Investigaciones Geográficas
Instituto Interuniversitario de Geografía
Universidad de Alicante
ISSN: 0213-4691 | eISSN: 1989-9890
https://www.investigacionesgeograficas.com

Disparidad entre cartografías oficiales de peligrosidad y eventos reales: análisis de posibles causas. Estudio de caso en el río Campanillas (Málaga)

Disparity between official hazard maps and real events: analysis of possible causes. Case study in the Campanillas river (Malaga-Spain)

AUTORÍA
Antonio Gallegos Reina
Departamento de Geografía. Universidad de Málaga. Málaga, España.

José María Orellana Macías
Departamento de Geografía. Universidad de Málaga. Málaga, España.

María Jesús Perles Roselló
Departamento de Geografía. Universidad de Málaga. Málaga, España.

DOI
https://doi.org/10.14198/INGEO.24725

CITACIÓN
Gallegos Reina, A., Orellana Macías, J. M., & Perles Roselló, M. J. (2024). Disparidad entre cartografías oficiales de peligrosidad y eventos reales: análisis de posibles causas. Estudio de caso en el río Campanillas (Málaga). *Investigaciones Geográficas,* (81), 51-70. https://doi.org/10.14198/INGEO.24725

CORRESPONDENCIA
Antonio Gallegos Reina (a.gallegos@uma.es)

HISTORIA
Recibido: 3 marzo 2023
Aceptado: 8 septiembre 2023
Publicado: 26 enero 2024
(Publicación anticipada: 23 de octubre 2023)

TÉRMINOS
© Antonio Gallegos Reina, José María Orellana Macías y María Jesús Perles Roselló
Este trabajo se publica bajo una licencia Creative Commons de Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Resumen

Una de las principales problemáticas en la delimitación de áreas inundables por parte de la administración procede del hecho de que los modelos hidrológico-hidráulicos y las cartografías preventivas oficiales derivadas de ellos no se ajustan bien a las láminas de inundación y peligrosidad reales, normalmente minusvalorándolas. Para confirmar esta hipótesis, el presente trabajo analiza unas recientes inundaciones producidas en el núcleo urbano de Campanillas (Málaga) mediante el análisis comparado del deslinde oficial de zonas inundables de la Junta de Andalucía y la cartografía unievento de dicho episodio de inundaciones. Los resultados corroboran la hipótesis de minusvaloración. Del análisis comparado, se extraen una serie de posibles causas. Algunas de ellas están relacionadas con el propio modelo hidrológico-hidráulico usado en la cartografía normativa (se ciñen a un ámbito territorial concreto y cerrado; no se tienen en consideración acciones antrópicas indirectas; no se consideran alteraciones del flujo de inundación por los circuitos artificiales de la trama urbana). Y otras están relacionadas con las particularidades de la peligrosidad de inundación en entornos mediterráneos (activación paralela y sinérgica de peligros asociados; no consideración de las condiciones rexistásicas mediterráneas en la modelización de las obras de paso). Como aportación última se incluyen en el artículo una serie de acciones propositivas que pudieran mejorar la predicción de áreas inundables en la cartografía oficial.

Palabras clave: cartografías preventivas oficiales; inundabilidad; peligrosidad; entornos mediterráneos; Campanillas; modelo hidrológico-hidráulico.

Abstract

One of the main problems faced by authorities when delimiting flood areas is derived from the fact that hydraulic-hydrological models and their flood maps do not accurately correspond to the actual extent of the floods and hazards, often underestimating them. In order to assess this hypothesis, this paper analyses the recent flood in Campanillas (Málaga, Spain). The study compares the differences between the official flood maps and the real flood. The results of this study clearly confirm the aforementioned underestimation. Beyond a simple comparison, a series of potential causes of this underestimation are proposed. Some of them are related to the hydraulic-hydrological model used to create the official maps (e.g., it represents a closed area, it omits indirect anthropogenic activities, it omits flood flux alterations caused by roads, bridges, etc.). Additionally, other causes are related to the characteristics of the

la publicación 'Máximas lluvias diarias en la España peninsular' (Ministerio de Fomento, 1999) se ha estimado el periodo de retorno aproximado que supone dicha precipitación para la zona.

Los datos de precipitaciones y de embalses se han obtenido del Sistema automático de información hidrológica (S.A.I.H.) Hidrosur, de la Dirección General de Infraestructuras del Agua de la Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural de Andalucía[3], y de Embalses.net.

2.3. Cartografía preventiva oficial de la zona

Esta es un tipo de cartografía temática orientada a la etapa final de un proceso de toma de decisiones sobre el territorio. A partir del diagnóstico que proporciona, se plasman y derivan decisiones territoriales de carácter normativo, tales como la clasificación del suelo en planes urbanísticos, la delimitación de espacios naturales, el trazado de infraestructuras o la delimitación de dominios públicos hidráulicos (Ojeda Zújar, 1999).

La zona de estudio aquí considerada está recogida en el Área de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI) ES060-ARPS-0049 ('Río Campanillas, desde aguas arriba de Campanillas hasta su desembocadura'), perteneciente a la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Esta cartografía se encuentra en el segundo ciclo, correspondiente al periodo 2022-2027, de la Planificación de la gestión del riesgo de inundación en las Cuencas Intracomunitarias de Andalucía (Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul, 2020). Actualmente, el segundo ciclo está en su última fase, a la espera de la publicación de la Declaración Ambiental Estratégica.

Los mapas de peligrosidad y el riesgo de inundación han sido realizados de conformidad con lo dispuesto en los artículos 8 y 9 del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, y los criterios establecidos al respecto por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Para el tramo fluvial estudiado existe cartografía para periodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años. El caso real que se va a considerar para testear los resultados equivale a un periodo de retorno algo inferior al de 25 años, por lo que se ha trabajado con los mapas de inundación fluvial para los periodos de retorno más próximos, de 10 y 50 años.

2.4. Cartografía unievento, considerando el episodio pluviométrico del 25 de enero de 2020

Se ha realizado una delineación de la lámina inundable resultante del episodio tormentoso que aconteció el día 25 de enero de 2020. Para la obtención de esta lámina se han usado imágenes y vídeos disponibles en Internet, así como también se han obtenido datos empíricos en trabajo de campo. El uso masivo de las redes sociales por parte de la población en estos sucesos permite disponer de una amplia base de datos visual, tanto durante el propio evento como en las horas inmediatamente posteriores. De especial utilidad ha resultado un vuelo en helicóptero de la Policía Nacional de la mañana siguiente a la tormenta, mientras coordinaba la atención a las víctimas (La Opinión de Málaga, 2020).

La información hidrológica sobre dicho evento se ha obtenido de las tres estaciones meteorológicas más próximas al área de estudio con información pluviométrica horaria: IFAPA Centro de Campanillas, Presa de Casasola y Puerto de la Torre (Figura 2).

En cuanto al trabajo de campo, se han realizado diversas visitas en los días posteriores, tomando referencias de los calados de la lámina inundable a partir de las marcas y manchas dejadas en paredes y mobiliario urbano. De igual modo, se han realizado entrevistas con vecinos de la zona afectada. De estas entrevistas se ha obtenido información de zonas afectadas y calados, así como valoraciones cualitativas sobre el modo en que se produjo el desastre: intensidad horaria de la avenida, direcciones de la corriente, daños y obturación de infraestructuras, etcétera.

