

## MANEJO DE RESIDUOS EN SABIÑÁNIGO (HUESCA) Y SUS EFECTOS EN EL RÍO GÁLLEGO EN EL PERÍODO FINAL DE 2014

Beatriz LACRUZ<sup>1</sup>  
José Antonio CUCHÍ<sup>2</sup>  
Jesús FERNÁNDEZ-CASCÁN<sup>3</sup>

RESUMEN.— El río Gállego es un afluente principal del Ebro por su orilla izquierda, en el nordeste de España. Fluye a través de 192 kilómetros, desde la frontera francesa hasta la ciudad de Zaragoza. En Sabiñánigo, desde 1975 a 1989, la empresa Inquinosa (Industrias Químicas del Noroeste) produjo el insecticida lindano ( $\gamma$ -hexaclorociclohexano [HCH]), generando aproximadamente 115 000 toneladas de residuos tóxicos que se acumularon básicamente en dos vertederos, Bailín y Sardas, ambos situados cerca de la fábrica y del río, además de en un número desconocido de vertederos menores. Durante el verano de 2014, los residuos de  $\gamma$ -HCH del vertedero de Bailín fueron transferidos a un cercano y nuevo vertedero de más seguridad. Desafortunadamente, una masa desconocida de  $\gamma$ -HCH se vertió al barranco de Bailín, produciendo la consecuente contaminación del río Gállego por efecto de fuertes lluvias. Se prohibió el uso del suministro público de agua

Recepción del original: 15-12-2016

<sup>1</sup> Departamento de Métodos Estadísticos. Campus San Francisco. Edificio de Matemáticas. Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, 12. E-50009 ZARAGOZA. lacruz@unizar.es

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. cuchi@unizar.es

<sup>3</sup> Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad. Edificio Pignatelli. Gobierno de Aragón. P.º María Agustín, 36. E-50071 ZARAGOZA. jfernandezc@aragon.es

en varias poblaciones y también se vieron afectadas las actividades agrícolas y de turismo de aventura. La calidad del agua fue monitorizada por la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y el Gobierno de Aragón. Este artículo analiza la evolución del vertido de  $\gamma$ -HCH en tres puntos de muestreo localizados en el río Gállego. El primero, llamado *Caseta del Gállego*, está situado unos centenares de metros por debajo de su confluencia con el barranco de Bailín. El segundo y el tercero están localizados a 37 y 61 kilómetros aguas abajo, en la salida del embalse de La Peña y en la presa de Ardisa (inicio del canal del Gállego). Se han estudiado las relaciones entre las concentraciones de  $\gamma$ -HCH en los dos últimos lugares frente a las medidas en el primer punto. El estudio servirá para entender el movimiento del contaminante y mitigar futuros episodios contaminantes en el río Gállego. Este artículo debe ser considerado como un estudio preliminar dado que, en el momento de su redacción, se carece de muchos datos, como la lluvia y el caudal del río en los puntos estudiados, que debieran ser incluidos para mejorar los modelos. Los resultados muestran que existe relación entre los isómeros de  $\gamma$ -HCH, que indican un origen común para la contaminación. Sin embargo, el pico del 11 de octubre muestra una inusual concentración de  $\alpha$ -HCH, lo que sugiere un origen diferente para esta contaminación. En algunos episodios, la velocidad de transporte de  $\gamma$ -HCH a través del río parece ser mayor de lo esperado. Realmente, es muy corto un preaviso de un día tras un episodio de fuertes lluvias para evitar que los contaminantes de  $\gamma$ -HCH alcancen los sistemas públicos de agua potable.

ABSTRACT.— The Gállego River is one of a main tributary of the Ebro River by its left bank, in the northeast of Spain. It flows through 192 kilometres from the French border to the city of Zaragoza. From 1975 to 1989, a company called Inquinosa (Industrias Químicas del Noroeste) was producing lindane insecticide ( $\gamma$ -hexachlorocyclohexane) in the town of Sabiñánigo, generating approximately 115,000 tons of toxic waste. This was stocked in two main dump sites —Bailín and Sardas, both located near the factory and close to the Gállego River—, as well as in several other minor sites. During the summer of 2014, the  $\gamma$ -HCH waste from Bailín dumpsite was transferred to a nearby more secure location. Unfortunately, an unknown mass of  $\gamma$ -HCH waste was spilled into Bailín creek, contaminating the Gállego River through heavy rains. The use of public water supply was banned in several towns and agriculture and adventure tourism activities were also affected. Water quality was monitored by the Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) and the Government of Aragón. This paper analyses the evolution of the  $\gamma$ -HCH spill at three sampling points of the Gállego River. The first one, named Caseta del Gállego, is a few hundred meters below its confluence with Bailín creek. The second and third sampling points are located respectively 37 and 61 kilometres downstream, at La Peña dam outlet and Ardisa dam (at the beginning of the Gállego canal).

