

ANTONIO GALLEGOS REINA

Universidad de Málaga

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)

RESUMEN

La región mediterránea es un área escasamente resiliente y especialmente sensible a los riesgos naturales. 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. Aquí, más que en ninguna otra región, el cambio global ha tenido, y previsiblemente seguirá teniendo en las próximas décadas, una incidencia muy notable. El presente trabajo se plantea como objetivo principal la caracterización territorial de las cuencas fluviales del litoral mediterráneo español, enfocada a la identificación de soluciones para la mejora del análisis y gestión de las inundaciones. La metodología se ha apoyado tanto en análisis bibliográfico como empírico, y concluye como principales resultados la necesidad de reajustar el estudio de inundabilidad incorporando peligrosidades asociadas que se condicionan bidireccional y sinérgicamente entre sí, y la idoneidad de trabajar no solo con áreas receptoras de inundabilidad, sino también con áreas causantes, reforzando la gestión preventiva ya desde el análisis de la peligrosidad. Estas incorporaciones mejorarían el conocimiento de las magnitudes reales de la inundación en el contexto mediterráneo, lo que sería de gran utilidad tanto en el planeamiento del sector como en la posterior gestión.

RÉSUMÉ

Inondations sur la côte méditerranéenne espagnole dans le contexte du changement climatique : lignes directrices pour son analyse et la gestion. Étude dans le bassin du ruisseau Piletas (Malaga).- La région méditerranéenne est une zone particulièrement sensible aux risques naturels. Pour le cas spécifique des inondations, la Commission européenne affirme qu'il est nécessaire de renforcer l'étude et la connaissance de leurs particularités territoriales pour améliorer leur analyse et leur gestion. Ici, plus que dans toute autre région, le changement global a eu un impact très notable. L'objectif principal de cet article est la caractérisation territoriale des bassins fluviaux de la côte méditerranéenne espagnole afin de trouver des solutions pour l'amélioration de l'analyse et la

gestion du danger. La méthodologie utilise à la fois une analyse bibliographique et empirique, concluant comme principaux résultats la nécessité de réajuster l'étude du danger en incorporant les dangers associés, et la nécessité de travailler avec les zones causales, renforçant la gestion préventive. Ces ajouts amélioreraient les connaissances de l'ampleur réelle de l'inondation dans le contexte méditerranéen. Cela serait très utile tant pour la planification du secteur que pour la gestion ultérieure.

ABSTRACT

Floods on the Spanish Mediterranean coast in the current climate change context: guidelines for its analysis and management. Study in the basin of the Piletas stream (Málaga).- The Mediterranean region is an area especially sensitive to natural risks. In the specific case of flooding, European Commission says that it is necessary to strengthen the study and knowledge of its territorial features to improve its analysis and management. Here, more than in any other region, Global Change has had a very important impact. The main aim of this paper is the territorial characterization of the river basins of the Spanish Mediterranean coast in order to find solutions that improve the analysis and management of hazard. Methodology uses both bibliographic and empirical analyzes, concluding as main results the need to readjust the study of hazard by incorporating associated hazards, and the need to work with causative areas, reinforcing the preventive management. These additions would improve the knowledge of the real magnitudes of flooding in the Mediterranean context, which would be very useful both in planning the sector and in subsequent management.

PALABRAS CLAVE/MOTS CLÉ/KEYWORDS

Inundabilidad, cambio global, erosión hídrica, peligrosidades asociadas, regiones mediterráneas, riesgos naturales.
Inondations, changement global, érosion hydrique, dangers associés, régions méditerranéennes, risques naturels.
Flooding, global change, water erosion, associated hazards, Mediterranean regions, natural risks.

I. INTRODUCCIÓN

1. CAMBIO GLOBAL Y RIESGOS NATURALES EN LA REGIÓN MEDITERRÁNEA

El interés por los riesgos naturales en Europa se ha visto impulsado en los últimos años por el momento de cambio legislativo en el que se encuentra la temática. Desde hace algo más de una década han pasado de prácticamente no considerarse en la normativa ambiental ni urbanística a ser incorporados como objetivo prioritario en las políticas europeas. El hito principal puede considerarse la directiva europea 2007/60/CE, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, que ha ido transponiendo a los cuerpos normativos de los diferentes Estados miembros una serie de consideraciones sobre la adaptación de las políticas de gestión territorial al nuevo contexto conceptual, técnico y social (perceptual) (GALLEGOS, 2017). Más allá de esto, y para el espacio geográfico que nos ocupa, la región mediterránea, es precisamente también desde la Comisión Europea desde donde se incide en la destacada afección de los riesgos naturales en sus pueblos y territorios, resaltando la necesidad de reforzar el conocimiento del modo en que funcionan las crecidas torrenciales e inundaciones asociadas (CAMARASA, 2021; HERNÁNDEZ y otros, 2008). Y esta necesidad se extrae ya en la mera observación de los resultados de las modelizaciones en cuencas litorales de ámbitos mediterráneos, donde existe un notable desajuste entre la lámina resultante del análisis hidrológico-hidráulico y la real. Un ejemplo representativo de ello fueron las inundaciones de Rincón de la Victoria, en la provincia de Málaga, en el año 2004, en las que cuencas de escasa extensión provocaron escorrentías muy superiores a las esperadas, así como riesgos asociados que modificaron la hidráulica esperable según cualquier estudio hidrológico-hidráulico convencional. Por ello se ha incorporado el análisis empírico de una de dichas cuencas, la del arroyo Piletas, a la caracterización general de la región llevada a cabo en este trabajo.

El principal impulsor del citado interés por la temática tiene su origen sin duda en el contexto de cambio global. Las aceleradas alteraciones territoriales y urbanísticas sufridas en la región en los últimos decenios, junto con el cambio climático, tienen un papel primordial, tanto por sus repercusiones objetivas sobre las inundaciones y riesgos asociados, como por la sensibilización lograda en la población y Administraciones de todo el mundo. El cambio climático plantea escenarios presentes y futuros en los que los riesgos naturales en la región mediterránea se están incrementando e incrementarán de manera muy notable.

2. HIPÓTESIS DE PARTIDA Y OBJETIVOS

La hipótesis de partida principal de este texto es la necesidad de reenfocar el estudio de la inundabilidad desde una perspectiva territorial, superando enfoques sectoriales tradicionales. Esto conlleva asumir tres condicionantes principales: la estrecha interrelación con la acción antrópica, la necesidad de incorporar el estudio de sólidos por erosión hídrica al flujo de inundación y la consideración de las áreas causales más allá del mero análisis de espacios receptores de riesgo.

La experiencia recogida por anteriores textos científicos y técnicos, o por la propia observación de las inundaciones acaecidas en los últimos años, nos muestran cuencas que funcionan con una estrecha interrelación espacio-temporal y frecuentes sinergias entre los comportamientos naturales y antrópicos que acaecen en ellas. Muestran, igualmente, que las áreas causantes son más importantes que las áreas receptoras desde una visión preventiva del riesgo.

Por otro lado, la incorporación de residuos sólidos por erosión fluvial al caudal en las cuencas del litoral mediterráneo justifica buena parte de las diferencias del comportamiento de las inundaciones que se producen aquí frente a las de otras cuencas fluviales. Las mediterráneas, de comportamiento mayoritariamente torrencial, llegan a producir y evacuar grandes cantidades de sedimentos en periodos de tiempos muy cortos, lo que supone que el flujo lleve una importante proporción de carga sólida y alta competencia, además de aterrar cauces e infraestructuras o desencadenar deslizamientos asociados a la inundación.

Todas estas particularidades, o la propia concepción del riesgo como un fenómeno holístico y territorial, conforman un ámbito de investigación que da pie a modelos de análisis y gestión que encajan plenamente con la ciencia de la Geografía. En base a ello, se plantea como objetivo principal de este texto la caracterización territorial, morfológica y funcional, de las cuencas fluviales del litoral mediterráneo español en relación al riesgo de inundación, y la identificación de soluciones para la mejora del análisis de la peligrosidad en el caso concreto del ámbito espacial considerado.

3. ÁREA DE ESTUDIO

Con la finalidad de complementar la caracterización física y funcional del litoral mediterráneo español se ha seleccionado como área de estudio una cuenca litoral (ver

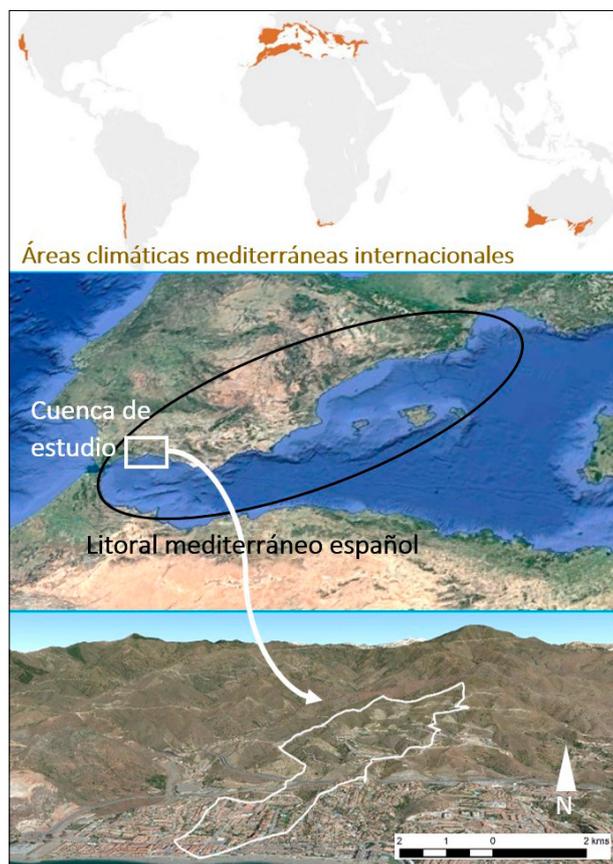


FIG. 1. Localización del litoral mediterráneo español, áreas climáticas mediterráneas internacionales y cuenca de estudio. Fuente: elaboración propia a partir de Google Earth y <mediterraneangardensociety.org>.

figura 1) representativa del patrón territorial de la región, tanto en lo que se refiere a las características geomorfológicas como al patrón urbanístico. Se trata de la cuenca fluvial del arroyo Piletas, situada en el término municipal de Rincón de la Victoria, en el extremo oriental de la aglomeración urbana de Málaga, al sur de España, con una extensión de 160 hectáreas. Aquí se ha producido de manera muy significativa un incremento de población y poblamiento en los últimos decenios (MONTOSA, 1997), así como eventos pluviométricos con intensidades de las que no se tenía registro hasta la fecha, tal como las inundaciones acaecidas en marzo de 2004 (YUS RAMOS y otros, 2004).

En el área de estudio coexisten viviendas de primera y segunda residencia, de una población que se desplaza diariamente a la ciudad de Málaga en un constante movimiento pendular. En esta cuenca se produce una mezcla compleja de funciones y patrones urbanísticos que responden a un esquema de desarrollo con dinámicas

de expansión muy rápidas. De manera residual también existen zonas agrícolas, en uso o en abandono.

El área de estudio se sitúa sobre litología metamórfica, con cabecera escarpada y muy cercana a la costa, con estrechas planicies litorales. La cota máxima es de 431 metros y el intervalo de pendiente más representativo oscila entre el 20 y el 50 %, siendo la pendiente media de la cuenca del 30,4 %. Su edafología se distribuye entre los antrosoles úrbicos del suelo urbano consolidado, los regosoles calcáricos al norte de los anteriores y los leptosoles éutricos en las cabeceras de cuenca. La pluviometría responde a un régimen torrencial y de aridez estival característico de escenarios mediterráneos, particularizado en este caso por su orientación a barlovento de las perturbaciones atlánticas.

