

El episodio hidrometeorológico de Zaragoza

Por **Redacción** - 13 julio, 2023



Autores: Jesús Mateo Lázaro, Carlos Alberto Revuelto Gimeno, Manuel Virgilio Arce Montejo y Carlos Enrique Carnicer Rodrigo

Introducción

En la tarde del 6 de julio de 2023 se produjo en Zaragoza un evento hidrológico poco frecuente con una precipitación, variable en el espacio y en el tiempo, en torno a 50 litros por metro cuadrado repartidos en 40 minutos, con mayor intensidad al principio del episodio de lluvia. Aunque, afortunadamente, no hubo víctimas, se produjo un riesgo hidrológico muy grave, en el barranco de la Muerte, antes de cruzar el Canal Imperial de Aragón, por donde pasa la Ronda de la Hispanidad Z-30, confinada entre muros.

Dos son las causas de la existencia de este riesgo, una natural debido a la intensa precipitación en corto espacio de tiempo y otra artificial debida a la infraestructura viaria que no contempla espacio específico para la circulación de las crecidas del barranco.





Fig. 1. Cinturón Z-30 de Zaragoza antes de cruzar el Canal Imperial de Aragón. Créditos Google Earth



Fig. 2. La misma zona tomada desde la obra de drenaje del Canal Imperial de Aragón. Créditos: El Periódico de Aragón

La Cuenca y su reducido tamaño

Sobre la causa natural cabe caracterizar la cuenca vertiente del barranco de la Muerte, que recoge el agua de lluvia concentrándola en las avenidas Policía Local y Tiziano y finalmente en la Z-30 donde se sitúa el punto de salida que es la obra de drenaje del canal Imperial (en el siglo XVIII ya previeron una obra de drenaje para cruzar este barranco). Redondeando cifras, la cuenca vertiente tiene una superficie de 9 km^2 , que es bastante, y un cauce principal de $7,5 \text{ km}$. El cauce del barranco de la Muerte atraviesa la Z-40 y el AVE situado a unos $3,5 \text{ km}$ aguas arriba del punto de salida de la cuenca y se prolonga 4 km más hasta el cabezo de las Zorras a 402 metros de altitud. En el tramo de la Z-30, la pendiente es $2,5\%$ lo que hace que el agua haya circulado a con velocidad y energía.

Como zonas singulares, la parte baja de la cuenca vertiente abarca Parque Venecia, el barrio de la Policía Local, el cementerio de Torrero y una parte del barrio La Paz. Desde el punto más alejado, el agua podría tardar en llegar 2 horas, lo que implica que, en el momento de la crecida, no estaba descargando toda la cuenca que, de haberse prolongado la lluvia más tiempo, la amenaza hubiera sido peor.

