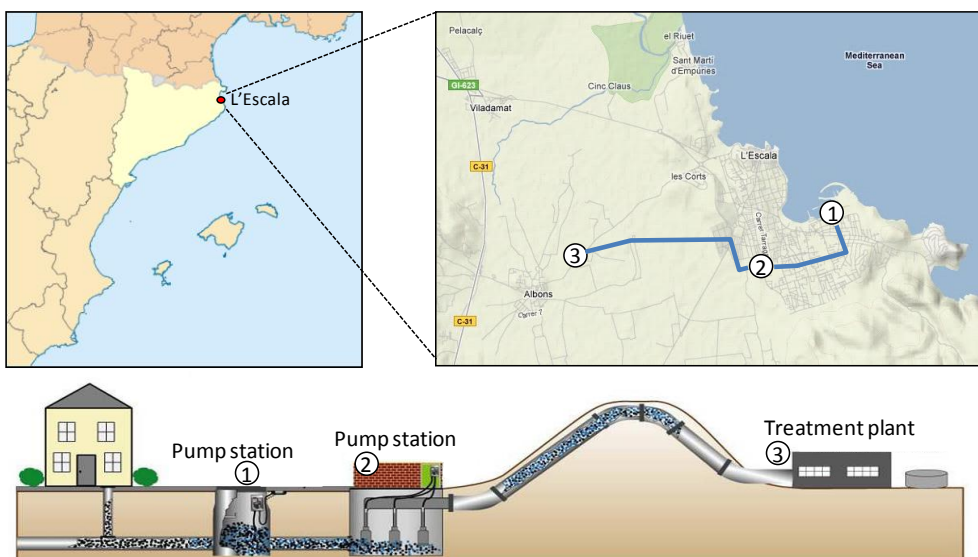


Figura 1. Localización y esquema de l'Escala sistema de alcantarillado urbano con puntos de monitoreo: 1, 2: Estaciones de bombeo; 3: Estación de Tratamiento de Aguas Residuales, entrada de planta.

Los datos recogidos se introducen en el Modelo UQ-Sewex (Sharma et al., 2008). El modelo UQ-Sewex es el modelo matemático de simulación de procesos en colectores más avanzado actualmente, capaz de predecir las transformaciones biológicas del azufre y carbono que dan lugar a la formación de  $H_2S$  y  $CH_4$ . Es un modelo dinámico que tiene en cuenta los procesos bioquímicos (aerobios, anaerobios y anóxicos) que ocurren en el biofilm y fase líquida, los procesos químicos, tales como oxidación de los sulfuros, reacciones químicas de precipitación y equilibrio para la predicción de pH, y los procesos físicos tales como transferencia gas-líquido. El modelo UQ-Sewex funciona a partir de las características del sistema de drenaje: diseño de red, el tamaño, longitud y la pendiente de tuberías, composición del agua residual, y las características hidráulicas tales como la variaciones de flujo y los correspondientes cambios en la velocidad del flujo y profundidad. El modelo ha sido recientemente ampliado para predecir la formación de  $CH_4$  en tuberías de impulsión

(Guisasola et al., 2009). El modelo UQ-Sewex es una herramienta fiable para formular predicciones de producción de  $H_2S$  y  $CH_4$  en los sistemas de alcantarillado, lo cual es absolutamente necesario para establecer las estrategias óptimas de funcionamiento de los drenajes.