3. Resultados

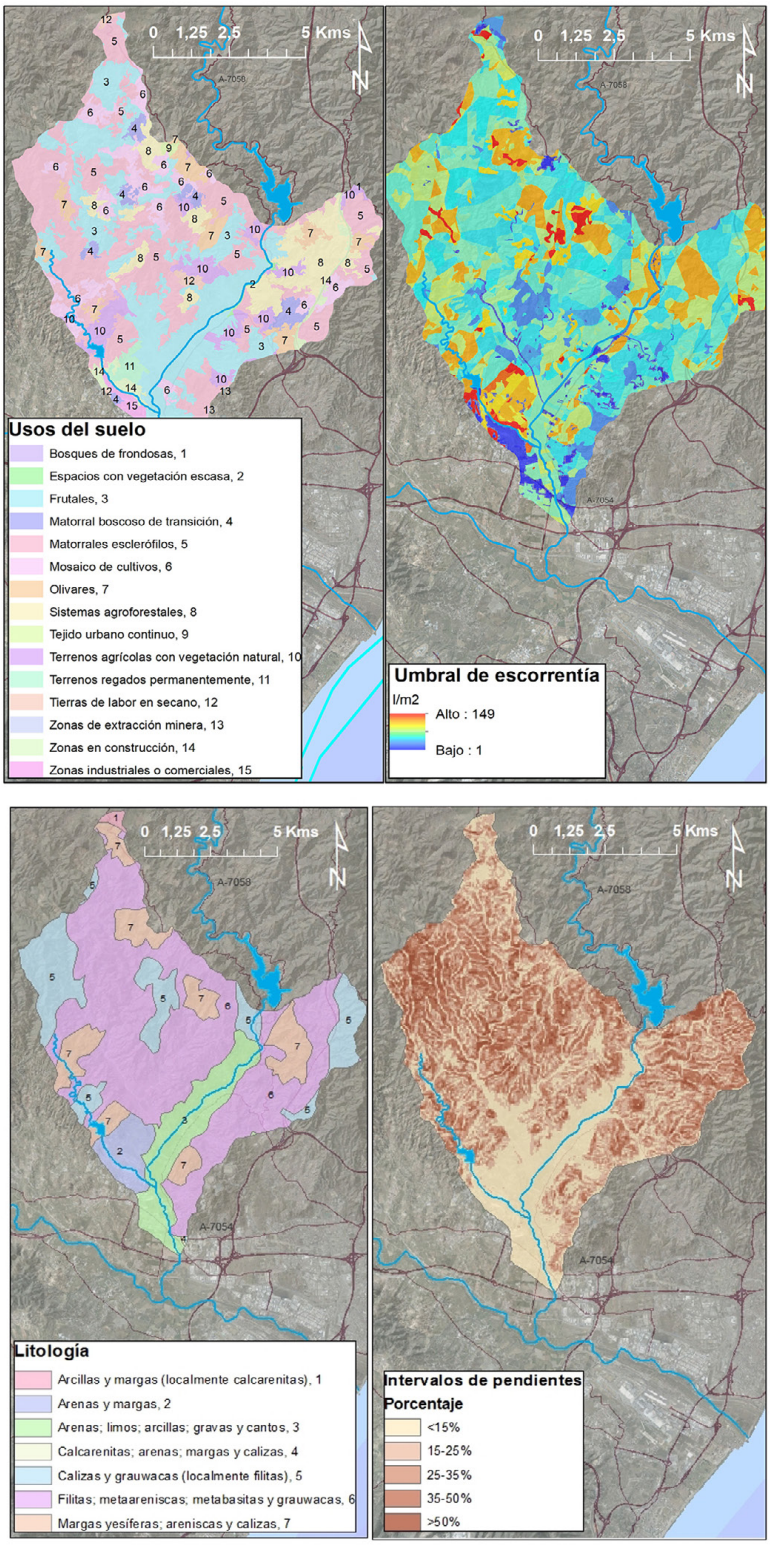
En este apartado se ha descrito la hidrología del área de estudio y la inundación producida el día 25 de enero de 2020, así como se ha comparado esta última con la cartografía normativa existente. En los siguientes apartados, de discusión de resultados y conclusiones, se exponen y discuten las posibles causas de la disparidad y las potenciales líneas de mejora y ajuste.

3 http://www.redhidrosurmedioambiente.es/saih/mapa/tiempo/real/sistema/cma

3.1. Caracterización hidro-geomorfológica del área de estudio

Atendiendo a los datos de precipitaciones horarias acumuladas en las estaciones meteorológicas más próximas al área de estudio en las 24 horas previas al desbordamiento (Tabla 2), a los datos geomorfológicos de la cuenca (Figura 3) y a la metodología ya descrita anteriormente, se han obtenido los siguientes valores hidrológicos y geomorfológicos para el área de estudio:

Figura 3. Carakcterización hidro-geomorfológica del área de estudio (litología, pendientes, usos del suelo, umbral de escorrentía)



Elaboración propia

Tabla 1. Valores hidrológicos y geomorfológicos para el área de estudio

Precipitación acumulada 24 horas (l/m²)	129,3
Superficie de la cuenca (km²)	98,700
Longitud de cauce (km)	16,738
Cota cabecera (km)	0,624
Cota intersección (km)	0,021
Desnivel (km)	0,603
Pendiente media (%)	3,6
Tiempo de concentración (h)	4,8
Intensidad media de la precipitación correspondiente al Tc (mm/h)	18,9
Umbral de escorrentía (l/m²)	40,47
Coeficiente de escorrentía	0,45
Caudal (m³/s)	311,35

Elaboración propia

3.1. Inundaciones 25 de enero de 2020

El día 22 de enero de 2020 comenzó a llover con persistencia en la provincia de Málaga, saturando progresivamente los suelos de la cuenca del río Campanillas y aumentando progresivamente su caudal, hasta que en la madrugada del día 25 este desbordó, coincidiendo con un pico de mayor intensidad pluviométrica entre las 3 y las 6 de la mañana[4] (Tabla 2 y Figura 4).

En las 24 horas previas al desbordamiento, la precipitación media en la cuenca[5] fue de 129,3 l/m², cantidad que oscila entre la estimada para un periodo de retorno de 10 años (105,97 l/m²) y 25 años (133,25 l/m²) (Tabla 2). Esto supuso un caudal punta en el cauce de 311,35 m³/s.

Tabla 2. Precipitaciones acumuladas en las estaciones meteorológicas más próximas al área de estudio en las 24 horas previas al desbordamiento

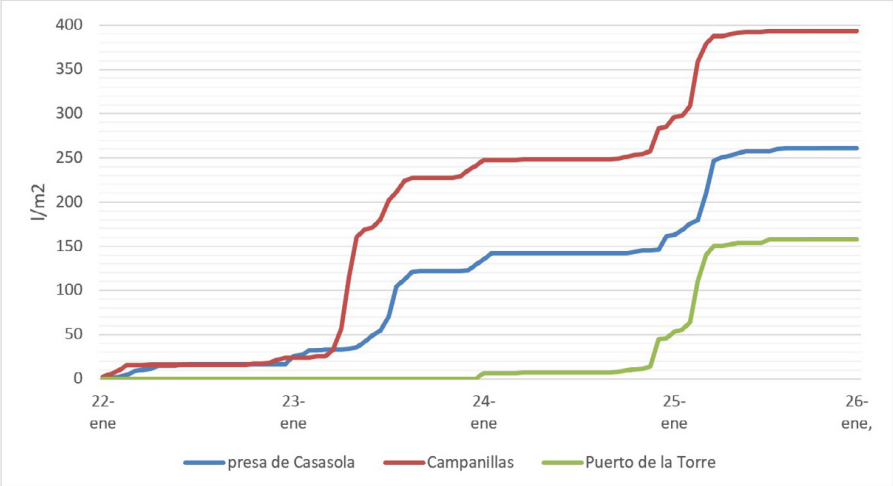
Estación meteorológica	Precipitaciones acumuladas entre las 3:00 y las 6:00 del día 25 de enero de 2020	Precipitaciones acumuladas en las 24 horas previas al desbordamiento	
		Precipitaciones	Periodo de retorno equivalente
IFAPA Centro de Campanillas	89,9 l/m²	139,8 l/m²	25-50 años
Presa de Casasola	78,7 l/m²	104,7 l/m²	≈ 10 años
Puerto de la Torre	94,4 l/m²	143,4 l/m²	25-50 años
Valor medio para la cuenca fluvial del área de estudio		129,3 l/m²	10-25 años