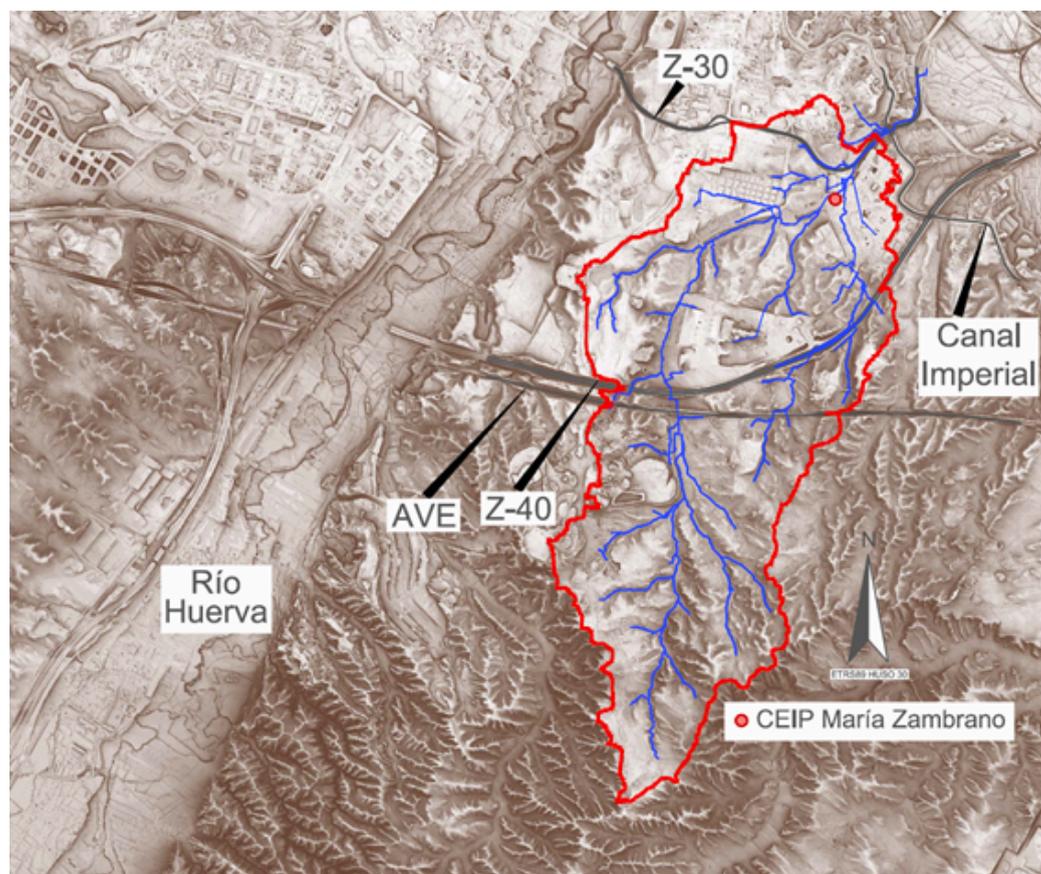


Fig. 3. Cuenca vertiente del Barranco de la Muerte

Sobre el tamaño de la cuenca vertiente y a modo comparativo, cabría recordar los dos eventos hidrometeorológicos más catastróficos registrados en Aragón en el Siglo XX que son, el del **barranco de Arás con una cuenca de 18 km², en agosto de 1996 provocó 89 víctimas mortales**. Y el otro, poco conocido, es el del **barranco de Aguilón con una cuenca de 14 km², y donde en septiembre de 1921 fallecieron 18 personas**. Además, los dos episodios no son únicos en sus respectivas cuencas, por ejemplo, en Aguilón se han registrado otros que, aunque sin víctimas personales, también ocasionaron graves daños: en 1981, septiembre de 1986, septiembre de 2003, junio de 2007

donde hay estimaciones de 80 l/m^2 cuadrado en poco más de media hora. En el barranco de Arás hay constancia de otras riadas en los años 1907, 1922, 1929 y 1955 y hay más. Como puede verse, las catástrofes graves se han producido en cuencas muy pequeñas. Hay un fenómeno conocido como *efecto sorpresa* que es una sensación. En el río Ebro todos los años hay más de una crecida, y se prevé una semana antes, a nadie le sorprende. Sin embargo, en las cuencas pequeñas pasan años sin crecidas y, cuando hay una, se produce muy rápidamente, crecidas relámpago se les llaman, y sorprenden mucho más. Parece haber una relación inversa entre sorpresa y frecuencia. **En cuencas pequeñas, las crecidas son poco frecuentes, son muy rápidas, sorprenden y tienen mucho peligro.**

Respecto a la identificación de este barranco, existen bases de datos para el territorio nacional que recoge los tramos de cauce que se consideran representativos y que normalmente se toma como referencia para definir los cauces sobre los que hay que solicitar autorización de obras. Cabe destacar que, como el barranco de la Muerte no está recogido en estas bases de datos (por ejemplo, Rios25), sería medida prudente su incorporación, así como la de muchos otros casos.

¿Se puede repetir un episodio similar?

Respecto a la probabilidad de que se repita otro evento parecido en Zaragoza, se **puede afirmar que se volverá a producir**, como en todo riesgo natural la cuestión es cuándo o con qué frecuencia.

Para abordar esta cuestión cabría plantear que las series temporales de lluvia con datos más abundantes son de registro diario. El episodio analizado, como precipitación diaria es bastante moderada, en Zaragoza episodios de 50 l/m^2 en un día hay uno cada 5 años de promedio. La cuestión es que se produjo en 40 minutos que, aplicando normas estatales, daría como resultado que se trata de un episodio que se repite aproximadamente una vez cada 500 años.