The  $\gamma$ -HCH concentration in these last two sites has been analysed and compared with the first site's result. This study will help to understand the pollutant course and will allow to better deal with any new contamination event in the Gállego River. The work should be considered as a preliminary study, given the lack of key data, such as the level of rainfall and the intensity of river flow at each of these sample points. This information was not available when the article was written but should be included to improve the models. The results show an existing relationship between  $\gamma$ -HCH isotopes which indicates a common origin of contamination. However, on October 11<sup>th</sup>, an unusual concentration peak of  $\alpha$ -HCH was found, suggesting that this contamination had a different root. At times, the speed of  $\gamma$ -HCH spreading through the river seems to be higher than expected. Indeed, a day's notice previous to heavy rainfalls is too short to avoid that  $\gamma$ -HCH pollutants reach public water supply facilities.

KEY WORDS.— Lindane, 2014 crisis, the Gállego River, Bailín creek, Sabiñánigo (Spain).

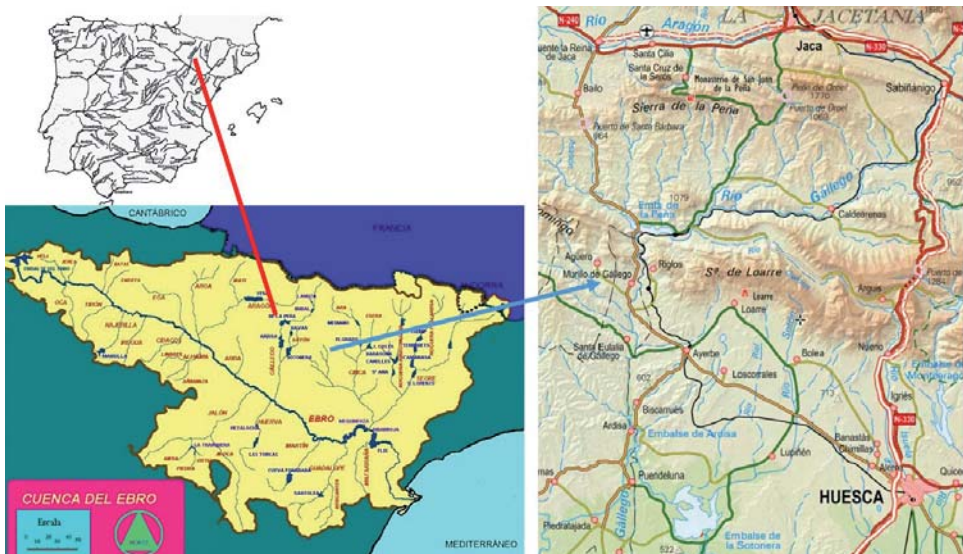
## INTRODUCCIÓN

Con una cuenca de 4000 km<sup>2</sup>, el río Gállego es uno de los afluentes importantes del río Ebro por la margen izquierda (fig. 1). El río fluye a través de 192 kilómetros desde los Pirineos hasta la ciudad de Zaragoza, y ha tenido históricamente varios usos. Al menos desde la Edad Media, se ha usado para riego, sobre todo en la cuenca inferior a partir de la localidad de Gurrea de Gállego, mediante los azudes de Camarera-Candevania, Rabal y Urdán. Hubo molinos harineros en Anzánigo, Murillo de Gállego, Molinaz, Ballestar y Puendeluna. Hasta finales del siglo XIX, el río se utilizó para transporte de madera hasta que llegó el ferrocarril y se construyó el embalse de La Peña (14 hm<sup>3</sup>). Durante el siglo XX se construyeron bastantes embalses y centrales hidroeléctricas en la cabecera y tramo medio para suministrar energía eléctrica a las ciudades de la cuenca (Zaragoza, Huesca), así como a las industrias químicas de Sabiñánigo. En el tramo medio, estas centrales se componían de un azud modesto, un largo canal a media ladera hasta la cámara de carga y el consecuente salto entubado hacia las turbinas. Hacia 1920 se construyó el canal del Gállego (90 m<sup>3</sup>/s) conectando la presa de Ardisa con el embalse en derivación de La Sotonera donde el canal de Monegros suministra agua para el sistema de Riegos del Alto Aragón (RAA) con unas 130 000 hectáreas, siendo el mayor sistema de riegos

de España. Entre 1970 y 1980, en la cuenca superior se construyeron los embalses de Búbal (64 hm<sup>3</sup>) y Lanuza (17 hm<sup>3</sup>) para hidroelectricidad y agua para riego. En las últimas décadas se han puesto en marcha actividades de turismo de aventura de aguas bravas como una nueva forma de economía sostenible en localidades del curso medio del Gállego entre las presa de La Peña y Ardisa.

