

METODOLOGÍA PARA UNA CARTOGRAFÍA DE VULNERABILIDAD DEL TERRITORIO FRENTE AL RIESGO DE INUNDACIÓN RELACIONADO CON LOS SISTEMAS DE SOCORRO Y ASISTENCIA. APLICACIÓN AL ÁREA INUNDABLE DEL BAJO GUADALHORCE (2016)

Juan Francisco Sortino Barrionuevo¹ & María Jesús Perles Roselló²
Universidad de Málaga

RESUMEN

El objetivo principal de esta comunicación es desarrollar una cartografía de evaluación de vulnerabilidad de los elementos expuesto frente al peligro de inundación, en concreto lo referente a los sistemas de socorro y asistencia con los que se cuenta, para que todos los organismos y entidades competente puedan contar con esta herramienta para la toma de decisiones y el desarrollo de sus Planes de Actuación de Ámbito Local. La metodología de trabajo se basa en un análisis de redes que permite elaborar mapas de isócronas de tiempos de respuestas, para los diferentes agentes implicados en las labores de socorro y asistencia, bajo dos escenarios (sin episodios de inundación y con episodios de inundación), y establece una comparativa entre las diferentes situaciones.

Los resultados obtenidos son una serie de cartografías vinculadas al análisis de los sistemas de socorro y asistencia que permiten analizar su eficacia durante la catástrofe. Los documentos cartográficos son útiles como herramienta de apoyo a la decisión en la fase de gestión de emergencias, y permiten sugerencias de mejora en la gestión del riesgo de inundación, a través del tratamiento aplicado de diferentes aspectos vinculados a la vulnerabilidad.

Palabras clave: Inundación; vulnerabilidad; riesgo; socorro; análisis de redes.

MAPPING OF VULNERABILITY OF THE TERRITORY TO THE FLOOD RISK RELATED TO THE RELIEF AND ASSISTANCE SYSTEMS. APPLICATION TO THE FLOODED AREA OF BAJOGUADALHORCE (2016)

The main objective of this communication is to develop a vulnerability assessment mapping of the elements exposed to the danger of flooding, in particular with regard to the systems of distress and assistance that are available, so that all competent agencies and entities can Have this tool for decision-making and the development of their Local Action Plans. The work methodology is based on a network analysis that allows the development of isochronous response time maps for the different agents involved in the relief and assistance work under two scenarios (without flood episodes and with flood episodes) , And establishes a comparison between the different situations.

The results obtained are a series of cartographies linked to the analysis of the relief and assistance systems that allow to analyze their effectiveness during the catastrophe. The cartographic documents are useful as a decision support tool in the emergency management phase, and allow suggestions for improvement in the management of flood risk, through the treatment of different aspects related to vulnerability

Key words: Flood; Vulnerability; Risk; Relief system; Network analysis

¹ Departamento de Geografía. Universidad de Málaga. E-mail: francis.sortino@gmail.com

² Departamento de Geografía. Universidad de Málaga. E-mail: mjperles@uma.es

1. INTRODUCCIÓN

El concepto de vulnerabilidad frente al riesgo y el de la cartografía derivada ha contado, desde su nacimiento con problemas de conceptualización clara. Surgido en el marco de la geografía radical, el concepto surge como equivalente a una situación de precariedad socioeconómica que explica la desigualdad frente a la catástrofe. Desde esta noción inicial, descrita y definida más en el plano teórico que en el aplicado, han sido muchas las aportaciones al concepto que se han producido desde ámbitos y perspectivas muy diversas (sociológicas, económicas, etc.). Como consecuencia de la diversidad de enfoques, se ha producido una dispersión conceptual en la noción de vulnerabilidad frente al riesgo (Perles *et al.*, 2015), que irremediablemente se ha traducido en la imprecisión y falta de consenso en la fase aplicada.

Sin embargo, de forma simultánea, las metodologías que permiten establecer una evaluación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos frente al riesgo de inundación están tomando una importancia notable, al hilo de la propia evolución en el paradigma de análisis y evaluación del riesgo, que ha ido girando desde la perspectiva inicial fundamentada en la identificación del riesgo con la peligrosidad, hacia posturas más integradoras, en la que se reconoce el papel fundamental de la actividad humana y su forma de uso y ocupación del territorio como causa directa del riesgo. La Directiva Europea de Inundaciones (2007), en este sentido, afirma expresamente como “las inundaciones son fenómenos naturales que no pueden evitarse. No obstante, algunas actividades humanas (como el incremento de los asentamientos humanos, los bienes económicos en las llanuras aluviales y la reducción de la capacidad natural de retención de las aguas por el suelo) y el cambio climático están contribuyendo a aumentar las probabilidades de que ocurran, así como su impacto negativo”.

La participación humana en la génesis del riesgo se articula a través de los conceptos de inducción, exposición y vulnerabilidad, y más recientemente, en el de resiliencia. El papel del patrón territorial de usos humano está adquiriendo protagonismo como factor causante del riesgo, y también como clave en la búsqueda de soluciones. En este punto, cuando los estudios aplicados de exposición y vulnerabilidad frente al riesgo adquieren una importancia creciente, desde el ámbito de la investigación con objeto aplicado, no se han consensuado metodologías definidas, ni propuesta de métodos de cartografía precisos que habiliten la potencialidad del concepto como herramienta para la gestión de la inundación. Se hace necesaria la definición de metodologías de análisis concretas, que ofrezcan resultados cartográficos útiles y expresivos, que contribuyan de forma eficaz a la resolución de problemas específicos de vulnerabilidad frente a la inundación, que avancen un paso más allá de los indicadores genéricos y laxos de vulnerabilidad.

Uno de los elementos claves para definir la vulnerabilidad frente a la inundación en el momento de crisis es la presencia y eficacia de sistemas de socorro y asistencia a la población potencialmente necesitada. En este artículo se propone una metodología concreta para la evaluación de los sistemas de socorro y asistencia, simulando sus tiempos de llegadas a las zonas inundables bajo dos condiciones muy diferentes, por un lado, condiciones de normalidad (sin fenómenos de inundación) y por otra parte bajo los efectos desfavorable de las inundaciones, lo que permite delimitar las zonas de mayor vulnerabilidad frente a la inundación en lo que respecta a los sistemas de socorro y la asistencia.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS Y NORMATIVOS SOBRE VULNERABILIDAD FRENTE AL RIESGO

2.1. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE VULNERABILIDAD. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Los antecedentes sobre la noción de vulnerabilidad social frente al riesgo han ido evolucionando desde los conceptos de exposición física, susceptibilidad, resiliencia, y más recientemente capacidad de lucha. Perles (2010 y 2017), realiza una síntesis de la evolución del concepto y sus distintos enfoques que transcurre desde la comprensión de la vulnerabilidad como mera exposición física, a la visión de la teoría social de la desigualdad, o, más recientemente, los enfoques holísticos (Cardona, 2003, Barbat *et al.*, 2011, Carreño *et al.*, 2014) y los más integradores. En esta línea se incorporan las aproximaciones contextuales al riesgo

(Mitchel *et al.*, 1989; Palm, 1990; Kirby, 1990; Saurí y Ribas, 1994; Saurí, 2003), y las que plantean el riesgo como un problema de adaptación de la sociedad al riesgo (Calvo, 2001; Cutter *et al.*, 2003). Autores como Cutter *et al.*, (2003), Veyret, Boucher o Bonnard (2005), Calvo (2001), Ruiz (2011), Perles *et al.*, (2008), Perles (2010) y Olcina (2008), apuestan por la comprensión del riesgo como un hecho territorial, consecuencia de la adaptación del patrón de uso humano a las limitaciones del entorno. Este enfoque insiste en la importancia del patrón de distribución de los factores de riesgo físico y humanos en el territorio, y la dimensión espacial de los problemas de vulnerabilidad. Desde esta perspectiva territorial, los factores de vulnerabilidad no son elementos deslocalizados que puedan medirse mediante indicadores genéricos de expresión espacial poco definida.; por el contrario, de la posición sobre el territorio de los factores depende en gran parte su nivel de fragilidad. En esta línea de trabajo, la cartografía de vulnerabilidad constituye una herramienta clave y una materia a perfeccionar en sus procedimientos y resolución espacial, para que desarrolle con plenitud su papel crucial en la ordenación de los territorios de riesgo. Para que un mapa de vulnerabilidad sea aplicable debe superar el estadio de documento genérico y descriptivo para orientarse a solventar problemas concretos. Estos problemas son apuntados por Conmfort *et al.*, (1999), Cutter *et al.*, (2003) o Eaking y Luers (2006), quienes señalan como la evaluación de la vulnerabilidad social presenta carencias en dos aspectos fundamentales: la dispersión de las estrategias metodológicas y la escasez de propuestas de indicadores que permitan el tránsito desde el plano teórico al aplicado.

En lo que se refiere al tratamiento de la vulnerabilidad social concretamente frente al riesgo de inundación, pueden destacarse las aportaciones realizadas por Hausmann y Perills (1999), Messner y Meyer (2005), Barroca *et al.*, (2006) y Gao *et al.*, (2007) en el ámbito internacional. Entre los métodos propuestos por organismos oficiales de referencia en la materia destaca el propuesto por la UNESCO-IHE (2009) y la Directiva Europea de Inundaciones (2007) a través del Institute for Water Education. El Fluvial Vulnerability Index (F.V.I.) se fundamenta en los conceptos de exposición, susceptibilidad y resiliencia. Los indicadores del índice abordan las componentes social, económica, ambiental y física o territorial de la vulnerabilidad, aunque siempre con concepción generalista y poco precisa en lo que se refiere a los indicadores y su adscripción espacial. Aplicaciones más recientes en el ámbito de la cartografía de vulnerabilidad frente al riesgo de inundación pueden encontrarse en trabajos como el de Bescos y Camarasa (2004), Camarasa *et al.*, (2008); Ruiz (2011); Garrote *et al.*, (2016); Paucar (2016); Castillo (2016), Aroca-Jiménez *et al.*, (2016).