Periodo de retorno	Años	2	5	10	25	50	100	500
--------------------	------	---	---	----	----	----	-----	-----

En un día	l/m ²	41	56	68	84	96	109	143
En 40 minutos	l/m ²	15	20	25	30	35	40	52

Tabla 1. Datos estadísticos de precipitación en Zaragoza (obtenidos de la publicación de 1999 del Ministerio de Fomento y otras)

Sin embargo, los fenómenos convectivos se desarrollan de forma localizada en el espacio, y muchos de ellos no se registran en ningún pluviómetro. Además, eventos como éste, con una precipitación muy intensa concentrada en unos cuantos minutos, en los pluviómetros de registro diario pasaron desapercibidos porque a escala diaria no son excepcionales. Producen lo que se conoce como *sesgo estadístico*. Por lo tanto, antes de clasificar este evento con un periodo de retorno habría que hacerlo con prudencia y con un análisis más profundo porque podría ser mucho más frecuente de lo que aparenta, de hecho, casi todo el mundo ha visto varios episodios de este tipo a lo largo de su vida.

Análisis hidrológico

Para la estimación de caudales punta, muchas administraciones españolas recomiendan el uso de la aplicación CAUMAX que es una base de datos que asigna caudales asociados a periodos de retorno para cuencas de más de 50 km². Para cuencas más pequeñas, se recomienda aplicar la metodología que recoge Instrucción 5.2-IC/2016 – Drenaje Superficial (Orden FOM/298/2016 de 15 de febrero) que aplica una adaptación española del método racional y del modelo de Número de Curva del Servicio de Conservación del Suelo de Estados Unidos (CN-SCS). Con la adaptación española de este método americano se reducen muy significativamente los valores de caudal punta obtenidos.

Dos son las razones principales, una muy grave es que 5.2-IC considera un coeficiente corrector del umbral de escorrentía que viene a equivaler a seleccionar un estado del suelo previo al evento como muy seco, capaz de absorber cantidades muy significativas de agua que no producen escorrentía superficial. La segunda razón es el considerar un método de cálculo del tiempo de concentración que da resultados muy altos, por lo que las crecidas se estiman de

forma muy laminada, con el pico atenuado y la intensidad de precipitación es menor porque la cantidad de lluvia caída se reparte en un tiempo más largo.

La Tabla 2 adjunta muestra los resultados de caudal punta por periodo de retorno calculados con la Instrucción 5.2-IC y otros con el software SHEE aplicando un método hidrológico distribuido más riguroso y en condiciones normales y estándar. **Las diferencias de resultados son abrumadoras.** Señalar que el programa SHEE tiene origen en tesis doctorales del departamento de Geodinámica de la Universidad de Zaragoza y que ha dado lugar a varias publicaciones científicas en revistas internacionales de primer orden, de hidrología y de programación informática (Mateo et. al, 2013). El programa tiene un módulo de simulación de lluvias y núcleos convectivos, y maneja el modelo MDT2 de toda la península.

Periodo de retorno	Años	5	10	25	50	100	500
Método 5.2-IC	m ³ /s	7	9	15	20	26	43
Hidrograma distribuido	m ³ /s	35	56	87	115	150	245

Tabla 2. Caudales por periodo de retorno para la cuenca del Barranco de la Muerte