II. MATERIALES Y MÉTODO

1. ANTECEDENTES METODOLÓGICOS

Las sociedades mediterráneas históricamente han tenido una relación intensa con su territorio. Se trata de pueblos con elevada densidad demográfica e intenso poblamiento y aprovechamiento del suelo, ya sea por necesidades agrarias o por la explotación residencial y turística (GALLEGOS, 2018). Esto acontece en un territorio poco resiliente y con unas particularidades en relación al riesgo que lo hacen especialmente sensible. Por ello el estudio de sus características físicas y humanas, y más concretamente su relación con los riesgos naturales, despiertan un vivo interés. Al respecto, pueden citarse en los últimos años los trabajos de Camarasa y otros (2020), Camarasa (2016), Segura (2014) o Salazar (2013), que centran su atención en las cuencas efímeras y ramblas de la comunidad valenciana (GALLEGOS y PERLES, 2019), que amplían el análisis a la provincia de Málaga para poner en relación las peligrosidades de inundación y erosión con la ordenación territorial (OLLERO y otros, 2019), con un diagnóstico específico para cursos efímeros mediterráneos, o García y Conesa (2011) y Barnolas y Llasat (2007), revisando los métodos de análisis de la inundabilidad en el litoral de las regiones de Murcia y Cataluña respectivamente.

En las inundaciones en entornos mediterráneos se relacionan los procesos hidrológico-hidráulicos con los geomorfológicos de manera muy destacada. Esta relación se enmarca en la rama interdisciplinar de la hidrogeomorfología, en la que vienen trabajando numerosos autores. Sobre ello sobresalen trabajos como los de Bor-

naetxea y Ormaetxea (2019), Camarasa y otros (2018), García Hernández y otros (2017), Hammani y otros (2016) o Densmore y otros (2011).

Especial importancia debe darse al aporte de la erosión hídrica y material sólido en general al flujo de inundación. En la cartografía de Naciones Unidas sobre la desertificación, España es el único país de Europa occidental con zonas gravemente afectadas, y estas dibujan fundamentalmente los límites de la región mediterránea. Al respecto, algunos autores han enfatizado las diferencias de comportamiento de los cursos efímeros respecto a los de régimen permanente, observando que, bajo las mismas condiciones de corriente, los primeros tienen tasas de transporte de fondo significativamente mayores que los otros tipos de cursos (REID y LARONNE, 1995). De igual modo, la afeción sobre obras transversales de paso es muy importante. Así, Conesa y García (2011) destacan que, si bien el drenaje en los puentes puede no ser tan problemático, por el contrario, en badenes y tramos provistos de obras pequeñas de drenaje, como caños y alcantarillas, se generan niveles de peligrosidad asemejados a situaciones asociadas a altos grados de exposición, regímenes hidráulicos críticos y supercríticos, tasas acusadas de transporte y gran inestabilidad del lecho. Las subtemáticas derivadas de la problemática tratan tanto la relación entre acarreo y escorrentía, con autores como Ortega (2009), Linares y otros (2009), Romero y otros (1998), López Bermúdez (1979) o Témez (1978); como las relaciones entre el caudal y la carga de fondo, vistas por Densmore y otros (2011) o Conesa, Arana y García (2009); la incidencia de la erosión hídrica en los procesos de inundación, tratada por Gallegos y Perles (2015), Romero Díaz y otros (1995, 1998) o López Bermúdez y Gutiérrez (1982); el análisis diacrónico en la evolución de la erosión (ABADÍN y otros, 2004); o la evaluación de metodologías de cálculo de la erosión hídrica (VERDÚ y otros, 2000, o SUÁREZ, 1998). Con respecto a los métodos preferentes en la literatura científica para el estudio de la erosión del suelo en la región mediterránea, destacan actualmente los artículos sobre modelización con formulaciones tipo USLE o MUSLE, seguidos por el uso de parcelas experimentales, simulaciones de lluvia o interacción entre análisis de campo y laboratorio. También existen frecuentes referencias al uso de teledetección o sistemas de información geográfica. En proporción menor aparecen otros artículos más experimentales, sobre dendrogeomorfología o isótopos.

Otro importante aspecto derivado de la relación entre la geomorfología y la hidrología, ligado en este caso a la ocupación antrópica, es la modificación de la respuesta

hidrológica de una cuenca como resultado de dicha ocupación. Esto se ha documentado abundantemente, abordándose también desde distintas perspectivas. Destacan las que hacen referencia a las modificaciones en la escorrentía en respuesta a cambios en los usos del suelo, o el estudio de la variabilidad espacial de las áreas urbanas y su efecto en la generación de escorrentía (DURAN y PONS, 2021; SANCHÍS y otros, 2017; CONESA y otros, 2011, 2017; ROMEU y SEGURA, 2016; LENA y otros, 2016; NAVARRO y otros, 2016; MARTÍN y otros, 2016; BATALLA, 2013; LINARES y otros, 2009; LIQUETE y otros, 2008; o BODOQUE, 2007).

No obstante de todo lo anterior, se observa aún la necesidad de avanzar hacia análisis y enfoques integradores de la inundabilidad con el patrón territorial y con las peligrosidades asociadas. Esta rama temática no dispone de un bagaje científico tan importante, y ello a pesar de que la Comisión Europea viene apuntando en su necesidad desde algunos años atrás (FLEISCHHAUER y otros, 2007). La Geografía, como ciencia territorial y de síntesis, puede aportar dicho enfoque al análisis del riesgo. Los ejemplos existentes parten más de experiencias normativas o aplicadas que de desarrollos conceptuales y teóricos. Cabe apuntar, en cualquier caso, algunos trabajos que tratan la temática directa o indirectamente, como los de Ley (2019), Gallegos y Perles (2015), Ortega y otros (2012), Marzocchi y otros (2009), Perles y otros (2006a, 2006b), Greiving (2006), Lahouse (1998) o Poesen y Hooke (1997).

2. METODOLOGÍA

La identificación de aspectos condicionantes del riesgo de inundación y riesgos asociados en el litoral mediterráneo español se ha realizado atendiendo a los principales factores y procesos reguladores del riesgo en el área geográfica, considerando tanto los aspectos físicos como los rasgos funcionales. Dicho trabajo se realiza en una doble escala, primero se observa la región en su conjunto, recurriendo para ello al análisis bibliográfico existente sobre la materia, y posteriormente validando lo anterior en el área de estudio ya presentada, representativa del objeto espacial de análisis. En último lugar, considerando al análisis de lo expuesto en el apartado de resultados, se identifican una serie de orientaciones para la mejora del análisis de la peligrosidad y de la gestión de esta región.

Los aspectos fundamentales considerados han sido, en relación a condicionantes físicos, los factores y elementos del clima, con especial incidencia en la torrencia-

lidad pluviométrica, la morfología fluvial, la hidráulica y superficie inundable y las peligrosidades asociadas, fundamentalmente erosión hídrica y movimientos de laderas. Y atendiendo a los aspectos antrópicos, se han tenido en consideración los cambios funcionales y morfológicos por la evolución del poblamiento y los usos del suelo en las últimas décadas, con atención especial tanto en los patrones urbanos resultantes y los procesos de litoralización y ciudad difusa, como en el impacto de las nuevas agriculturas. Para apoyar cuantitativamente lo anterior, en la cuenca de estudio se han realizado análisis pluviométricos, considerando la máxima lluvia diaria para distintos periodos de retorno, estudios de escorrentía, análisis de caudales y estudios de producción de residuos sólidos por erosión hídrica, tanto con valores globales como específicos para una evento pluviométrico concreto. De igual modo, se ha analizado la evolución del patrón urbanístico y de los usos del suelo en los últimos decenios.

Para los análisis hidrológicos se ha usado el método racional modificado, y para los hidráulicos el modelo HEC-RAS. El análisis morfológico de cauces y formas aluviales se ha realizado mediante fotointerpretación y trabajo de campo, usando asimismo cartografía geológica, edafológica y modelos digitales del terreno. Y para los estudios de erosión hídrica potencial se han usado la ecuación universal de suelos revisada (RUSLE) y la ecuación universal de suelos modificada (MUSLE). En este último caso se ha usado el periodo de retorno de 500 años, que en España se usa en el planeamiento urbanístico para delimitar el área inundable. Para el estudio del patrón urbanístico se ha considerado información sobre planeamiento aportada por la propia Administración local, así como ortofotografías.

III. CARACTERÍSTICAS Y CONSECUENCIAS DE UN SISTEMA HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO CONDICIONADO POR LA TORRENCIALIDAD

El clima es uno de los principales condicionantes del comportamiento hidrológico e hidráulico de las cuencas del litoral mediterráneo español y de la peligrosidad resultante, fundamentalmente por las características de su régimen pluviométrico. Existe una estrecha relación entre los mares interiores cálidos, como es el caso del Mediterráneo, que aportan carga de vapor y calor latente a la atmósfera, con la génesis de crecidas fluviales e inundaciones súbitas, desencadenadas por intensas precipitaciones en situaciones atmosféricas de gran inestabili-

dad vertical, como lluvias de origen frontal o tormentas convectivas locales y regionales.

De los grandes tipos climáticos identificables en el litoral mediterráneo español, buena parte de la franja costera puede definirse como *mediterráneo subtropical*, salvo las provincias de Almería y Murcia, pertenecientes al *mediterráneo subdesértico*. De otro lado, resulta destacable de cara a los objetivos que nos ocupan el hecho de que la evapotranspiración potencial supere a la precipitación en toda la cuenca mediterránea, lo que condiciona directamente la cubierta vegetal y por tanto la escorrentía del suelo y el aporte de sólidos al flujo.

En relación a los distintos fenómenos meteorológicos en el Mediterráneo, destacan los temporales invernales de lluvias frontales y las lluvias de tipo convectivo. Los temporales invernales de lluvias frontales tienen una duración de varios días y afectan principalmente a grandes cuencas. Es frecuente que produzcan daños materiales, pero raramente daños personales, dado que existe un tiempo suficiente de anticipación del fenómeno en el río que permite alertar a la población y establecer los adecuados mecanismos de protección civil. Las lluvias de tipo convectivo a media o gran escala son las denominadas *gotas frías* o *DANA*, frecuentes en el ámbito mediterráneo. Su desarrollo temporal no supera las 24 horas, pero su extensión puede llegar a cubrir grandes superficies. Se producen fundamentalmente en otoño y afectan sobre todo a las cuencas de tamaño medio, provocando daños materiales y, en ocasiones, víctimas mortales. Pero probablemente la lluvia de tipo convectivo a pequeña escala sea la situación atmosférica de nuestro ámbito más relacionada con las inundaciones. Se trata de las clásicas tormentas de verano, de alta intensidad, corta duración, apenas unas 2 o 3 horas, y extensión reducida. Se producen fundamentalmente en verano y provocan *flash floods*, crecidas relámpago, en pequeñas cuencas de montaña o en las cabeceras de los ríos. Estas crecidas son causantes, en ocasiones, de víctimas mortales, debido a su súbita presentación y al escaso o nulo tiempo de reacción disponible.

Otros factores, como son las crecidas nivales o las mareas vivas, si bien también existen en nuestro ámbito de estudio no son tan significativos comparativamente como para incorporarse a este análisis.

Con todo lo anterior, únicamente considerando la localización geográfica, y más allá de los lógicos contrastes internos, la región mediterránea se define como un espacio de especial vulnerabilidad por fenómenos meteorológicos extremos, con intensos periodos de sequía en los que se puede llegar casi a la total ausencia de



FIG. 2. Acumulación de sedimentos heterométricos, tras crecidas fluviales, en distintas obras de paso del arroyo Piletas (provincia de Málaga). Fotos del autor.

lluvias, y con episodios de aguaceros torrenciales en los que se concentra la baja pluviometría. Esto, junto al accidentado relieve, constituye un escenario de ocasionales y violentas avenidas, que luego se verá potenciado por la deforestación, la intervención urbanística o los intensos procesos erosivos. La red hidrográfica acogerá notables desproporciones entre caudales ordinarios y extraordinarios, y en muchos de los casos dará lugar a las ramblas, propias de la franja más sudoriental.