## RESULTADOS

La figura 2. presenta los resultados obtenidos en la monitorización y modelización de las concentraciones de  $H_2S$  en el agua residual en los puntos de muestreo 2 (estación de Bombeo de Radin) y 3 (Entrada EDAR) correspondientes a Mayo de 2012. Como se puede observar las concentraciones de  $H_2S$  disueltas detectadas en la fase líquida son significativas y aumentan a medida que el agua residual circula des de la estación de bombeo hasta la depuradora por el colector por impulsión de 3 kilómetros que los une. La concentración diaria media en el punto de muestreo 2 (Figura 2. Línea gris) es de 16.9 mgS/L y aumenta hasta 22 mgS/L justo antes de ser descargada en la planta de tratamiento (Figura 2. Línea negra). Así pues, se ha comprobado que el sistema produce  $H_2S$  de manera importante. Los resultados de la caracterización físico-química en el punto de muestreo 2 se introdujeron en el model UQ-Sewex para predecir la concentración de  $H_2S$  en el punto 3 (Figura 2, línea de puntos). Se comprobó que el modelo predice acuradamente las concentraciones de  $H_2S$  en la fase líquida. La concentración media diaria predicha por el modelo, 21.7 mgS/L, es muy similar a la concentración medida en el sistema, 22.0 mg/L. A partir de aquí el modelo matemático se utilizará para desarrollar el mejor modo de operación para reducir las concentraciones de  $H_2S$  mediante la dosificación de productos como nitrato, oxígeno, sales de hierro o alcalinidad.

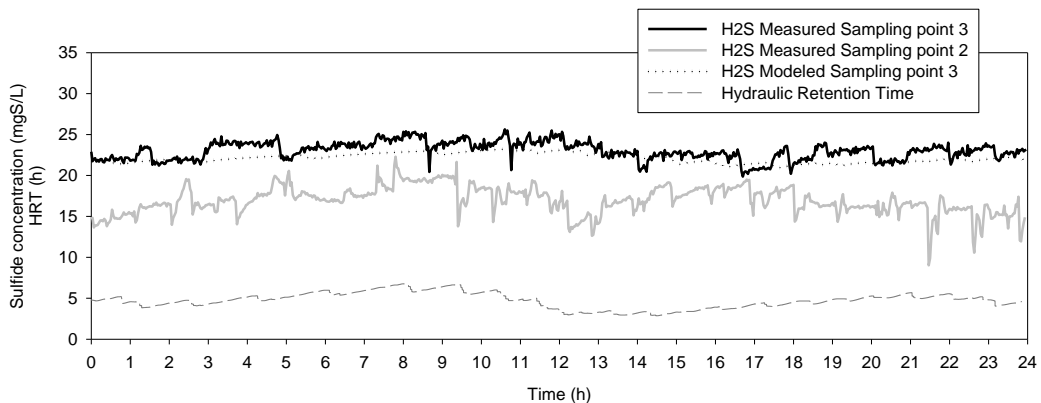


Figura 2. Perfil típico diario de concentraciones de  $H_2S$  en el agua residual correspondiente a mayo de 2012.

La Figura 3 presenta los resultados obtenidos en la monitorización y modelización del  $CH_4$  en el colector final del sistema de l'Escala. De manera similar al  $H_2S$ , se detectó un incremento en la concentración de  $CH_4$  en el agua residual en su transporte hacia la EDAR. Las concentraciones medidas de manera offline en la estación de bombeo (Figura 3. Símbolo blanco) fueron de 2.1  $mgCH_4/L$  (Figura 3. Símbolo gris) de media mientras que en la entrada de planta habían aumentado hasta 6.2  $mgCH_4/L$ . Las simulaciones obtenidas del modelo UQ-Sewex demuestran otra vez una gran concordancia con los resultados experimentales (Figura 3. Línea gris). Además resalta la variabilidad diaria de las concentraciones de  $CH_4$ , máximas entre las 7-8 de la mañana ( $\approx 10 mgCH_4/L$ ) y mínimas entre 16-17 de la tarde ( $\approx 5 mgCH_4/L$ ). La concentración de  $CH_4$  está proporcionalmente relacionada con el tiempo de retención hidráulica del agua residual en el tubo. Igual que en el caso del  $H_2S$ , el modelo matemático se ha validado para desarrollar las mejores estrategias de operación para reducir la producción de  $CH_4$  en el sistema.