Fuente: datos pluviométricos horarios de las estaciones consideradas (S.A.I.H. Hidrosur). Elaboración propia

Las principales inundaciones se produjeron en el entorno de la barriada de Campanillas, donde el cauce aparece constreñido entre el desarrollo urbanístico de su orilla derecha y el relieve del Cerro Vallejo en su orilla izquierda (Figura 5). Afortunadamente no hubo que lamentar daños personales, pero sí cuantiosos daños materiales que afectaron a 850 familias, valorados en 10,7 millones de euros según estimaciones del Consorcio de Seguros (Sánchez, 2021). La zona más afectada fue la conocida como 'El brillante', donde además del uso residencial también se localizan un colegio, un centro de enseñanza secundaria, una guardería, un centro de servicios sociales y el edificio de la policía local de Campanillas. Por todo ello, la vulnerabilidad es máxima, no solo por el tipo de población dependiente afectada, sino también por quedar aislada la propia policía local, limitando su acción de rescate.

4 Según estudio hidrológico hecho con el método racional modificado por Témez para el área de estudio, el tiempo de concentración es de 4 horas y 48 minutos. Fernández-Palacios Serrano (2017), en un estudio similar, lo establece también en 4 horas.
5 Cuenca fluvial excluyendo la superficie de drenaje aguas arriba de los embalses.

Figura 4. Precipitaciones acumuladas en las estaciones meteorológicas más próximas al área de estudio entre los días 22 y 26 de enero



Fuente: datos pluviométricos horarios de las estaciones consideradas (S.A.I.H. Hidrosur). Elaboración propia

Figura 5. Recreación de la lámina unievento con direcciones de flujos de inundación

Fuente: Google Earth *renderizada*. Elaboración propia

Un aspecto que resulta destacable de las entrevistas tenidas con los vecinos afectados es la coincidencia en describir que el agua no les venía directamente del cauce del río, sino desde el norte, y que el desbordamiento principal se produjo en la zona conocida como 'Las bodegas', donde el arroyo de los Pilones confluye con el río Campanillas (Figura 4). Esta descripción, además, concuerda con otras inundaciones históricas anteriores. El arroyo de los Pilones cruza el Parque Tecnológico de Andalucía encauzado, y apenas 300 metros antes de su desembocadura en el río Campanillas recupera su cauce natural, con una sección hidráulica considerablemente menor y un índice de rozamiento mayor, lo que frena bruscamente la velocidad del flujo del tramo encauzado y genera una gran bolsa de agua. El camino de Adonis y otras vías urbanas, a su vez, facilitaron el discurrir del agua desbordada hacía el entramado urbano de Campanillas.

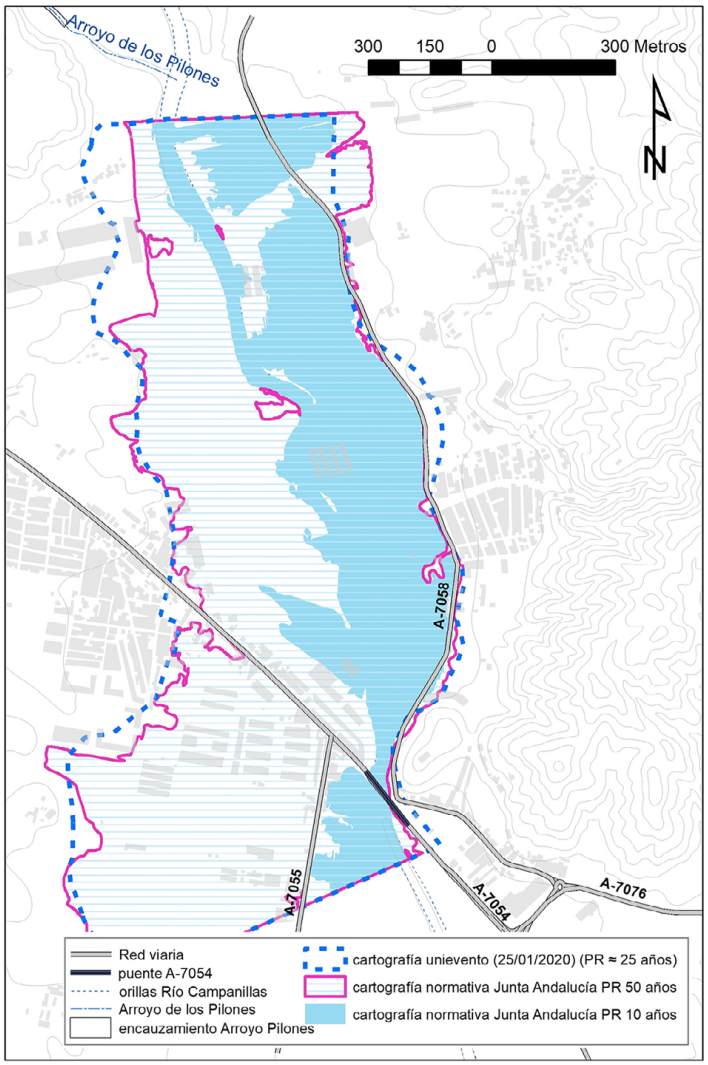
Asimismo, a partir de las conversaciones con los vecinos se ha podido deducir que el puente de la carretera A-7054 sobre el río Campanillas se obturó completamente en los dos ojos laterales y parcialmente en dos de los tres ojos centrales.

Atendiendo, por último, a episodios similares anteriores en el área de estudio, Fernández-Palacios Serrano (2017) cita dos eventos similares en febrero de 2010 y diciembre de 2016. Según el autor se correspondieron con periodos de retorno de 7 años. En ambos eventos la inundación no fue tan intensa como la de 2020, aunque la margen derecha del río llegó a desbordar con calados de 1 metro en la margen derecha del río, en la zona de 'El Brillante', produciéndose importantes daños materiales. Respecto a la confluencia del Arroyo Los Pilones con el Río Campanillas, también lo destaca como un área de especial peligrosidad, indicando que pueden alcanzarse calados de hasta 6 metros para periodos de retorno entre 100 y 500 años.

3.2. Comparativa del evento de 2020 con la cartografía normativa de la Junta de Andalucía

Comparando las láminas de área inundable de las distintas cartografías citadas se desprenden diferencias muy significativas entre unas y otras, destacándose, en líneas generales, que la cartografía normativa minusvalora el riesgo real (Figura 6). La mancha inundable de esta cartografía es inferior a la inundación real (equivalente a un periodo de retorno algo inferior a 25 años) tanto en el supuesto del periodo de retorno de 50 años como en el de 10 años. En el primer caso (50 años) se observa una mayor aproximación, aunque deja sin cubrir algunas zonas que realmente se inundaron, especialmente en la orilla derecha, donde el embalsamiento y deriva del flujo que se produjo en la confluencia del arroyo de los Pilones con el río Campanillas resulta insuficientemente recogido (Figura 5). Para el caso del mapa equivalente al periodo de retorno de 10 años, la diferencia es bastante mayor.