En Sabiñánigo, entre 1975 y 1989, la empresa Inquinosa (Industrias Químicas del Noroeste) produjo lindano ( $\gamma$ -hexaclorociclohexano) por reacción directa de cloro y benceno. Su producción generó aproximadamente 115 000 toneladas de residuos que se acumularon principalmente en dos zonas de vertido: Sardas y Bailín, ambas localizadas cerca del cauce del Gállego. El vertido inadecuado de los residuos químicos produjo la contaminación de aguas superficiales y subterráneas que llegaron al río Gállego (VAN DE HAAR y VAN ROEKEL, 1993; FERNÁNDEZ-CASCÁN y cols., 2013; NAVARRO y cols., 2000). Se han realizado una serie de acciones para cuantificar y mitigar el problema pero, desafortunadamente, queda lejos de estar resuelto.

Durante el verano de 2014, los residuos de  $\gamma$ -HCH de un inadecuado vertedero de Bailín fueron transferidos a una cubeta de seguridad cercana (fig. 2).



**Fig. 1.** El río Gállego y la ubicación de los puntos de muestreo estudiados. (Wikipedia e Iberpix)



**Fig. 2.** Geografía y vertederos en Bailín. (Iberpix)

Desafortunadamente, una masa desconocida de  $\gamma$ -HCH se escapó por efecto del agua o del viento hacia el barranco de Bailín, produciendo la subsiguiente contaminación del río Gállego tras un período de fuertes lluvias. Se prohibió el uso de agua de la red pública en varias localidades y también quedaron afectadas las actividades de turismo de aventura.

El principal objetivo del presente artículo es ofrecer una primera aproximación del movimiento de contaminantes por el río.

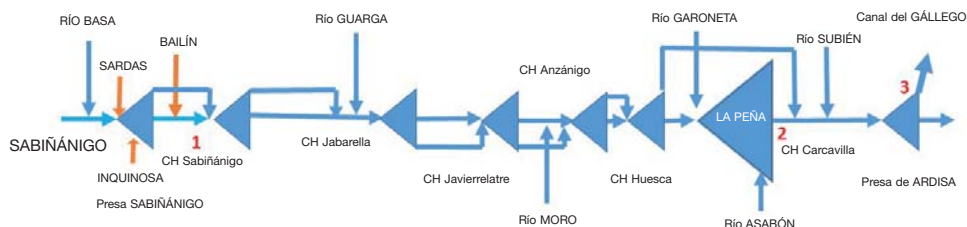
#### MATERIAL Y MÉTODOS

Durante el tiempo en el que se produjo el traslado de los residuos, la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y el Gobierno de Aragón realizaron una serie de análisis sistemáticos en diversos puntos del barranco de Bailín, del río Gállego y en las redes de abastecimiento municipal.



Para este estudio se han seleccionado tres de estos puntos de muestreo localizados en el río Gállego. El primero de ellos, denominado *Caseta del Gállego*, se sitúa unos cientos de metros por debajo de la confluencia entre este río y el barranco de Bailín. Los puntos segundo y tercero están localizados aguas abajo a 37 y 61 kilómetros del primero, respectivamente. El segundo está en la salida del embalse de La Peña y el tercero en el inicio del canal de Monegros, en la presa de Ardisa. El caudal por el cauce entre Sabiñánigo y Ardisa está afectado por la producción de energía hidroeléctrica, que tiene un funcionamiento irregular y que durante los estiajes concentra la mayor parte del caudal por los canales. Además, hay que tener en cuenta las sueltas para riego de los embalses de Búbal y Lanuza, algunas destinadas específicamente a diluir la contaminación de HCH. No hay afluentes de importancia entre los puntos estudiados, aunque los ríos Guarga, Garoneta y Subién pueden jugar cierto papel en la dilución en episodios de fuertes lluvias. El pantano de La Peña es la única masa de agua regulada que puede desempeñar una función importante en la dilución de episodios simples, pero es obstaculizado por el canal de Carcavilla. La figura 3 presenta un esquema de la zona estudiada que muestra la complejidad de la hidrología en este tramo del Gállego.

