

# PROBLEMAS Y RETOS EN EL ANÁLISIS DE LOS RIESGOS MÚLTIPLES DEL TERRITORIO. PROPUESTAS METODOLÓGICAS PARA LA ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍAS MULTI-PELIGROS

**M.J. Perles Roselló y F. Cantarero Prados**

Departamento de Geografía. Universidad de Málaga

## RESUMEN

El análisis de la peligrosidad de un territorio con propósitos preventivos está necesitado de una aproximación que permita integrar en un documento cartográfico la acción combinada de los distintos peligros sobre un mismo espacio. Las metodologías para la cartografía multi-peligros y multi-riesgo presentan aún muchos retos y problemas a resolver, y han desarrollado en muy escasa medida la cuestión de la acumulación de los peligros en cadena. Se propone en el artículo una serie de procedimientos para la integración de distintos peligros en un mapa conjunto, mediante metodologías basadas en la superposición vertical de la peligrosidad, y otras más complejas que abordan la evaluación en cadena. El conjunto de procedimientos se aplican a un caso de estudio situado en la periferia este de la ciudad de Málaga.

**Palabras clave:** cartografía multi-peligro, multi-riesgo, peligrosidad en cadena, planificación.

## ABSTRACT

Analyzing the risks affecting a given territory, for the purposes of prevention, requires an approach by which we may obtain a cartographic document representing the combined action of different hazards on a single space. Current methodologies for multi-risk and multi-hazard mapping are still subject to many challenges and unresolved problems, and have been paid very inadequate attention to the question of the accumulation of linked hazards. This

---

Fecha de recepción: febrero 2009.

Fecha de aceptación: febrero 2010.

paper proposes a series of procedures for integrating various hazards into a joint map, using methodologies based on the vertical superposition of risk, together with other, more complex, techniques addressing the problem of linking diverse assessments. This set of procedures was applied to a study case located on the eastern borders of the city of Malaga.

**Key words:** multi-hazard mapping, multi-risk, linked risk, planning.

## I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El análisis del riesgo se ha realizado tradicionalmente con una perspectiva disciplinar por la cual cada tipo de riesgo ha sido abordado, evaluado y cartografiado de forma individual. Esta vía ha dado como resultado un avance muy productivo en las metodologías de evaluación específicas de cada uno de los tipos de riesgo, especialmente en lo que se refiere a la peligrosidad. Sin embargo, distintas circunstancias han ido mostrando la ineficacia de estos planteamientos sectoriales para resolver el riesgo en contextos territoriales complejos, en los que los procesos asociados a cada tipo de riesgo no se manifiestan de forma aislada, sino con estrechas interconexiones espacio-temporales. El crecimiento demográfico y urbanístico acelerado, el incremento de la inducción y la vulnerabilidad, la conexión entre causas naturales y humanas, y la incertidumbre que el cambio global plantea respecto a escenarios futuros son problemas que han puesto de manifiesto la necesidad de abordar el estudio del riesgo desde planteamientos holísticos, «because of the complexity of such events, sectorial solutions do not appear to provide any results and have turned to integrate instruments and approaches for the development of adequate methods for the mitigation of risk» (Delmonaco, Margottini y Spizzichino, 2006:7). No considerar las interconexiones y efectos en cadena entre los distintos tipos de riesgo que concurren en un espacio conlleva minusvalorar la sinergia que comporta el funcionamiento conjunto de los procesos, y, en consecuencia, minusvalorar el riesgo.

En la actualidad diversas circunstancias están generando oportunidades para el desarrollo de metodologías integradas de los riesgos múltiples. Los nuevos paradigmas de validación del conocimiento científico no positivista y el apoyo a los enfoques transversales propician la integración. La Conferencia Mundial de la ONU en Kobe (2005) propuso en este sentido la gestión integral de riesgos naturales y tecnológicos y dictaminó como objetivo preferente la reducción de los problemas de multi-peligrosidad y multi-riesgo. En este contexto favorable, no obstante, son muchos los retos y problemas a resolver para abordar metodológicamente la evaluación multi-riesgos.

Además de llamar la atención sobre la necesidad de enfocar la evaluación del peligro de una manera integrada, un objetivo del presente artículo es analizar el estado de la cuestión en lo que se refiere a la cartografía multi-riesgos y multi-peligros y exponer su problemática y necesidades. Esta reflexión constituye el punto de partida para abordar el objeto último del trabajo que es proponer indicaciones metodológicas para la cartografía de peligros múltiples y aplicar estas propuestas en un contexto territorial complejo, con estrecha interconexión entre aspectos naturales y humanos de la peligrosidad y en el que son comunes los casos de peligrosidad en cadena. Las propuestas metodológicas se aplican a un caso de análisis en el entorno periurbano de la ciudad de Málaga.

## II. ANTECEDENTES Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

### 1. Antecedentes

Los antecedentes metodológicos referentes al análisis multi-riesgo no son muy numerosos y tienen un carácter relativamente reciente. Desde un punto de vista conceptual, diversos autores han ido contribuyendo a dejar atrás las metodologías sectoriales para proponer evaluaciones holísticas de los distintos componentes del riesgo, así como de los riesgos naturales y tecnológicos (Smith 1992). Enfoques como la teoría del «lugar de riesgo», renovada por Cutter (1994 y 1996), Cutter, Boruff y Shirley (2003), Hewitt, (1997) o Tobin y Montz (1997), al igual que propuestas como la del análisis de riesgos de interfaz (Caballero, 2001) son orientaciones que centran su atención en el contexto espacial en el que el riesgo se genera. El contexto territorial es, por tanto, el punto de partida para el análisis, y no la visión disciplinar con la que cada tipo de riesgo ha sido evaluado individualmente. La conexión del análisis del riesgo con la planificación ha acentuado en mayor medida la necesidad de un enfoque del riesgo desde el espacio en el que se produce. Greiving Fleischhauer y Lückenkötter (2004), en el marco de la iniciativa ESPON observan como «existing concepts in this area are single hazard oriented, whereas spatial planning should be space oriented» (p. 13) Esta perspectiva fenomenológica propicia el análisis de los distintos riesgos tal y como se producen, esto es, de forma coincidente en el tiempo y en el espacio, y, consecuentemente, con interconexiones múltiples. Perles (2004), en este sentido, apunta como la evaluación integrada de los riesgos de distinta etiología que concurren en un espacio puede constituir una de las aportaciones singulares de la Geografía, como ciencia territorial y de síntesis, al análisis del riesgo. La vinculación del riesgo al territorio, implica, necesariamente, la evaluación integrada de los riesgos múltiples (Perles 2007).