IV. EROSIÓN HÍDRICA, MOVIMIENTOS DE LADERAS E INUNDABILIDAD

Pero la torrencialidad pluviométrica, más allá de los caudales punta que origina, también da lugar a otra serie de resultados en el sistema fluvial de especial relevancia para las inundaciones, como son la erosión de suelos, el funcionamiento de los fenómenos de transporte y la producción de deslizamientos superficiales en las laderas de las cuencas y de flujos de derrubios en los canales torrenciales. Los eventos torrenciales son un importante sistema de transmisión de materia y energía en la cuenca, y definen un escenario hidrológico-hidráulico con una serie de características específicas tales como la difícil predictibilidad, los pequeños tiempos de respuesta del caudal punta, la alta capacidad erosiva y de transporte y la formación y colapso de presas naturales y artificiales. Todos estos procesos multiplican ya no solo la peligrosidad, sino también la vulnerabilidad de las cuencas fluviales que los acogen, pues, además, la espaciada diferencia temporal entre los eventos da lugar a que no resulten «esperables», e incluso que sea difícilmente reconocible en el terreno la existencia de los cauces y las formas geo-

morfológicas resultantes. Atendiendo a estas peculiaridades, y a la estrecha relación de la torrencialidad con otros riesgos asociados, comienza a ser evidente la necesidad de aplicar en el ámbito torrencial mediterráneo métodos de análisis y propuestas de gestión diferentes a los habituales, adaptados a dichas particularidades.

En el caso de la erosión hídrica, el aporte de sedimentación al flujo y el nivel de aterramiento del lecho explican, en gran medida, el calado y extensión de la lámina de inundación. Las avenidas de aguas limpias suelen evacuar sin excesivos problemas, en cambio, las catastróficas están frecuentemente relacionadas con importantes caudales sólidos. En los tramos medios y bajos de los cauces, al sedimentar, este aporte eleva progresivamente el lecho, reduciendo la capacidad de la vía de desagüe. Además, el proceso se retroalimenta, y a su vez la inundación provoca más erosión en determinadas partes del llano de inundación y en el propio cauce. Su ensanchamiento, la socavación de las orillas o las acanaladuras son fenómenos frecuentes durante las avenidas e inundaciones, que se asocian también a una pérdida de productividad de los suelos (AYALA y OLCINA, 2002). Junto a ello, se favorecen colapsos del drenaje, zappingo de laderas o inhabilitación de infraestructuras (ver figura 2).

V. DISPOSICIÓN Y MORFOLOGÍA DEL RELIEVE DEL LITORAL MEDITERRÁNEO: SISTEMAS FLUVIALES RESULTANTES

No solo por su régimen pluviométrico la cuenca mediterránea es lugar de extremos, sino también por los rasgos físicos del territorio. El litoral está configurado por el

encuentro de las placas continentales euroasiática y africana, presentando una plataforma continental estrecha, donde los relieves béticos y el resto de sistemas montañosos mediterráneos hacen de telón de fondo próximo a la costa. El relieve, en general muy montañoso y con una marcada orientación paralela a la costa, llega a presentar grandes desniveles, con un paisaje muy accidentado, interrumpido esporádicamente por valles aluviales, llanuras deltaicas y una estrecha franja litoral en donde se concentran la mayor parte de la población y la actividad económica.

Los ríos y arroyos mediterráneos, en sus cursos altos, aprovechan las líneas estructurales del relieve y los contactos litológicos con rocas más blandas y de inferior grado de compacidad, mientras que en sus cursos medios y bajos se encajan sobre materiales de sedimentación neógena, tales como limos, margas y areniscas, generando frecuentes glacis. En líneas generales se trata de cauces de escasa longitud y fuertes pendientes, que nacen ya próximos al mar. Allí donde se localizan los cauces tipo rambla, se favorece la formación de costas bajas en sus desembocaduras, por la enorme acumulación de materiales erosionados aquí depositados. Esto último es otra muestra muy expresiva del comportamiento y peligrosidad de la red fluvial desde el punto de vista de los riesgos naturales.

Atendiendo al análisis de los distintos tipos de sistemas y redes fluviales que aparecen en el ámbito de estudio, debe partirse de la distinción entre dos tipos de sistemas fluviales principales (SEGURA BELTRÁN y otros, 2002): autóctonos, con cuencas de escasa extensión superficial, que se desarrollan exclusivamente bajo características mediterráneas, con caudal efímero o directamente con comportamiento de rambla; y alóctonos, con caudal permanente y cuencas algo mayores, que nacen fuera del ámbito mediterráneo, con cierta variabilidad climática. Características comunes a ambos sistemas fluviales son la escasa cubierta vegetal, los suelos débilmente desarrollados, con importantes porcentajes de leptosoles, regosoles y antrososoles, la elevada permeabilidad de los materiales, principalmente calcáreos, y la densa ocupación antrópica de los llanos de inundación. El resultado de tales condicionantes es una rápida concentración del caudal, con hidrogramas bruscos, de súbita crecida, tipo *flash flood*, y tiempos de desfase de apenas unas pocas horas.

Los registros de caudales obtenidos en los ríos litorales mediterráneos arrojan resultados espectaculares. Entre los ríos alóctonos, el Turia en octubre de 1957 alcanzó un caudal instantáneo de 3.700 m³/s; el Júcar en

1982, más de 5.000 m³/s, con puntas de 15.000 m³/s; y el Segura en 1879 registró 1.980 m³/s (SEGURA BELTRÁN y otros, 2002). En cuanto a los ríos autóctonos, ramblas y torrentes, apenas vehiculan caudal después de las lluvias, y en estos casos la desproporción del hidrograma es aún más acusada. Las inundaciones provocadas por estas crecidas suelen ser, con mucho, más desastrosas, pues suelen coincidir con cauces ocupados debido a la falsa seguridad que provoca la ausencia de caudal.

En tales contextos, cabe distinguir tres tipos de redes, no necesariamente individualizadas en el territorio: una red de carácter dendrítico y jerarquizada en las cuencas más importantes; otra red también dendrítica y con cierta jerarquización, cuyos cauces, frecuentemente de morfología «rambla» presentan un régimen de caudales caracterizado por su gran variabilidad; y una red de arroyos de corto recorrido, perpendiculares al litoral, con fuerte pendiente y aportes esporádicos.

En líneas generales, y es un factor notable para explicar las frecuentes inundaciones, se trata de redes de drenaje muy densas y a la vez poco jerarquizadas, con predominio de pequeñas cuencas que fragmentan el territorio en un minucioso y escasamente organizado mosaico fluvial. Las cuencas extensas y jerarquizadas en torno a un río principal son las menos frecuentes, predominando las de tamaño medio, de drenaje estacional, y aún más las cuencas pequeñas, con funcionamiento de rambla, solo tras lluvias muy intensas. Son, además, cuencas cuyas pendientes longitudinales en las cabeceras superan fácilmente el 40% de pendiente media, y que en pocos kilómetros desembocan en zonas llanas y deltaicas, con bruscas rupturas de pendiente que aportan una fuerte susceptibilidad frente a las inundaciones (PITA LÓPEZ y otros, 1999).

Con todo lo anterior, y atendiendo fundamentalmente a las elevadas pendientes de las cuencas fluviales, debe concluirse que el modo en que se estructura el relieve del litoral mediterráneo es un importante condicionante del riesgo de inundación en la región. Paralelamente, es también un factor determinante para la erosión y producción de sedimentos, y para los movimientos en masa, todos ellos procesos asociados a la inundación.

VI. CAMBIOS FUNCIONALES Y MORFOLÓGICOS EN EL USO HUMANO EN EL LITORAL MEDITERRÁNEO

La indudable importancia estratégica y económica de la costa mediterránea española ha supuesto que desde

la década de los cincuenta del pasado siglo haya experimentado una creciente complejidad en su estructura, ocupación y funciones, con cambios intensos y acelerados. Su ubicación y características naturales y climáticas han actuado como imán turístico, residencial y económico. El proceso de litoralización que se ha dado en toda España, en la franja mediterránea ha tenido una relevancia aún mayor, y no solo relacionado con el turismo, sino también con la agricultura intensiva, las infraestructuras, las áreas comerciales y las deportivas (campos de golf, fundamentalmente). Así, en una muy estrecha franja de terreno, con evidentes limitaciones geomorfológicas y de capacidad de acogida, se ha producido una demanda de recursos territoriales difícilmente equiparable a otras regiones de Europa.

El sistema urbano que se ha generado cuenta con buena parte de los principales centros regionales de España, y una densa red de ciudades medias, con fuerte ritmo de crecimiento urbano, y que muy frecuentemente llegan a contactar entre sí, conformando un continuo urbano metropolitano que ha colmatado territorialmente extensos frentes litorales. Sin entrar en la afección que han sufrido los notables valores ambientales de la región mediterránea, se han producido muchas otras tensiones territoriales y ambientales, entre las que destacan los riesgos naturales, tanto desde el punto de vista de la peligrosidad como de la vulnerabilidad.

En la actualidad, el litoral mediterráneo no solo es el territorio con mayor inestabilidad y transformaciones territoriales de la península, sino también uno de los más dinámicos, estratégicos y productivos. En cualquier caso, la crisis inmobiliaria puso en evidencia lo que era una realidad ya desde el principio de este proceso: la insostenibilidad de su desarrollo y lo irreal del crecimiento económico, basado fundamentalmente en la construcción y el turismo residencial. La intensidad y rapidez de estos procesos ha generado patrones territoriales confusos, desorganizados y poco afines a la dinámica natural hidrológica e hidráulica de los espacios mediterráneos. La actividad humana ha actuado tanto induciendo el peligro, como generando exposición y vulnerabilidad frente a las crecidas e inundaciones (GALLEGOS, 2013).

VII. CONDICIONANTES DEL RIESGO ASOCIADOS A LOS USOS AGRARIOS DEL LITORAL MEDITERRÁNEO

Ancestralmente, el intenso aprovechamiento agrario en la montaña mediterránea ya la ha ido configurando

como un espacio peculiar, pues otras regiones con relieves similares no han sufrido tales usos y transformaciones. Una vez agotados los estrechos valles fluviales y vegas litorales, la agricultura se extendió por laderas con fuertes pendientes, incluso usando terrenos mal drenados, con problemas, entre otros, de insalubridad. Se usaron, por tanto, espacios de escasa aptitud agrícola y frecuentemente productores y/o receptores de riesgos naturales. Ya en los últimos años la evolución general ha sido hacia el abandono de buena parte de tales aprovechamientos, aunque no queda claro si este proceso ha supuesto un incremento o decremento en la producción de dichos riesgos, pues algunos autores citan, por ejemplo, que se origina un aumento de la pérdida de suelo, mientras que otros aseguran que la vegetación natural arbustiva o herbácea que ocupa los antiguos labrados le protege mejor que su uso anterior (GALLEGOS y PERLES, 2019). En cualquier caso, la recolonización o no por parte de la vegetación y el modo en que evoluciona la erosión potencial y la producción de sedimentos están estrechamente relacionados con las condiciones climáticas, que sí es cierto que pueden considerarse escasamente favorables en la región mediterránea.

En la actualidad el uso agrario ha quedado relegado a los tramos medio o alto de las cuencas fluviales, apareciendo tres estadios diferentes: espacios agrícolas tradicionales, espacios agrícolas tradicionales abandonados y nuevas agriculturas. Estas últimas han constituido uno de los factores explicativos del desarrollo productivo y territorial de la costa mediterránea. Aparecen en la segunda mitad del siglo XX, gracias a avances técnicos en el campo de la agronomía, como el descubrimiento de la potencia de los freáticos litorales y las excelencias del clima para la propiciar la precocidad productiva (MONIZ y otros, 2005). Comienzan a desarrollarse las agriculturas intensivas bajo plásticos y los cultivos exóticos, muy competitivos en mercados exteriores, extendiéndose hasta la actualidad por hoyas y llanuras mediterráneas. Estas agriculturas intensivas, que han podido competir con el proceso urbanizador y permanecer, se han tecnificado, obteniendo altos rendimientos en ámbitos donde la topografía y los recursos edáficos e hídricos deberían ser limitantes, llegando a extenderse incluso por laderas con pendientes progresivas y cotas elevadas. No obstante, más allá de la superficie directamente ocupada, precisa de importantes infraestructuras viales e industrias auxiliares, generando modelos territoriales complejos. Además, los invernaderos han producido dos efectos destacables para los riesgos naturales: la impermeabilización del suelo y los aterrazamientos bruscos.