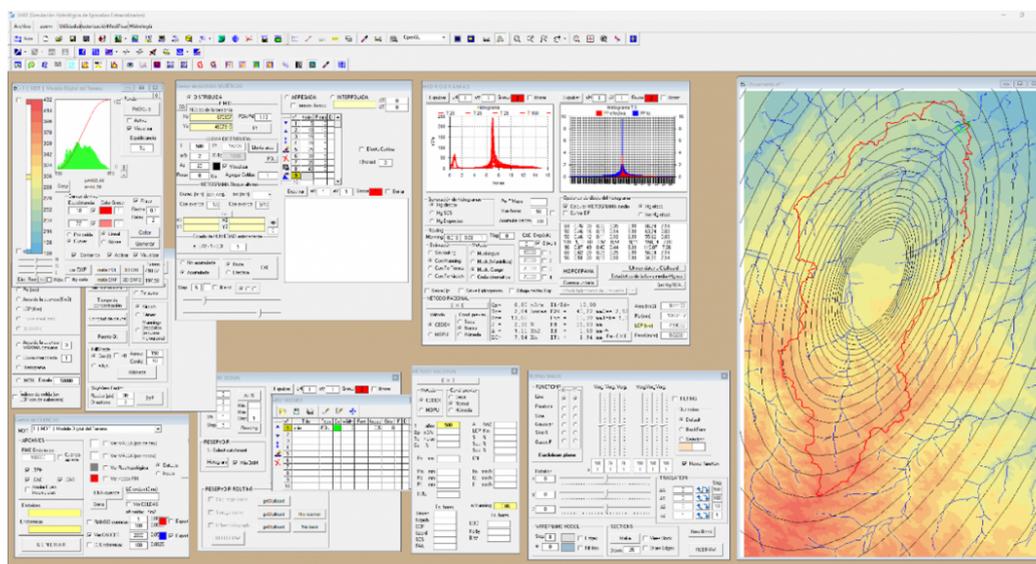


Fig. 4. Interfaz del programa de hidrología SHEE. Secc. Geodinámica, Univ. Zaragoza

El programa SHEE (CAUMAX y 5.2-IC no facilitan la

experimentación) tiene un módulo que genera lluvias sintéticas que permite simular eventos con distinta distribución espacial y temporal, como ocurre en la evolución de los fenómenos convectivos. Con él se han llevado diversas simulaciones con una precipitación de 50 l/m^2 en 40 minutos, con mayor intensidad al principio del evento, 20 l/m^2 en 10 minutos. **Para condiciones estándar el resultado ha sido un caudal punta de $64 \text{ m}^3/\text{s}$.** Si se clasifica este caudal punta con los resultados obtenidos al aplicar la Instrucción 5.2-IC se obtiene un **periodo de retorno próximo a 1.000 años**, sin embargo, con el modelo SHEE en condiciones estándar resulta un **periodo de retorno del orden de 20 años**, que es más o menos la edad de la Z-30 en ese punto.

En relación al coeficiente corrector del umbral de esorrentía su significativa reducción en los valores de las estimaciones, señalar que con el programa SHEE se ha podido comprobar (y se ha dado a conocer a la comunidad científica internacional que a su vez ha dado difusión mediante citas en revistas de impacto) que es el estado previo del terreno la característica hidrológica clave, la más sensible y la que produce mayores variaciones en la estimación de caudales de crecida, con variaciones del 120%. También se ha comprobado que la combinación de características (significativas hay tres más: diferentes desarrollos en el espacio y en el tiempo para una misma cantidad de precipitación, y rapidez con que circula el agua por los cauces, otro de los criterios infravalorados de la Instrucción) puede producir oscilaciones del 300% en la estimación de caudales de crecida. En la estimación de caudal punta, por ejemplo 500 años, ya se ve, $43 \text{ m}^3/\text{s}$ frente a $245 \text{ m}^3/\text{s}$.

Efecto de la urbanización

Se ha llevado a cabo una simulación con SHEE donde las zonas urbanizadas se han restituido virtualmente al estado natural y se obtiene un caudal punta más reducido, de $56 \text{ m}^3/\text{s}$. Como dato significativo, el área urbanizada representa el 15% de la cuenca y ha producido un aumento de caudal punta del 14 %. Quizás este resultado se debería de tener en cuenta para futuras áreas urbanizables.

Análisis hidráulico

Se hacen estimaciones hidráulicas con la fórmula de Manning considerando la sección de cauce Z-30, más o menos por donde están tomadas la fotografía anexa, se tiene una anchura de unos 40 m. Hay que considerar que los vehículos son obstrucciones que limitan significativamente el área de circulación de la corriente por lo que se ha reducido el área de la sección un 20% y se ha aumentado el perímetro mojado en un 40%. Los resultados obtenidos muestran que para los **64 m³/s que resultan del modelo hidrológico**, podría tratarse de una corriente de **60-70 cm de calado y con una velocidad muy elevada, como de 3,7 m/s, condiciones que resultan en un índice de peligrosidad muy elevado** que, hoy en día es inadmisibles para zonas de nueva urbanización para crecidas de 500 años. La altura de energía ($e=H+V^2/2g$) supera 1,4 m lo que aproximadamente concuerda con la altura del agua por encima del techo coche inclinado que se ve en la foto. Por otra parte, y debido a la elevada pendiente y elevada velocidad, el número de Froude es bastante mayor que 1, lo que indica que se trata de una corriente donde las fuerzas de inercia dominan sobre las de la gravedad, otro indicador de peligro.