Figura 6. Cartografía unievento y cartografía normativa para los periodos de retorno de 10 y 50 años



Elaboración propia

4. Discusión de resultados

A raíz de todo lo anterior, cabe plantearse las razones que puedan estar detrás de las diferencias y desajustes hallados para poder plantear acciones propositivas que mejoren el ajuste de las cartografías normativas de peligrosidad de inundación en entornos mediterráneos. Este tipo de incongruencias entre cartografías oficiales y eventos reales ya han sido apuntadas previamente por otros autores, como Camarasa y Bescós (2004) o Hernández-Mora et al. (2021).

Podrían reunirse las posibles causas en dos grupos de razones diferenciados: el propio modelo hidrológico-hidráulico usado en la cartografía normativa, y las particularidades de la peligrosidad de inundación en entornos mediterráneos.

4.1. Causas relacionadas con el modelo hidrológico-hidráulico usado en la cartografía normativa

- **Los modelos hidrológico-hidráulicos se ciñen a un ámbito territorial concreto y cerrado, sin contemplar lo que ocurre aguas arriba o aguas abajo de dicho ámbito**.

Aunque en el análisis hidrológico, para el cálculo del caudal resultante de la escorrentía pluvial, trabaje con la totalidad de la cuenca hidrográfica, para el análisis hidráulico se suele trabajar con tramos concretos que se ciñen exclusivamente a la zona que se pretende deslindar.

Tal como pasa en los ecosistemas, en el comportamiento hidráulico de ríos y arroyos existe una interconexión con la totalidad de la cuenca, de modo que cualquier cambio o alteración que se produzca en algún punto de dicha cuenca puede afectar aguas abajo o aguas arriba. Un buen ejemplo de esto se tiene en la situación ya descrita por los vecinos: la inundación de enero de 2020 en la barriada de Campanillas recibió dos flujos de escorrentía diferentes: el propio del río Campanillas, al desbordar a su paso por la barriada, y el flujo procedente del arroyo de los Pilones (Figura 5). El arroyo de Los Pilones fue deslindado y encauzado en su día para el desarrollo urbanístico del Parque Tecnológico de Andalucía (PTA). En su recorrido por dicho Parque Tecnológico se le creó un canal amplio y recto, de mampostería, libre de vegetación. Durante un tramo de 2 kilómetros, las aguas discurren con una gran sección hidráulica y sin rozamiento, a gran velocidad. Pero al finalizar dicho encauzamiento, y durante los 300 metros últimos del arroyo antes de desembocar en el río Campanillas, el arroyo recupera su sección original, mucho más estrecha, y con densa vegetación. Esto supone una alteración importante del comportamiento hidráulico del arroyo, al acelerarse su flujo artificialmente, para luego frenarse con brusquedad. Cuando se realizó el deslinde de este arroyo, se trabajó con un área cerrada y específica: los suelos urbanizables del PTA, y no se tuvo en consideración su repercusión aguas abajo. Desde entonces, las inundaciones en la barriada de Campanillas presentan una recurrencia y gravedad que nunca habían tenido anteriormente.

- **El estudio hidrológico trabaja con datos estadísticos de máximas lluvias diarias, en 24 horas, sin tener en consideración, de manera suficiente o adecuada, las lluvias de días precedentes**.

Si bien la 'Instrucción de Carreteras', norma que rige la elaboración de los estudios hidrológico-hidráulicos en España (Ministerio de Fomento, 2016), tiene en consideración un factor corrector de la humedad del suelo para distintas regiones en España, esto es un valor estadístico insuficiente en casos como el que nos ocupa. Así, antes de producirse las inundaciones estuvo lloviendo con persistencia e intensidad durante los 3 días previos. Durante estos días se produjeron lluvias equivalentes a periodos de retorno que oscilan entre los 2 y 10 años según el día y la estación pluviométrica considerada. Este hecho saturó completamente los suelos, dando lugar a una escorrentía de prácticamente el 100% del agua precipitada en la jornada del 25 de enero. Bien es cierto que resulta difícil prever este hecho por su variabilidad, pero tal vez sería conveniente corregir al alza estos factores para situarnos siempre del lado de la seguridad.

- De igual modo, **la cartografía normativa no tiene en consideración acciones antrópicas indirectas, pero con una relación muy estrecha con la peligrosidad de inundabilidad**. Así, el estudio hidrológico no contempla potenciales aportaciones de caudal como las que se pudieron producir por la apertura de los embalses de 'Casasola' o 'El Tomillar'.

Según los vecinos, en la madrugada del 25 de enero se generó una ola repentina y significativa en el caudal, que achacan a la apertura de los órganos de desagüe de alguno de estos embalses. La administración hidráulica competente en la zona niega que ninguna de estas presas se abriera (Stuber, 2020). Lo más probable es que dicha "ola" se produjera por el pico de mayor intensidad pluviométrica que se dio entre las 3 y

las 6 de la mañana. Durante estas horas se acumularon 78,7 l/m³ en la estación pluviométrica de Casasola, 89,9 l/m³ en la de Campanillas y 94,4 l/m³ en la de Puerto de la Torre.

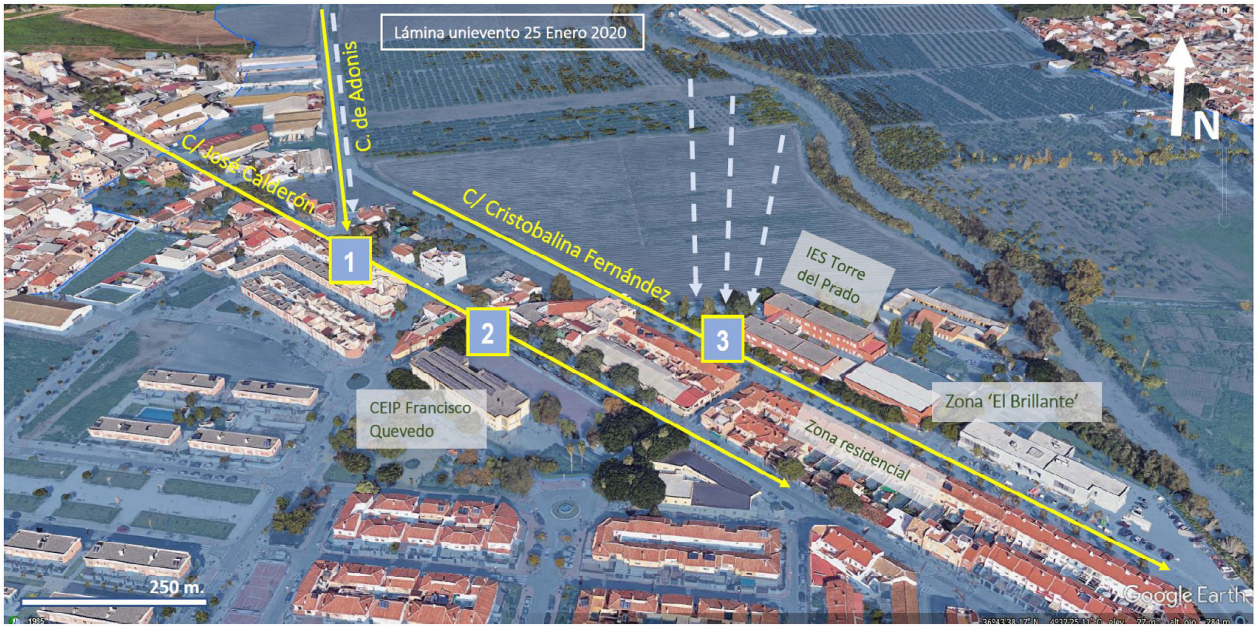
En cualquier caso, el embalse de Casasola, por características geológicas del terreno no previstas durante su construcción, no debería superar los 10,9 hm³ de agua (Blanco, 2007), y durante el episodio del 25 de enero de 2020 llegó a alcanzar los 17 hm³ (Lillo, 2020). Esto enlaza con un segundo riesgo no previsto en la cartografía normativa: más allá de la posibilidad de que tengan que abrirse embalses para aliviarlos cuando están próximos a llenarse durante eventos pluviométricos extremos, también existe el riesgo de que una presa pueda llegar a colapsar o desbordar, y soltar su contenido de manera repentina. Algo similar podría haberse dado —afortunadamente no fue así— con el embalse de 'El Tomillar', cuya presa está hecha de tierra y "materiales sueltos", que podrían fácilmente llegar a colapsar si llegara a llenarse y desbordar por coronación. A raíz del episodio aquí descrito, la Junta de Andalucía ha reforzado la seguridad del embalse de Casasola[6].