Paralelamente a la irrupción y desarrollo de las nuevas agriculturas, los aprovechamientos tradicionales, fundamentalmente cultivos de secano en laderas, se han ido abandonando, dejando espacios yermos, si bien no deja de ser cierto que ocupan aún un destacado porcentaje de la región.

En resumen, el uso agrario en los tramos altos de las cuencas fluviales conlleva una frecuente ruptura del frágil equilibrio de los ecosistemas del monte mediterráneo, fundamentalmente relacionado con la erosión e incorporación de sólidos al caudal. En tramos medios, se relaciona con la exposición a las inundaciones. Son altamente vulnerables a las crecidas por la pérdida de bancales arrastrados por el agua, y altamente peligrosos por las rápidas modificaciones que introducen en la dinámica fluvial, así como por la incorporación al caudal de elementos procedentes de la actividad agraria, movilizados por la zapa de terrazas y márgenes cultivados. De igual modo, en tramos bajos dan lugar a una elevada exposición frente al riesgo de inundación.

VIII. CAMBIOS EN LA MORFOLOGÍA Y DINÁMICA FUNCIONAL DEL LITORAL MEDITERRÁNEO: POBLAMIENTO Y LITORALIZACIÓN

Otros dos grupos de factores del medio humano directamente relacionados con la producción del riesgo de inundación son la población y el poblamiento, y para el caso que nos ocupa debe hacerse referencia al modo acelerado e intenso en que han actuado. Junto a esto, la morfología del patrón de poblamiento en la región mediterránea tiene unas peculiaridades, igualmente condicionantes del riesgo, como son la litoralización y la periurbanización.

1. CRECIMIENTO POBLACIONAL INTENSIVO, LITORALIZACIÓN Y GENERACIÓN DE ÁREAS CAUSALES Y RECEPTORAS DE RIESGO

El litoral mediterráneo se caracteriza por el intenso crecimiento poblacional que ha venido soportando desde hace varios decenios y de manera sostenida hasta 2008, cuando el estallido de la crisis inmobiliaria en España, primero, y la nueva crisis económica a raíz del COVID-19, posteriormente, han frenado y frenarán su evolución durante un periodo prolongado de tiempo. Buena parte de este crecimiento se ha debido a los procesos migratorios. Pero más allá de la población de derecho,

el enorme crecimiento de la actividad turística durante los últimos cuarenta años ha supuesto incrementos aún más notables de población estacional, lo que conlleva un enorme aumento de infraestructuras, tanto de alojamiento (hoteles, apartamentos y alojamientos rurales) como de servicios.

Paralelamente a la evolución poblacional, y en buena parte dependiente de ella, se ha ido configurando un patrón territorial con unas características muy definidas y estrecha relación con la producción de los riesgos naturales. Los tradicionales pueblos litorales, normalmente con modestas poblaciones asentadas a ambos márgenes de la carretera de la costa o bien pequeños asentamientos pesqueros, han sufrido una intensa transformación de orientación turística y residencial, o por simple inercia económica. A efectos del análisis que interesa para este estudio, la descripción del poblamiento de la franja mediterránea se ha centrado con mayor interés en el proceso de litoralización del último cuarto del siglo XX. Es a raíz de aquí cuando comienza a cambiar de manera notable y acelerada el paisaje urbanístico e incluso geomorfológico del litoral mediterráneo español. Desde entonces han crecido y se han multiplicado los núcleos costeros, desligándose de sus funciones pesqueras o portuarias y acogiendo las funciones turísticas, de segunda residencia y de nuevas agriculturas. La agricultura tradicional pasa a tener un uso residual, y con su abandono aparecen nuevos espacios degradados, en los que la periurbanización tendrá una primera puerta de entrada para su desarrollo paralelo a la litoralización. Otro efecto de la litoralización es la aparición de nuevos núcleos costeros o el desarrollo desproporcionado de antiguas barriadas que terminan superando en población y poblamiento a sus núcleos de cabecera históricos, dispuestos algunos kilómetros al interior habitualmente por razones de protección frente a las inundaciones.

El desarrollo urbano no solo se extiende por la franja litoral, sino que en fases posteriores también lo hará laderas arriba, por las sierras litorales, una vez que se ha agotado el frente costero. Con ello ya no solo se está incrementando la exposición y vulnerabilidad, esto es, las áreas receptoras, sino también se están creando nuevas áreas causales. A la vez, se comienzan a ocupar los espacios intersticiales con poblamiento difuso y urbanizaciones turísticas o de segunda residencia, pero, en cualquier caso, aislados y desvinculados de las infraestructuras de los núcleos cabecera. Los únicos espacios que quedan libres de ocupación son los espacios agrícolas que mantienen su rentabilidad o las superficies que pertenecen a espacios naturales protegidos por las administraciones

autonómicas, que, no obstante, tienen escasa representación en la franja litoral mediterránea.

2. ANÁLISIS DE LAS DISTINTAS FASES DEL PROCESO DE LITORALIZACIÓN

Tomando como referencia inicial el denominado «vuelo americano» de 1956-1957, del Servicio Cartográfico del Ejército e Instituto Geográfico Nacional, la evolución del poblamiento en el litoral mediterráneo entre dicha fecha y la actualidad puede dividirse en cuatro fases diferenciadas.

Entre 1956 y 1977 comienza a definirse el modelo de desarrollo urbano. García García (2017) describe así esta fase:

El régimen franquista apostó por el turismo como forma de obtener los ingresos necesarios para equilibrar la balanza de pagos. La promulgación de la Ley 197/1963, de Centros y Zonas de Interés Turístico Nacional, supuso vincular por primera vez los objetivos de desarrollo económico al desarrollo turístico mediante una pretendida política de ordenación del territorio [...]. Se promocionaron determinados enclaves litorales con una única perspectiva de explotación turística, sentando de tal modo las bases de la urbanización del litoral que llegaría con mayor virulencia años más tarde. [...] Así, en 1970 los ingresos por turismo en España eran los segundos más altos del mundo en términos absolutos, tras Estados Unidos. Para entonces España se había convertido en el balneario de una Europa industrializada que inundaba las playas mediterráneas y los archipiélagos, gracias a las vacaciones pagadas de los nuevos estados de bienestar. Esta política supuso grandes costes ambientales, provocó el desequilibrio del modelo productivo del país y la privatización y urbanización de amplias zonas del litoral. Se abandonaron las tradicionales actividades productivas primarias para dejar paso a otras vinculadas a la prestación de servicios, pasando así a ser más dependientes de los inversores internacionales al mismo tiempo que se producía una concentración de la población y los recursos económicos en las áreas costeras. Estábamos ante una primera litoralización, denominada por algunos autores como la invasión pacífica. (GARCÍA GARCÍA, 2017, 273)

Entre 1977 y 2001 se intensifica la ocupación del litoral, manteniendo los focos de desarrollo territorial que ya se empezaban a dibujar en la anterior fase. Numerosos municipios explotan el valor paisajístico y la hasta entonces baja densidad edificatoria, para incrementar notablemente su desarrollo urbanístico. Otras zonas, no obstante, aún presentan valores de crecimiento muy bajos.

Desde el inicio del presente siglo, en amplias regiones del litoral mediterráneo comienzan a colmatarse los pocos espacios libres en la primera línea de costa, llegando a extenderse también por laderas abruptas de las sierras litorales, todo ello con especial relevancia para

el incremento de los riesgos naturales. En las zonas más constreñidas por las sierras litorales el poblamiento llega a concentrarse en deltas y depósitos aluviales de ríos y ramblas, lo que ha conllevado ya importantes tragedias por inundaciones, como la acaecida en La Rábida en 1973. La práctica totalidad del litoral mediterráneo ha crecido por encima del 10% en este periodo, y en determinadas zonas, como la costa occidental malagueña, se llega a duplicar la superficie urbanizada en muchos de sus municipios.

Finalmente, y desde 2007 hasta la actualidad, se produce una importante ralentización del crecimiento económico y el desarrollo urbanístico. Esta desaceleración no está directamente relacionada con el turismo, pues éste resiste aceptablemente a la situación de crisis, pero sí con el modelo de inversiones en segundas residencias y apartamentos, y con el fin de la fase expansiva económica en las Administraciones locales. Las zonas con mayor dinámica urbanizadora mantienen lentos crecimientos por la inercia de los desarrollos ya iniciados.

3. LA URBANIZACIÓN DIFUSA Y LA ALTERACIÓN DE LOS EQUILIBRIOS DEL TERRITORIO

Como se ha citado con anterioridad, ha sido el desarrollo turístico el principal impulsor del cambio de modelo de poblamiento en el litoral mediterráneo. Las primeras localizaciones turísticas surgen alrededor de algunos núcleos urbanos tradicionales, que rápidamente cambian su fisonomía, destacando la aparición de las grandes urbanizaciones turísticas y residenciales, aupadas por el éxito de la segunda residencia, que para el caso concreto de los municipios litorales de Andalucía han llegado a suponer más del 60% de las existentes en toda la comunidad. Solo a raíz de la crisis, desde el año 2007, se modifica bruscamente esta evolución, bajando a cifras de urbanización de 1992 (JUNTA DE ANDALUCÍA, 2015).

De especial relevancia en todo este proceso ha sido el modelo de urbanización difusa, basado en urbanizaciones aisladas de difícil integración con la estructura urbanística municipal. Han requerido de grandes inversiones en infraestructuras, y han desestructurado los paisajes y sistemas naturales, fragmentando el territorio y haciendo aparecer la peligrosidad y vulnerabilidad donde antes existía equilibrio entre los procesos naturales y antrópicos. Se han situado además frecuentemente en la orla cabecera del litoral, en una posición especialmente complicada en relación con los riesgos naturales, por tratarse de áreas causantes.

La paralización de esta dinámica con la crisis económica no ha supuesto aún una readaptación del modelo y una modificación de los planeamientos urbanísticos y territoriales. Sí ha aparecido, por el contrario, en la comunidad autónoma andaluza, alguna normativa que a modo de emergencia pretende evitar la colmatación de todo el litoral andaluz, pero su efectividad no será real si no se acompaña de nuevos modelos en la ordenación técnica y gestión del territorio y de sus procesos naturales.

4. MORFOLOGÍAS RESULTANTES EN LAS ÁREAS RURALES Y EN LOS NÚCLEOS URBANOS

Las morfologías resultantes de las anteriores dinámicas se expresan en las áreas rurales con campos frecuentemente tachonados de construcciones dispersas, muchas de ellas emplazadas en promontorios o en el centro de amplias parcelas cultivadas, lo que hace aún más notable su impacto sobre el paisaje. Las afecciones territoriales por estas alteraciones en el interior de las cuencas mediterráneas se están dando actualmente, además, de manera bidireccional, pues a la par que siguen apareciendo estos usos urbanísticos aislados, también se está produciendo desde hace algunas décadas un abandono de las poblaciones diseminadas y núcleos rurales más pequeños. Las peores condiciones de vida en el ámbito rural y su consecuente abandono han supuesto a su vez una pérdida significativa del patrimonio rural que había acumulado, así como se convierte en un factor activador de la erosión y degradación de suelos y paisajes.

Los núcleos urbanos, por su parte, también han sufrido rápidas modificaciones en su morfología (BURRIEL, 2008), si bien la debilidad de una economía poco dinámica, al menos en relación a lo acelerado de su crecimiento, y con importantes insuficiencias estructurales, ha dado lugar a ensanches y espacios urbanos fragmentados y con tramas heterogéneas que mezclan barrios burgueses con sectores de viviendas de autoconstrucción y chabolas. Junto a este proceso ha existido una expansión más sistemática y regular de las áreas periurbanas de las ciudades a partir de los años sesenta, por las aportaciones de la política de viviendas sociales, con la aparición de los denominados barrios, barriadas y polígonos.