Fig. 5. Foto de la riada. Pueden no corresponder al pico de la crecida. Aragón. Créditos: El Periódico de Aragón

S_{BRUTA}	P_{BRUTO}	i	n	H	S	P	Rh	V
-------------	-------------	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----

m ²	m	%		m	m ²	m	m	m/s
8,01	37,86	2,27%	0,020	0,30	6,41	53,01	0,12	1,84
11,81	38,33	2,27%	0,020	0,40	9,45	53,66	0,18	2,37
15,66	38,80	2,27%	0,020	0,50	12,53	54,32	0,23	2,83
19,54	39,27	2,27%	0,020	0,60	15,64	54,98	0,28	3,26
23,47	39,74	2,27%	0,020	0,70	18,78	55,64	0,34	3,65
27,45	40,21	2,27%	0,020	0,80	21,96	56,30	0,39	4,02
31,46	40,68	2,27%	0,020	0,90	25,17	56,96	0,44	4,37

Tabla 3. Cálculos hidráulicos con la fórmula de Manning

Análisis hidrodinámico

Se han simulado tres escenarios. El primero de ellos ha sido tratar de reproducir el evento del 6 de julio de 2023 a partir de los datos meteorológicos disponibles y los otros dos correspondientes a los periodos de retorno de 100 y 500 años respectivamente.

Para la simulación hidráulica, una vez obtenidos los hidrogramas de respuesta de la cuenca a las precipitaciones, se han realizado con el software IBER en su versión 3.3.

El software IBER consiste en un modelo matemático bidimensional para la simulación de flujos en ríos y estuarios promovido por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX del Ministerio de Fomento de España y desarrollado en colaboración con el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (de la Universidad de La Coruña), el Grupo Flumen (de la Universidad Politécnica de Cataluña UPC y de la Universitat de Barcelona UB) y el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE (vinculado a la Universidad Politécnica de Cataluña UPC), en el marco de un Convenio de Colaboración suscrito entre el CEDEX y la Dirección General del Agua (Bladé et al, 2014, Cea et al., 2015).

Para la realización de las simulaciones se ha delimitado la zona desde el CEIP María Zambrano hasta el paso de la Ronda Hispanidad bajo el antiguo acueducto del Canal Imperial de Aragón. Se ha realizado una malla no estructurada de triángulos con 2 m de

lado, resultando un total de algo menos de 94.000 triángulos. A esta malla se ha aplicado el modelo digital del terreno de 2 m de paso de malla obtenido del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica. Como dato relevante para los resultados del estudio, señalar que en este modelo de terreno no refleja las edificaciones existentes en las inmediaciones de las avenidas de la Policía Local y Tiziano, por lo que los resultados reales tenderán a concentrar el flujo del agua en esas zonas.

Como condiciones de contorno se aplica la entrada de flujo al modelo y la salida del mismo en el final del tramo simulado, Ronda de la Hispanidad bajo el antiguo acueducto del Canal Imperial de Aragón. La entrada de flujo al modelo se realiza por la zona suroeste del modelo, por la parcela donde se encuentra el CEIP María Zambrano, que sufrió abundantes destrozos durante la avenida registrada el día 6 de julio de 2023. Desde allí el agua, tras afectar de forma considerable también al supermercado de la marca Lidl, baja por la Avenida de la Policía Local hasta llegar a la Ronda Hispanidad.

Las afecciones son importantes en todas las infraestructuras mencionadas, **en la parcela donde se ubica el colegio se superan los 70 cm de calado con velocidades de flujo superiores a los 4 m/s**. Como hemos señalado, el modelo de terreno no contempla la existencia del colegio, de forma que al existir obstáculos para la libre circulación del agua y teniendo en cuenta la energía del flujo, en algunas zonas del colegio el calado habrá superado fácilmente esta cifra. En la Ronda Hispanidad Z-30 se observa igualmente que las afecciones son importantes, en este caso los calados superan el metro de altura con la misma velocidad de flujo.

Recordemos que de acuerdo con el Real Decreto 9/2008 de Dominio Público Hidráulico, las condiciones para que un flujo de agua pueda generar daños graves sobre las personas y sus bienes son que el calado supere 1 m de altura, o que la velocidad supere 1 m/s o que el producto de ambas sea superior a 0,5. Así, **la peligrosidad del flujo fue muy alta durante todo el evento simulado tanto en el colegio, como en el supermercado, la Avenida de la Policía**

Local y finalmente al Ronda de la Hispanidad; tal y como resulta de la simulación y como se aprecia en todas las imágenes y vídeos que han publicado los medios de comunicación y las redes sociales durante el evento y los días siguientes. Tanto el colegio María Zambrano, como el supermercado y las mencionadas vías de comunicación se encontrarían dentro de la zona de Riesgo Grave de inundación para un evento como el sufrido y por supuesto para los otros dos escenarios simulados.