- En último lugar, cabe destacar que **no se consideran las alteraciones del flujo de inundación por los circuitos artificiales de la trama urbana**.

En medios muy artificializados, como es nuestra área de estudio, se debería tener en consideración la estructura urbana. Más allá del modelo digital del terreno y de los '*blocked obstructions*' (elementos antrópicos donde no existe "transporte de flujo"), la realidad urbana y periurbana es considerablemente más compleja, produciéndose importantes alteraciones en la dirección, velocidad y calado del flujo (Cantarero, 2013). Esto genera efectos en cadena imprevisibles en la modelización actual.

A modo de ejemplo, en el caso se ha citado anteriormente del flujo llegado desde el arroyo los Pilones, la existencia del 'Camino de Adonis' podría haber actuado como un falso encauzamiento por la inexistencia de obstáculos y el menor rozamiento del asfalto (Figura 5). Además, al confluir el Camino de Adonis con la avenida principal, Calle José Calderón, se produce un represamiento del flujo, que eleva notablemente el calado, con una altura de inundación superior al de zonas adyacentes (incluso más próximas al río) (ver punto '1' en Figura 7). Esto pudo observarse tanto en las marcas del barro en el mobiliario urbano como en las fotos de los vecinos durante la inundación. En estas últimas también son apreciables las turbulencias y cambios de régimen de flujo creados en el agua. Los solares, calles y espacios intersticiales existentes en el entorno luego reconducen el flujo generando zonas de mayor y menor afección. Así, el muro del colegio Francisco Quevedo está directamente conectado con este punto de peligrosidad (ver punto '2' en Figura 7), resultando una de las zonas más dañadas (Figura 8).

Figura 7. Recreación lámina unievento y puntos destacables de modificación del flujo por interferencias urbanas



Elaboración propia

6 Proyecto de prevención y gestión de catástrofes de la presa de Casasola (Málaga). Expediente A6.829.033/2111

Figura 8. CEIP Francisco Quevedo tras las inundaciones

Fuente: Jorge Zapata/Agencia EFE

Otro ejemplo destacable es la confluencia del flujo de desbordamiento del río Campanillas con los primeros edificios de la zona 'El Brillante'. La lámina, que circula de manera expandida por la zona agrícola de la llanura de inundación, queda constreñida y represada entre el Instituto de Enseñanza Secundaria 'Torre del Prado' y las viviendas de la calle Cristobalina Fernández, incrementándose el calado y los daños (ver punto '3' en Figura 7).

En los distintos casos expuestos, el flujo de inundación no se expande ni comporta como lo prevé la cartografía predictiva, sino que sufre alteraciones de dirección, calado y velocidad que transforman de manera notable las láminas y profundidades. Estas alteraciones podrían ser fácilmente previsibles con un estudio específico de la zona atendiendo a la trama urbana y los condicionantes antrópicos específicos, incorporando a los modelos digitales de elevaciones procedentes del LiDAR los detalles de la trama urbana con toda su complejidad (Bodoque et al., 2023).

4.2. Causas derivadas de las particularidades de la peligrosidad de inundación en entornos mediterráneos

El elevado coeficiente de escorrentía, ya citado en la descripción del área de estudio, genera importantes flujos de avenida. A ello se suman los frecuentes movimientos en masa debidos a la inestabilidad de las arcillas y yesos del Permo-Trías, que además aportan material sólido potencialmente transportable y depositable por la red fluvial. De otro lado, la elevada presión demográfica y económica de la zona añade otras circunstancias de carácter antrópico, como son la impermeabilización del suelo y la invasión del territorio fluvial por desarrollos urbanísticos, agrícolas o industriales. Todo ello propicia la recurrencia y gravedad de las inundaciones, pero también la de otros riesgos como los movimientos en masa o la erosión hídrica.

Estas características, en cualquier caso, son extensibles a buena parte de la fachada mediterránea, donde los riesgos naturales causan pérdidas económicas, y en ocasiones incluso pérdida de vidas humanas, con mucha más frecuencia que en otras regiones. No obstante, cualquier cuenca hidrográfica en España responde a una misma normativa y a un mismo modelo hidrológico-hidráulico (con matizaciones menores), sin tener en consideración las notables diferencias que existen entre unas y otras regiones en la casuística que genera y condiciona el desarrollo de las inundaciones.

- **En entornos mediterráneos, las inundaciones se ven frecuentemente agravadas y alteradas en su comportamiento por la activación paralela y sinérgica de otros peligros asociados a la inundación**, originados por el mismo episodio tormentoso.

Se puede afirmar que aquí, tanto más que en otras regiones, los riesgos están estrechamente relacionados el territorio, con efectos en cadena y sinergias que incrementan la peligrosidad y la lámina inundable resultante (Gallegos Reina & Perles Roselló, 2022; Perles Roselló & Cantarero Prados, 2010). Esto no está recogido en

la cartografía oficial. Las únicas especificidades regionales se incluyen en el análisis hidrológico[7], pero no en el estudio hidráulico.

Figura 9. Imagen aérea del puente de la carretera A-7058 sobre el río Campanillas, el día 30 de enero de 2020

Apréciense los depósitos de sedimentos acumulados antes del puente, obturando su capacidad de paso y dando lugar a anegamientos en ese mismo punto aún 5 días después de las inundaciones.

Fuente: Málaga Hoy (Sánchez, 2021)

De entre estos peligros asociados destacan la erosión hídrica y los deslizamientos de laderas. El primero es, sin duda, el más importante. En entornos mediterráneos la erosión hídrica es muy elevada (Gallegos Reina, 2023; Camarasa Belmonte et al., 2018; Sanchís Ibor et al., 2017; Panagos et al., 2015; García Ruíz et al., 2013; Conesa García et al., 2011; Lavee et al., 1998), y ello conlleva un aumento de la carga sólida y energía erosiva del caudal, dando lugar a problemas de aterramiento, socavación y colapso de puentes y entubamientos (Figura 9). Asimismo, reduce la sección hidráulica del cauce y disminuye la velocidad del flujo, aumentando con ello el calado (Díez Herrero et al., 2008a).

Figura 10. Signos de deslizamiento junto al cauce del arroyo Los Pilones

Fuente: *Google Earth*

7 La Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2 -IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras, tiene en consideración, para el análisis hidrológico, aspectos regionales como la torrencialidad pluviométrica.

Otro peligro asociado muy frecuente es el deslizamiento de laderas (Gallegos Reina, 2022; Corominas et al., 2016; Díez Herrero et al., 2008b; Pita et al., 1999). Por citar un ejemplo concreto del área de estudio, el afluente 'Los Pilones' atraviesa una zona de arcillas y yesos permotriásicos. Esta es una serie de elevada inestabilidad en pendientes, que en este caso superan el 50%. Sobre el terreno se pueden apreciar signos de desplazamiento de tierras junto al cauce (Figura 10). Estos deslizamientos pueden llegar a bloquearlo, con una doble consecuencia: de un lado, el anegamiento de zonas que no son previstas en la simulación hidráulica, y posteriormente, al romperse bruscamente el tapón se puede producir un repentino pico de crecida de agua y barro con gran potencial destructivo.