La aparición del planeamiento urbanístico, con su progresivo desarrollo normativo, ha sido tan bienintencionado como sistemáticamente incumplido, siendo ineficaz para lograr un crecimiento urbano ordenado y compacto (GAJA I DÍAZ, 2008). En los últimos años del siglo XX se avanza en la estructuración funcional de los

entornos periurbanos, pero precisamente en estos años, y en los primeros del siglo XXI, el desarrollo urbanístico y turístico alcanza cotas tales que ni aun la profusa regulación normativa es capaz de hacer frente al nuevo fenómeno (GARCÍA GARCÍA, 2017). El entorno de la ciudad se transforma en un espacio de cambios dinámicos y morfológicos acelerados y desorganizados, con escasa o nula sintonía con las condiciones de riesgo subyacente al territorio que se ocupa.

En conclusión, la franja mediterránea ha sufrido una fuerte transformación o ruptura de equilibrios naturales y territoriales. Esta transformación ha sido rápida, desordenada e intensa, generando, precisamente a causa de ello, patrones con una dinámica y morfología muy definidos y concretos para la región, apareciendo un modelo basado en la ocupación masiva del frente costero, con proliferación de urbanizaciones y áreas comerciales, y construcción de grandes infraestructuras, en especial viarias, que con frecuencia invaden e interrumpen el dominio público hidráulico. De igual modo, la ocupación urbanística de laderas con fuertes pendientes próximas al mar, unido a la creciente deforestación, ha acelerado en mayor grado los procesos erosivos e incrementado más notablemente la vulnerabilidad y peligrosidad natural por inundación y deslizamientos. Las áreas causantes de la peligrosidad se entremezclan así de forma desordenada con las áreas receptoras, dificultando la estructuración del modelo espacial de mitigación y gestión del riesgo.

IX. CASO DE ESTUDIO: ANÁLISIS DE UNA CUENCA LITORAL MEDITERRÁNEA EN LA PROVINCIA DE MÁLAGA

Con el objetivo de plasmar lo anterior de manera empírica, los aspectos ya señalados de manera genérica para el litoral mediterráneo español han sido analizados para la cuenca del arroyo Piletas (ver figura 1), situada en el término municipal del Rincón de la Victoria (Málaga). En relación a la pluviometría, el valor medio anual de las máximas lluvias diarias en la cuenca es de 66 l/m², y para un periodo de retorno de 10 años resulta una cantidad de 105,32 l/m². Ambas cifras dibujan un claro escenario de torrencialidad que necesariamente se reflejará tanto en las inundaciones como en los procesos erosivos y en los movimientos de ladera. A ello deben sumarse las características del proceso de transformación de lluvia en escorrentía, resultantes de la combinación de los parámetros morfológicos, climatológicos, litológicos, edafológicos y de usos del suelo, que dan como resultado un umbral de

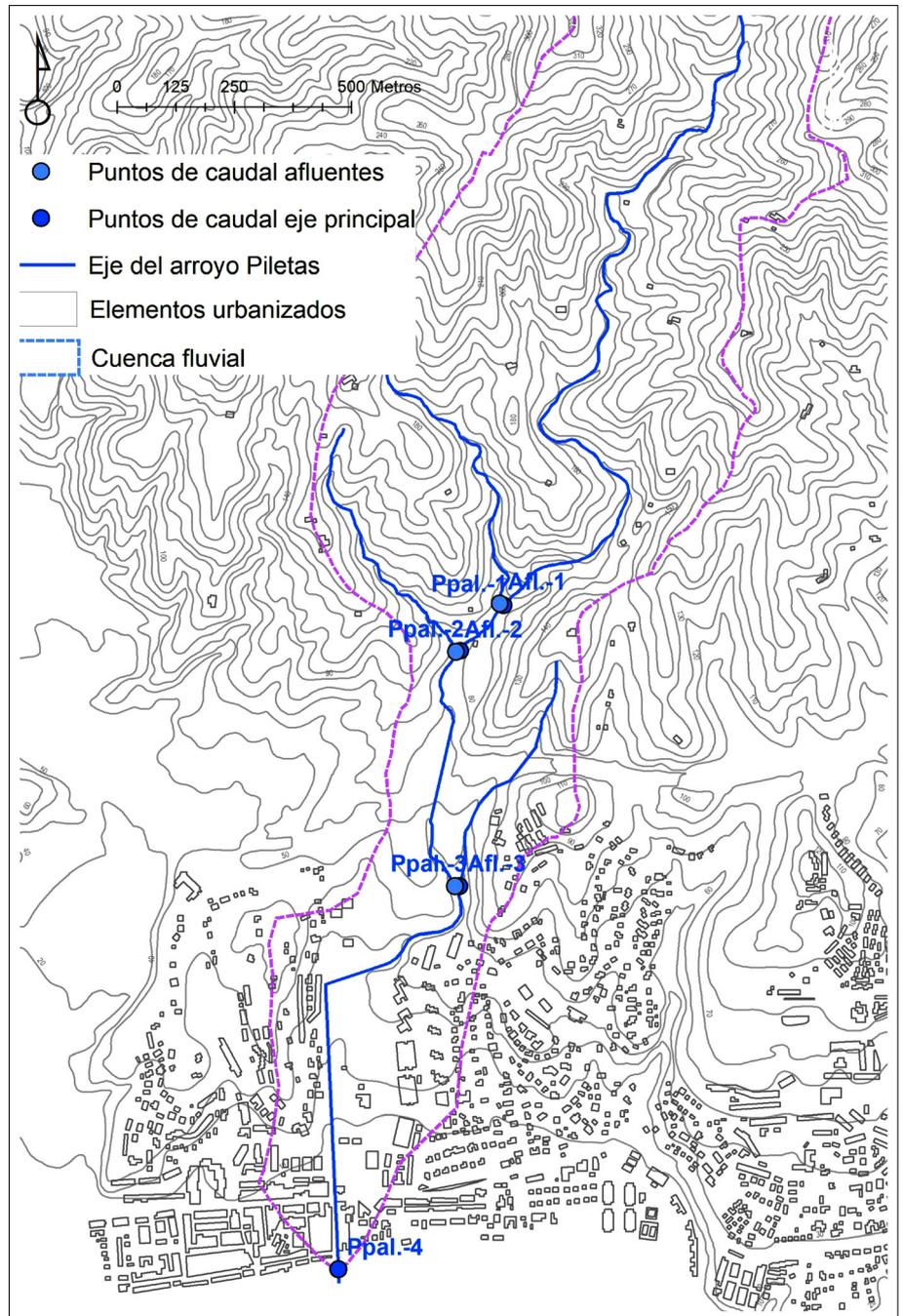


FIG. 3. Red fluvial y puntos de caudal usados para los análisis hidrológico e hidráulico del arroyo Piletas. Elaboración propia.

escorrentía en la cuenca de apenas 25 l/m^2 , un coeficiente de escorrentía para un periodo de retorno de 10 años de 0,37 y un tiempo de concentración de tan solo 75 minutos (ver figura 3 y cuadro I). Ello se debe a la litología de materiales metamórficos de baja permeabilidad, la escasa potencia de suelos, la falta de cubierta vegetal y la

existencia de numerosas tierras agrícolas abandonadas y suelos urbanos o en proceso de urbanización.

Por otra parte, el comportamiento hidráulico de la cuenca de estudio resulta efímero e intermitente, y el caudal máximo para un periodo de retorno de 500 años es de $28,45 \text{ m}^3/\text{s}$, para una extensión superficial de apenas $1,6 \text{ km}^2$.

CUADRO I. *Parámetros hidrológicos, morfométricos e hidráulicos en la cuenca de estudio (cauce principal y afluentes) para los periodos de retorno de 10 y 500 años. Elaboración propia*

	Cauce principal				Afl. 1	Afl. 2	Afl. 3
	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 1	PC 1	PC 1
Periodo de retorno de 10 años							
Precipitación total diaria (l/m ²)	105,3	105,3	105,3	105,3	105,3	105,3	105,3
Superficie (km ²)	0,77	0,96	1,16	1,53	0,17	0,1	0,09
Longitud cauce (km)	2.009	2.145	2.700	3.736	831	627	562
Cota cabecera (km)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,26	0,19	0,14
Cota intersección (km)	0,09	0,08	0,04	0	0,09	0,08	0,04
Desnivel (km)	0,31	0,32	0,36	0,4	0,17	0,11	0,1
Pendiente media (%)	15,43	14,92	13,33	10,71	20,46	17,54	17,79
Tiempo de concentración (horas)	0,73	0,77	0,94	1,25	0,35	0,29	0,27
Intensidad media de la precipitación correspondiente al Tc (mm/h)	46,93	45,6	40,89	34,85	68,74	75,45	78,13
Umbral de escorrentía Po (l/m ²)	16,82	21,6	22,91	25,39	81,6	93,4	21,6
Coefficiente de escorrentía	0,52	0,43	0,41	0,37	0,05	0,02	0,43
CAUDAL (m ³ /s)	6,55	6,58	6,88	7,14	0,2	0,05	1,02
Periodo de retorno de 500 años							
Precipitación total diaria (l/m ²)	238,7	238,7	238,7	238,7	238,7	238,7	238,7
Superficie (km ²)	0,77	0,96	1,16	1,53	0,17	0,1	0,09
Longitud cauce (km)	2.009	2.145	2.700	3.736	831	627	562
Cota cabecera (km)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,26	0,19	0,14
Cota intersección (km)	0,09	0,08	0,04	0	0,09	0,08	0,04
Desnivel (km)	0,31	0,32	0,36	0,4	0,17	0,11	0,1
Pendiente media (%)	15,43	14,92	13,33	10,71	20,46	17,54	17,79
Tiempo de concentración (horas)	0,73	0,77	0,94	1,25	0,35	0,29	0,27
Intensidad media de la precipitación correspondiente al Tc (mm/h)	106,37	103,35	92,67	79	155,79	171,01	177,09
Umbral de escorrentía Po (l/m ²)	16,82	21,63	22,91	25,39	81,60	93,40	21,60
Coefficiente de escorrentía	0,77	0,7	0,69	0,65	0,26	0,22	0,7
CAUDAL (m ³ /s)	21,99	24,28	26,26	28,45	2,34	1,27	3,77

CUADRO II. *Erosión hídrica (RUSLE y MUSLE) y aporte de sólidos al flujo de inundación según propuesta metodológica de Gallegos y Perles (2020). Elaboración propia*

	Cauce principal				Afl. 1	Afl. 2	Afl. 3
	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 1	PC 1	PC 1
RUSLE							
Erosión potencial media (toneladas/ha·año)	159,8	130,1	120	101,5	59,9	43,2	46,8
Erosión potencial (toneladas/año)	12.304	12.489	13.920	15.529	1.018	432	421
MUSLE (PR 500 años)							
Volumen total escurrido (m ³) para el evento pluviométrico considerado - Q	160.254	192.345	230.117	297.656	21.897	11.869	18.036
Producción total de sedimentos, en toneladas	36.310	62.637	96.643	149.112	7.534	2.270	12.368
Producción media de sedimentos, en toneladas por hectárea	472	652	833	975	443	227	1.374
Sedimentos en el flujo (kg/m ³)	227	326	420	501	344	191	686
Producción de sedimentos, en m ³	13.014	22.451	34.639	53.445	2.700	814	4.433
m ³ de sedimentos por m ³ de agua	0,08	0,12	0,15	0,18	0,12	0,07	0,25
% sedimentos en el flujo	8,12	11,67	15,05	17,96	12,33	6,86	24,58

CUADRO III. *Porcentaje de superficie de la cuenca que cambia de aprovechamiento del suelo entre las fechas 1956 y 2020. Elaboración propia*

	1956→1999	1999→2003	2003→2020
No varía	63,1 %	55,7 %	98,8 %
Áreas naturales a agrícolas	4,2 %		
Áreas agrícolas a naturales			1,2 %
Áreas agrícolas a suelo urbano e infraestructuras	21,4 %	11 %	
Áreas naturales a suelo urbano e infraestructuras	11,5 %	33,4 %	

La morfología fluvial es coincidente con la descripción ya hecha de forma general para las cuencas del litoral mediterráneo, con importantes pendientes y una estrecha llanura litoral debido a la proximidad de los relieves montañosos al mar. Con ello, tendencia al encajamiento de los cauces y abarrancamiento de las laderas, favorecido además por la situación de rexistasia de la cuenca a causa la deforestación sufrida, primero para el aprovechamiento agrícola y posteriormente para usos urbanísticos. Como resultado tenemos vías de rápido desagüe, tal como indica no solo la geomorfología de los cauces, sino también la presencia de sedimentos heterométricos y de un cono de deyección en el punto de ruptura de pendiente entre la montaña y la llanura aluvial (YUS RAMOS y otros, 2004).