De los resultados de las simulaciones que se pueden apreciar en la tabla se comprueba que para el caso de los periodos de retorno de 100 y 500 años los daños serían todavía mayores, pudiendo llegar a ser el calado en la parcela del colegio casi del doble del que se ha registrado en este evento y lo mismo en la Ronda de la Hispanidad, lo que en una situación de periodo lectivo o de gran afluencia de vehículos podría dar lugar a una catástrofe con coste de vidas humanas.

Simulación	Parcela CEIP María Zambrano			Ronda Hispanidad – Z		
	Calado (m)	Velocidad (m/s)	Daño Grave RD9/2008	Calado (m)	Velocidad (m/s)	D
Evento 6 julio 2023	0,30	2,07	Sí	0,65	3,39	S
T100	0,50	3,88	Sí	0,90	4,74	S
T500	0,90	4,55	Sí	1,20	5,56	S

Tabla 4. Resumen de resultados de valores máximos

Fig. 6. Mapa de calado (izq.) y velocidad (derecha) del evento del 6 de julio de 2023

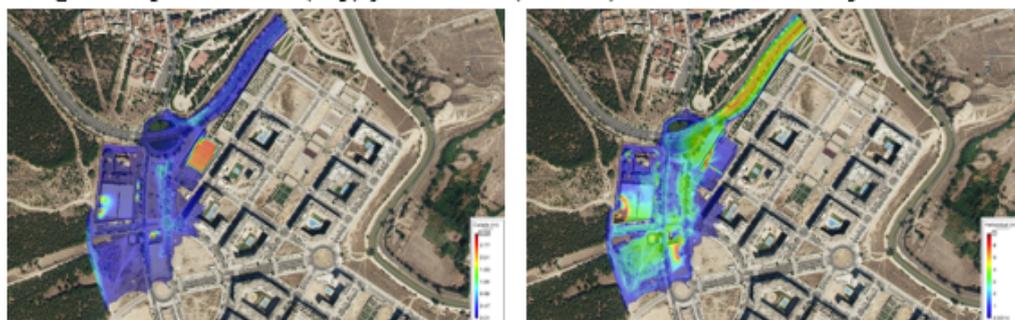
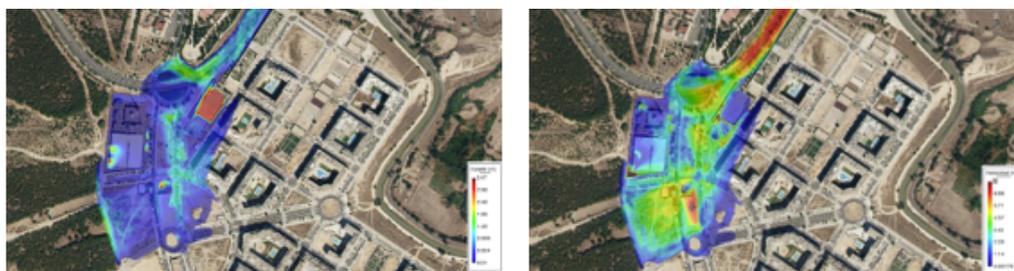


Fig. 7. Mapa de calado (izquierda) y velocidad (derecha) para un evento de 500 años