En este artículo, se estudia el período temporal que abarca del 1 de septiembre al 30 de noviembre de 2014, durante el cual hubo cuatro episodios de contaminación que afectaron al estado medioambiental del río Gállego. Se tomaron y analizaron muestras diarias (excepto durante los fines de semana) de los diferentes isómeros de  $\gamma$ -HCH en Caseta del Gállego, y entre cada 2 y 5 días en La Peña y en Ardisa. Las bases de datos incluyen la concentración, en los puntos mencionados, de los isómeros  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\delta$ -HCH, así como su suma en  $\mu\text{g/l}$ . Como en la base de datos no hay valores precisos



**Fig. 3.** Esquema del tramo estudiado del río Gállego (sin escala).

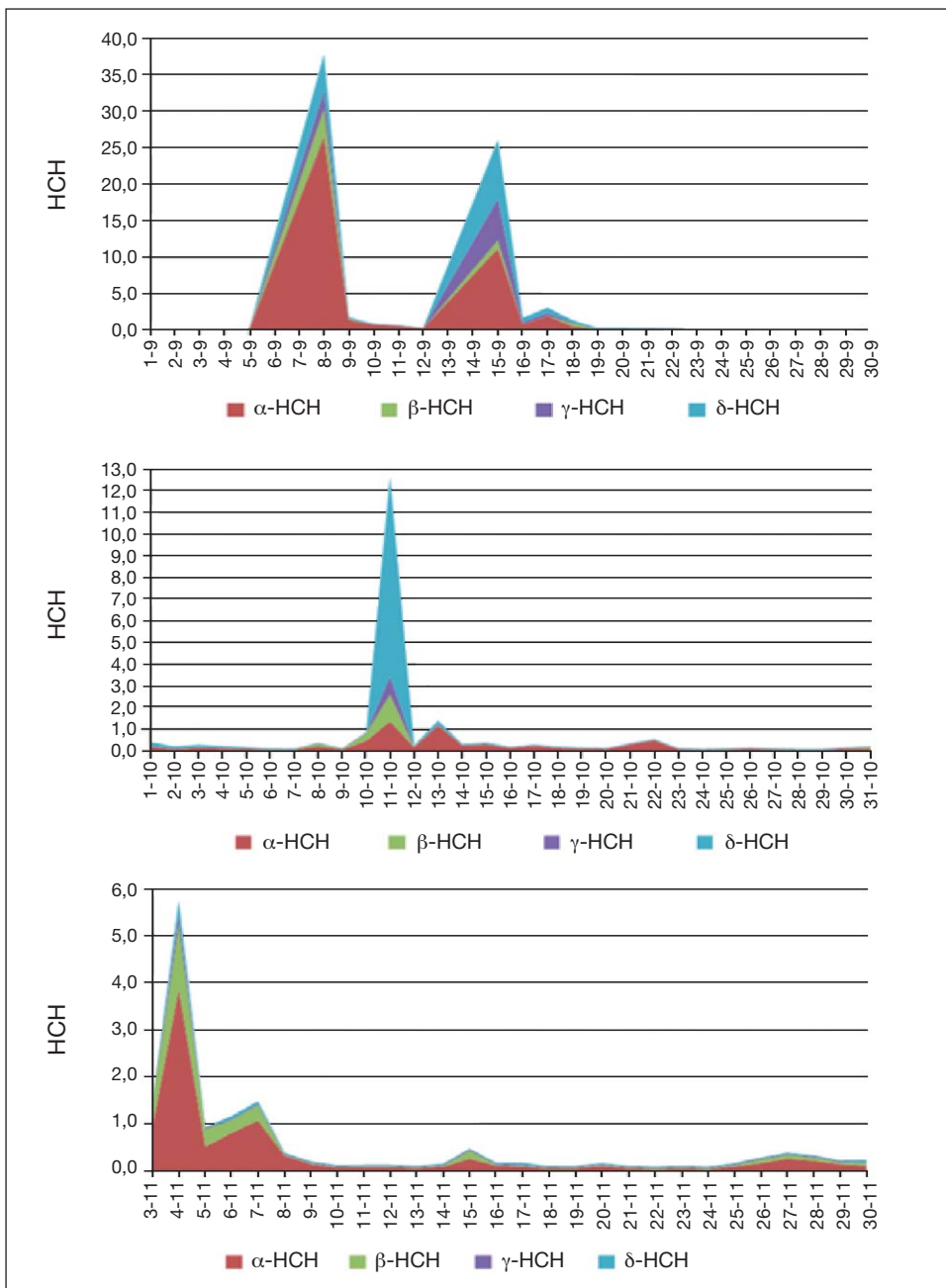
cuando la medición estaba por debajo de  $0,02 \mu\text{g/l}$  en Caseta del Gállego o por debajo de  $0,015 \mu\text{g/l}$  en La Peña y en Ardisa, estos valores se han considerado iguales a los límites superiores mencionados, a menos que se señale explícitamente.