Otro aspecto destacable de la cuenca es la elevada erosión hídrica y el aporte de sólidos al flujo. La RUSLE da un resultado de 101 toneladas por hectárea, y según la MUSLE, para un evento tormentoso concreto, con periodo de retorno de 500 años, la cuenca produce 149.112 toneladas de partículas de suelo. Para excluir el condicionante de extensión superficial y llegar a comprender la importancia de esta carga sedimentaria en el flujo, resulta más expresivo conocer que esto supone un porcentaje del 18 % de sedimentos sólidos en el flujo (ver cuadro II), según metodología propuesta por Gallegos y Perles (2020) de valoración de sólidos en el flujo de inundación.

Además, y en estrecha interrelación, se pueden identificar numerosos deslizamientos de laderas anexas a los cauces, normalmente por descalce o socavación de estas. Allá donde se producen estos movimientos se incrementa también notablemente el aporte de sólidos al flujo, pero en esta ocasión con una movilización de suelo mayor y un carácter más heterométrico, lo que aumenta la probabilidad de colapso (GALLEGOS y PERLES, 2020).

En general, los procesos de erosión-transporte-sedimentación presentan una estrecha dependencia de la situación de los usos y aprovechamientos del territorio, y en particular, de la adecuación del uso y de la eficacia de las cubiertas en su función de protección de los suelos frente

a la erosión. Este es el factor fundamental que explica la importante generación de sedimentos en la cuenca, donde suelo urbano e infraestructuras alcanzan el 24,3 % del total superficial, y las zonas en proceso de transformación suman un 54,5 % más, restando únicamente un 21,2 % del suelo con usos no urbanos. En este escenario de transformación, los depósitos, excavaciones, rellenos y vertidos de depósitos de inertes son frecuentes, y su movilización es inevitable incluso sin necesidad de un evento tormentoso.

En relación al patrón y desarrollo urbanístico de la cuenca, este está ligado al surgimiento de los procesos de rururbanización de los años sesenta y setenta del pasado siglo, por difusión urbana desde Málaga capital. Esto se ha producido principalmente asociado al modelo de disociación entre el lugar de residencia y el lugar de trabajo o los lugares de ocio. Resulta destacable que uno de los principales objetivos impulsores del fenómeno de difusión urbana fuese el afán por encontrar espacios abiertos y ambientes más gratos que los de la capital, y que estos, a día de hoy, por la presión demográfica y urbanística, estén aún por debajo de aquellos en calidad de vida. Por otro lado, la agricultura tradicional de secano ha dejado de ser el soporte de la región, y ha sido sustituida por una nueva economía basada en la construcción y los servicios (ver cuadro III).

Este crecimiento urbanístico ha constreñido los arroyos y eliminado sus vías de flujo preferente y zonas de inundación (ver figura 5); y desde un punto de vista humano, ha generado ya no solo exposición de bienes y personas, sino también una importante vulnerabilidad por traer población que desconoce el funcionamiento de estos sistemas fluviales. De otro lado, el desarrollo se ha realizado siguiendo la lógica costera, y, por tanto, transversalmente a los ejes fluviales, que se ven interrumpidos ya no solo por la disposición de las urbanizaciones, sino especialmente también por la de los ejes viales. Esto ha generado numerosos puntos de encuentros e interferencias con las direcciones de drenaje.

La colmatación de la cuenca hasta su misma cabecera (ver figura 4) ha implicado una permeabilización del te-

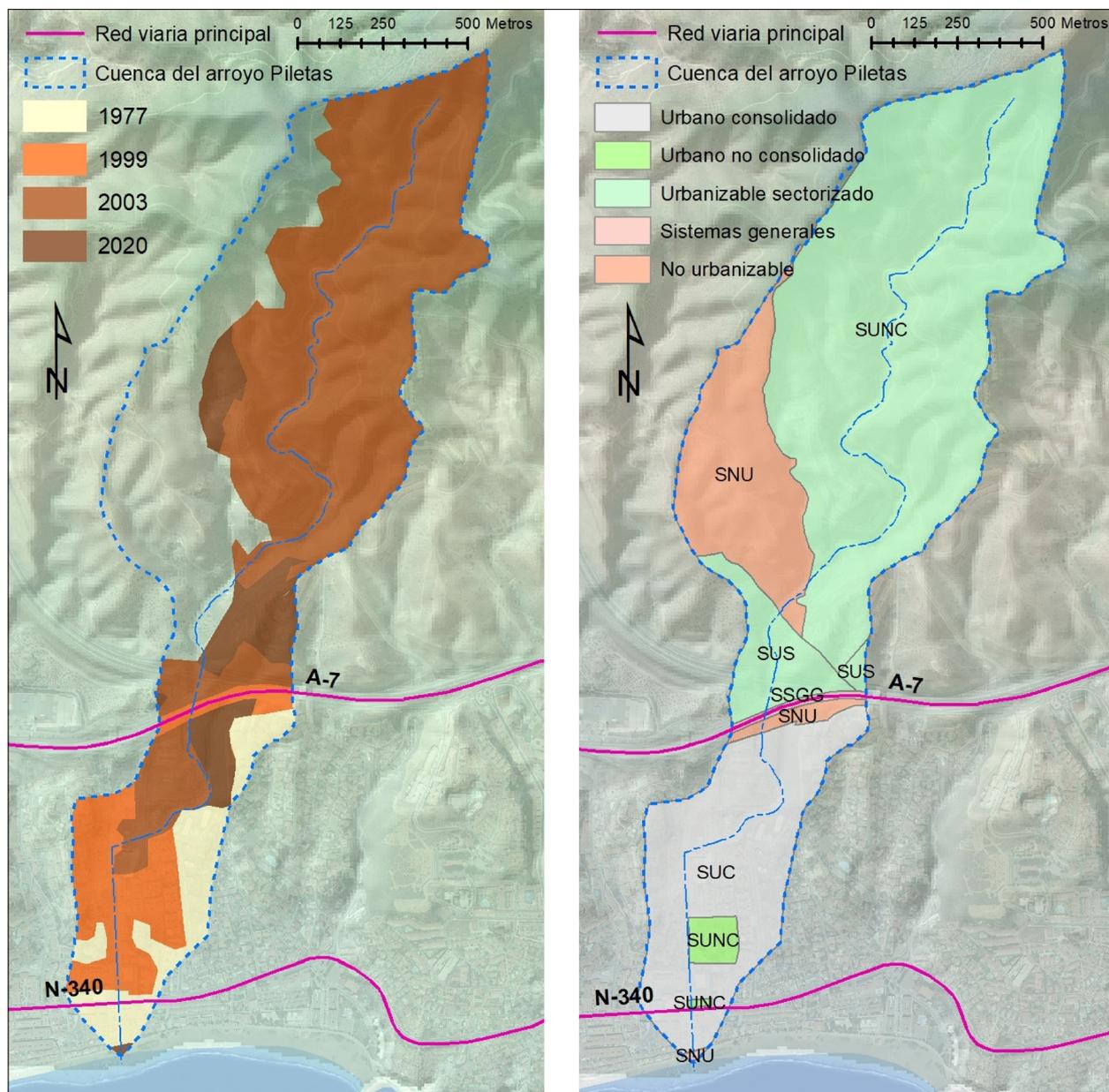


FIG. 4 . A la izquierda, evolución del suelo urbano en la cuenca entre 1956 y 2020. A la derecha, clasificación del suelo del Plan General de Ordenación Urbana del Rincón de la Victoria. Elaboración propia.

territorio que altera notablemente los esquemas de producción de escorrentía con los que han sido calculadas las obras hidráulicas, inservibles desde el mismo momento en que se ejecutan los desarrollos urbanísticos para los que se diseñaron.

En relación a la situación urbanística, el patrón territorial que el planeamiento ha diseñado para la zona, lejos de ser preventivo, enmascara, ignora e incluso propicia

el riesgo de inundación. Además, los frecuentes cambios legislativos en materia ambiental y urbanística en la comunidad autónoma andaluza y la inadecuada gestión administrativa local han dado lugar frecuentemente a la existencia de planeamientos urbanísticos desfasados e inadecuados para la gestión de los riesgos naturales en el nuevo escenario urbanístico y de cambio climático. Así, el Plan General de Ordenación Urbanística del mu-

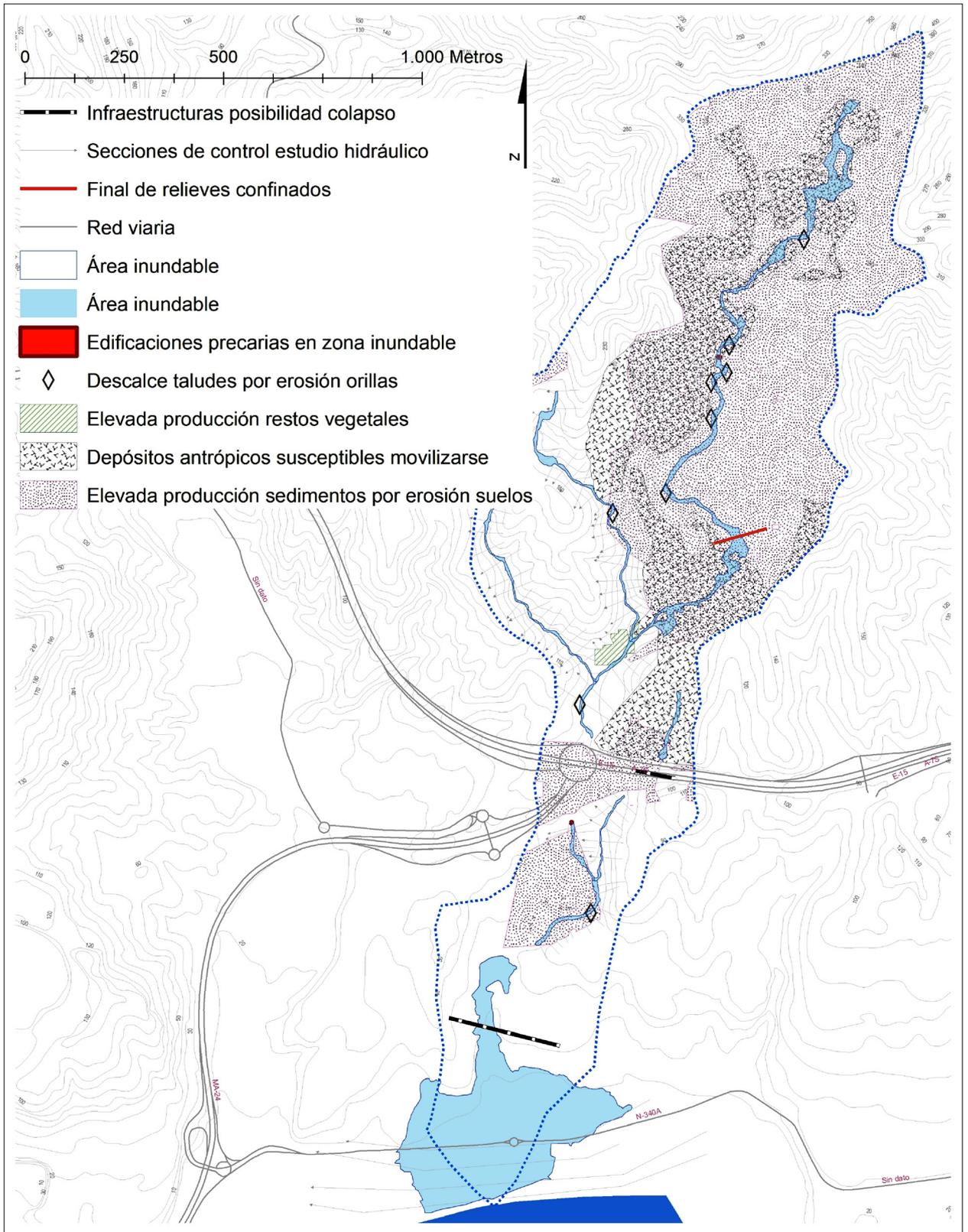


FIG. 5. Superficie inundable y áreas emisoras de peligrosidad en el área de estudio. Elaboración propia.

inicio de Rincón de la Victoria es del año 1991. Desde 2011 dispone de un planeamiento en aprobación inicial (ver figura 4), pero no habiendo alcanzado la aprobación definitiva, y con la llegada del Decreto-ley 31/2020 de evaluación ambiental estratégica del planeamiento urbanístico (JUNTA DE ANDALUCÍA, 2020), debe ahora empezar nuevamente desde cero el proceso de renovación del planeamiento municipal.