Existen también algunos ejemplos aislados de voluntad integradora en el ámbito normativo, especialmente en relación al riesgo de inundación; así, por ejemplo, a nivel estatal, en la Directriz General para la evaluación del Riesgo de Inundación se especifica la necesidad de analizar de forma asociada los peligros de movimiento en masa e inundación. La reciente Directiva Europea relativa a la Evaluación y Gestión de los riesgos de Inundación (60/2007) orienta de forma más concreta sobre la necesidad de unificar riesgos que poseen funcionamientos y consecuencias asociadas. Por ejemplo en el artículo 6.5 solicita, a la hora de cartografiar zonas inundables, la indicación de zonas en las que puedan producirse inundaciones con alto contenido de sedimentos transportados, flujos de derrubios, trasgresión marina o contacto con fuentes de contaminación, así como zonas con erosión de orillas y sedimentación de arrastres.

En el plano de la investigación aplicada, algunos trabajos se esfuerzan por interconectar procesos de peligrosidad que funcionan de forma asociada a partir de análisis de casos. Pueden citarse como ejemplo las aportaciones de Montz (1994) y Lahouse (1998) que conectan los movimientos gravitacionales, las inundaciones torrenciales y el riesgo de avalancha en espacios de montaña, o la de Valpreda et al. (2000) que analizan las interrelaciones entre la inundación y la erosión en áreas costeras. Cannon, Biggio y Mine (2001) avanzan sobre la relación entre el incendio y los movimientos en masa. Tibaldi, Ferrari y Pasquere (1995) lo hacen en relación a las conexiones entre terremotos y movimientos en masa. Al hilo de las

investigaciones sobre cambio climático, algunos autores se centran en la correspondencia entre las variaciones de los eventos extremos climáticos y el riesgo de incendio (Khandekar et al, 2000) o de avalancha (Fohn, 1992; Abbatisa et al, 2005). Otros autores dan un paso más y proponen metodologías de análisis multi-peligrosidad (Bell y Glade, 2008), aunque restringen el campo de análisis a distintos tipos de riesgos gravitacionales. Otras aportaciones se orientan hacia los aspectos técnicos del análisis multi-riesgo, como es el caso del trabajo de Bovoloa et al. (2008), que, en el marco del proyecto MEDIGRID, aporta estrategias para la integración de modelos de análisis del riesgo construidos de forma independiente. Ejemplos de análisis combinado de distintos tipos de peligrosidad, próximos al área de estudio de este trabajo, son las aportaciones de Cobos, Perles y Andreo (2004) sobre las relaciones entre la transgresión marina y la inundación en cursos bajos, o las de Mérida, Perles y Blanco (1998) relacionando los movimientos gravitacionales, el riesgo de colapso de cauces y la generación de picos de avenida. Los trabajos de Perles et al. (2006) y Perles, Gallego y Cantarero (2006) dan un paso más y se centran en la evaluación integrada de peligros que se manifiestan asociados en cadena y que repercuten en la peligrosidad de inundación. Sin embargo, en la mayoría de estas aportaciones citadas, la voluntad de integración se limita a la peligrosidad, y además la cartografía constituye un elemento accesorio de la aplicación, por lo que las aportaciones metodológicas cartográficas son poco elaboradas.

En el ámbito institucional estatal, las contribuciones más específicas de evaluación multi-riesgos se centran únicamente en la peligrosidad, y han sido desarrolladas al hilo del riesgo de inundación. El IGME (Llorente et al., 2006) aporta distintas metodologías cartográficas en las que a los indicadores determinantes de la inundación se añaden los riesgos asociados de erosión, anegamiento de áreas endorréicas, movimientos en masa, movilización de depósitos no consolidados, sismicidad o aludes. Similares directrices son incorporadas en metodologías aplicadas como la del INUNCAT (Plan Especial de emergencias para inundaciones, recogido en Borrás *et al.*, 2006) y también por el Plan PRIGEO de cartografía de peligrosidad de avenidas e inundaciones, que integra los riesgos asociados de sufusión, movimientos de ladera, erosión, y aterramiento entre otros. El Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) explicita la intención de, en la medida de lo posible, considerar la carga sólida en la peligrosidad de inundación a través de modelos de pérdida de suelo en eventos singulares.

En el ámbito europeo es dónde se han desarrollado un mayor número de iniciativas relacionadas con los riesgos múltiples. Diversos programas y organismos (ARMONIA, DDRM, ESPON, GHRIMS, JRC Multirisk Approach, MEDIGRID, ORCHESTRA, TEMRAP, TIGRA<sup>1</sup>),

---

1 ARMONIA: Applied multi Risk Mapping of Natural Hazards for Impact Assessment

DDRM Multi-Risk approach . Délégation aux Risques Majeurs

ESPON: European Spatial Observation Network. Natural and technological hazards and risk in European Regions

GHRIMS: Generalization of Hazard/Risk predictive Mapping Standard for disaster management

JRC Multi-risk Approach

MEDIGRID: Mediterranean Grid of Multi-Risk Data and Models.

ORCHESTRA: Open Architecture and Spatial Data Infraestructura for Risk Management

TEMRAP: The European Multi-Risk Assesment Project

TIGRA (1997): Integrated Geological Risk Assesment.

han abordado objetivos en esta dirección. Además de actualizar un estado de la cuestión sobre la materia, se pretende promover la evaluación y cartografía conjunta de riesgos múltiples, pero a la vez poner orden y coherencia en una producción cartográfica sobre riesgos cada vez más abundante, aunque dispersa y dispar. Fuera del ámbito europeo, otros ejemplos son la cartografía multipeligros y/o multi-riesgo elaborada a escala planetaria por el Banco Mundial, por Munich Re o por el Centro de Estudios sobre peligros y riesgos de la Universidad de Columbia (Dilley et al, 2005). Estas aportaciones, dada la escala de trabajo, tienen un fin esencialmente divulgativo (Kumpulainen, 2006). Un paso más específico es la aportación de herramientas de apoyo informático para la cartografía y/o gestión multi-riesgo. En esta línea es interesante la aportación de la Agencia Federal de Gestión de Emergencias de EEUU (FEMA), que ha desarrollado un programa específico (Hazard-MH) recogido por Whitman, Lagorio y Schneider (1997), para la gestión del daño físico, pérdidas económicas e impactos sociales de peligros diversos. En una línea similar, la Universidad de Colorado ha desarrollado un Sistema de Ayuda a la Decisión denominado Integrated Planning Decision Support System (IPDSS) orientado a la gestión interrelacionada de riesgos de origen geológico (Mejía-Navarro y García, 1997).