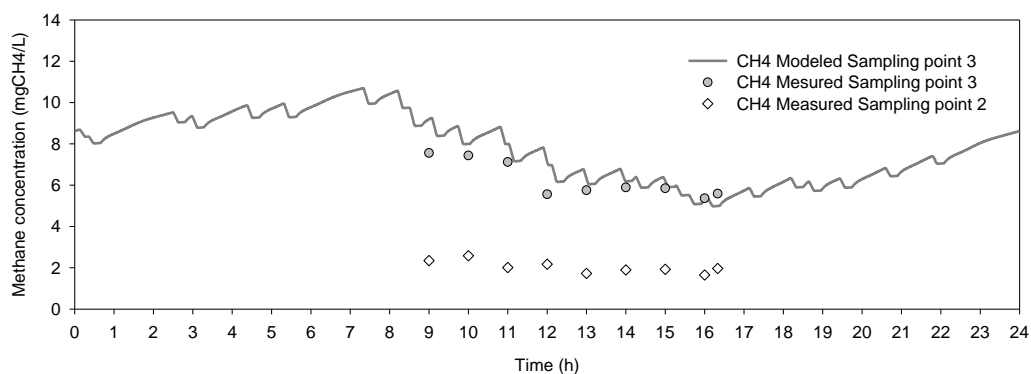


Figura 3. Perfil típico diario de concentraciones de CH<sub>4</sub> en el agua residual correspondiente a mayo de 2012.

## CONCLUSIONES

Se ha llevado a cabo la monitorización de las concentraciones de H<sub>2</sub>S y CH<sub>4</sub> en el sistema de estudio. Se ha detectado un incremento significativo de ambos compuestos en el agua residual durante su trayecto hasta la planta de tratamiento. Los resultados se han utilizado para la calibración del modelo matemático de predicción de bioprocesos en colectores. Los resultados de la modelización predicen acuradamente el funcionamiento del sistema. El modelo se utilizará para desarrollar las mejores estrategias de funcionamiento y control de emisiones nocivas de H<sub>2</sub>S y CH<sub>4</sub> en el sistema de l'Escola.

## Agradecimientos

Este estudio está financiado por el programa Marie Curie Reintegration Grant de la Unión Europea (2010-RG-277050 y 2011-CIG-303946), el proyecto SANITAS Marie Curie Initial Training Network (ITN – 289193,) el proyecto del Ministerio de Economía y Competitividad (CTM 2011-27163). M. Pijuan tiene un contrato Ramón y Cajal (RYC-2009-04959).

## Bibliografía

- Barceló, D. and Sabater, S. (2010) Water quality and assessment under scarcity: Prospects and challenges in Mediterranean watersheds. *Journal of Hydrology* 383(1-2), 1-4.
- Boon, A.G. (1995) Septicity in sewers: Causes, consequences and containment. *Water Science and Technology* 31(7), 237-253.
- Boon, A.G., Vincent, A.J. and Boon, K.G. (1998) Avoiding the problems of septic sewage. *Water Science and Technology* 37(1), 223-231.
- Foley, J., Yuan, Z. and Lant, P. (2009) Dissolved methane in rising main sewer systems: field measurements and simple model development for estimating greenhouse gas emissions. *Water Science and Technology* 60(11), 2963-2971.
- Guisasola, A., de Haas, D., Keller, J. and Yuan, Z. (2008) Methane formation in sewer systems. *Water Research* 42(6-7), 1421-1430.
- Guisasola, A., Sharma, K.R., Keller, J. and Yuan, Z. (2009) Development of a model for assessing methane formation in rising main sewers. *Water Research* 43(11), 2874-2884.
- Hvitved-Jacobsen, T. (2002) Sewer Systems and Processes. In: *Sewer Processes - microbial and chemical process engineering of sewer networks*.
- IPCC, Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K. (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan.
- Meehl, G.A. and Tebaldi, C. (2004) More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science* 305(5686), 994-997.
- Minami, K. and Takata, K. (1997) Atmospheric methane: Sources, sinks, and strategies for reducing agricultural emissions, pp. 509-516.
- Sharma, K., De Haas, D.W., Corrie, S., O'Halloran, K., Keller, J. and Yuan, Z. (2008) Predicting hydrogen sulfide formation in sewers: A new model. *Water* 35(2), 132-137.
- Thistlethwayte, D.K.B. (1972) *The Control of Sulfides in Sewerage Systems*, Sydney.