2.2. EL TRATAMIENTO DE LA VULNERABILIDAD FRENTE A LA INUNDACIÓN EN EL ÁMBITO NORMATIVO

El concepto de vulnerabilidad frente a la inundación y su cartografía ha sido recogido y tratado en documentos normativos y de planeamiento, con un nivel de precisión y desarrollo variable. Las principales aportaciones se han realizado a nivel autonómico: en el contexto de la comunidad autónoma de Andalucía, el Plan de Prevención de Avenidas e Inundaciones en los Cauces Urbanos Andaluces (Junta de Andalucía, 2002), supuso un avance en lo que respecta a la utilización de medidas preventivas de control de la exposición y reducción de la vulnerabilidad en las zonas críticas. El Plan de acción territorial sobre prevención del riesgo de inundación en la Comunitat Valenciana (GENERALITAT VALENCIANA, 2003), el INUNCAT de Cataluña (2006), las directrices para el estudio de la inundabilidad expuestas en el Plan de Ordenación Territorial del Litoral de la Región de Murcia (2007), o el Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones (PRICAM) Dirección General de Protección Ciudadana (GOBIERNO DE CASTILLA LA MANCHA, 2007), son igualmente ejemplos a destacar en los que, a la hora de cartografiar el riesgo de inundación, se concede cierto protagonismo a la cartografía de vulnerabilidad.

Actualmente, a partir de la publicación del RD 903/2010 se incluye de forma específica la evaluación y cartografía de la vulnerabilidad frente a la inundación como paso para la elaboración de la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (Junta de Andalucía, 2015), para elaborar los mapas de riesgo de la segunda fase prevista en la Directiva Europea de Inundaciones (2007/60/CE). y también para redactar los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (Junta de Andalucía, 2016), instrumentos previstos por la Directiva. Estas

cartografías serán igualmente necesarias a la hora de aplicar las medidas de mitigación sobre las distintas áreas de Riesgos Potencialmente Significativas (ARPS) a través de los Planes de Actuación de Ámbito Local que todos los ayuntamientos que se vean afectados tendrán que desarrollar.

Sin embargo, los textos a nivel normativos son muy poco exigentes sobre la cuestión, de tal modo que, para elaborar mapas de vulnerabilidad se proponen indicadores muy laxos de exposición de la población y de los bienes, y del valor económico de la pérdida, sin que lleguen a especificarse orientaciones concretas o indicadores precisos para la evaluación de la vulnerabilidad. Ante esta circunstancia, se augura un panorama en el que cada técnico actuará con discrecionalidad a la hora de realizar las cartografías de vulnerabilidad, por lo que los documentos resultantes no serán comparables, ni precisos, y en definitiva, la cartografía de vulnerabilidad se convertirá en un trámite a cumplir, con unas exigencias de rigor y precisión infinitamente menores a las requeridas para la cartografía de peligrosidad de inundación.

La publicación del Real Decreto 638/2016 de Modificación del Dominio Público Hidráulico introduce una nueva llamada de atención sobre la necesidad de establecer cartografías de vulnerabilidad frente a la inundación precisas, consensuadas y reproducibles en distintos ámbitos territoriales. El Real Decreto 638/2016 autoriza la edificación en zona de flujo preferente, siempre que la edificación no aumente la extensión de la zona inundable en terrenos altamente vulnerables. De forma más concreta, el decreto especifica que la construcción estará permitida siempre que “no represente un aumento de la vulnerabilidad de la seguridad de las personas o bienes frente a las avenidas, así el texto recoge textualmente “que no se incremente de manera significativa la inundabilidad del entorno inmediato, ni aguas abajo, ni si se condiciones las posibles actuaciones de defensa de contra inundaciones de la zona urbana. Se considera que se produce un incremento significativo de la inundabilidad cuando a partir de la información obtenida de los estudios hidrológicos e hidráulico, que en caso necesario sean requeridos para su autorización, y que definan la situación antes de la actuación prevista y después de la misma, no se deduzca un aumento de la zona inundable en terrenos altamente vulnerables. En este contexto, surgen serias dudas respecto a cuál serán los criterios para evaluar si una determinada construcción en zona inundable afecta a la vulnerabilidad de otros elementos expuestos de la cuenca, habida cuenta que no se han consensuado indicadores, intervalos o escala de trabajo para delimitar zonas con diferente grado de vulnerabilidad.

2.3. CONTEXTO DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA. CATÁLOGO CARTOGRÁFICO DE VULNERABILIDAD FRENTE AL RIESGO DE INUNDACIÓN

La metodología desarrollada en este trabajo, y los resultados cartográficos obtenidos a través de ella, se inserta en una línea de investigación más amplia en la que se propone la concreción de un Catálogo cartográfico para la evaluación sistemática de la vulnerabilidad frente a la inundación (Perles *et al.*, 2017). El Catálogo cartográfico de vulnerabilidad frente a la inundación se ha concebido como un conjunto de documentos cartográficos útiles para la resolución de los problemas de vulnerabilidad frente a la inundación que sirvan de herramienta de apoyo para la aplicación de las medidas de mitigación indicadas en los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación, a aplicar a través de los Planes de Actuación de Ámbito Local. Se ha diseñado un catálogo de mapas estructurado en función de problemas concretos de vulnerabilidad inventariados previamente en análisis de eventos de inundación y crisis anteriores.

La secuencia de razonamiento utilizada para estructurar el Catálogo da respuesta a las siguientes preguntas: ¿Cuál es el problema de vulnerabilidad a resolver?; ¿qué medidas de mitigación podrían aplicarse y se han previsto en los Planes de Gestión del Riesgo?; ¿qué cartografía es útil para aplicar dichas medidas de mitigación? Como puede observarse, se trata de una propuesta cartográfica claramente orientada a ser eficaz como herramienta en la resolución de problemas concretos, y a la aplicación de medidas de mitigación. Se ha procurado, por ello, no mezclar en la cartografía información sobre problemas que tengan soluciones distintas.

La estructura del catálogo se organiza en dos grandes bloques: mapas que abordan la vulnerabilidad frente al peligro de inundación, y documentos que reflejan la vulnerabilidad

frente al impacto. La cartografía relativa a la vulnerabilidad frente al peligro permite identificar las zonas del territorio más susceptibles de recibir daños en razón de la fragilidad de la población o bienes que se ubican en ella. La fragilidad de las personas o bienes frente al peligro puede estar causada por debilidad bio-física, o conductual. En otros casos el elemento expuesto puede ser especialmente sensible si tiene un valor excepcional para la comunidad (valores patrimoniales, intangibles) y difícil posibilidad de reposición. De igual modo un elemento también puede ser considerado vulnerable si su función es básica o estratégica para la comunidad; el alto valor de la pérdida potencial de un bien, sin embargo, no lo hace más frágil frente al peligro. La cartografía de vulnerabilidad frente a la pérdida, define la resiliencia, es decir identifica las zonas del territorio en que será más o menos fácil la normalización tras la catástrofe. La vuelta a la normalidad dependerá del valor económico de la pérdida en cada sector del territorio y sobre todo del significado relativo de la pérdida sobre el individuo y la comunidad, que a su vez está condicionado por la situación socio-económica de partida de la población afectada; por otra parte la capacidad de recuperación depende de la existencia y eficacia de sistemas de compensación y rehabilitación.

Como se ha citado, los documentos cartográficos del catálogo pretenden ofrecer información específica para resolver problemas concretos relacionados con la vulnerabilidad frente a la inundación. Se han identificado por ello los principales problemas que se producen en situaciones de crisis:

- Problemas relacionados con la vulnerabilidad frente al peligro:

1. Interrupción de servicios territoriales básicos
2. Aislamiento de la población
3. Dificultades de socorro y asistencia
4. Conductas arriesgadas o inseguras de la población
5. Afección de bienes o sectores del territorio especialmente sensibles
6. Afección de elementos del territorio por contaminación y otros riesgos asociados a la inundación

- Problemas relacionados con la vulnerabilidad frente a la pérdida y resiliencia:

7. Generación de grandes pérdidas
8. Dificultad de la población para la recuperación tras el impacto

La metodología y resultados cartográficos que se presentan en este artículo son un ejemplo del tratamiento propuesto para abordar el problema de las dificultades de socorro y asistencia por parte de los agentes responsables del servicio en momentos de crisis. Esta circunstancia define claramente un problema de vulnerabilidad en aquellas zonas del territorio que, por distintos motivos que deben ser evaluados en la cartografía, queden desasistidas total o parcialmente de asistencia eficaz en caso de necesidad. En el catálogo cartográfico se proponen una serie de mapas en los que se delimitan los sectores del territorio con especiales necesidades potenciales de socorro (rescate, asistencia o vigilancia) gradados según la accesibilidad a estas zonas de los agentes responsables. El caso aplicado que se incluye en este artículo se centra en el análisis de uno de los agentes que intervienen en las labores de socorro y asistencia, concretamente el cuerpo de bomberos. No obstante, la metodología de análisis propuesta es aplicable de forma equivalente a la movilidad de otros agentes de intervención en la catástrofe.

3. OBJETIVOS

El presente artículo tiene como objetivo principal describir los indicadores y pasos metodológicos necesarios para elaborar un mapa de vulnerabilidad frente a la inundación basado en las necesidades de asistencia por parte de los elementos expuestos (población y bienes) durante la fase de crisis (rescate, asistencia, vigilancia) y en la eficacia con la que los servicios de socorro atienden a la población potencialmente necesitada durante la catástrofe.