## **2. Problemas a resolver y retos de la cartografía multi-riesgos**

El estado de la cuestión en materia de riesgos múltiples muestra que la materia se encuentra en una fase inicial de desarrollo, y se enfrenta a una serie de carencias y problemas por resolver. En lo que se refiere a la cartografía multi-riesgos, una cuestión de raíz es la escasa atención que se presta a la vulnerabilidad, con lo que la mayor parte de las aproximaciones son, de facto, cartografías multi-peligros. En relación con la cartografía de vulnerabilidad, se acusa una falta de indicadores generales y una importante dificultad para la cuantificación y comparación de datos (Perles et al., 2008) En la cartografía de riesgos múltiples se aprecia una gran heterogeneidad en la escala de trabajo y en su coherencia con las fuentes. El problema de la dispersión atañe tanto a los datos de entrada como a las metodologías y a la edición cartográfica final. Esta dispersión se genera al confluir en la materia especialistas en riesgos muy diversos, así como por la falta de directrices consensuadas por parte de la comunidad científica. Cuestiones igualmente a resolver son la necesidad de adaptar la cartografía a los requerimientos de la planificación, y el mejor desarrollo de herramientas informáticas de apoyo a la decisión en materia multi-riesgo.

En el ámbito más restringido de la cartografía multi-peligros, el desarrollo metodológico ha sido más extenso. Esta circunstancia ha hecho más acuciante el problema de la dispersión, y la necesidad de consensuar y generalizar asuntos básicos como los grados de intensidad, o las metodologías para la unificación de los peligros. Como se cita en el proyecto ARMONIA para la armonización de mapas de peligros y riesgos múltiples a escala de la Unión Europea, se observa una ausencia de aproximaciones integradas entre diferentes metodologías, tecnologías y actores implicados en diferentes tipos de peligro, incluso considerando que los datos más usados son los mismos.

Por último, la más importante asignatura pendiente es la consideración de los efectos en cadena. La mayor parte de las aportaciones no han sido capaces de abordar el carácter interactivo de los peligros entre sí y los efectos dominó, para limitarse a la superposición

multi-capas de los peligros en una zona. Como se expresa en el proyecto TEMRAP, los estudios medioambientales requieren identificar el vínculo entre varios tipos de procesos de peligrosidad y sólo a través de aproximaciones múltiples será posible actuar de forma efectiva sobre las causas, en el intento de reducir el resultado de la suma de los efectos individuales. El principal problema subyacente a la evaluación acumulada de peligros asociados es la dificultad para estimar con precisión la incidencia de unos procesos de peligro en otros. Este hecho abre el dilema entre una escala de trabajo de precisión fundamentada en la monitorización orientada a la investigación, pero poco útil a escala de planeamiento, y otra de carácter más aproximativo en lo que se refiere a la cuantificación de los procesos, pero útil para fines prescriptivos.

### III. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS MULTI-PELIGROS

#### 1. Características generales

Se proponen a continuación una serie de indicaciones metodológicas que permiten abordar la elaboración de distintos documentos cartográficos multi-peligros. La propuesta cartográfica incluye distintas estrategias para la agrupación de los peligros múltiples, con diferente grado de complejidad en la integración espacio-temporal de los procesos considerados. Las estrategias metodológicas intentan abordar, en parte, de los retos a los que, según se recogía al abordar el estado de la cuestión, se enfrenta la cartografía de peligros múltiples, y que se resumen a continuación:

*Homogeneidad.* Para salvar en lo posible el problema de la dispersión de los datos de entrada y de los niveles de gravedad, se ha utilizado como base para la elaboración de los mapas individuales de peligrosidad las referencias consensuadas en el proyecto ARMONIA para la armonización de las metodologías multi-peligro y multi-riesgo a nivel europeo.

*Cartografía operativa para la planificación:* La propuesta metodológica pretende ser útil como apoyo al planeamiento a una escala local general (1: 10.000-1.50.000), por lo que deja a un lado pretensiones de alta precisión en la estimación de datos y correlación de procesos, sin perder por ello el rigor en el procedimiento. En este sentido, las más recientes normativas de control de riesgo (por ejemplo la Directiva 2007/60) apuestan por el uso, especialmente en fases preliminares de evaluación, de prácticas y técnicas ágiles y que no entrañen costes excesivos.

Paralelamente, la cartografía está diseñada para adaptarse al carácter dinámico de las actuaciones de planeamiento (escenarios futuros y/o escenarios hipotéticos de cambio). Ésta es una utilidad recomendada igualmente en el marco de la Directiva 2007/60 sobre inundaciones, que aconseja incluir en la evaluación planes de desarrollo que puedan provocar cambio de usos en el territorio, así como la revisión periódica de la cartografía y los planes de gestión de inundaciones ante las expectativas de cambio climático.

*Conexión con el lugar de riesgo:* La metodología de trabajo se construye desde una perspectiva fenomenológica que analiza los hechos tal y como se producen en el territorio, esto es, inspirándose en el lugar de riesgo como síntesis contextual de los agentes causantes, y de los procesos asociados. Se tiene en cuenta, el *carácter mixto del territorio* y de la producción del riesgo. Desde este punto de vista, las causas naturales y artificiales de peligrosidad, y los

procesos que generan estas causas, no se analizan de forma separada, como proponen algunos enfoques disciplinares, sino de forma conjunta, tal y como se producen en la realidad. Así, por ejemplo, la incorporación de sólidos al caudal de un río puede producirse por la susceptibilidad natural de la cuenca, a la pérdida de suelos, o simplemente por la actividad urbanística y las tareas de remoción asociadas. Este enfoque —considerar el espacio del riesgo como un territorio humanizado— ha sido utilizado en nuestra propuesta metodológica también a la hora de analizar los escenarios en los que los procesos de peligrosidad se desarrollan y manifiestan sus consecuencias; la mayoría de los modelos de predicción de la peligrosidad se fundamentan en escenarios naturales con condiciones de transmisión de la materia y la energía del evento extremo poco cercanas a la realidad del territorio humanizado. En un cambio de orientación, la Directiva 2007/60 propone evaluar de forma efectiva las actividades humanas que aumentan el riesgo, y, en esta línea, la cartografía propuesta por el SNCZI (Servicio Nacional de Cartografía de Zonas Inundables) identifica aquellas estructuras antrópicas del tramo de estudio (encauzamientos, escombreras) que modifiquen la zona inundable.