Discusión

Es evidente que, en cuestiones de hidrología y de hidrometeorología, sería interesante realizar estudios con metodología diversificada, evaluar la verosimilitud de los datos de partida y valorar y contrastar los resultados obtenidos con distintos modelos, con diferentes características y desarrollos de las lluvias. Las condiciones del suelo para absorber o no absorber agua, las condiciones de las cauces y la estimación de la velocidad de propagación de las ondas de avenida y muchos otros factores son claves. Además, todo esto ha de hacerse de forma pormenorizada y detallada para las cuencas pequeñas que como se ha visto son muy peligrosas. Por ejemplo, en Aragón que lo tenemos bien estudiado hay 13 ríos con cuenca superior a 1.000 km², pero es que hay 3.000 cuencas con áreas entre 5 y 10 km², entre las que se encuentra el barranco de la Muerte, 1.500 cuencas con área comprendida entre 10 y 25 km², entre las que se encuentran Arás y Aguilón con numerosas víctimas, hay más de 600 cuencas entre 25 y 50 km², etc. Afortunadamente, en la mayoría de los casos no se han implantado actividades que pudieran estar sometidas a riesgos por inundación, pero no es serio simplificar lo que puede dar de sí una Ciencia como la Hidrología a obtener un dato de caudal de crecida en una cobertura de datos. Eso sí, ahorran mucho trabajo en estudios pormenorizados, modelos, comprobaciones de datos, evaluación de posibles situaciones adversas, contraste de resultados con distintos modelos y características hidrológicas, etc., etc. España, como país integrante de la Comunidad Europea, está bastante avanzado en esta materia, pero todavía queda mucho recorrido y es posible que se requieran cambios de enfoque, sobre todo Enel caso de cuencas de pequeño tamaño.

Sobre la base de datos CAUMAX existen publicaciones muy críticas con discusiones muy bien razonadas y que recogen múltiples casos

de desbordamientos hidrológicos y daños graves en infraestructuras de reciente construcción. Ejemplos de publicaciones tenemos, en España en la revista *Geogaceta* (Mateo et. al, 2013b), y fuera en la revista *The Journal of Hydrology* (Mateo et. al, 2016) que es referente internacional. Un ejemplo muy llamativo, y hay muchos más, es el del río Bergantes, en el Bajo Aragón, donde en una serie de 28 años hay 4 episodios reales, medidos en estación de aforo, que según la cobertura mencionada se clasificarían, como de 450, 180, 140 y 50 años, pero todos ellos se han producido en 28 años. En otros casos, muy significativos, se pueden identificar cuencas pequeñas donde los datos de caudal de 500 años obtenidos en CAUMAX corresponden a los valores obtenidos con la Instrucción 5.-2-IC para 50 o incluso 25 años la cual. Notar que, ya de por sí, la Instrucción adopta criterios que reducen considerablemente las estimaciones. Evidentemente esto es muy peligroso para la evaluación de riesgos por inundación y puede resultar muy costoso al producirse daños materiales y personales no previstos.

Respecto a la Instrucción 5.2-IC, señalar que es una adaptación española del modelo de número de curva del SCS (Servicio de Conservación del Suelo de Estados Unidos) con sesgos que producen infravaloración de resultados muy evidente. El proceso lluvia-escorrentía es el más determinante en las crecidas como se demuestra en Mateo et al, 2014, y se difunde en Tarasova et al., 2019, con autores entre los que se encuentran los más destacados de la Hidrología actual. El modelo SCS-CN considera tres estados del terreno, seco, normal y húmedo. El sesgo español consiste en aplicar un coeficiente corrector del umbral de escorrentía que equivale a condiciones secas, con lo que los resultados quedan alarmantemente infravalorados.

Además, el método de cálculo de tiempo de concentración en la norma española produce resultados 3 veces más largos que en otras, como Kirpich que es muy usada para cuencas naturales. Esto produce una laminación muy importante de los picos de las crecidas infravalorando los resultados.

En particular y en relación al barranco de la Muerte en Zaragoza, **considerar que no se trata de un episodio de 1.000 años**

como se deduciría al considerar los resultados de la Instrucción 5.2-IC, sino que puede ser más razonable que se repita cada 20 años o algo así como muestra el programa SHEE. De hecho, los vecinos de Torrero en el siglo XXI, han presenciado otros episodios torrenciales, menos severos, con el barranco en descarga. Por lo tanto, se recomienda que este barranco se incorpore en las bases de datos de cauces del Ministerio de Medio Ambiente y, como medida cautelar, como mínimo y si no se adopta otra solución más taxativa, realizar un plan de emergencias para el CIES María Zambrano, para el tramo afectado de la Z-30, para las avenidas de la Policía Municipal y Tiziano y para los concurridos centros comerciales que se pueden ver afectados por las riadas de este barranco. Se debe considerar que este episodio se puede volver a repetir con más frecuencia de la que parece, y que puede haber episodios todavía más severos.