Los objetivos que se plantean conseguir en esta investigación son los siguientes:

- Creación de un base de datos espacial de agentes de socorro y asistencia (bomberos)
- Creación de una base de datos espacial de red viaria implicada, con todos los atributos necesarios para el desarrollo de un análisis de redes sobre ella.
- Creación de una metodología que analice de forma eficaz y lo más aproximada a la realidad posible, como se producen los cortes de carreteras por la acción de las inundaciones y como se integrada esta disfuncionalidad territorial en la simulación del análisis de redes.
- Simulación de tiempo de respuesta de los agentes de socorro y asistencia (bomberos), mediante un análisis de redes, sin fenómeno de inundación y con fenómenos de inundación en donde se incluyan los cortes de carreteras.
- Realizar un análisis comparativo entre los diferentes escenarios y obtener resultados y conclusiones que ayuden tanto en la toma de decisiones para mejorar en las fases de planificación territorial como la fase de emergencias propiamente dicha.

El objetivo final de esta herramienta cartográfica es ayudar a las entidades y organismos competentes en la toma de decisiones a la identificación de las áreas previsiblemente más desasistidas en los momentos de crisis, por tanto más necesitadas de actuaciones prioritarias. La cartografía obtenida contribuye así a mejorar la resiliencia de una zona con inundabilidad crónica, y puede ser implementada en los Planes de Actuación de Ámbito Local sobre las Áreas de Riesgo Potencial Significativo.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio (ver Figura 1) se sitúa en la zona del Bajo Guadalhorce, los municipios que la integran son Málaga, Alhaurín de la Torre y Torremolinos. La elección de esta área de estudio se relaciona con un historial de inundaciones históricas de gran intensidad, zona de elevada peligrosidad, en la que la inundación se manifiesta con un carácter crónico, siendo el último episodio muy destacado el evento de 1989. Se trata de una zona de expansión de la ciudad de Málaga, con un marcado carácter periurbano que presentan características morfológicas y funcionales que singularizan la producción del riesgo (Perles y Mérida, 2009). La ocupación, tanto residencial como industrial y comercial en los últimos tiempo ha tenido lugar en el entorno de la desembocadura, y en los problemas ocasionada por esta “invasión” (Perles *et al.*, 1999), esto sumado al desarrollo de grandes infraestructuras (Aeropuerto, AVE, Cercanías, A-7, etc.), ha sido objeto de controversia por parte de la Administración Hidráulica de la Junta de Andalucía cuyo estudios plantean y delimitan las zonas inundables, y las directrices de planeamiento expuestas en el PGOU de la ciudad, las cuales no parecen adaptarse a este estudio y está generando conflicto entre administraciones. Dada la alta exposición de población y usos vulnerables en la zona, y las presiones urbanísticas de aumentar para aumentar la ocupación previstas para la misma, se trata de una zona con importantes dificultades de gestión del riesgo, tanto en la fase preventiva como especialmente en la de gestión de la catástrofe, constituyendo un ejemplo de inadaptación del sistema de uso humano del territorio a las condiciones y limitaciones impuestas por el medio (Calvo, 2001).

FIGURA 1

Ubicación geográfica del área de estudio. Zona del Bajo Guadalhorce Provincia de Málaga



Fuente: Elaboración propia.

5. METODOLOGÍA

La metodología aborda como conseguir una simulación de tiempos de respuesta (mapas de isócronas o tiempo de llegada) de los sistemas de socorro y asistencias (bomberos) y de qué manera debe de tratarse las inundaciones para que los modelos de análisis de redes puedan incorporar los cortes de carreteras y por tanto de accesibilidad de estos medios a las zonas afectadas por la inundación. Esta metodología, plantea la creación de las bases de datos espaciales necesarias y pasos metodológicos, los cuales deben aplicarse para poder generar una análisis de redes que se ajuste lo mejor posible a la realidad del fenómeno de inundación y su interacción con la accesibilidad, cuando se producen un fenómeno de inundación que afecta la funcionalidad territorial por cortes de vías de comunicación, tantos principales como secundarias. Para ello la metodología establece un análisis inicial, en donde las condiciones de contorno del modelo están sin afecciones territoriales por acción de las inundaciones y otro momento en donde las condiciones de contorno ya han cambiado por efectos de la inundación, generando cortes de carreteras y problemas de accesibilidad. El objetivo final de la metodología es establecer un análisis comparativo entre la situación sin inundaciones y posterior con inundaciones y ver cómo se ve afectada la vulnerabilidad del medio humano frente al riesgo de inundación vinculado a los sistemas de socorro y asistencia.

Para la correcta elaboración de este apartado metodológico es necesario caracterizar los dos grandes elementos geográficos que se deben de considerar: por un lado la localización de los agentes que brindan socorro y asistencia (bomberos en este caso) y por otra parte la red vial que sirve de soporte territorial para hacer el análisis de redes correspondientes. Una red es un sistema interconectado de elementos lineales, que forma una estructura espacial por la que pueden pasar flujos de algún tipo: personas, mercancías, energía o información (Bosque Sendra, 1997).

5.1. AGENTES DE BOMBEROS QUE BRINDAN SOCORRO Y ASISTENCIA

Para la elaboración de la base de datos con las instalaciones de asistencia del cuerpo de bomberos implicados en el estudio, se procede a utilizar como fuentes de datos, las capas de información del DERA (Datos Espaciales de Referencia de Andalucía). Dicha información ha sido contrastada con trabajo de campo y actualizada asegurando que dichos recursos estén vigentes y que sean coherentes con lo que existe en actualidad. El trabajo de campo se ha realizado con un recorrido por la zona de estudio, marcando puntos en Google Earth, dicha fuente de datos ha sido procesada e integrada en una base de datos espacial. Por último, se han contrastado y unificado las fuentes de datos del DERA con las obtenidas del trabajo de campo a través de Sistemas de Información Geográficos (SIG), quedando como resultados definitivos

para la zona de estudio las instalaciones de agentes de bomberos que se recogen en la Tabla 1.

TABLA 1
Agentes de Cuerpos de Bomberos (facilities)

<i>NOMBRE</i>	<i>MUNICIPIO</i>	<i>PROVINCIA</i>
Cuerpo de Bomberos del Ayuntamiento de Torremolinos	Torremolinos	Málaga
Parque de Zona 22 (Churriana)	Málaga	Málaga
Parque de Alhaurín de la Torre	Alhaurín de la Torre	Málaga
Parque de Zona 2	Málaga	Málaga
Parque de Zona 21 (Teatinos- Polígono Alameda)	Málaga	Málaga
Parque Central	Málaga	Málaga
Centro Municipal de Emergencias.	Málaga	Málaga

Fuente: Elaboración propia.

5.2. RED VIARIA

El otro elemento territorial que interviene en el análisis de redes es la red vial, la cual debe de contar con los ejes de comunicación muy bien delineados, con sus correspondientes nodos que unen los diferentes segmentos de tramos de carreteras o calles, más una jerarquización de dichos tramos para poder hacer una categorización de los mismo y poder establecer los costos de desplazamientos o impedancia por dicha red.

La base de datos espacial de partida que se utiliza es la correspondiente al DERA, en su apartado “G10 Viario”, la capa de información utilizada de partida es “carreteras_arcos.shp”. Esta capa de información que abarca toda Andalucía, ha sido recortada con los tres municipios de la zona de estudio y actualizada a través de un largo proceso de fotointerpretación y trabajo de campo.

Cabe hacer un especial mención a los trabajo de campo y digitalización con ortofotos actualizada que se ha realizado, este trabajo se ha hecho a diferentes escalas y en función del mayor o menor detalle de información que se ha requerido para que el análisis de redes se realice lo más próximo a la realidad posible, a continuación se brinda un listado de actividades desarrolladas para conseguir estos objetivos:

- Reajuste de todas las vías principales, desde los diferentes Agentes hacia la zona inundable.
- Digitalización de todos los caminos y carreteras de acceso próximos a las zonas inundables.
- Revisión topológica de conexiones entre tramos viales que integran la red vial de estudio.
 - Regla topológica geométrica: “no deben quedar nodos aislados”.
 - Regla topológica geométrica: “no debe superponerse”.
- Clasificación de la red vial según su jerarquía o tipologías jerárquicas.
 - Caminos de tierras de difícil acceso y mala circulación.
 - Caminos asfaltado pero sin entidad de viario urbano (carriles consolidados).
 - Viario urbano.
 - Carreteras comarcales o travesías.
 - Autovías y autopistas.
- Adjudicación de velocidades medias a cada tramo según su jerarquía (ver Tabla 2).

TABLA 2
Velocidades medias según jerarquía de la vía

TIPO DE VÍA	VELOCIDAD MÁXIMA
Caminos de tierras de difícil acceso y mala circulación	10 km/h
Caminos asfaltado pero sin entidad de viario urbano (carriles consolidados)	25 km/h
Viario urbano	45 km/h
Carreteras secundarias	80 km/h
Autovías y autopistas	100 km/h

Fuente: Elaboración propia.

- Cálculo del coste de viaje o impedancia.

Los resultados de los diferentes análisis de redes que se efectúan quedan expresando en unidades de tiempo (minutos), según estable la siguiente fórmula:

$$Impedancia(min) = \frac{Longitud (m) * 60}{Vel \left(\frac{km}{h}\right) * 1000} = Longitud * 0.06 / vel \left(\frac{km}{h}\right)$$

Para hacer el análisis más certero se transforman los minutos a segundos, quedando los mapas resultantes expresados en superficies continuas de isócronas de tiempo de llegada.

5.3. OBTENCIÓN DE LAS ZONAS DE BARRERAS O DE INACCESIBILIDAD PARA LOS DIFERENTES TIPOS AGENTES DE SOCORRO Y ASISTENCIA

Para el fenómeno que se está analizando, la propia inundación genera un bloqueo total o parcial de la red viaria que se encuentra incluida dentro de la mancha de inundación. Bien es cierto que no en todas las zonas de inundación la profundidad de la corriente genera los mismos impedimentos y cortes de carreteras, ya que las profundidades de las manchas son variables y depende muchas de las condiciones topográficas de las zonas que se están estudiando.