*Concatenación espacio temporal de los distintos procesos de peligrosidad:* Se ha prestado especial atención a la concatenación espacio-temporal que interrelaciona a los distintos procesos de peligro. Se ha generado un mapa específico de inestabilidad en el área causal del peligro, en un intento de llamar la atención no sólo sobre el área afectable por el peligro, sino también sobre la zona de la que depende el que la peligrosidad de este área permanezca estable, se acreciente o mitigue. Esta información es de singular importancia desde una óptica preventiva. De igual modo se proponen estrategias básicas para el análisis de los peligros en cadena, única vía para abordar los efectos acumulados y sinérgicos de los riesgos múltiples. El procedimiento de integración de los peligros, como se explica más adelante en el epígrafe III.6, no se ha fundamentado en la presencia de un agente causante común, sino en la vinculación de los peligros a través de un vector común de transferencia de masa y energía (como por ejemplo la dinámica gravitacional o atmosférica, o el flujo hídrico).

Partiendo de estos fundamentos, los mapas integrantes de la propuesta cartográfica para el análisis de los riesgos múltiples son los siguientes:

- Mapas individuales de peligrosidad por tipo de peligro
- Mapa de peligrosidad conjunta
- Mapa de peligrosidad agregada
- Mapa de áreas causales y receptoras de la peligrosidad
- Mapa de estabilidad del área causal para los distintos peligros
  - Estabilidad actual del área causal para cada peligro
  - Estabilidad del área causal en distintos escenarios para cada peligro
- Mapa de peligrosidad acumulada en cadena

## **2. Mapas individuales de peligrosidad por tipo de peligro**

Los peligros localizados en el área de estudio (periferia este de la ciudad de Málaga) y considerados en la cartografía multi-peligros han sido los siguientes:

- Erosión hídrica
- Movimientos gravitacionales del terreno
- Inundación fluvial por desbordamiento

- Inundación por bloqueo en desembocadura (sedimentación y/o transgresión marina)
- Zapado de márgenes fluviales por avenida
- Contaminación atmosférica
- Contaminación hídrica (aguas superficiales y subterráneas)
- Incendio forestal

Para la gradación de la peligrosidad de inundación, incendio forestal y movimientos gravitacionales se han utilizado directamente los parámetros propuestos en el proyecto ARMONIA y las escalas de intensidad consensuadas en dicho proyecto, que utiliza tres niveles (tabla 1).

Tabla 1

PARÁMETROS Y ESCALA DE INTENSIDAD UTILIZADAS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS GRADOS DE PELIGROSIDAD EN LOS MAPAS INDIVIDUALES DE INUNDACIÓN, INCENDIO FORESTAL Y MOVIMIENTOS GRAVITACIONALES

PELIGRO	ESCALAS DE INTENSIDAD			
	Baja	Media	Alta	Parámetros
<b>Inundación</b>	<0.25	0.25 – 1.25	>1.25	Profundidad de la inundación (m)
<b>Incendio Forestal</b>	<350	350-1750	1750-3500	Intensidad prevista de la línea de fuego (kW/m)
<b>Incendio Forestal</b>	<1.2	1.2-2.5	2.5-3.5	Longitud aproximada de la altura de la llama (m)
<b>Movimientos gravitacionales</b>	0-5%	5-15%	<15%	Porcentaje de superficie deslizada vs. superficie estable.

Fuente: Proyecto ARMONIA (Delmonaco, Margottini y Spizzichino, 2006)

La altura de la lámina de agua se ha estimado mediante el cálculo de caudales y proyección del área inundable (programa HEC-RAS) para el conjunto de la cuenca en la que se sitúa el área de aplicación. En patrones territoriales con dinámicas de urbanización muy activa, como es el caso de las áreas periurbanas de las ciudades, los movimientos gravitacionales del terreno en acumulaciones y taludes artificiales constituyen un peligro muy elevado de movilización dada su inestabilidad. Esta cuestión se hace especialmente problemática cuando el proceso constructivo está en marcha y los taludes son provisionales, y, por tanto, aún más inestables. Por estos motivos, al inventariar el peligro de movimientos gravitacionales, se deben tener en cuenta, y así se ha hecho en este trabajo, tanto los casos de movilización natural del terreno, como los generados sobre taludes artificiales.

El procedimiento de cartografía de los restantes peligros se fundamenta en la evaluación de la peligrosidad por concurrencia espacial de factores determinantes y activadores (Tabla 2).

Tabla 2

FACTORES INDICADORES UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MAPAS INDIVIDUALES DE PELIGROSIDAD

Tipo de peligro	Factores indicadores
Erosión hídrica	Pendiente Litología Granulometría del suelo Uso del suelo
	Presencia de terrenos descompactados artificialmente Presencia de áreas incendiadas
Movimientos gravitacionales del terreno	Relación del terreno movilizado respecto al estable
	Presencia de terrenos removidos y acumulados artificialmente
Inundación fluvial por desbordamiento y estancamiento	Altura de la lámina de agua
Inundación por bloqueo en desembocadura (sedimentación y/o trasgresión marina)	Altura y velocidad de la lámina de agua en el tramo final del cauce Pendiente del tramo final del cauce Carga sólida del caudal Posibilidad de colapsos por movimientos gravitacionales en el tramo final del cauce
Zapado de márgenes fluviales por avenida	Altura y velocidad de la lámina de agua en los tramos cóncavos de meandros Litología de los tramos cóncavos de los meandros
Contaminación atmosférica	Presencia de emisiones nocivas
Contaminación acuíferos	Presencia de fuentes nocivas
Peligro de incendio	Longitud de la llama en el frente de incendio

Fuente: Elaboración propia

En el caso del peligro de erosión hídrica, a las áreas predisuestas de forma natural se han unido otras en las que factores activadores naturales y/o artificiales han propiciado una mayor susceptibilidad del terreno a ser erosionado (extensiones de terreno movilizadas por tareas urbanizadoras de remoción, así como terrenos incendiados). Se ha considerado que las condiciones de descompactación y/o desestructuración de estos terrenos favorecen los procesos de aumento de la escorrentía superficial y arrastre de sólidos, por lo que deben considerarse como áreas fácilmente erosionables. La determinación del peligro de contaminación atmosférica y de acuíferos se fundamenta en la presencia de fuentes de contaminación y la nocividad de la sustancia emitida.