Se ha calculado el coeficiente de correlación de Spearman para la concentración de cada par de isómeros, ya que no puede suponerse ni normalidad ni relación lineal entre las variables, debido a la presencia de valores extremos que no pueden ser eliminados por ser datos correctamente registrados y de interés para el estudio. Además, se ha analizado la relación entre las concentraciones de  $\gamma$ -HCH medidas en los diferentes puntos de muestreo considerados mediante modelos de regresión lineal. El análisis estadístico ha sido realizado con R (R Core Team, 2013) y las gráficas se han obtenido con Microsoft Excel (2010).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

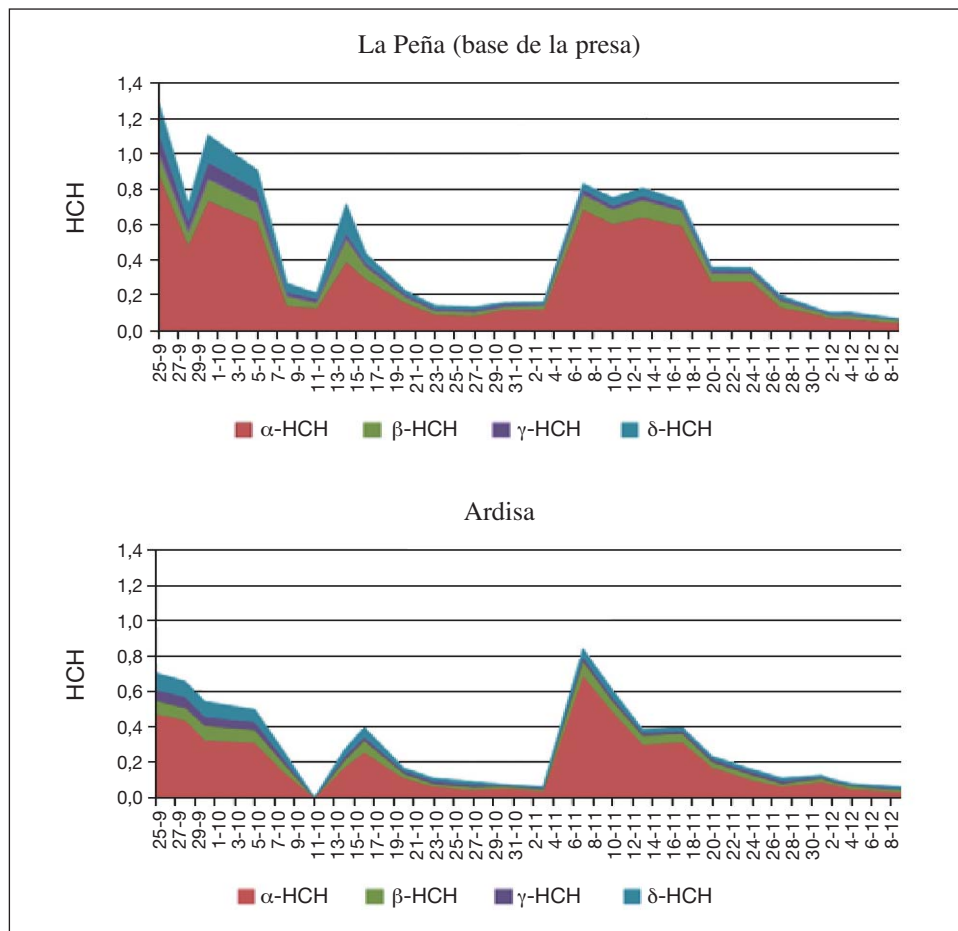
Las figuras 4 y 5 muestran las concentraciones de  $\gamma$ -HCH en los tres puntos de muestreo, donde se distingue la concentración de los diversos isómeros por el color. Los gráficos de Caseta del Gállego están separados por meses con diferente escala en el eje vertical para facilitar la visualización. Por el contrario, la escala se mantiene en los gráficos de La Peña (base de la presa) y Ardisa para facilitar la comparación. En Caseta del Gállego (fig. 4), los valores máximos de  $\gamma$ -HCH detectado superan los  $35 \mu\text{g/l}$  y  $25 \mu\text{g/l}$  en septiembre; están por encima de  $12 \mu\text{g/l}$  en octubre y de  $5 \mu\text{g/l}$  en noviembre. Los valores máximos en La Peña y en Ardisa están siempre por debajo de  $1,4 \mu\text{g/l}$ , pero por encima del valor sanitario de  $0,5 \mu\text{g/l}$  para el contenido total de plaguicidas establecido por el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano vigente en esta fecha. De hecho, este límite se supera el 21,4% de los días en Caseta del Gállego, el 38,1% en La Peña y el 24,5% en Ardisa, y se mantiene durante 10 y 5 días, respectivamente, en estos dos últimos puntos.