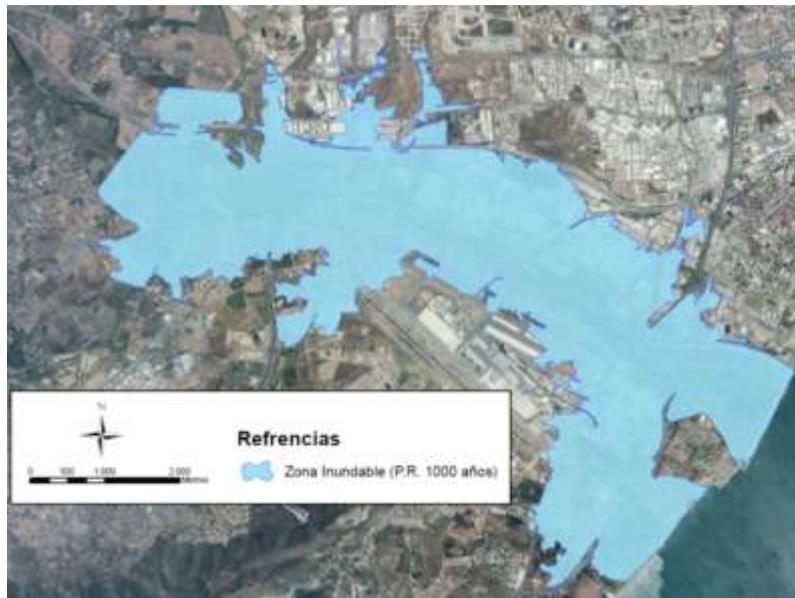
En caso de contar con estudio hidráulico de las zonas y tener un modelo raster de profundidades de la mancha de inundación, se hará uso de ellos. La idea de este artículo, no estener un estudio hidráulico para poder valora la vulnerabilidad frente al peligro de inundación en lo referente al socorro y/o la asistencia, pero si debe genera las opciones necesarias para obtener datos que puedan hacer un análisis fehaciente de lo que se produce en la realidad. Por ello se plantean dos alternativas, la más simple es contar con datos de profundidad de la corriente (calados) derivados de un estudio hidráulico de la región, lo cual siempre suele ser complicado o bien fabricarse los datos necesarios a partir de la mancha de inundación y modelo digital de elevaciones disponibles. Este último procedimiento es el que se ha optado por desarrollar y el cual se aborda a continuación en los siguientes epígrafes.

5.3.1 Paso 1: obtención o delineación de la zona de inundación

Si no se dispone de un estudio hidrológico-hidráulico, se debe realizar un estudio histórico y de levantamiento en campo de las zonas que se inundan, esta es la tarea más compleja y difícil de llevar a cabo, pero es la base de estudio. El resultado final que debe de plasmarse es un polígono de inundación, similares a los que genera un estudio hidrológico-hidráulico, en este caso en particular se cuenta con la manchas de inundación correspondiente a un periodo de retorno de 1000 años derivada de "Estudio hidráulico para la prevención de inundaciones y ordenación hidráulica de la cuenca del Río Guadalhorce, facilitado por Dirección General de Planificación y Gestión del Dominio Público Hidráulico de la Consejería de Medio Ambiente de

la Junta de Andalucía (Junta de Andalucía, 2015), lo cual se corresponde con la Figura 2.

FIGURA 2
Zona inundable Periodo de Retorno de 1000 años

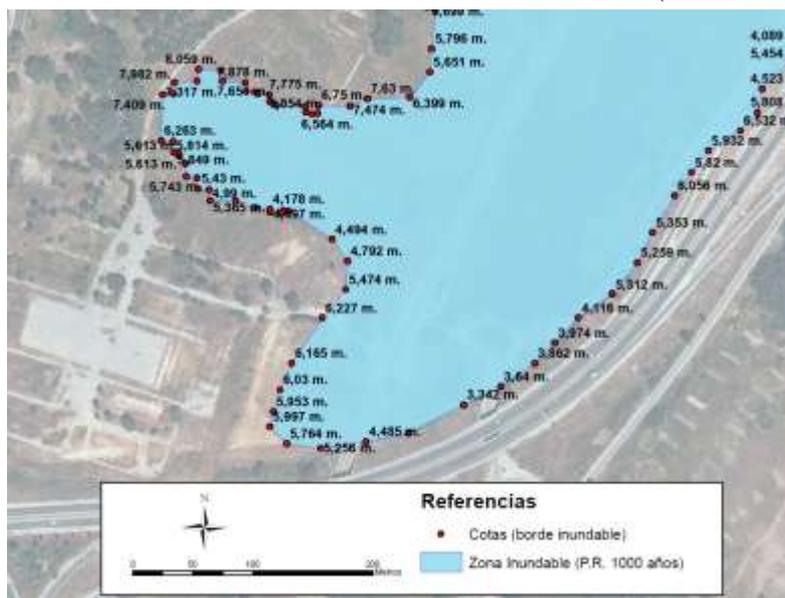


Fuente: Elaboración propia.

5.3.2 Paso 2: extracción de las cotas de elevación del borde de la mancha de inundación

Debe de convertirse todo los vértices geométricos que conforman el polígono de la mancha de inundación a puntos. A estos puntos se le atribuye de manera automática, con herramientas SIG, la cota de elevación que tenga el borde de la mancha a través de un Modelo Digital del Terreno (MDT), en este caso se ha utilizado el MDT del Instituto Geográfico Nacional, de resolución espacial de 5x5 metros de paso de celdas (ver Figura 3).

FIGURA 3
Cotas de elevación del borde de la mancha de inundación (Pr 1000 años)



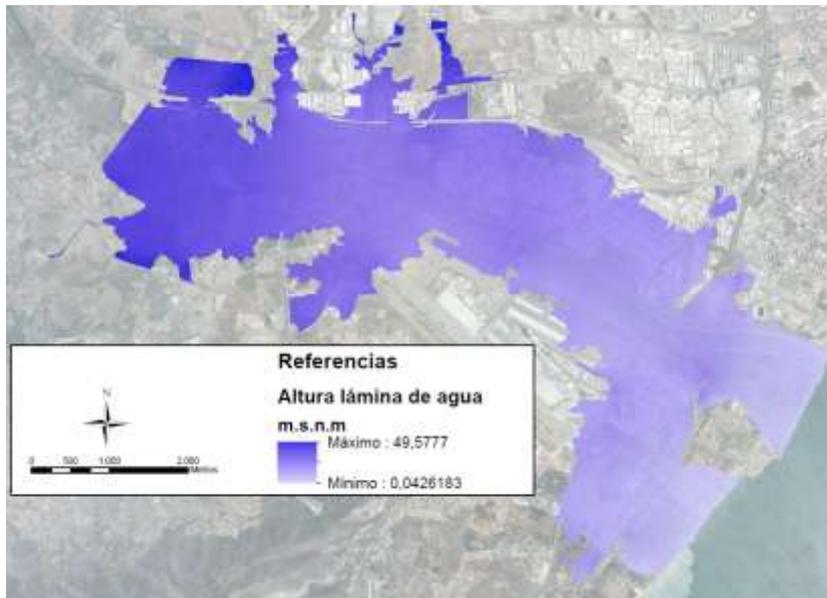
Fuente: Elaboración propia.

5.3.3 Paso 3: interpolación de las cotas de borde de la mancha de inundación

Obtenidas todas las cotas del terreno de los bordes de la lámina de agua, se procede a interpolar la información y generar una superficie de alturas a través de herramientas de interpolación incluida dentro de los SIG. En este apartado cabe hacer la mención que se han estudiado y comprobado diferentes métodos de interpolación (IDW, Kriging, Spline, Topo to Raster y Natural Neighbor), seleccionando el que otorga mejores resultados el método Natural Neighbor, el cual se recomienda para la realización de este paso.

Con este paso lo que se obtiene es una superficie continua de un modelo de datos raster, que cubre toda la mancha de inundación, con las profundidades de la lámina de agua, sin producir grandes picos o valles en dicha interpolación, aproximándose mucho a la realidad de una lámina de agua y los calados que se obtiene en los estudios hidráulicos tradicionales (ver Figura 4).

FIGURA 4
Raster resultante de altura de lámina de agua (interpolación de cotas)



Fuente: Elaboración propia.

5.3.4 Paso 4: inclusión de estructuras

Uno de los mayores problemas para poder establecer que vías de comunicación está siendo afectado por fenómenos de inundaciones, es corroborar si la mancha de inundación inunda o desbordan las estructuras que integran la red vial. En un modelo hidráulico convencional se toman todas las dimensiones morfométricas de la estructura en cuestión y se introducen en el modelo de simulación hidráulica, lo cual asegura que se han tenido en cuenta dichas estructuras para la obtención final de los calados definitivos.

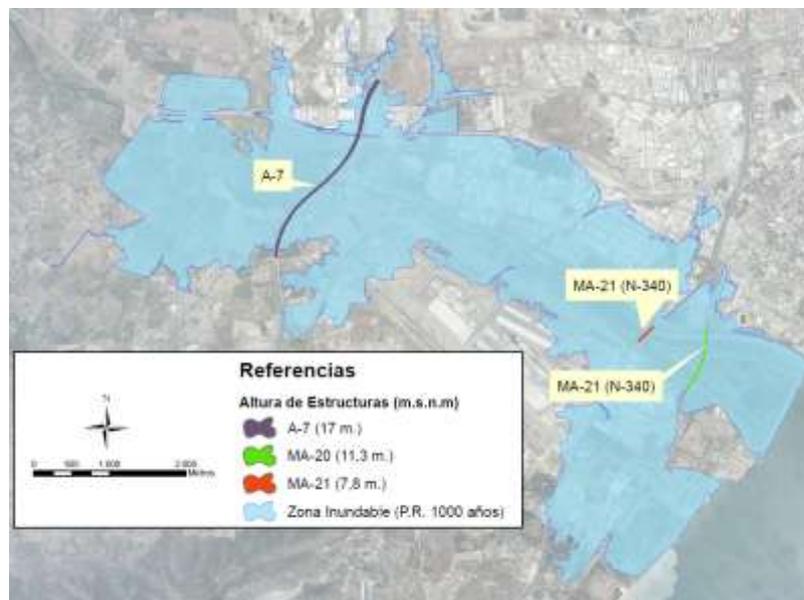
Al no contar con modelo hidráulico de referencia, en este apartado metodológico se ha calculado la altura media del tablero que forma parte de la estructura. Para ello se ha tenido en cuenta la consideración general de la clave de una estructura (altura máxima de un puente, viaducto, etc.), la cual por norma general está por encima de la altura de los estribos que integran y soportan dicha estructura, lo cual brinda la oportunidad de obtener una altura media del tablero, tomando como referencia la altura de los estribos que sostienen dicha estructura. Esto se traduce en que si los estribos están inundados, la vía de comunicación está interrumpida, aunque en el centro de la estructura, es decir dónde está la clave de la misma, tenga una altura ligeramente superior a la de los estribos y pueda no verse inundada, pero si bloqueado por inundación de sus márgenes o zonas de estribos.