La combinación de los factores predisponentes para cada peligro ha generado una gradación de la peligrosidad que se ha agrupado en tres clases, para hacerlas equivalentes al número de intervalos propuestos en el proyecto ARMONIA.

### 3. Mapa de peligrosidad conjunta

El mapa de peligrosidad conjunta constituye el documento más básico de una cartografía multi-peligro. Se basa en la superposición in situ de los distintos peligros y, por tanto, no considera las posibles transferencias espaciales existentes entre los diferentes procesos de peligrosidad. En este trabajo se ha obtenido por superposición de las áreas de peligrosidad máxima para los distintos peligros, gradándose la peligrosidad resultante en función del número de peligros coincidentes en un mismo espacio. Este mapa resulta útil para llamar la atención de forma sencilla sobre aquellas zonas que pueden ser especialmente conflictivas para el planeamiento. No obstante resulta un documento primario, ya que sólo refleja los casos en los que la relación entre los peligros se rige por una lógica de superposición en el mismo enclave, pero no refleja aquellos otros casos en los que distintos peligros actúan de forma conjunta, aunque presenten transferencias espaciales en sus formas de actuar. Casos de cartografía multi-peligros que siguen un procedimiento similar al aquí referido son, por ejemplo, la elaborada por la Agencia de Gestión de Desastres de Tajikistan para un total de nueve tipos de peligros naturales, el empleado por la Délégation aux Risques Majeurs (DDRM) francesa para siete tipos de riesgos naturales y tecnológicos o la realizada por Pita (1999) para el conjunto de los peligros que afectan al ámbito andaluz.

### 4. Mapa de peligrosidad agregada

El mapa de peligros agregados supone un paso más en la complejidad de la cartografía multi-peligros. Se fundamenta en el hecho de que la coincidencia espacial (in situ) de distintos peligros supone una elevación en progresión geométrica de la intensidad de la peligrosidad en la zona, por entender que la conexión espacial entre dos o más tipos de peligros que presenten procesos asociados, no sólo supone una acumulación, sino un incremento de la posibilidad de efectos sinérgicos entre ambos. Para la elaboración de este mapa se han superpuesto todos los tipos de peligro, con el fin de aumentar el grado de peligrosidad conjunta en las zonas resultantes en función del número de peligros acumulados y del grado de intensidad de la peligrosidad. De este modo el algoritmo de cálculo de la peligrosidad agregada se resume en los siguientes términos:

$$PA = \sum Pi \cdot Np$$

dónde:

*PA* es la peligrosidad agregada

*Pi* es el grado de peligrosidad individual para cada tipo de peligro

*Np* es el número de peligros coincidentes

Para la elaboración del mapa de peligros agregados es importante establecer cual es la relación que une a los distintos tipos de peligros, ya que no todos los procesos de peligrosidad interactúan por el simple hecho de coincidir en el espacio. Por este motivo, es necesario deslindar grupos de procesos interconectados, y efectuar la ponderación sólo en el caso de que coincidan con otros peligros de su mismo grupo.

## **5. Mapa de áreas causales y receptoras de cada peligro**

Este mapa recoge de una forma primaria el concepto de transferencia espacial entre causas y consecuencias en los procesos de peligrosidad múltiple. Pretende poner de manifiesto como la peligrosidad de un área dada puede verse incrementada en razón de las interacciones de los procesos de peligrosidad presentes en su área causal, que no necesariamente ha de coincidir con el área receptora del impacto. Permite plasmar las posibles repercusiones en un área concreta de la peligrosidad proveniente de otros puntos del espacio más distantes.

El área causal de cada tipo de peligro abarca todo el espacio continuo en el cual existe posibilidad de que una acción determinada tenga consecuencias en otro punto de esa misma área. Este área se define en función del vector de transferencia de masa y energía que actúe en ese tipo de peligro como transmisor de consecuencias; se delimita por tanto en razón de la dinámica gravitatoria, de fluidos, y/o atmosférica. La metodología aplicada por la Agencia de Gestión de Desastres de Tajikistan constituye un ejemplo en esta dirección ya que aborda, aunque de forma muy elemental, la cuestión de la diferente tendencia expansiva de la peligrosidad en cada tipo de peligro. Distingue en cada mapa el área fuente o causal, la ruta de expansión y la zona de impacto. Diferencia igualmente entre patrones de expansión del peligro de tendencia radial y direccional.

### *A) Mapas de estabilidad actual del área causal del peligro y de estabilidad del área causal del peligro en escenarios futuros*

Una vez delimitada el área causal y receptora para cada tipo de peligro, puede analizarse el grado de estabilidad de la peligrosidad en las áreas causales y, con ello, la fragilidad de estos espacios frente a posibles cambios y actuaciones que tendrían consecuencias sobre el área receptora del impacto. El mapa de inestabilidad del área causal es una herramienta útil para evaluar situaciones de peligrosidad sobrevenida, en la que el riesgo sobre una determinada ubicación (área receptora), depende de la transformación de las condiciones de peligro en su área causal.

El grado de inestabilidad (de la peligrosidad) en el área causal será mayor cuanto más elevado sea el número de peligros asociados que entre en fricción, y cuanto mayores sean su grado de peligrosidad y su extensión en la zona. De este modo, el grado de inestabilidad se ha obtenido mediante la siguiente regla de decisión:

$$IN = PA \cdot Ep \cdot Ce$$

dónde:

*IN* es el grado de inestabilidad del área causal

*PA* es la peligrosidad agregada

*Ep* es la extensión del peligro en el área causal

$C_e$  es un coeficiente relativo a la expresión espacial característica de cada peligro (extensiva o puntual)

Dado que cada tipo de peligro presenta una forma particular de manifestarse espacialmente (de forma puntual o extensiva), es necesario ponderar la variable extensión del peligro por un coeficiente que varía entre 0 y 1 y que homogeneiza la importancia de la extensión para cada peligro, evitando así la preponderancia de aquellos peligros de expresión espacial extensiva (erosión hídrica, por ejemplo), respecto a otros más puntuales como el zapado de márgenes.