Los modelos hidráulicos normalmente simulan flujos hídricos de agua sin ninguna carga sedimentaria ('aguas claras o limpias'), sin transporte de sedimentos y material leñoso como carga de fondo, suspensión o flotación. Estos escenarios son muy diferentes de los casos reales de las inundaciones, donde la carga del flujo cambia significativamente las características reológicas del flujo, y con ello las velocidades, calados y área inundada.

Por último, pero no menos importante, los modelos hidráulicos de simulación hidrodinámica normalmente consideran el lecho fijo, sin que se produzcan cambios morfológicos previos ni durante la avenida (por erosión o sedimentación de carga solida inorgánica o leñosa, u objetos artificiales), que cambian totalmente la configuración geométrica de la zonas inundable.

- **La modelización de las obras estructurales en entornos mediterráneos no está adaptada a las condiciones rexistásicas de estos**.

Ni el dimensionamiento ni la modelización hidráulica de las obras de paso tienen en consideración las particularidades rexistásicas de los medios mediterráneos. La sección hidráulica de los puentes y entubamientos se diseñan atendiendo a simulaciones hidrológicas con periodos de retorno extraordinarios, de 500 años, pero con frecuencia unos y otros resultan cegados y desbordados con precipitaciones muy inferiores a esos 500 años. Esto se debe a que se trabaja con la idea de que por los cauces discurrirá agua "limpia", lo que dista bastante de la realidad en entornos mediterráneos, dado que la carga de material sólido es bastante importante (Liu et al., 2022; Contreras & Escauriaza, 2020; Nones, 2019). Este material sólido está compuesto principalmente por el arrastre de suelos por la erosión hídrica y por el arrastre de material leñoso (insuficientemente enraizado, en suelos demasiado delgados).

En el caso que nos ocupa, y atendiendo a la descripción de los vecinos, el puente sobre la carretera A-7054 se obturó completamente en dos de sus cinco vanos y parcialmente en otros dos. En este hecho se encuentra con toda probabilidad una de las principales razones de la infraestimación de la cartografía normativa frente a lo que realmente ocurrió.

Siguiendo esta misma línea, estudios como los de Eguibar et al. (2021) ponen de manifiesto situaciones similares a las aquí observadas en otras áreas mediterráneas, con efectos de cuellos de botella debido a infraestructuras transversales (puentes y carreteras) que provocan aumentos de los calados aguas arriba por la curva de remanso del flujo.

En su conjunto, los resultados obtenidos en este trabajo siguen también los mismos patrones ya expuestos por Camarasa Belmonte y Bescós en su análisis comparativo entre mapas de peligrosidad e inundaciones reales (2004), tanto en relación a la subestimación de la mancha inundable como en relación a la necesidad de considerar aspectos como la dinámica fluvial o las alteraciones antrópicas.

5. Conclusiones

A la vista de los resultados derivados de este trabajo, se ha puesto de manifiesto la necesidad de ajustar y mejorar la metodología seguida para la realización de cartografías preventivas oficiales de peligrosidad de inundaciones que se usa actualmente en España, especialmente en entornos mediterráneos, dando más peso en las cartografías finales a los métodos geomorfológicos e históricos, y menos a los hidrológico-hidráulicos, no adecuadamente implementados. Los actuales modelos subvaloran las consecuencias y láminas finales de inundación, confirmándose de tal modo la hipótesis de partida.

Esto se ha observado tras realizar un análisis comparado de la cartografía normativa y la inundación real. Además, se han extraído y discutido una serie de causas que pueden estar detrás de tales diferencias. Y, por último, en este apartado, se exponen algunas acciones propositivas que pudieran mejorar la predicción de áreas inundables en la cartografía oficial.

En la comunidad autónoma andaluza la cartografía oficial no es ajena a esta subestimación, y se trata de compensar alterando los valores de los parámetros reales de cálculo de la escorrentía que se usan en el estudio hidrológico. No obstante, esto solo desvirtúa el resultado final, generando una falsa idea de seguridad que en ríos y ramblas mediterráneos no suele alcanzarse con esta medida, y que en cuencas no mediterráneas alteran igualmente, esta vez por exceso, el resultado final de la mancha inundable. Así, por ejemplo, el umbral de escorrentía resultante para la cuenca de estudio es de 40,47 l/m^2, si bien en la cartografía oficial ha sido rebajado a 25 l/m^2. A pesar de ello, la cartografía oficial sigue estimando una lámina de inundación muy por debajo de lo que ocurrió en la realidad.

Por otro lado, debe tenerse en consideración que la región mediterránea es un área escasamente resiliente y especialmente sensible a los riesgos naturales (Olcina Cantos, 2008). Para el caso concreto de las inundaciones, la Comisión Europea incide en la necesidad de reforzar el estudio y conocimiento de sus particularidades territoriales para mejorar su análisis y gestión (Camarasa Belmonte, 2021; European Environment Agency, 2019). Aquí, más que en ninguna otra región, el Cambio Global ha tenido, y previsiblemente seguirá teniendo en las próximas décadas, una incidencia muy notable.

En relación a las acciones propositivas, parece necesario complementar el estudio hidrológico-hidráulico con otra serie de análisis. Ya hace algunos años se añadió la necesidad de hacer un estudio hidro-geomorfológico que complemente los resultados de la simulación hidráulica, pero esto resulta válido solo en entornos naturales, no así en entornos artificializados. Para estos casos sería conveniente tratar el problema con una perspectiva más realista y compleja, que podría abordarse con lo siguiente:

- **Incluir un estudio específico de la trama urbana y sus condicionantes, que incluya una incorporación de puntos antrópicos de interferencia y modificación del flujo**, yendo más allá de la mera consideración de los elementos antrópicos donde no existe transporte de flujo.
- **Analizar no solo las áreas receptoras de peligrosidad, sino también, especialmente, las causantes**. Estas pueden localizarse en la propia área de estudio o en cualquier otra zona anterior de la cuenca fluvial, tanto aguas arriba como aguas abajo.
- **Abordar el análisis de la carga sólida del caudal**, teniendo en consideración el aporte de sólidos por erosión hídrica, el aporte de restos leñosos y el aporte de elementos antrópicos de gran volumen. De igual modo, se deberían **estudiar otros peligros asociados que se puedan activar con el evento tormentoso, como deslizamientos de laderas**. Al respecto, Gallegos & Perles (2020) han presentado una metodología para el análisis integrado de peligros asociados la inundación, con una propuesta adaptada a la ordenación territorial en regiones mediterráneas.
- Mejorar los resultados del estudio hidrológico **ajustando o ampliando el modo en que se calcula la condición de humedad antecedente**, para recoger la posibilidad de precipitaciones intensas o persistentes en la cuenca durante los días previos.
- **Incorporar parámetros de seguridad en las cuencas en las que existan embalses** o, incluso, estrechamientos del cauce en los que pudiera producirse un represamiento artificial del flujo.

Referencias

Afzal, M. A., Ali, S., Nazeer, A., Khan, M. I., Waqas, M. M., Aslam, R. A., Cheema, M. J. M., Nadeem, M., Saddique, N., Muzammil, M., & Shah, A. N. (2022). Flood Inundation Modeling by Integrating HEC–RAS and Satellite Imagery: A Case Study of the Indus River Basin. *Water* (Switzerland), *14*(19). https://doi.org/10.3390/w14192984

Blanco, A. (2007, June 26). La presa de Casasola empieza a llenarse para traer agua a Málaga. *Diario 20 minutos.* https://www.20minutos.es/noticia/252021/0/presa/casasola/llenarse/

Bodoque, J.M., Aroca-Jiménez, E., Eguibar, M.A., & García, J.A. (2023). Developing reliable urban flood hazard mapping from LiDAR data. *Journal of Hydrology*, 617, 128975. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128975

Boyte, C. (2014). *The Application of Direct Rainfall Models as Hydrologic Models Incorporating Hydraulic Resistance at Shallow Depths*. University of Queensland.