En este apartado se han digitalizados los tableros que conforman las estructuras de los puentes de toda la red vial y se les han otorgado a cada uno de ellos una cota de terreno medio, la cual deriva de la altura media que tiene los estribos que la sostienen a cada una de ella. Este paso se ha realizado teniendo en cuenta el MDT del Instituto Geográfico Nacional mencionado anteriormente, a través de procesos de fotointerpretación se han localizado los estribos de las diferentes infraestructuras y se han obtenidos sus alturas, se ha establecido su altura media y se les ha adjudicado a los tableros que integran las diferentes infraestructuras las siguientes altitud medias:

- A7: 17 m.s.n.m.
- N-340 (MA-21): 7,8 m.s.n.m.
- MA20: 11,3 m.s.n.m.

Con los datos de altura media se ha podido elaborar una superficie continua de datos raster de las estructuras implicadas en la zona de estudio (ver Figura 5).

FIGURA 5
Altura de estructuras de la zona de estudio

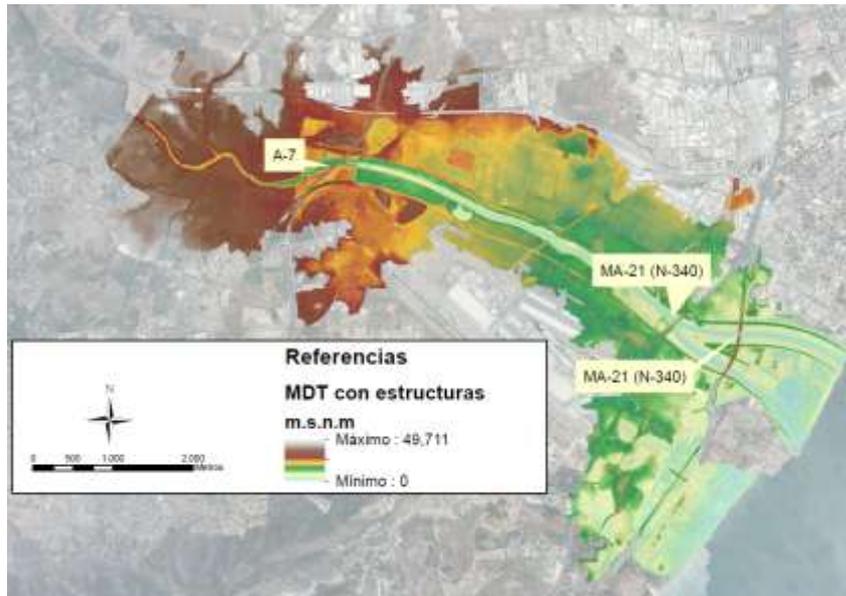


Fuente: Elaboración propia.

5.3.5 Paso 5: integración de la altura de las estructuras al raster del MDT

A través de los SIG y empleando una calculadora raster, se fusiona el raster del MDT, con el raster de la altura de las estructuras obtenido en el paso anterior, con la prevalencia de la altura de las estructuras sobre el MDT, consiguiendo así integrar las infraestructuras todo en una única superficie raster de elevaciones (ver Figura 6).

FIGURA 6
Modelo Digital del Terreno con estructuras integradas

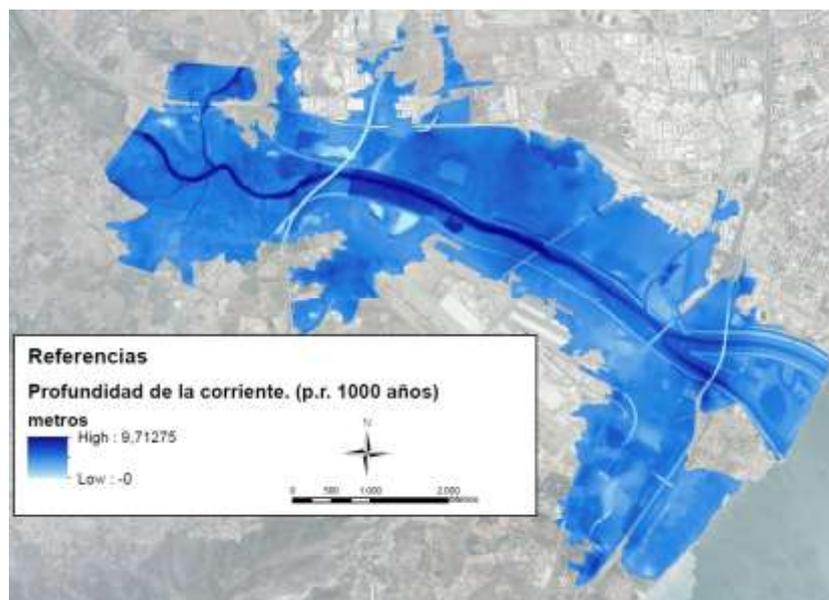


Fuente: Elaboración propia.

5.3.6 Paso 6: obtención de los calados definitivos

Esto se obtiene a través de la calculadora raster integrada en un SIG, restando el raster de altura de lámina de agua (paso 3) con el MDT que integra ya las estructuras (paso 5), obteniendo así los calados definitivos de la mancha de inundación de la zona de estudio útil para realizar un análisis de redes correcto (ver Figura 7).

FIGURA 7
Altura de Lámina de agua definitiva (Calados de la corriente para Pr de 1000 años)



Fuente: Elaboración propia.

5.3.7 Reclasificación de los calados y obtención de las zonas de barreras o de inaccesibilidad para los diferentes tipos agentes de socorro y asistencia

Una vez obtenidos los calados se procede a establecer definitivamente las áreas de profundidad que serán utilizadas como barreras o zonas de incremento de coste de desplazamiento frente al socorro y la asistencia. Para el desarrollo de este apartado se ha realizado una entrevista con el cuerpo de bomberos de “Las Pirámides” de la ciudad de Málaga, en donde los conductores de los diferentes medios de transporte, consensuaron entre ellos los parámetros medios máximos en los cuales un medio de transporte puede acceder en las zonas inundables, la cual queda condicionada generalmente por la profundidad de la corriente.

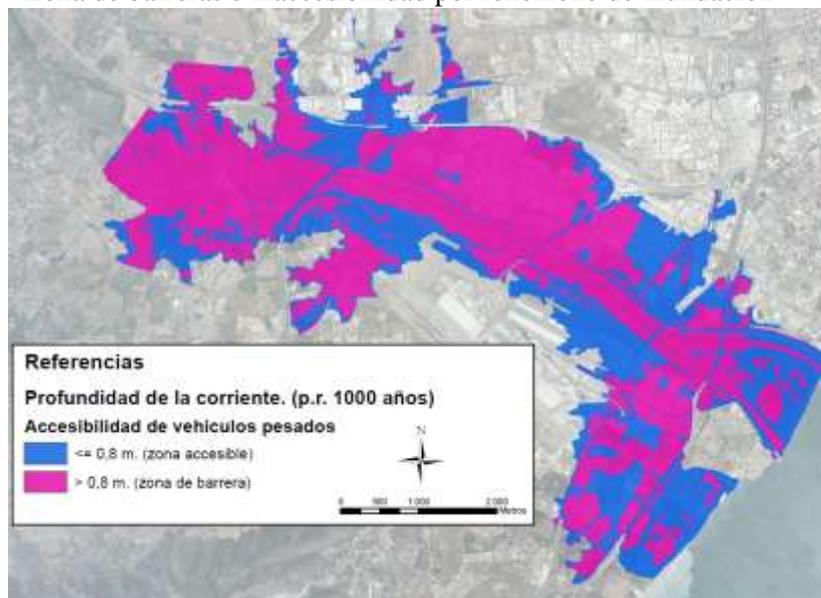
La flota de vehículos utilizados por el cuerpo de bomberos es de tipo pesados, los cuales tienen mayores alturas y mayor peso y por ello soporta una lámina de agua más profunda y con mayores velocidades, estableciendo su máximo nivel de seguridad en los 80 cm de altura. El mayor condicionante para este tipo de vehículos no es la salida del tubo de escape, ya que la mayoría de los medios están adaptados por seguridad de contaminación del personal y los gases se canalizan hacia arriba a través de tubos de escapes que están a una altura promedio de 3 metros, sino por el factor de pandeo o pérdida de estabilidad del vehículo y por tanto del control del mismo que conlleva a no poder acceder más allá de estos límites y tener que hacerlo a través de medios acuáticos específicos, los cuales escapan del ámbito de actuación de este estudio.

Una vez interpretado los datos de la entrevista, se procede a reclasificar con estos parámetros los datos del modelo raster resultante del “Paso 6” (ver Figura 8) con los siguientes parámetros:

- $\leq 0,8$ metros (80 cm), zona accesible, con incrementos de costos de desplazamientos.
- $> 0,8$ metros (80 cm), zonas inaccesibles, bloqueo total del viario.

FIGURA 8

Zona de barreras e inaccesibilidad por fenómeno de inundación



Fuente: Elaboración propia.