Una variante del mapa de estabilidad en el área causal puede realizarse con una perspectiva dinámica, introduciendo en el análisis las variaciones previstas en la peligrosidad en momentos futuros o escenarios hipotéticos, como puedan ser actuaciones del planeamiento o supuestos de cambio climático.

## **6. Elaboración del mapa de peligrosidad acumulada en cadena**

### *A) Supuestos iniciales*

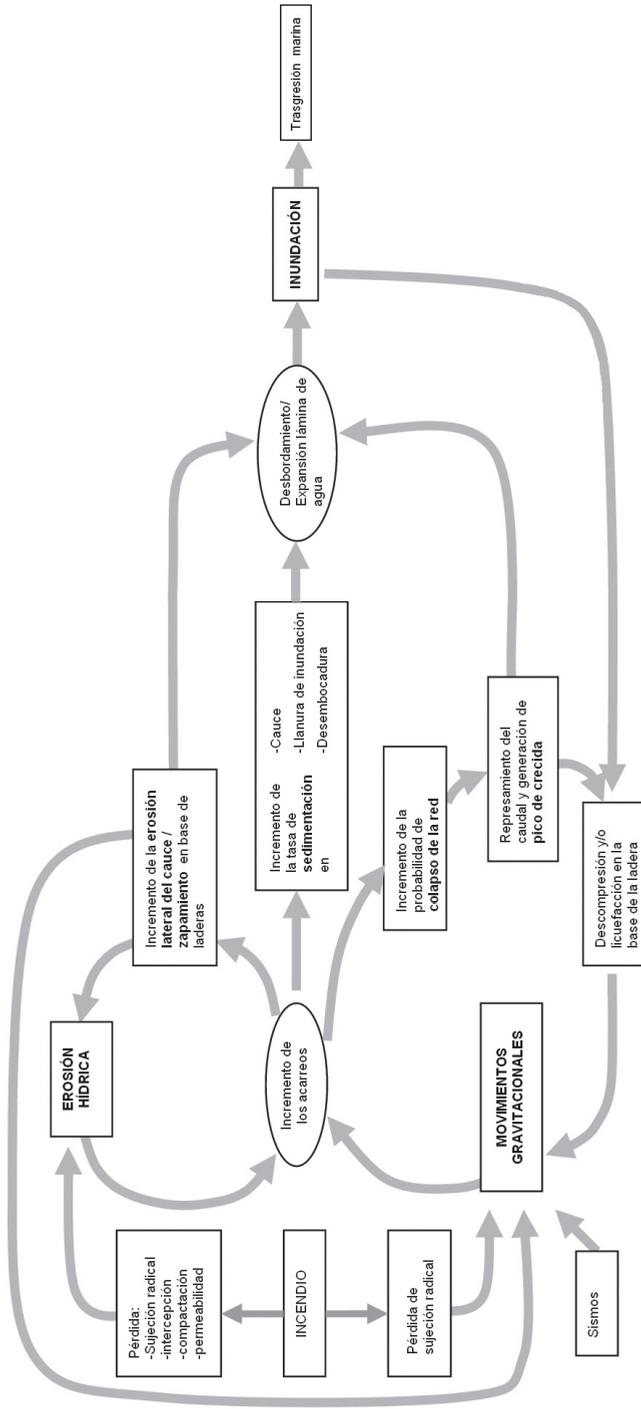
El mapa de peligrosidad en cadena constituye el grado más complejo de elaboración de la cartografía de peligros múltiples. Este documento debe reflejar la seriación topológica de acciones implicadas en los distintos peligros, los procesos de retroalimentación y sinergia consecuente y la transferencia espacial y temporal entre las causas y las consecuencias. Se enfrenta a problemas intrínsecos (Delmonaco, Margottini y Spizzichino, 2006) como son la dificultad para predecir exactamente los umbrales críticos que pueden producir cambios en el comportamiento de los procesos de peligro, la intensidad de los efectos dominó y el carácter no lineal de los fenómenos complejos. Por este motivo las aplicaciones efectivas en esta línea se han limitado a experiencias de monitorización de la transferencia de masa y energía, realizadas, lógicamente, a escala muy detallada (Burton y Bathurst, 1998; Pedraza et al., 2004; Bodoque et al., 2006), fundamentalmente conectando los peligros de erosión, incendio, movimientos en masa e inundación. Los resultados de este tipo de trabajo a escala de detalle tienen aplicación en el ámbito de la calibración de modelos virtuales, pero, por su concreción, los resultados no son extrapolables a otros casos. La evaluación de peligros en cadena a una escala útil para su propósito más directo, la prevención a través de la ordenación territorial, es aún una asignatura pendiente y las propuestas, dada la complejidad del tema, se plantean a nivel de tentativas. Algunos antecedentes pueden consultarse en la metodología propuesta por la Agencia de Gestión de Desastres de Tajikistan, que atiende a la evolución espacial y temporal de cada peligro, pero no llega a establecer una relación entre ellos. El Integrated Planning Decision Support System (IPDSS), diseñado en la Universidad de Colorado, tiene en cuenta efectos dominó y peligros secundarios, aunque simplificados y únicamente para fenómenos relacionados con la estabilidad de laderas (deslizamientos, subsidencia e inundación, causadas por precipitaciones extremas o por sismicidad). Otros trabajos como los de Lari et al. (2008) avanzan en el concepto de acumulación en cadena con los peligros de inundación, deslizamientos y terremotos, pero se fundamentan en análisis probabilísticos, con escaso desarrollo de los procesos de transferencia espacial. Como

indican Delmonaco, Margottini y Spizzichino (2006) en el marco del proyecto ARMONIA «The efforts have been focused mainly in finding gaps and solving problems related to single hazard analysis, whereas a multi-hazard strategy has been simply depicted and analysed from a theoretical point of view due to the persistent difficulties of fulfilling it rigorously. Any attempt to find shortcuts or adopt simplified models for defining a multi-hazard as unique synthetic indicator (i.e. by simply overlapping of single hazard maps) is misleading and too simplistic» (p. 58).