Brunner, M. I., Slater, L., Tallaksen, L. M., & Clark, M. (2021). Challenges in modeling and predicting floods and droughts: A review. *WIREs Water*, *8*(3), 1–32. https://doi.org/10.1002/wat2.1520

Camarasa Belmonte, A. M. (2021). Flash-flooding of ephemeral streams in the context of climate change. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 47, 121-142. http://doi.org/10.18172/cig.4838

Camarasa Belmonte, A. M. & Bescós, A. (2004). Cartografía de áreas inundables: comparación entre mapas de peligros y mapas de inundaciones concretas. In G. Benito & A. Díez Herrero (Eds.), *Riesgos Naturales y Antrópicos en Geomorfología* (pp. 25-36). SEG y SCIC. http://roderic.uv.es/handle/10550/40120

Camarasa Belmonte, A. M., Caballero López, M. P., & Iranzo García, E. (2018). Cambios de uso del suelo, producción de escorrentía y pérdida de suelo. Sinergias y compensaciones en una rambla mediterránea (Barranc del Carraixet, 1956-2011). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles,* 78, 127–153. http://dx.doi.org/10.21138/2714

Cantarero, F. (2013). *Relaciones entre el patrón territorial y la generación del peligro de inundación. Análisis comparado de casos en Málaga (España) y Motozintla (México)* [Tesis doctoral, Universidad de Málaga]. Dialnet. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=257203

Cea, L., Bermúdez, M., Puertas, J., Bladé, E., Corestein, G., Escolano, E., Conde, A., & Ahmadian, R. (2016). IberWQ: new simulation tool for 2D water quality modelling in rivers and shallow estuaries. *Journal of Hydroinformatics*, *18*(5), 816–830. https://doi.org/10.2166/hydro.2016.235

Chu, H., Wu, W., Wang, Q. J., Nathan, R., & Wei, J. (2019). An ANN-based emulation modelling framework for flood inundation modelling: Application, challenges and future directions. *Environmental Modelling and Software*, 104587. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104587

Conesa García, C., García Lorenzo, R. (2011). Factores e índices de peligrosidad de las aguas de avenidas en cruces de carreteras con ramblas. Estudio aplicado a la vertiente litoral sur de la región de Murcia. *Boletín de la Asociación de Geógrafos españoles,* 57, 195-218.

Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía (2012). Decreto 189/2002, de 2 de julio, del plan de prevención de avenidas e inundaciones en cauces urbanos andaluces. BOJA núm. 91, de 3 de agosto de 2002.

Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul de la Junta de Andalucía (2020). Mapas de peligrosidad por inundaciones y de riesgo de inundación de la demarcación de las cuencas mediterráneas andaluzas. 2º ciclo. https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2021-07/Memoria%20de%20los%20Mapas%20CMA%202%C2%BA%20Ciclo.pdf

Contreras, M. T. & Escauriaza, C. (2020). Modeling the effects of sediment concentration on the propagation of flash floods in an Andean watershed. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 20*(1), 221–241. https://doi.org/10.5194/nhess-20-221-2020

Corominas, J., Mateos R.M., & Remondo, J. (2016). Review of landslide occurrence in Spain and its relation to climate. In K. Ho, S., Lacasse & L. Picarelli (Eds.), *Slope Safety Preparedness for Impact of Climate Change* (1a ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781315387789

Costabile, P., Costanzo, C., Ferraro, D., Macchione, F., & Petaccia, G. (2020). Performances of the new HEC-RAS version 5 for 2-D hydrodynamic-based rainfall-runoff simulations at basin scale: Comparison with a state-of-the art model. *Water* (Switzerland), *12*(9), 1–19. https://doi.org/10.3390/W12092326

Díez Herrero, A., Garrote, J., Baillo, R., Laín, L., Mancebo, M. J., & Pérez, F. (2008a). *Análisis del riesgo de inundación para planes autonómicos de protección civil: RICAM.* In I. Galindo, L. Laín & M. Llorente (Eds.), *El estudio y la gestión de los riesgos geológicos*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Medio Ambiente. Riesgos Geológicos, 12, 53-70.

Díez Herrero, A., Lain Huerta, L., & Llorente Isidro, M. (Editores) (2008b). *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración.* Instituto Geológico y Minero de España.

Dyhouse, G., Hatchett, J., & Benn, J. (2003). *Floodplan modeling using HEC-RAS*. Haestad Press, CT, 1–696.

Eguibar, M. A., Porta García, R., Torrijo, F. J., & Garzón Roca, J. (2021). Flood Hazards in Flat Coastal Areas of the Eastern Iberian Peninsula: A Case Study in Oliva (Valencia, Spain). *Water*, *13*(21), 2975. https://doi.org/10.3390/w13212975

European Environment Agency (2019). *River floods, climate change adaptation. Water and Marine Environments*.

Fernández-Palacios Serrano, M. (2017). *Análisis de inundabilidad en la cuenca baja del río Campanillas y afecciones a la zona urbana del Distrito de Campanillas (Málaga).* [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Sevilla]. Depósito de Investigación Universidad de Sevilla. http://hdl.handle.net/11441/65645

Gallegos Reina, A. & Perles Roselló, M.J. (2020). Metodología para el análisis integrado de peligros asociados a la inundación: propuesta adaptada a la ordenación territorial en regiones mediterráneas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 86. https://doi.org/10.21138/bage.2950

Gallegos Reina, A. & Perles Roselló, M.J. (2021). Relationships between peri-urbanization processes and increases of multi-hazard. Diachronic analysis compared in peri-urban basins of the Mediterranean coast. *International Journal of Geo-Information, 10*(11), 1-21. https://doi.org/10.3390/ijgi10110759

Gallegos Reina, A. (2021). Inundaciones en el litoral mediterráneo español en el actual contexto de Cambio Climático: orientaciones para su análisis y gestión. Estudio en la cuenca del arroyo Piletas (Málaga). *Ería, revista de Geografía*, 2021-1, 33-53. https://doi.org/10.17811/er.1.2021.33-53

Gallegos Reina, A. (2022). *Ciudad difusa e inundaciones en el litoral mediterráneo: estudio de casos*. Editum, Ediciones de la Universidad de Murcia. https://doi.org/10.6018/editum.2926

Gallegos Reina, A. (2023). Cambio en los patrones territoriales y análisis de inundabilidad y erodabilidad en cuencas de la provincia de Málaga, España (1956-2010). *Agua y Territorio,* 21, 69-83. https://doi.org/10.17561/AT.21.6368

Gallegos Reina, A. & Perles Roselló, M.J. (2022). Problemáticas de los patrones y dinámicas territoriales periurbanos del litoral mediterráneo español frente a los riesgos naturales. Análisis aplicado en la provincia de Málaga. *Ciudad y Territorio. Estudios territoriales, 54*(211), 97-114. https://doi.org/10.37230/CyTET.2022.211.6

García Ruíz, J.M., Nadal Romero, E., Lana Renault, N. & Beguería, S. (2013). Erosion in Mediterranean ladnscapes: changes and future challengues. *Geomorphology,* 198*,* 20-36. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.023