5.4 OBTENCIÓN DE LAS ZONAS DE BARRERAS O DE INACCESIBILIDAD PARA LOS DIFERENTES TIPOS AGENTES DE SOCORRO Y ASISTENCIA

Para la simulación y obtención de áreas de servicios que son cubiertas por cada agente de socorro y asistencias y obtención de mapas de isócronas de tiempos de viaje o respuestas de los diferentes agentes hacia las zonas afectas, se utiliza el software Network Analyst de ArcGis 10.3.

Esta aplicación informática es capaz de medir áreas de servicios expresadas en tiempos o lo que es lo mismo, mapas de isócronas desde los diferentes agentes implicados hacia toda la zona de estudios en cuestión en este caso la del Bajo Guadalhorce.

Para simular el análisis de redes y obtener mapas de isócronas, es necesario programar el sistema informático con los siguientes parámetros:

- **FACILITIES:** esto son los puntos de partida de donde se ejecuta el análisis de redes, en este caso los diferentes agentes del cuerpo de bomberos que brindan socorro y asistencia (ver Tabla 1).
- **RED:** es el soporte geométrico vital por la que el programa establece los cálculos y ponderaciones, estos los puede hacer en función de distancias o por algún coste que se le indique
- **IMPEDANCIA O COSTE DE DESPLAZAMIENTO:** Es el corazón del análisis, el sistema calcula lo que el operador programe, es decir puede calcular diferentes tipos de coste, para esta trabajo se utiliza el tiempo de viaje o desplazamiento, el cual ya se ha explicado anteriormente como ser calculado y las velocidades medias utilizadas para calcular el coste acumulado en tiempo queda recogidas en la Tabla 2.
- **BARRERAS O INCREMENTOS DE COSTES:** Todo aquello que supone un impedimento al desplazamiento de los vehículos por la red vial, o que supone incrementar su coste de desplazamiento por algún tipo de razón. En este trabajo se ha optado por duplicar el coste en las zonas inundadas cuya profundidad de la corriente es ≥ 0.8 metros y bloquear el paso de todo lo que se encuentre por encima de 0.8 metros de profundidad, la justificación de esta decisión se ha explicado ya el apartado 5.3.7.

5.5 OBTENCIÓN DE LAS ZONAS DE BARRERAS O DE INACCESIBILIDAD PARA LOS DIFERENTES TIPOS AGENTES DE SOCORRO Y ASISTENCIA

5.5.1 *Análisis de redes sin barreras (sin fenómeno inundable)*

El primer análisis de redes que se efectúa, se realiza simulando la realidad sin fenómeno de inundación. En este apartado se realizan un análisis con todos los agentes de cuerpo de bombero que brindan socorro y asistencia, teniendo en cuenta los parámetros explicados en el apartado 5.4, con la salvedad que no existen barreras o incrementos de costes por fenómeno de inundación.

Se realiza un análisis de redes sin el fenómeno de inundación en cuestión, es decir cuáles son las áreas servidas por los Bomberos, estableciendo diferentes isócronas de tiempo de llegada, ya que existirán diferentes zonas que puedan ser servidas por varias áreas logística de bomberos pero con diferente tiempo de respuesta, lo cual el sistema se encarga de unificar y poner en común generando una única superficie común. De esta forma queda reflejada una cartografía de tiempo de llegadas o isócronas de los agentes de bomberos con toda la infraestructura viaria disponible y sin fenómeno de inundación.

5.5.2 *Análisis de redes con barreras e incrementos de costos, por fenómeno de inundación*

El siguiente análisis consiste en agregar costo de desplazamiento a los viales que estén afectados por las zonas inundadas. También en este paso debe evaluarse todos los agentes implicados que brindan socorro y/o asistencia, en este caso de estudio correspondiente al cuerpo de bomberos, como es el caso de la estación de bomberos de Churrianas, la cual queda desestimada por verse inundada, lo cual se ha contrastado por comprobaciones que se han realizado a través de prensa. Una vez incrementados los costes y desactivados los agentes de bombero que están bloqueados, se procede a realizar un nuevo análisis de redes aplicando todos los parámetros ya explicados en el apartado 5.4.

5.5.3 Comparación entre los diferentes análisis de redes

Una vez obtenidos los mapas de isócronas de llegadas de los agentes de bomberos, sin y con fenómeno de inundación, a la zona de estudio, se puede establecer una comparación entre ambas. En este apartado se realiza una superposición cartográfica que consiste en restar, a través de una calculadora raster, el mapa de isócronas de tiempos de llegadas con fenómenos de inundación con el mapa de isócronas de tiempos de llegadas sin el fenómeno de inundación, obteniendo un mapa resultante de la comparativa entre ambas situaciones. El cual nos permite establecer que zonas son las más vulnerables frente a este tipo de asistencia en caso de suceder un fenómeno de inundación de estas magnitudes.

6. RESULTADOS

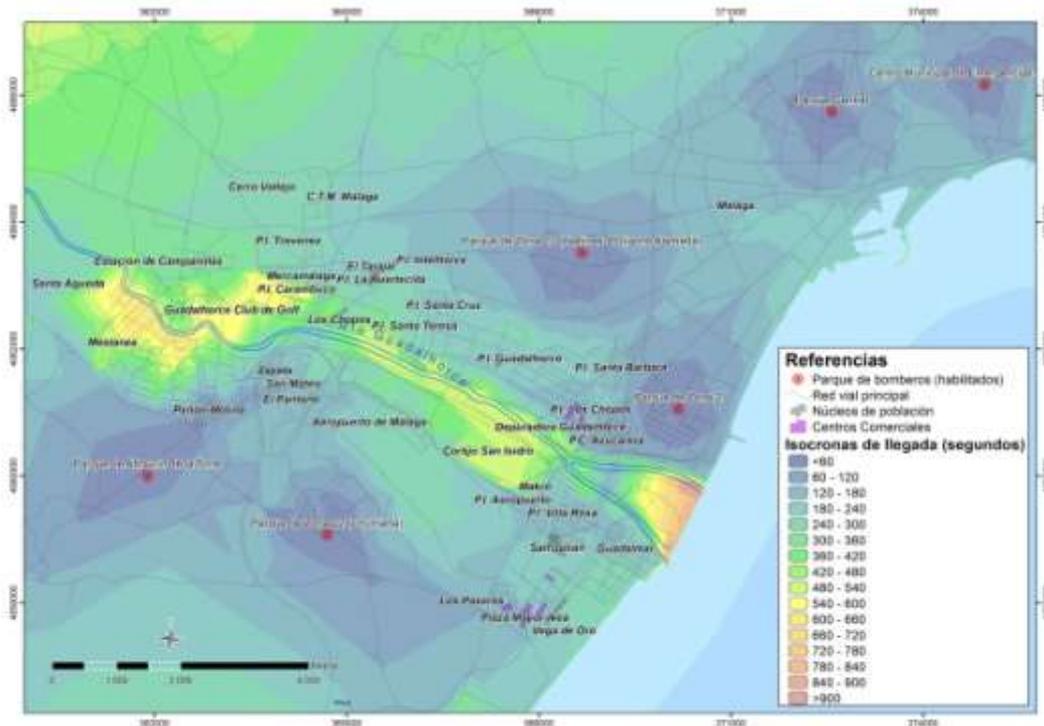
Los resultados de la aplicación de la metodología quedan reflejados en 3 documentos cartográficos, dos de ellos derivados del análisis de redes en sí y uno tercero como resultante de la comparación entre ambos.

6.1 CARTOGRAFÍA DE TIEMPO DE LLEGADA DE LOS AGENTES DE BOMBEROS QUE BRINDAN SOCORRO Y/O ASISTENCIA, EN CONDICIONES DE NORMALIDAD

Los tiempos de llegadas más elevados se encuentran entorno a la desembocadura del Río Guadalhorce, lo cual es coincidente con la zona de paraje natural, la cual cuenta con muy pocos viales asfaltados y la mayoría son caminos de tierras. Los tiempos de llegada que se ubican en el entorno a las márgenes del Río Guadalhorce también reflejan tiempos de llegada elevados, esto también responde a los escasos viales o viales de jerarquías muy bajas como caminos terrizos o simples sendas por las cuales se puede circular a muy bajas velocidades o con muchas dificultades, todo esto se traduce en un incremento de coste de llegada de los agentes a estas zonas.

FIGURA 9

Mapa resultante del análisis de redes, en condiciones de normalidad (sin inundación)



Fuente: Elaboración propia.

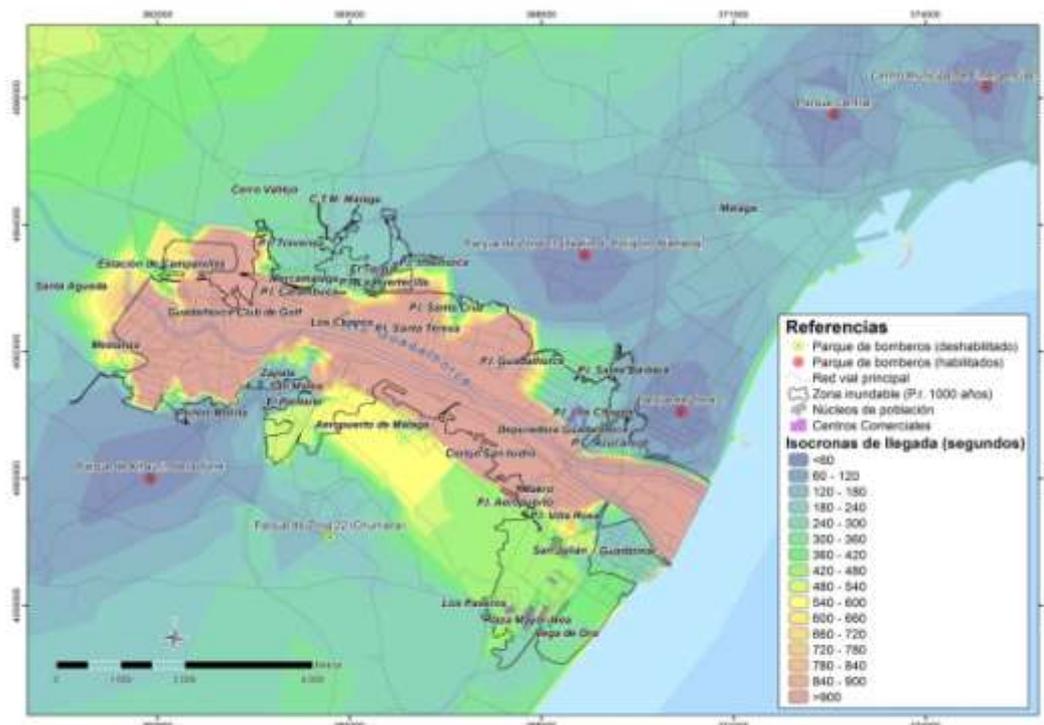
Se puede hacer una especial mención a la zona noroeste del entorno de la Mestanza en donde sucede algo similar a la desembocadura, aquí el incremento de costos es marcado, lo cual queda explicado por ser una zona agrícola con escasa vías de comunicación, las cuales a su vez en su gran mayoría responden a caminos terrizos o sendas que brinda una acceso y un circulación nula o muy difícil de llevar a cabo por los agentes de bomberos que brindan los servicios de socorro y/o asistencia (ver Figura 9)