El PGOU vigente no establece determinaciones específicas para el drenaje desde la consideración de su funcionamiento sistémico. Los terrenos adscritos a la red hidrográfica se clasifican y califican de igual manera que los suelos por los que discurren, posponiendo su adecuación al momento en que se realicen los planes de desarrollo. Estos, posteriormente, proponen soluciones puntuales y aisladas sin criterios uniformes de intervención, y sin contemplar los efectos acumulativos o las repercusiones sobre el régimen hídrico de los cauces (JUNTA DE ANDALUCÍA, 2004). Y la aprobación inicial del PGOU de 2011, aunque ya sí precisaba algo más en relación a la red hidráulica del municipio, mejorando la identificación y delimitación de los cauces, no parecía cambiar sustancialmente el enfoque anterior, pues como soluciones planteaba medidas de tipo estructural, como trasvases de cuenca o ampliación de canalizaciones. Además, en cuanto al modelo urbanístico, se optaba por un desarrollo extensivo al norte de la autovía, consolidando de tal modo la trayectoria del PGOU anterior, que ha sido causante de graves inundaciones y daños económicos.

X. CONCLUSIONES: ORIENTACIONES PARA EL ANÁLISIS ESPECÍFICO DE LA INUNDABILIDAD EN LA ORDENACIÓN TERRITORIAL DE REGIONES MEDITERRÁNEAS

Atendiendo a todo lo expuesto en el apartado de resultados, cabe presentar como conclusión una serie de orientaciones para la mejora del análisis de las inundaciones y de su gestión en esta región. A nivel técnico y administrativo se observa una ausencia de regulación que trate el fenómeno desde un punto de vista territorial y considerando causas y efectos, esto es, lugares de origen y aparición de la peligrosidad (ver figura 5). En regiones como la mediterránea, con su particular caracterización y sus destacados factores de incremento del riesgo esto se hace especialmente necesario.

Fundamentalmente debería abordarse la revisión, específica para regiones mediterráneas, del modelo hidrológico-hidráulico exigido por la Administración para

incorporar las áreas potencialmente inundables al planeamiento urbanístico y territorial. Este ha mostrado su ineficacia, lo que ha conllevado a la exigencia del sobredimensionado en el análisis de los caudales mediante el uso de parámetros muy superiores a los estimados. Así, además de considerarse en España un periodo de retorno de 500 años, frente a los 50-200 años habituales en otros países, se incorporan una serie de condicionantes en el análisis del umbral de escorrentía para elevar la lámina resultante. Pero aun de tal modo, con frecuencia las láminas modelizadas subestiman la lámina real resultante cuando se producen los eventos tormentosos, de modo que el análisis de la peligrosidad fluctúa entre la sobrestimación y la subestimación de la lámina según la zona o el arroyo considerado, con un grado de error e incertidumbre mayor del que deberíamos asumir. Por todo ello, parece necesario reajustar el análisis de la inundabilidad en zonas mediterráneas, y según la caracterización vista dicho reajuste debería recoger aspectos importantes como las peligrosidades asociadas a la inundación, fundamentalmente erosión de suelos y deslizamientos de laderas. Estas peligrosidades se condicionan bidireccional y sinérgicamente entre sí, retroalimentándose y produciendo previsiblemente importantes diferencias en la extensión, velocidad y calado de la inundación con respecto a las láminas resultantes mediante el estudio hidrológico-hidráulico tradicional. La cuantificación de los residuos sólidos en el flujo sería un aspecto principal, y podría realizarse mediante el uso de la formulación MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) y su transformación en volumen (GALLEGOS y PERLES, 2020).

Dicha mejora cartográfica debería incorporar también otras áreas emisoras o causantes de peligrosidad, como pueden ser zonas de cambio brusco en la dinámica del flujo, infraestructuras con posibilidad de socavación o colapso, edificaciones precarias en zonas inundables o posibles focos de contaminación. Con ello también se refuerza el papel de la gestión preventiva ya desde el análisis de la peligrosidad. Y debería asimismo considerar el funcionamiento sistémico y asociado de todos estos procesos, tanto desde un punto de vista espacial como temporal. Estas incorporaciones mejorarían el conocimiento y las magnitudes reales de la inundación en el contexto espacial de trabajo, lo que sería de gran utilidad tanto en el planeamiento del sector como en la posterior gestión.

De igual modo, desde un enfoque preventivo, el análisis y seguimiento de los cambios en los usos del suelo deberían ser prioritarios para diagnosticar tendencias en los procesos de escorrentía y erosión de suelos (DURÁN y

PONS, 2021; CAMARASA y otros, 2018), pudiendo actuar de manera anticipada frente a los riesgos naturales. El avance de las tecnologías de la información geográfica facilita análisis cada vez más complejos y a escalas más ambiciosas, lo que permite mejorar en la gestión y ordenación territorial extrayendo conclusiones que pueden y deben extrapolarse a las Administraciones locales y regionales para construir territorios cada vez más seguros y resilientes frente a los riesgos naturales (GALLEGOS y PERLES, 2019).

La adaptación metodológica y normativa del litoral mediterráneo encaja directamente en el objetivo marcado por la Comisión Europea de desarrollar directrices para el análisis de la peligrosidad y el riesgo en ámbitos regionales concretos, donde la disparidad geográfica y de contextos territoriales hace inútil el desarrollo de instrumentos y medidas genéricas de planificación (CAMARASA, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2007). Además, de tal modo se aplicarían normativamente otros importantes requisitos legislativos como los recogidos por los artículos 6 de la Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo, y 8 y 9 del Real Decreto 903/2010 del Ministerio de la Presidencia del Gobierno de España, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, que nos indican la necesidad de tener en cuenta las zonas con alto contenido de sedimentos transportados y flujos de derrubio, y las instalaciones potencialmente contaminantes, aspectos que no son considerados en la actualidad.

La importancia y vigencia de la temática exigen seguir trabajando en ella desde el campo conceptual y, de manera especial, desde el metodológico. Tal como se ha visto, desde la Comisión Europea se incide claramente en ello, y casi textualmente se han traspasado esos requisitos a las legislaciones estatales y regionales, con fechas de cumplimiento y objetivos marcados nítidamente, si bien aún no se han realizado las modificaciones normativas exigidas para el adecuado cumplimiento de las directrices europeas.

BIBLIOGRAFÍA

- ABADÍN, Y., L. PEJENAU, L. ROMERO, P. RUIZ, E. PÉREZ-CHACÓN y A. CAMARASA (2004): «Análisis de la evolución de las tasas de erosión de suelo mediante SIG. Aplicación a la cuenca del barranco de Guiniguada, Gran Canaria, Islas Canarias (1960-2002)», en *Territorio y Medio Ambiente: métodos cuantitativos y técnicas de información geográfica*, Asociación de Geógrafos Españoles, Universidad de Murcia.
- AYALA, F. J., y J. OLCINA (2002): *Riesgos naturales*, Ariel (Ariel Ciencia), Barcelona, 1.512 pp.
- BARNOLAS, M., y M. C. LLASAT (2007): *Metodología para el estudio de inundaciones históricas en España e implementación de un SIG en las cuencas del Ter, Segre y Llobregat*, Monografías CEDEX, Centro de estudios hidrográficos, Madrid, 264 pp.
- BATALLA, G. (2013): *Efecto del cambio de uso de suelo en el aporte de sedimentos hacia la presa Jalpán (Sierra Gorda Querétaro)*, tesis doctoral, Universidad autónoma de Querétaro (México).
- BODOQUE, J. M. (2007): *Ensayos metodológicos para la cuantificación de procesos geomorfológicos activos asociados a la hidrología de superficie en la sierra de Guadarrama y Gredos*, tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Geológicas, Madrid.
- BORNAETXEA, T., y O. ORMAETXEA (2019): «Modelos de susceptibilidad de procesos de ladera como medida preventiva. Ensayos metodológicos en el territorio histórico de Gipuzkoa», en J. Farinós Dasí (coord.): *Crisis y espacios de oportunidad. Retos para la Geografía*, Valencia.
- BURRIEL, E. (2008): «La “década prodigiosa” del urbanismo español (1997-2006)», *Scripta Nova*, vol. XII, núm. 270 (66).
- CAMARASA, A. M. (2016): «Flash floods in Mediterranean ephemeral streams in Valencia Region (Spain)», *Journal of Hydrology*, <[http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00146-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00146-1)>.
- (2020): «El riesgo de inundación en ramblas y barrancos mediterráneos», en *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes*, Universitat d'Alacant, Alicante, pp. 325-331.
- (2021): «Flash-flooding of ephemeral streams in the context of climate change», *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 47, <<http://doi.org/10.18172/cig.4838>>.
- CAMARASA, A. M., M. P. CABALLERO y E. IRANZO (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 AGE*, 78, pp. 127-153, <<http://dx.doi.org/10.21138/2714>>.
- CAMARASA, A. M., M. RUBIO y J. SALAS (2020): «Rainfall events and climate change in Mediterranean environments: an alarming shift from resource to risk in Eastern Spain», *Nat Hazards*, <<https://doi.org/10.1007/s11069-020-03994-x>>.