Tanto en la figura 4 como en la 5, se observa que la concentración del isómero  $\alpha$  es habitualmente mayor que la del resto de isómeros en los tres puntos de muestreo. En algunos momentos, los isómeros  $\delta$  y  $\gamma$  también



**Fig. 4.** Concentración de  $\gamma$ -HCH en Caseta del Gállego desde el 1 de septiembre al 30 de noviembre de 2014: septiembre (arriba), octubre (centro) y noviembre (abajo).





**Fig. 5.** Concentración de  $\gamma$ -HCH en la salida de La Peña (arriba) y en Ardisa (abajo) entre el 25 de septiembre y el 9 de diciembre de 2014.

presentan valores altos destacando el valor detectado para el isómero  $\delta$  en Caseta del Gállego entre los días 10 y 12 de octubre.

Todos los coeficientes de correlación de Spearman indican una correlación de moderada a fuerte entre las concentraciones de los distintos isómeros de  $\gamma$ -HCH en Caseta del Gállego y una muy fuerte correlación entre las obtenidas en La Peña y Ardisa. Todos los valores son estadísticamente significativos en el contraste dos a dos ( $p$ -valor < 0,001) (tabla 1).

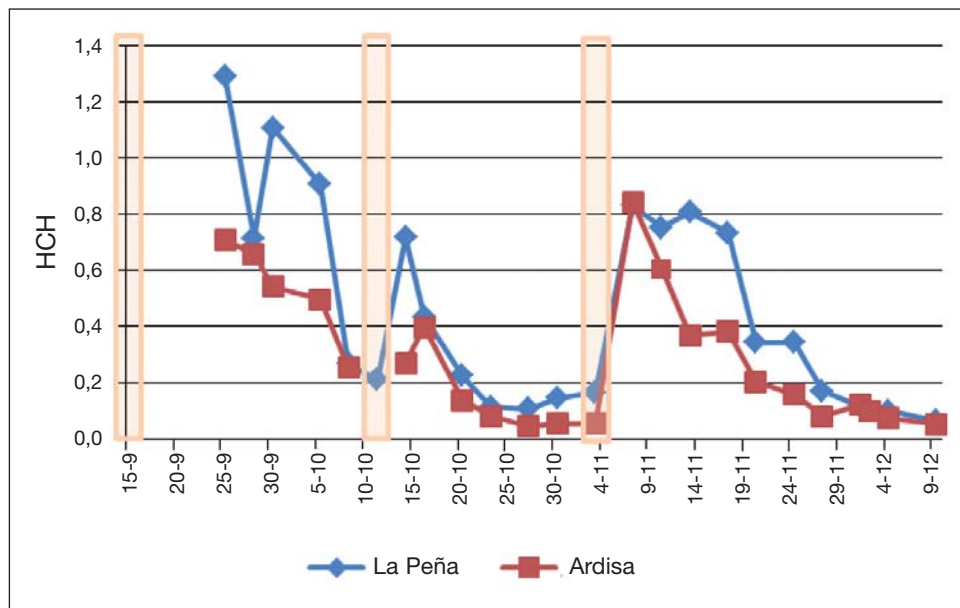
**Tabla 1.** Matrices de correlación de Spearman para la concentración de isómeros de  $\gamma$ -HCH en Caseta del Gállego, La Peña (base de la presa) y Ardisa.