6.2 CARTOGRAFÍA DE TIEMPO DE LLEGADA DE LOS AGENTES QUE BRINDAN SOCORRO Y/O ASISTENCIAS, CON BLOQUEO DE AGENTES POR FENÓMENO DE INUNDACIÓN O AISLAMIENTOS

Se aprecia un elevado incremento de coste a nivel general en toda la región afectada por las zonas inundables, sin embargo es destacable el bloqueo total coincidente con las zonas de calados superiores a 0.8 metros de profundidad de la mancha, esto es debido a la imposibilidad que supone el acceder a los agentes de bombero a brindar los servicios de socorro y/o asistencias, esto queda reflejado en tonos marrones con las isócronas de llegadas superiores a los 900 segundos.

Por otra parte es muy destacable la influencia que supone la cancelación de un agente que brinda socorro y/o asistencia, debido al bloqueo del mismo por fenómeno de inundación, como en este caso supone la estación de bomberos de Churriana. Se aprecian incrementos en los tiempos de llegada y por tanto incremento en el coste de desplazamientos en la zona del entorno del Aeropuerto de Málaga, centros comerciales como Plaza Mayor o Ikea, junto a los polígonos industriales próximos, más la población de San Julián.

FIGURA 10
Mapa de funcionamiento de la red de asistencia de bomberos durante un episodio de inundación (periodo retorno 1000 años)



Fuente: Elaboración propia.

Además hay que sumar en esta zona la cancelación de la carretera N-340 debido a su bloqueo por inundación de su puente que produce bloqueo total del tráfico, datos que además se

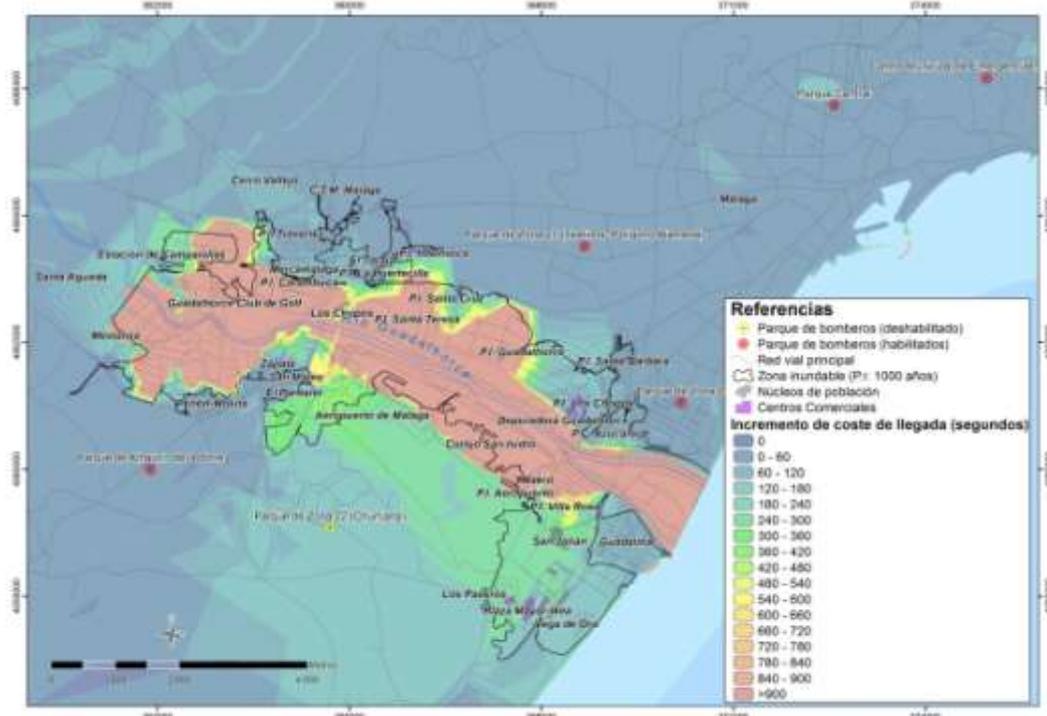
pueden contrastar con los fenómenos de inundaciones históricas ocurridas el 14 de noviembre de 1989, lo que conlleva a que los agentes localizados en el entorno de la margen izquierda (sector occidental) tiene que desplazarse por vías alternativas menos próximas, como son el caso de la MA20 o a la A7, generando un incremento de coste de desplazamiento importante. Es aquí donde se aprecia la disfuncionalidad territorial que genera el corte de una infraestructura de comunicación tan importante en la región y como esto incrementa notablemente la vulnerabilidad de los elementos expuesto frente al socorro y/o asistencia en la zona occidental o margen derecha del Bajo Guadalhorce (ver Figura 10).

6.3 CARTOGRAFÍA COMPARATIVA RESULTANTE, INCREMENTOS DE COSTOS Y BLOQUEOS DEFINITIVOS DE LOS AGENTES DE BOMBEROS QUE BRINDAN SOCORRO Y/O ASISTENCIA

Los incrementos de costes son notables en todo el entorno de la zonas inundables, pero por orden de magnitudes las más importante se centran en la zonas próximas a las márgenes del Bajo Guadalhorce, con áreas envolventes hacia el exterior, esto es coincidente con las zonas de calados de la mancha de inundación, en profundidades superiores a 0,8 metros, en donde el bloqueo es total, sin embargo todo lo que está por debajo de 0,8 metro de profundidad de la corriente, es donde existen incrementos de costes que se va degradando hacia los márgenes de la macha de inundación, es decir a menor profundidad menor incrementos de costes de desplazamientos.

Muy destacable es el efecto que se produce en la desembocadura del Río Guadalhorce, quedando totalmente aislada y bloqueada esta zona, la cual si bien es una zona de paraje natural, está muy próxima a la zona poblada de Guadalmar, la cual se puede ver seriamente afectado por tener un bloqueo muy marcado en su zonas más próximas, lo que supone que toda la zonas de estapoblación que linda con las márgenes de estas zonas puede sufrir bloqueos parciales o totales y por tanto su vulnerabilidad se incrementa.

FIGURA 11
Mapa resultante de la comparación entre los análisis de redes (2016)



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado el bloqueo o inhabilitación de los agentes de bombero de Churriana, supone un gran perjuicio e incrementos de coste de llegadas marcadas para todas las zonas vinculadas a la margen derecha del Río Guadalhorce. Se aprecia como sufren estos incrementos de coste en todo el entorno del Aeropuerto de Málaga, zona comercial de Ikea y sobre todo la población de San Julián la cual se ve seriamente afectada, esto último es de vital importancia por ser una zona de residencia y por ende de mayor exposición frente al peligro de inundación, generando un incremento de la vulnerabilidad frente al socorro y asistencia de gran importancia (ver Figura 11).

7. CONCLUSIONES

La metodología propuesta constituye una aportación directa a la aplicabilidad de los estudios de riesgo a escala local. El poder zonificar y establecer que zonas se quedan más aisladas o desasistidas a nivel territorial, dota de una herramienta de vital importancia, tanto para el desarrollo del ordenamiento territorial, como para elaborar mejores Planes de Actuación de Ámbito Local por parte de las entidades competentes. La metodología es aplicable a otros agentes de socorro y asistencia, y sugiere diversas vías de avance y explotación, para obtener resultados de utilidad más directa, como por ejemplo la identificación de forma más precisa de los sectores del territorio previsiblemente más necesitados de asistencia (más vulnerables), para priorizar las rutas más necesarias, y poder garantizar su funcionalidad durante la crisis.

Por otra parte, la metodología propone una aportación en la línea de mejora de la precisión y rigor de los documentos cartográficos de vulnerabilidad frente a la inundación a escala intramunicipal. La revisión de antecedentes teóricos y normativos muestran como ésta es claramente una de las asignaturas pendientes en materia de riesgo de inundación, ya que el nivel de detalle y concreción metodológica que se exige en la evaluación de la peligrosidad frente a la inundación es mucho más exigente que la que se admite en los documentos de planeamiento y gestión del riesgo de inundación en relación a la vulnerabilidad, que se presenta contenidos mucho más laxos. En este sentido, se hacen imprescindibles tareas de regulación, sistematización y consenso de metodologías para cartografiar con precisión y sentido aplicado la vulnerabilidad frente a la inundación, contexto en el que se sitúa la línea de trabajo expresada en el artículo.

Conceptualmente, la aportación metodológica, al considerar la vulnerabilidad de los sistemas de socorro como una variable dependiente de las condiciones de peligrosidad, incorpora como novedad la vinculación efectiva de la peligrosidad (calado), y la vulnerabilidad (eficacia del sistema de socorro), componentes del riesgo que suelen evaluarse de forma aditiva, pero no necesariamente interrelacionada.