La primera cuestión a aclarar a la hora de abordar una cartografía de peligros en cadena debe ser la identificación de las interacciones entre los procesos. En este sentido, la bibliografía sobre el tema apunta a la conveniencia de unificar en mapas unitarios aquellos tipos de peligros que posean un agente causante común. Esta es la recomendación propuesta por la Agencia de Gestión de Desastres de Tajikistan, el enfoque empleado por la Délégation aux Risques Majeurs (DDRM) francesa o el propuesto por el Integrated Planning Decision Support System (IPDSS) de la Universidad de Colorado. En esta línea apuntan también las recomendaciones de los proyectos TEMRAP y ARMONIA a nivel europeo. Concretamente en el informe elaborado por Delmonaco, Margottini y Spizzichino, (2006) sobre este último proyecto se indica que «A rigorous multi-hazard analysis can be theoretically implemented for disasters that can be generated by the same triggering factor» (p. 27). Sin embargo, el criterio seguido en la metodología que proponemos no coincide con esta opinión. Desde nuestro punto de vista, el vínculo que une unos procesos de peligrosidad con otros no es, necesariamente, la causa común entre ambos, sino la existencia de un vector común de transferencia de masa y energía que los relacione, lo que podríamos denominar un vector de consecuencias común. Diversos ejemplos pueden mostrar que vincular las interacciones entre peligros únicamente por su origen puede resultar insuficiente y, en ocasiones, inexacto. Por ejemplo, el factor activador de una inundación es esencialmente meteorológico, y los movimientos sísmicos poseen una causa geodinámica interna, por lo que, en principio, responden a causas distantes. Sin embargo existe una vinculación por la cual los movimientos en masa causados por un movimiento sísmico pueden provocar colapsos en la red hídrica y producir importantes efectos en la inundación. Ambos procesos están unidos por la dinámica gravitatoria y de fluidos que actúan como vectores de transferencia entre ambos, por lo que no deben considerarse de forma apartada. Los incendios forestales, por ejemplo, se generan habitualmente en condiciones de sequía, y sin embargo sus efectos indirectos sobre la erosión hídrica y la inundación, activadas por precipitaciones torrenciales, son muy importantes. La cuestión aún se complica más cuando intervienen en las interacciones los riesgos tecnológicos. Un episodio de inundación puede producir la contaminación del agua subterránea si la lámina de agua llega a poner en contacto el punto de peligrosidad y el acuífero. Sin embargo, el factor activador de un accidente tecnológico y el de la inundación no están necesariamente conectados. En nuestra opinión, unificar los riesgos múltiples en razón de su origen común es una herencia más de la compartimentación disciplinar, académica y/o profesional de los riesgos según su etiología, así como de la tradicional separación de los riesgos naturales y tecnológicos como hechos separados.

En nuestra propuesta hemos basado las interrelaciones entre distintos peligros en el concepto de vector de transferencia o vector de consecuencias ya apuntado por Perles et al. (2006) y Perles, Gallego y Cantarero (2006). Un concepto similar es recogido por Lexer,

Figura 1  
 FLUJOS DE INTERRELACIÓN ENTRE LOS PROCESOS DE PELIGROSIDAD PRESENTES EN EL ÁREA DE APLICACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

Paluchova y Schwarzl (2008) en el marco del proyecto IMP3 de la UE se cuando describe la noción de «pathway»: «Pathways can be described as routes, avenues or effect-carrying mechanisms by which a receptor encounters a hazard.» (p. 32). Merkhofer (1987) en esta línea afirma «the existence of risk requires actual or potencial connectivity between the individual risk components, i.e. connectivity between a hazard and potential receptors via exposure pathways, which can be viewed as being links in a risk chain» (p. 37). En el ámbito del estudio de la vulnerabilidad, el concepto de vector de consecuencias ha sido también utilizado por el Geoscience Institute australiano para identificar qué factores de vulnerabilidad, por motivo de su alto grado de interdependencia respecto a los demás, tienen un mayor protagonismo en las líneas de supervivencia tras una catástrofe.

Los flujos de interrelaciones entre unos peligros y otros deben establecerse a partir de la transferencia de consecuencias entre ellos, transferencias que tienen una hilazón espacio-temporal y que se rigen por la dinámica gravitatoria, de fluidos o atmosférica. Los flujos pueden seguir un sentido único, biunívoco o de retroalimentación. En la figura 1 se esquematizan las líneas de posible interacción entre los tipos de peligros presentes en el área de estudio.

#### *B) Pasos de elaboración (Mapa de peligrosidad acumulada en cadena)*

A partir de estos supuestos iniciales, los mapas de peligros en cadena han sido elaborados siguiendo un procedimiento que ha partido de la superposición de todas las capas referentes a los peligros individuales, generando de esta forma un mapa de peligrosidad conjunta. A partir de este documento y de las herramientas del SIG se han hecho una serie de consultas a cada uno de los polígonos obtenidos con el fin de discernir las siguientes cuestiones:

- Número de peligros que inciden en el área consultada. Para averiguar la incidencia se tomarán en cuenta todos aquellos peligros que cumplan dos requisitos: estar vinculados a través de algún vector de transferencia con los peligros del área consultada, y estar situados en una posición topológica respecto a esta área que permita la transferencia de masa y/o energía.
- Grado de peligrosidad de los peligros que acumulan su incidencia sobre el área en cuestión.
- Extensión del área de cada uno de los peligros que acumulan su incidencia sobre el área en cuestión. (ponderada por un coeficiente relativo a la expresión espacial característica de cada peligro en la zona de estudio).