	<i>Caseta del Gállego</i>		
<i>Spearman <math>\rho</math></i>	$\alpha$	$\beta$	$\delta$
$\beta$	0,6557		
$\delta$	0,6337	0,3974	
$\gamma$	0,5154	0,4549	0,6110

	<i>La Peña (base de la presa)</i>		
<i>Spearman <math>\rho</math></i>	$\alpha$	$\beta$	$\delta$
$\beta$	0,9293		
$\delta$	0,8578	0,9259	
$\gamma$	0,8919	0,8912	0,9373

	<i>Ardisa</i>		
<i>Spearman <math>\rho</math></i>	$\alpha$	$\beta$	$\delta$
$\beta$	0,9426		
$\delta$	0,8520	0,9316	
$\gamma$	0,7985	0,8705	0,9666

La figura 6 muestra la cantidad total de  $\gamma$ -HCH (suma de la concentración de los cuatro isómeros considerados) en La Peña y en Ardisa, así como los instantes en los que se han observado picos elevados en Caseta del Gállego. En este último punto de muestreo, las mayores concentraciones se registraron el 8 ( $38,8 \mu\text{g/l}$ ) y el 15 ( $27,16 \mu\text{g/l}$ ) de septiembre, pero, lamentablemente, no se puede analizar su efecto en La Peña y en Ardisa, puesto que para estos puntos los primeros datos obtenidos en ese mes son del día 25. El 11 de octubre ocurrió otro vertido crítico detectado en Caseta del Gállego ( $13,12 \mu\text{g/l}$ ) que fue registrado los días 14 y 16 en La Peña y en Ardisa, respectivamente. Un pico similar se detecta el 4 de noviembre en Caseta del Gállego y el 7 de noviembre tanto en La Peña como en Ardisa. Aunque la concentración en Ardisa disminuye rápidamente, en La Peña el problema se mantiene al menos hasta el 17 de noviembre, señalándose que se han utilizado datos diarios en Caseta del Gállego, pero no en La Peña y en Ardisa.



**Fig. 6.** Concentración total de  $\gamma$ -HCH en La Peña (base de la presa) y Ardisa. Los picos altos en Caseta del Gállego se marcan en naranja.

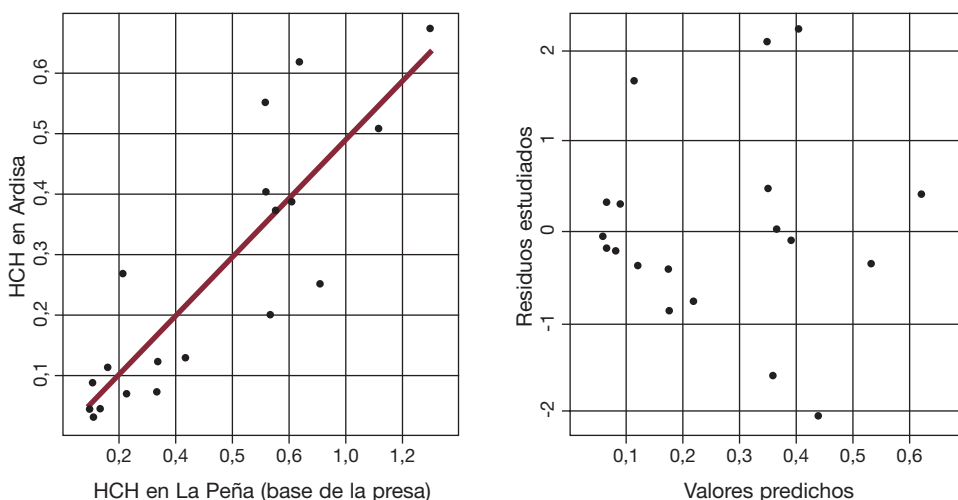
Tomando estos datos como base, puede estimarse que un pico de concentración tarda entre 1 y 3 días en alcanzar los puntos de muestreo situados aguas abajo. Con una distancia de 37 kilómetros y sin embalses importantes entre los puntos 1 y 2, esta situación ofrece un rango de velocidades desde 12 a más de 37 km/día. Este último valor parece mayor de lo esperable *a priori* en un río con las características del tramo medio del Gállego. La velocidad media entre los puntos 2 y 3 es del orden de 15 km/día.

Dentro de un modelo teórico de evolución de contaminantes por un río, los picos agudos de contaminación que se detecten en un punto próximo al origen, como el punto 1, deben suavizarse aguas abajo en concentración punta y ampliar la base temporal por dilución, advección y difusión, más el efecto de retraso de los pequeños remansos naturales y los azudes artificiales, como así parece ser. Además, la figura 6 muestra que la concentración total de  $\gamma$ -HCH en Ardisa es siempre menor que en la salida de La Peña. Sin embargo, durante el episodio de noviembre de 2016, las concentraciones son muy similares en ambos puntos. Esto podría deberse a una mínima

contribución de los pequeños barrancos entre ambos puntos, quizás por un diferencial de pluviometría y su consiguiente escorrentía, entre las zonas altas y bajas estudiadas. Además, se necesita más información sobre el funcionamiento temporal de las centrales hidroeléctricas y la relación de caudales entre el río y los canales hidroeléctricos.