Hernandez-Mora, M., Meseguer-Ruiz, O., Karas, C., & Lambert, F. (2021). Estimating coastal flood hazard of Tossa de Mar, Spain: a combined model – data interviews approach. *Natural Hazards*. https://doi.org/10.1007/s11069-021-04914-3

Jato-Espino, D., Sillanpää, N., Andrés-Doménech, I., & Rodriguez-Hernandez, J. (2018). Flood Risk Assessment in Urban Catchments Using Multiple Regression Analysis. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *144*(2). https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000874

La Opinión de Málaga (2020, January 28). Vista aérea de Campanillas tras la inundación. https://www.youtube.com/watch?v=QSgVfxPPeVQ

Lavee, H., Imenson, A. C., & Sarah, P. (1998). The impact of climate change on geomorphology and desertification along a Mediterranean arid transect. *Land Degradation and Development*, 9, 407-422. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199809/10)9:5<407::AID-LDR302>3.0.CO;2-6

Li, G., Liu, J., & Shao, W. (2022). Flood Risk Assessment Using TELEMAC-2D Models Integrated with Multi-Index Analysis in Shenzhen River Basin, China. *Water* (Switzerland), *14*(16). https://doi.org/10.3390/w14162513

Lillo, I. (2020). La opinión de los técnicos: ¿Por qué se inundó la barriada de Campanillas el sábado? *Diario Sur*. https://www.diariosur.es/malaga-capital/inundo-barriada-sabado-20200130000213-ntvo.html

Liu, J., Cao, Z., Li, X., Wang, W., Hou, J., Li, D., & Ma, Y. (2022). Modelling urban flooding integrated with flow and sediment transport in drainage networks. *Science of the Total Environment*, 850(June), 158027. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158027

Ministerio de Fomento (1999). *Máximas lluvias diarias en la España peninsular*. Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transporte. Dirección general de carreteras.

Ministerio de Fomento (2016). Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2 - IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras. BOE núm. 60 de 10 de marzo de 2016.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023. https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/default.aspx

Namara, W. G., Damisse, T. A., & Tufa, F. G. (2022). Application of HEC-RAS and HEC-GeoRAS model for Flood Inundation Mapping, the case of Awash Bello Flood Plain, Upper Awash River Basin, Oromiya Regional State, Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment*, *8*(2), 1449–1460. https://doi.org/10.1007/s40808-021-01166-9

Nones, M. (2019). Dealing with sediment transport in flood risk management. *Acta Geophysica, 67*(2), 677–685. https://doi.org/10.1007/s11600-019-00273-7

Ojeda Zújar, J. (1999). La cartografía temática: la interpretación frente a la métrica. *Andalucía Geográfica*, 5, 13-16

Olcina Cantos, J. (2008). El Mediterráneo, región-riesgo: una visión desde España. In *España y el Mediterráneo, una reflexión desde la geografía española: aportación española al XXXI Congreso de la Unión Geográfica Internacional* (pp. 29-34). Comité Español de la Unión Geográfica Internacional.

Oliva, A. & Olcina, J. (2023). Floods and Emergency Management: Elaboration of Integral Flood Maps Based on Emergency Calls (112)— Episode of September 2019 (Vega Baja del Segura, Alicante, Spain). *Water* (Switzerland), *15*(1), 2. https://doi.org/10.3390/w15010002

Ongdas, N., Akiyanova, F., Karakulov, Y., Muratbayeva, A., & Zinabdin, N. (2020). Application of hec-rasHEC-RAS (2d) for flood hazard maps generation for yesil (ishim) river in kazakhstan. *Water* (Switzerland), *12*(10), 1–20. https://doi.org/10.3390/w12102672

Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L. & Alewell,.C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. 54, 438-447. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012

Patel, D. P., Ramirez, J. A., Srivastava, P. K., Bray, M., & Han, D. (2017). Assessment of flood inundation mapping of Surat city by coupled 1D/2D hydrodynamic modeling: a case application of the new HEC-RAS 5. *Natural Hazards, 89*(1), 93–130. https://doi.org/10.1007/s11069-017-2956-6

Perles Roselló, M. J. & Cantarero Prados, F. J. (2010). Problemas y retos en el análisis de los riesgos múltiples del territorio: propuestas metodológicas para la elaboración de cartografías multi-peligros. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 52, 245-271. https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/1171

Pita, M. F., Caravaca, I., Feria, J. M., Alcalá, A., & Vallejo, I. (1999). Riesgos catastróficos y ordenación del territorio en Andalucía. Consejería de Obras Públicas Transportes. Junta de Andalucía.

RD 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación

Sánchez, S. (2021, January 17). Campanillas, un año después de las inundaciones de Gloria. *Diario Málaga Hoy*. https://www.malagahoy.es/malaga/Campanillas-inundaciones-Gloria_0_1538246364.html

Sánchez, S. (2021, June 7). Málaga contrata una obra clave para reducir el riesgo de inundaciones en Campanillas. *Diario Málaga Hoy*. https://www.malagahoy.es/malaga/Malaga-contrata-obra-reducir-inundaciones-Campanillas_0_1581142431.html

Sanchís Ibor, C., Segura Beltrán, F., & Almonacid Caballer, J. (2017). Channel froms recovery in an ephemeral river after gravel mining (Palancia River, Eastern Spain). *Catena,* 158, 357-370. https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.07.012

Segura-Beltrán, F., Sanchis-Ibor, C., Morales-Hernández, M., González-Sanchis, M., Bussi, G., & Ortiz, E. (2016). Using post-flood surveys and geomorphologic mapping to evaluate hydrological and hydraulic models: The flash flood of the Girona River (Spain) in 2007. *Journal of Hydrology*, 541, 310–329. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.04.039

Slater, L., & Villarini, G. (2017). On the impact of gaps on trend detection in extreme streamflow time series. *International Journal of Climatology,* (December 2016), 3976–3983. https://doi.org/10.1002/joc.4954

Stefanidis, S., & Stathis, D. (2013). Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP). *Natural Hazards*, *68*(2), 569–585. https://doi.org/10.1007/s11069-013-0639-5

Stuber, M. (2020, January 25). Juanma Moreno: «La presa de Casasola no se ha abierto en ningún momento». *Diario Sur*. https://www.diariosur.es/malaga-capital/juanma-moreno-presa-20200125141914-nt.html

Valle Martínez, A. (2017). *Estudio hidrológico y de inundabilidad del Río Campanillas y análisis de soluciones técnicas para paliar los efectos de sus avenidas* [Proyecto Fin de Máster, Universidad de Sevilla]. Depósito de Investigación Universidad de Sevilla.

Verbunt, M., Zwaaftink, M. G., & Gurtz, J. (2005). The hydrologic impact of land cover changes and hydropower stations in the Alpine Rhine basin. *Ecological Modelling, 187(*1), 71–84. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.01.027

Wada, Y., Bierkens, M. F. P., Roo, A. De, Dirmeyer, P. A., Famiglietti, J. S., & Hanasaki, N. (2017). Human – water interface in hydrological modelling: current status and future directions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21, 4169–4193. https://doi.org/10.5194/hess-21-4169-2017

Wada, Y., Flörke, M., Hanasaki, N., Eisner, S., Fischer, G., Tramberend, S., Satoh, Y., & Vliet, M. T. H. Van. (2016). Modeling global water use for the 21st century: the Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. *Geoscientific Model Development,* 9, 175–222. https://doi.org/10.5194/gmd-9-175-2016

Yu, Y., Disse, M., Yu, R., Yu, G., Sun, L., Huttner, P., & Rumbaur, C. (2015). Large-scale hydrological modeling and decision-making for agricultural water consumption and allocation in the main stem Tarim River, China. *Water (Switzerland)*, *7*(6), 2821–2839. https://doi.org/10.3390/w7062821