Conclusiones

Como corolario a lo expuesto en este artículo, se recomienda abandonar la idea de que tal evento “no se ha visto nunca” y plantearse la necesidad de abordar una profunda revisión de las metodologías que se vienen recomendando desde las Administraciones (en concreto CAUMAX y 5.2-IC) con el fin de solucionar las **graves infravaloraciones de sus resultados**. Es imprescindible no limitar las aportaciones que puede dar la Hidrología a una simple lectura de datos en una cobertura o usar metodologías de caja negra con abundantes sesgos y sin ninguna posibilidad de experimentación para la problemática de los casos reales. **Es cada vez más evidente la necesidad de abordar el problema del riesgo hidrológico con estudios rigurosos, diversificados, con datos y criterios sin sesgos temerarios y con metodologías que permitan evaluar y contrastar resultados** que, en hidrología tienen una elevada variabilidad y sensibilidad a los parámetros controladores.

Como miembros del colectivo geológico creemos que es oportuno llamar la atención sobre el limitado uso que se hace del colectivo geológico en materia de riesgos naturales en general. Eventos como el aquí analizado ponen de manifiesto la necesidad de contar con

profesionales de la geología dentro de las administraciones públicas con competencias en Ordenación del Territorio. Destaca el caso de la ciudad de Zaragoza que es bien conocida por el alto y extenso riesgo de subsistencia. **Respecto a los riesgos hidrológicos, que son los que más daños materiales y personales produce en el mundo, así como en nuestro país, los geólogos somos los profesionales mejor cualificados para su gestión y disponemos de una profesión regulada y competente. Los geólogos deseamos contribuir a una eficaz reducción de los daños económicos y personales que se producen todos los años.**

Bibliografía

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., Coll, A., 2014. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, Volume 30, Issue 1, 2014, Pages 1-10, ISSN 0213-1315, DOI: 10.1016/j.rimni.2012.07.004

Cea, L., Bladé, E., 2015. A simple and efficient unstructured finite volume scheme for solving the shallow water equations in overland flow applications. Water Resources Research, 51, 5464-5486. DOI: 10.1002/2014WR016547.

Mateo-Lázaro, J. 2011. Hidrología de crecidas en pequeñas y medianas cuencas. Aplicación con modelos digitales del terreno. Biblioteca Universitaria. Universidad de Zaragoza.
<https://zaguan.unizar.es/record/5750/files/TESIS-2011-031.pdf>

Mateo-Lázaro J., Sánchez-Navarro J.A., García-Gil A., Edo-Romero V. 2013. Developing and programming a watershed traversal algorithm (WTA) in GRID-DEM and adapting it to hydrological processes. Computers and Geosciences 51:418–429. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.07.024>

Mateo-Lázaro J., Sánchez-Navarro J.A., García-Gil A., Edo-Romero V. 2013b. Análisis de frecuencia y clasificación de eventos

hidrometeorológicos reales en tres cuencas del NE de España. Geogaceta, 53, 117–120. <https://sge.usal.es/archivos/geogacetas/geo53/G53art29.pdf>

Mateo-Lázaro, J., Sánchez-Navarro, J.A., García-Gil, A., Edo-Romero, V. 2014. Sensitivity analysis of main variables present on flash flood processes. Application in two Spanish catchments: Arás and Aguilón. Environmental Earth Sciences. 71(6):2925-2939. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2668-5>.

Mateo-Lázaro, J., Sánchez-Navarro, J.A., García-Gil, A., Edo-Romero, V. 2016. Flood Frequency Analysis (FFA) in Spanish catchments. Journal of Hydrology. 538. 598–608. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.04.058>

Tarasova L, Merz R., Kiss A, Basso S, Blöschl G, Merz B, Viglione A, Plötner S, Guse B, Schumann A, Fischer S, Ahrens B, Anwar F, Bárdossy A, Bühler P, Haberlandt U, Kreibich H, Krug A, Lun D, Müller-Thomy H, Pidoto R, Primo C, Seidel J, Vorogushyn S, Wietzke L. 2019. Causative classification of river flood events. Wiley. WIREs WaterVolume 6. <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/wat2.1353>

Redacción

<https://cgeologos.es>

Tierra y Tecnología es una publicación del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (ICOG). El ICOG es una institución sin finalidad lucrativa creada para la defensa y apoyo de los intereses de los Geólogos, creada por Ley 73/1978 de 26 de Diciembre, es una corporación de Derecho Público, amparada por Ley y reconocida por el Estado, con personalidad jurídica propia y capacidad plena para el ejercicio de sus funciones y cumplimiento de sus fines.