Finalmente, se ha analizado la relación entre las concentraciones de  $\gamma$ -HCH en dos puntos del muestreo mediante modelos de regresión lineal. La figura 7 (izquierda) muestra el modelo obtenido para explicar la concentración de  $\gamma$ -HCH en Ardisa frente a la medida en La Peña para un instante previo. Se ha eliminado la concentración de  $\gamma$ -HCH total detectada el 7 de noviembre en Ardisa frente a la del día 3 en La Peña (instante anterior registrado), por considerarse un dato atípico, que corresponde al pico que se muestra en estos puntos en la figura 6 tras la alta concentración detectada en Caseta del Gállego. Este valor pudiera ser explicado por un flujo rápido en el río.

El modelo de regresión lineal obtenido tiene una pendiente significativa de 0,472 ( $p$ -valor =  $1,96 \cdot 10^{-6}$ ), que representa el aumento de la concentración media esperada de  $\gamma$ -HCH en Ardisa por cada  $\mu\text{g/l}$  de aumento en La Peña. El valor de intersección es 0,012 y puede ser considerado igual a 0 ( $p$ -valor =



**Fig. 7.** Modelo de regresión lineal de la concentración total de  $\gamma$ -HCH en Ardisa frente a la de La Peña (izquierda) y residuos del modelo frente a valores predichos (derecha).

0,777). El modelo explica un 74,5% de la variabilidad de la concentración de  $\gamma$ -HCH en Ardisa. Sin embargo, aunque ambos diagramas de dispersión muestran cierto comportamiento heterocedástico, el test de Breuch-Pagan indica que no es significativo ( $W = 0,93259$ ,  $p$  - value = 0,1932).

Además, se han ajustado varios modelos de regresión lineal para la relación entre la concentración de  $\gamma$ -HCH en Caseta del Gállego y las obtenidas en los puntos de muestreo aguas abajo. El principal problema de esta modelización estriba en que las medidas del primer punto son diarias, mientras que no lo son en los otros dos puntos de muestreo y, por ello, deben usarse técnicas de suavizado. Los resultados son similares a los del modelo ya presentado, aunque con menor capacidad predictiva y más problemas de heterocedasticidad. Estos resultados llevan a la conclusión de que otras variables, como el caudal del río y la lluvia, pudieran mejorar sustancialmente los modelos.

## CONCLUSIONES

Este artículo tiene que ser considerado como un trabajo preliminar. Los resultados muestran una fuerte relación entre los diferentes isómeros de  $\gamma$ -HCH, lo que indica un origen común de la contaminación. Sin embargo, el pico del 11 de octubre muestra una inusual relación isomérica en el  $\gamma$ -HCH sugiriendo un origen diferente para la contaminación de  $\gamma$ -HCH. La velocidad de transporte de  $\gamma$ -HCH a través del río parece ser mayor de la esperada para algunos episodios. Realmente, un solo día de preaviso, después de fuertes lluvias, es muy poco tiempo para evitar que la contaminación de  $\gamma$ -HCH alcance diversos abastecimientos públicos de agua de red. Además, los modelos de regresión permitirían predecir la concentración esperada aguas abajo.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido parcialmente financiada por el Grupo de Investigación Modelos Estocásticos (Universidad de Zaragoza). Los autores agradecen al Gobierno de Aragón y a la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) los datos proporcionados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERNÁNDEZ, J., M. Á. ARJOL y C. CACHO (2013). POP-contaminated sites from HCH production in Sabiñánigo Spain. *Environmental Science and Pollution Research*, 20: 1937-1950.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO. <http://www.chebro.es/> [consulta: 31/7/2017].
- NAVARRO, J. Á. S., C. LÓPEZ y A. P. GARCÍA (2000). Characterization of groundwater flow in the Bailín hazardous waste-disposal site (Huesca, Spain). *Environmental Geology*, 40 (1-2): 216-222.
- R Core Team (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Viena. Disponible en <http://www.R-project.org/> [consulta: 31/1/2017].
- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. *BOE*, n.º 145, de 21 de febrero de 2003, pp. 7228-7244.
- VAN DE HAAR, A. J., y G. VAN ROEKEL (1993). HCH Contamination in the Pyrenees: A Case Study. En *Integrated Soil and Sediment Research: A Basis for Proper Protection*: 641-644. Springer Netherlands. Dordrecht.