8. AGRADECIMIENTOS

Los contenidos del presente artículo se han sido desarrollados en el marco del Proyecto de Investigación “Patrón territorial y vulnerabilidad social frente al riesgo de inundación. Metodologías de evaluación y cartografía de la vulnerabilidad social adaptadas a la nueva Ley de Aguas de Andalucía “(P10-SEJ-6835-R), financiado por la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía y dirigido por la Dr. Perles Roselló, M.J.

9. BIBLIOGRAFÍA

- AROCA-JIMÉNEZ, J., M. BODOQUE, J.A., GARCÍA, A. DÍEZ-HERRERO (2016): Análisis de la vulnerabilidad social ante avenidas súbitas en zonas urbanas de Castilla y León (España) En “Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro”. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España Geología y Geofísica Nº 5.
- BARBAT, A., CARREÑO, M., CARDONA, O. y MARULANDA, M. (2011): “Holistic assessment of seismic risk in Urban areas (Evaluación holística del riesgo sísmico en zonas Urbanas)”. En Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería. 27: 3-27

- BARROCA, B., BERNARDARA, P., MOUCHEL, J.M. y HUBERT, G. (2006): "Indicators for identification of urban flooding vulnerability". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 6, 553-561.
- BESCOS, A. y CAMARASA, A.M. (2004): "La creciente ocupación antrópica del espacio inundable y el aumento de la vulnerabilidad en las poblaciones del Bajo Arga (Navarra)". *Boletín de la A.G.E.* 37, 101-117.
- BOSQUE SENDRÁ, J. (1997): *Sistemas de información geográfica*. Madrid, Rialp.
- CALVO GARCÍA-TORNELL. (2001): *Sociedades y territorios en riesgo*. Ediciones del Serbal. Barcelona.
- CAMARASA BELMONTE, A.M., LOPÉZ-GARCÍA, M.J. y SORIANO GRACÍA, J. (2008): "Cartografía de vulnerabilidad frente a inundaciones en llanos mediterráneos. Caso de estudio del Barranc de Carraixet y Rambla de Poyo". Universidad de Alcalá. Servicio de Publicaciones.
- CARDONA, O. (2003): "La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión". *International Work-Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice*, Holanda. http://www.desenredando.org/public/articulos/2003/rmhcvr/rmhcvr_may-08-2003.pdf
- CARREÑO, O., BARBAT, A. y CARDONA, O. (2014): "Holistic Evaluation of the Seismic Risk in Barcelona by Using Indicators. In Assessment of Vulnerability to Natural Hazards. A European Perspective". Edited by Jörn Birkmann, Stefan Kienberger and David E. Alexander. Chapter II, pp. 21-52.
- CASTILLO LÓPEZ, O. (2016): "Caracterización hidromorfológica y riesgos de inundación en la cuenca fluvial del río Guadiaro (Cádiz y Málaga)". Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz.
- CONMFORT, L., WISNER, B., Perles, S., PULWARTY, R., HEWITT, K., SMITH, A., WIENER, J., FORDHAM, M., PEACOCK, W. AND KRIMGOLD, F. (1999): *Reframing disaster policy: the global evolution of vulnerable communities*. *Environmental Hazards* 1(1), 39-44.
- CUTTER, S., BORUFF, B., SHIRLEY, W. (2003): "Social vulnerability to environmental hazards", *Social Science Quarterly*, Vol. 84, nº 2. pp. 242-261.
- DIRECTIVA 2007/60 (2007): *Evaluación y gestión de los riesgos de inundación*.
- EAKING, H. Y LUERS, A.L. (2006): "Assesing the vulnerability of social-Environmental Systems ". *Annual Review of Environment and Resources*, 31, pp. 365-394.
- ESRI. (2012): "Network Analyst User Manual", Redlands, ESRI.
- GAO J., NICKUM, J.E., y PAN, Y. (2007): "An assessment of flood hazard vulnerability in the Dongting Lake Region of China". *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 12.
- GARROTE, J., NAVALUENGO, F.M. y DIEZ-HERRERO, A. (2016): "Quantification of flash flood economic risk using ultra-detailed stage-damage functions 2-D hydraulic models". *Journal of Hydrology*. In Press, available online 10 February 2016.
- GENERALITAT DE CATALUNYA (2006): *Plan de emergencia especial por inundaciones (INUNCAT)*. Departament d'Interior
- GENERALITAT VALENCIANA (2003): *Plan de acción territorial sobre prevención del riesgo de inundación en la Comunitat Valenciana*. Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio.
- GOBIERNO DE CASTILLA LA MANCHA (2007): *Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones (PRICAM)* Dirección General de Protección Ciudadana.
- HAUSMANN, P. y PERILLS, C. (1999): "Inundaciones, ¿Un riesgo asegurable?". Swiss Re Publishing, Zurich.
- JUNTA DE ANDALUCÍA (2002): *Plan de Prevención de avenidas e inundaciones en cauces urbanos andaluces*. DECRETO 189/2002. Consejería de Obras Públicas y Transportes.
- JUNTA DE ANDALUCÍA. (2015): "Estudio hidráulico para la prevención de inundaciones y ordenación hidráulica de la Cuenca del Río Guadalhorce". Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.
- JUNTA DE ANDALUCÍA. (2015): "Planes de Gestión del Riesgo de Inundación". Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.
- JUNTA DE ANDALUCÍA. (2015): *Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI)*. Consejería de Medio Ambiente.

- JUNTA DE ANDALUCÍA. (2016): Planes de gestión del riesgo de inundación de las cuencas internas de Andalucía: demarcaciones hidrográficas del Tinto, Odiel y Piedras; Guadalete y Barbate; y Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Real Decreto 21/2016
- KIRBY, A. (ed.) (1990): *Nothing to Fear. Risks and Hazards in American Society*, University of Arizona, Tucson, 131-178
- MESSNER, F. y MEYER, V. (2005): "Flood damage, vulnerability and risk perception - challenges for flood damage research". Leipzig-Halle, Department of Economics. UFZ-Umwelt for schungszentrum Leipzig-Halle.
- MITCHELL, J. K., DEVINE, N. y JAGGER, K. (1989): "A contextual model of natural hazard" *Geographical Review* 79 (4), 391-409.
- OLCINA CANTOS, J. (2008): "Cambios en la consideración territorial, conceptual y de método de los riesgos naturales", *Geocritica*, Diez años de cambios en el mundo, en la Geografía y en las ciencias sociales, 1999-2008. <http://www.ub.es/geocrit/-xcol/62.htm>
- PALM, R. I. (1990): *Natural Hazards. An Integrative Framework for Research and Planning*, The Johns Hopkins University Press. Baltimore
- PAUCAR, J (2016): "Modelo para la articulación de la Gestión del Riesgo en el proceso de ordenamiento Territorial de la ciudad de Guarana/Ecuador". Tesis Doctoral Universidad de Valencia.
- PERLES ROSELLÓ, M. J., VÍAS MARTÍNEZ, J. y ANDREO NAVARRO, B. (2008): "Vulnerability of human environment to risk: case of groundwater contamination risk". *Environment International*, Elsevier. DOI: 10.1016/j.envint.2008.08.005
- PERLES ROSELLÓ, M.J. (2010): "Apuntes para la evaluación de la vulnerabilidad social frente al riesgo", *Baética* nº 32, pags. 67-87, 2010 ISSN: 0212-5099.
- PERLES ROSELLÓ, M.J. Y MÉRIDA RODRÍGUEZ, M. (2009): Patrón territorial y conformación del riesgo en espacios periurbanos. El caso de la periferia Este de la ciudad de Málaga. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. [En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona, 10 de julio de 2010, vol. XIV, nº 329.
- PERLES ROSELLÓ, M.J., SORTINO BARRIONUENO, J.F. Y CANTARERO PRADOS. (2015): "El rol de la vulnerabilidad de la población en la gestión del riesgo. Precisiones necesarias y criterios a emplear para el diseño de métodos de evaluación útiles y consensuados". Proyecto PAPIME 2015 (Universidad Nacional Autónoma de México.)
- PERLES ROSELLÓ, M.J., SORTINO BARRIONUENO, J.F. Y CANTARERO PRADOS. (2017): "Cartografía de la vulnerabilidad del territorio frente al riesgo de inundación. Propuesta adaptada a la directiva europea de inundaciones y normativas derivadas". *BAGE* Nº75.
- PERLES, M.J., CABELLO, J., LÓPEZ, C., VALLEJO, J.A., VÍAS, J. (1999): "El problema inundación/ocupación en el Bajo Guadalhorce". En: *Jábega*, Nº. 81, págs. 62-77.
- REAL DECRETO (903/2010): Evaluación y gestión de riesgos de inundación.
- REAL DECRETO 638/2016 (2016): Modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el Reglamento de Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, y otros reglamentos en materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales.
- REGIÓN DE MURCIA (2007): Normativa de las Directrices y Plan de Ordenación Territorial del Suelo Industrial de la Región de Murcia. Consejería de Industria y Medio Ambiente.
- RUIZ, M. (2011): "Vulnerabilidad territorial y evaluación de daños postcatástrofe: una aproximación desde la geografía del riesgo". Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- SAURÍ, D. (2003): "Tendencias recientes en el análisis geográfico de los riesgos ambientales. In. CALVO, F. y CONESA, C. (Dir.). Los procesos de riesgo con origen natural: naturaleza, efectos y estrategias de actuación. Áreas. *Revista de Ciencias Sociales*, nº 23, p.17-32.
- SAURÍ, D. y RIBAS PALOM, A. (1994): "El análisis del riesgo de avenida en las escuelas geográficas anglosajona, francesa y española". *Estudios Geográficos*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, nº 216, p. 481-502.
- UNESCO-IHE (2009): "Flood Vulnerability Indices (FVI)".

VEYRET, Y., BEUCHER, S., BONNARD, J.Y. (2005): "Risques naturels et territoires", en *Bagf Geographies*, 2005-1.