- CONESA, C., R. ARANA y R. GARCÍA LORENZO (2009): «Variación granulométrica y mineralógica en profundidad de los sedimentos retenidos por diques. Estudio en cauces torrenciales semiáridos del sureste peninsular», *Nimbus*, 23-24, pp. 61-88.
- CONESA, C., y R. GARCÍA LORENZO (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 AGE*, 57, pp. 195-218.
- CONESA, C., R. GARCÍA LORENZO y P. PÉREZ CUTILLAS, (2017): «Flood hazards at ford stream crossings on ephemeral channels (south-east coast of Spain)», *Hydrological Processes*, 31, pp. 731-749.
- DENSMORE, A. L., P. SCHUERCH, N. J. ROSSER y B. W. MCADELL (2011): «Erosion and deposition on a debris-flow fan», *American Geophysical Union*.
- DURÁN VIAN, F., y J. J. PONS IZQUIERDO (2021): «Rivers and cities: analysis of land use in the fluvial space of Spanish urban areas», *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 88, <<https://doi.org/10.21138/bage.2980>>.
- EUROPEAN COMMISSION (2007): *ARMONIA, Assessing and mapping multiple risks for spatial planning. Approaches, methodologies and tools in Europe*, Lancaster University, Department of Geography, T6 Societá Cooperativa.
- FLEISCHHAUER, M., S. GEIVING y S. WANCZURA (2007): «Planificación territorial para la gestión de riesgos en Europa», *Boletín de la AGE*, 45, pp. 49-78.
- GAJA I DÍAZ, F. (2008): «El “tsunami urbanizador” en el litoral mediterráneo. El ciclo de hiperproducción inmobiliaria 1996-2006», *Scripta Nova*, vol. XII, núm. 270 (66).
- GALLEGOS, A. (2013): «Cuantificación y distribución cartográfica de la generación de escorrentía y sedimentos en la provincia de Málaga», *Baética*, 35, pp. 57-74, <<http://www.revistas.uma.es/index.php/baetica/article/view/57/26>>.
- (2017): «Análisis de los cambios legislativos recientes en materia de dominio público hidráulico e inundabilidad en la legislación estatal», *Valoraciones para la gestión territorial. Naturaleza, territorio y ciudad en un mundo global*, Universidad Autónoma de Madrid, Asociación de Geógrafos Españoles, pp. 2471-2479, <<http://dx.doi.org/10.15366/ntc.2017>>.
- (2018): *Caracterización y análisis de los riesgos naturales en el planeamiento urbanístico del litoral mediterráneo español*, UMA, Málaga, <https://www.umaeditorial.uma.es/libro/caracterizacion-y-analisis-de-los-riesgos-naturales-en-el-planeamiento-urbanistico-del-litoral-mediterraneo-espanol_2248/>.
- GALLEGOS, A., y M. J. PERLES, (2015): «Erosión hídrica y modificación del caudal de inundación en ambientes mediterráneos. Aproximación metodológica», *Monfragüe Desarrollo Resiliente*, vol. 4, núm. 1, Universidad de Extremadura/Cáceres, pp.153-163.
- (2019): «Relaciones entre los cambios en los usos del suelo y el incremento de los riesgos de inundabilidad y erosión: análisis diacrónico en la provincia de Málaga (1957-2007)», *Boletín de la AGE*, 81, 2.740, pp. 1-38, <<http://dx.doi.org/10.21138/bage.2740>>.
- (2020): «Metodología para el análisis integrado de peligros asociados a la inundación: propuesta adaptada a la ordenación territorial en regiones mediterráneas», *Boletín de la AGE*, 86, <<http://dx.doi.org/10.21138/bage.2950>>.
- GARCÍA GARCÍA, M. (2017): «El litoral español: más de un cuarto de siglo a la deriva», *Zarch*, 8, pp. 273-287.
- GARCÍA LORENZO, R., y C. CONESA (2011): «Estimación de caudales de avenidas y delimitación de áreas inundables mediante métodos hidrometeorológicos e hidráulicos y técnicas SIG. Estudio aplicado al litoral sur de la región de Murcia», *Papeles de Geografía*, 53-54, pp. 107-123.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ, C., J. RUIZ-FERNÁNDEZ, C. SÁNCHEZ-POSADA, S. PEREIRA, M. OLIVA y G. VIEIRA (2017): «Reforestation and land use change as drivers for a decrease of avalanche damage in mid latitude mountains (NW Spain)», *Global and Planetary Change*, 153, pp. 35-50.
- GREIVING, S. (2006): «Integrated risk assessment of multi-hazard: a new methodology. Natural and Technological Hazards and Risks Affecting the Spatial Development of European Regions», *Geological Survey of Finland, Special Paper 42*, pp. 75-82.
- HAMMANI, M., F. J. GRACIA, J. BENAVENTE y J. J. GOMIZ (2016): «Estimación inicial de la producción hidrosedimentaria en la cuenca hidrográfica del Guadalete (Cádiz, España)», en J. J. Durán, M. Montes, A. Robador y Á. Salazar (coords.): *Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro*, Instituto Geológico y Minero de España, Málaga, pp. 81-88.
- HERNÁNDEZ RUIZ, M., y otros (2008). *Guía metodológica para la elaboración de cartografías de riesgos naturales en España*, Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, Ministerio de Vivienda, Madrid.
- JUNTA DE ANDALUCÍA (2004): *Informe sobre las inundaciones acaecidas en Rincón de la Victoria en marzo de 2004*, Consejería de Obas Públicas y Transportes.

- (2015): *Plan de gestión del riesgo de inundación. Demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas*, Consejería Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.
- (2020): *Decreto-ley 31/2020, de 1 de diciembre, de medidas extraordinarias y urgentes en materia de evaluación ambiental estratégica de determinados instrumentos de planeamiento urbanístico y para impulsar la realización de proyectos de absorción de emisiones en Andalucía, así como de apoyo económico a las entidades prestadoras de los servicios de atención residencial, centro de día y de noche, y centro de día con terapia ocupacional para personas en situación de dependencia, como consecuencia de la situación ocasionada por el coronavirus (COVID-19)*.
- LAHOUSE, P. (1998): «Essai de cartographie intégrée des aléas naturels en zone de montagne. L'exemple de la vallée de la Guisane (Haute-Alpes, Briançonnais)», *Annales de Géographie*, 604, pp. 467-486.
- LEY, J. (2019): *Congruencia espacial entre la exposición y la percepción de peligros múltiples, en ciudad y sustentabilidad. Riesgos urbanos*, Universidad Autónoma de Baja California.
- LINARES, G., A. E. ROJAS, R. J. ARAUJO, O. F. RIVERO, O. H. ORTEGA, M. A. OVIEDO y E. GUEVARA (2009): «Parametrización de modelos de erosión hídrica y transporte de sedimentos en parcelas agrícolas ubicadas en la cuenca del río Chirgua (Venezuela)», en Cuarto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Salta, Argentina.
- LIQUETE, C., M. CANALS, W. LUDWIG y P. ARNAU (2008): «Sediment discharge of the rivers of Catalonia, NE Spain, and the influence of human impacts», *Journal of Hydrology*, 366, pp. 76-88.
- LLENA, M., D. VERICAT y J. A. MARTÍNEZ CASANOVAS (2016): «Cambios geomorfológicos en el Alto Cinca», en J. J. Durán, M. Montes, A. Robador y A. Salazar (eds.): *Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro*, Instituto Geológico y Minero de España, Málaga, pp. 339-349.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (1979): «Inundaciones catastróficas, precipitaciones torrenciales y erosión en la provincia de Murcia», *Papeles del Departamento de Geografía*, 8, pp. 49-91.
- y J. D. GUTIÉRREZ ESCUDERO (1982): «Estimación de la erosión y aterramientos de embalses en la cuenca hidrográfica del río Segura», *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 8, pp. 3-18.
- MARTÍN-MORENO, C., J. F. MARTÍN DUQUE, J. M. NICOLAU IBARRA, N. HERNANDO RODRÍGUEZ, M. A. SANZ SANTOS y L. SÁNCHEZ CASTILLO (2016): «Effects of topography and surface soil cover on erosion for mining reclamation», *Land Degradation and Development*, 27, pp. 145-159, <<http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2232>>.
- MARZOCCHI, W., A. GARCIA-ARISTIZABAL, P. GASPARINI, M. MASTELLONE y A. DI RUOCCO (2009): «Principles of multi-risk assessment. Interaction amongst natural and man-induced risk», European Commission, Directorate-General for Research, Environment, Climate Change and Environmental Risks.
- MONIZ, C., J. M. MOREIRA, J. F. OJEDA, M. RODRÍGUEZ, C. VENEGAS y F. ZOIDO (2005): *Memoria del mapa de paisajes de Andalucía*, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- MONTOSA MUÑOZ, J. (1997): *Rincón de la Victoria: la población en un municipio metropolitano de Málaga*, Estudios y Ensayos, Universidad de Málaga.
- NAVARRO, A., C. SANCHÍS y F. SEGURA (2016): «Cambios morfológicos en el cauce del río Serpis tras la construcción del embalse de Beniarrés (Alicante, 1958-2013)», en J. J. Durán, M. Montes, A. Robador y A. Salazar (eds.): *Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro*, IGME, Málaga, pp. 399-406.
- OLCINA, J. (2012): «Incremento de la vulnerabilidad ante los peligros naturales en España. Políticas de reducción del riesgo», *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, tomo CXLVIII, pp. 45-72.
- OLLERO, A., A. IBISATE, J. HORACIO, C. CONESA, Y. ÁLVAREZ, F. SEGURA, C. SANCHIS, D. BALLARÍN, M. CALLE y M. SÁNCHEZ (2019): «Diagnóstico y posibilidades de restauración en cursos de agua efímeros mediterráneos», en III Congreso Ibérico de Restauración Fluvial RestauraRíos, Murcia.
- ORTEGA, J. A. (2009): «Perspectivas de los mapas de riesgos naturales: implicaciones de las actividades antrópicas en el riesgo de inundaciones», en *Consecuencias para la cartografía de riesgos*, Madrid.
- M. G. GARZÓN, J. C. GARCÍA LÓPEZ-DAVALILLO y A. RODRÍGUEZ FRANCO (2012): «Funcionamiento de la rambla de Nogalte (Murcia) durante avenidas. Implicaciones para la cartografía de peligrosidad por riesgo de avenidas», en M. A. Romero, F. Belomonte, F. Alonso, F. López-bermúdez (coords.): *Avances en estudios sobre desertificación*, Universidad de Murcia, pp. 497-500.
- PERLES, M. J., F. CANTARERO, F. B. GALACHO, A. GALLEGOS y J. M. VÍAS (2006a): «Propuesta metodológica para el análisis integrado de peligros asociados. Aplicación al peligro de inundación, movimientos

- gravitacionales y erosión hídrica», en M. T. Camacho Olmedo, J. A. Cañete Pérez, M. Chica Olmo (coords.): *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*, Granada.
- PERLES, M. J., A. GALLEGOS y F. CANTARERO (2006b): «Análisis del ajuste del área inundable obtenida mediante una evaluación integrada de la peligrosidad de inundación y peligros asociados», *Baética*, 28, pp. 527-545.
- PITA LÓPEZ, M. F. (coord.) y otros (1999): *Riesgos catastróficos y ordenación del territorio en Andalucía*, Consejería de Obras Públicas Transportes, Junta de Andalucía, Sevilla, 228 pp.
- POESEN, J. W. A., y J. M. HOOKE (1997): «Erosion flooding and channel management in Mediterranean environments of southern Europe», *Progress in Physical Geography*, 21, pp. 157-199.
- REID, I., y J. B. LARONNE (1995): «Bed load sediment transport in a ephemeral stream and a comparison with seasonal and perennial counterparts», *Water Resources Research*, 31 (3), pp. 733-781.
- ROMERO DÍAZ, A., G. G. BARBERÁ y F. LÓPEZ BERMÚDEZ (1995): «Relaciones entre erosión del suelo, precipitación y cubierta vegetal en un medio semiárido del sureste de la península Ibérica», *Lurralde*, 18, pp. 229-242.
- ROMERO, A., F. LÓPEZ BERMÚDEZ y F. BELMONTE (1998): «Erosión y escorrentía en el campo experimental de “El Ardal” (Murcia). Nueve años de experiencias», *Papeles de Geografía*, 27, pp. 115-130.
- ROMEU, E., y F. SEGURA (2016): «Cambios en los usos del suelo y repercusiones sobre las inundaciones: el caso del Maresme», en *Retos y tendencias de la Geografía ibérica*, Asociación de Geógrafos Españoles, Universidad de Murcia, pp. 347-356.
- SALAZAR, S. A. (2013): *Metodología para el análisis y la reducción del riesgo de inundaciones: aplicación en la rambla del Poyo (Valencia) usando medidas de retención del agua en el territorio*, tesis doctoral, Valencia.
- SANCHIS, C., F. SEGURA y J. ALMONACID (2017): «Channel forms recovery in an ephemeral river after gravel mining (Palancia River, Eastern Spain)», *Catena*, 158, pp. 357-370, <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.07.012>>.
- SEGURA BELTRÁN, F. (2014): «Sobre la restauració fluvial i la complexitat dels rius efímers: algunes consideracions crítiques», *Cuadernos de Geografía*, 95 (96), pp. 101-147.
- N. LA ROCA, R. ARMENGOT y J. J. GINER (2002): *Riesgos naturales* (diploma de especialización profesional universitario en protección civil y gestión de emergencias), Universidad de Valencia.
- SUAREZ DÍAZ, J. (1998): *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de investigaciones sobre erosión y deslizamientos*, Bucaramanga, Colombia.
- TÉMEZ, J. R. (1978): *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*, MOPU, Dirección General de Carreteras, Madrid, 113 pp.
- VERDÚ, J. M., R. J. BATALLA y R. M. POCH (2000): «Dinámica erosiva y aplicabilidad de modelos físicos de erosión en una cuenca de montaña mediterránea», *Pirineos*, 155, pp. 37-57.
- YUS, R., M. A. TORRES y J. L. GÁMEZ (2004): *28-M: Inundaciones en Rincón de la Victoria. Sus causas y soluciones*, Gabinete de Estudios de la Naturaleza de la Axarquía, Málaga.