Mediante estas consultas se pretende elevar la intensidad de aquellas áreas de peligrosidad conjunta que, además de contener peligros intrínsecos, reciban la influencia acumulada de un mayor número de peligros asociados, muestren una mayor intensidad de peligrosidad asociada y presenten más extensión del problema. Por ello, a cada una de las áreas consultadas se le asigna un valor que es el resultado de la multiplicación del número de peligros acumulados en cadena (según vector de transferencia), del grado de intensidad de estos peligros y de la extensión de los mismos (ponderada por el coeficiente de homogeneización de la extensión espacial característica para cada peligro). El siguiente algoritmo expresa el cálculo realizado para cada caso:

$$PC = Pic \cdot Npc \cdot \left( \frac{Epc \cdot ce}{Eac} \right)$$

dónde:

*PC* es el grado de peligrosidad acumulada en cadena hasta ese punto

*Pic* es el grado de peligrosidad para cada peligro acumulado en cadena

*Npc* es el número de peligros acumulados en cadena presentes en el área causal del punto consultado

*Epc* es la extensión de cada peligro acumulado en cadena

*ce* es un coeficiente de ponderado relativo a la expresión espacial característica del peligro (extensiva o puntual)

*Eac* es la extensión total del área causal del punto consultado

Para comprobar que los peligros están conectados a través de algún vector, y que la posición topológica de ambos peligros permite la conexión espacial entre ambos, se han utilizado estrategias posibilitadas por el SIG. Dado que la mayor parte de los procesos de peligrosidad en el ámbito de estudio responden en su comportamiento a la dinámica gravitatoria y de fluidos, se ha utilizado como apoyo la herramienta «dirección de flujo» posibilitada por el SIG, lo que ha permitido discriminar aquellos peligros que de forma teórica tienen incidencia entre sí, pero la posición topológica de ambos no hace posible la transferencia de masa o energía.

#### IV. APLICACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA MULTI-PELIGROS A UN ÁREA DE LA PERIFERIA ESTE DE LA CIUDAD DE MÁLAGA

##### 1. Características del área de aplicación

Se ha elegido como ámbito de aplicación de la propuesta cartográfica para la evaluación multi-peligros un área de la franja periférica oriental de la ciudad de Málaga (fig. 2). La selección de este área para la aplicación se relaciona con la variedad de peligros interconectados que confluyen en esta zona, como consecuencia de la complejidad del patrón y dinámicas territoriales características de las orlas de las ciudades. Se trata además de un área costera, por lo que la casuística de la peligrosidad aumenta por su carácter de interfaz litoral y por las altas tasas de inducción. Las áreas litorales son identificadas como las de mayor intensidad de riesgo en el contexto de la región-riesgo mediterránea (Olcina, 2008).

El área de estudio se sitúa cercana al litoral, en el límite de los términos municipales de Málaga y Rincón de la Victoria. Abarca la desembocadura del arroyo de Totalán y las estribaciones montañosas que la rodean por el norte y, fundamentalmente, por el oeste, (Cerro Juan y Cerro del Candado), las cuales conectan directamente con el mar. Sobre una litología fundamentalmente esquistosa asociada al Complejo Maláguide de los Sistemas Béticos, y una topografía abrupta y con elevados desniveles relativos, los procesos de ocupación humana del espacio han sido y siguen siendo en la actualidad, muy activos. Los usos del suelo en este espacio mixto periurbano son múltiples y muy diversos: se compatibiliza la actividad extractiva en la cantera caliza de Cerro Juan, la industrial en la

Figura 2 LOCALIZACIÓN Y ESQUEMA TERRITORIAL DEL ÁREA DE APLICACIÓN. PERIFERIA ESTE DE LA CIUDAD DE MÁLAGA



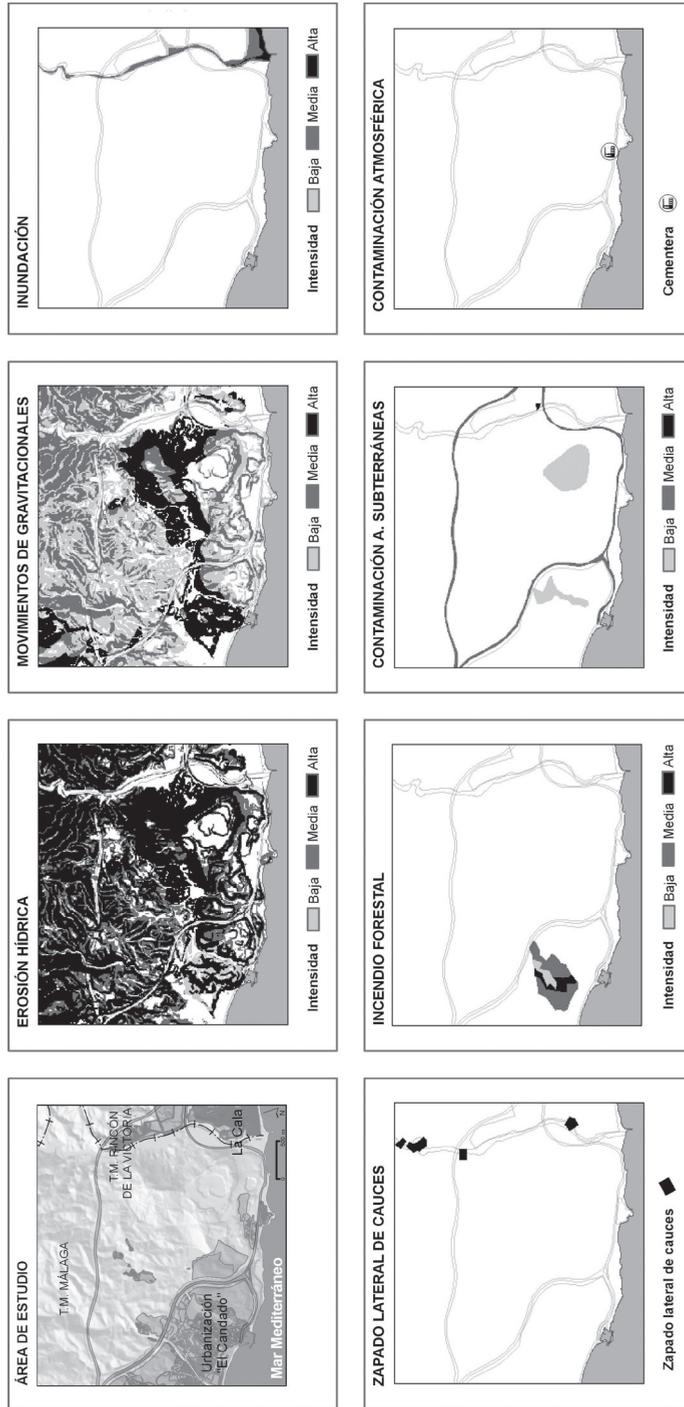
cementera Italcementi, o la residencial de alto nivel en la urbanización del El Candado. Los asentamientos tradicionales como el de la Cala del Moral, han experimentado procesos de crecimiento intenso y acelerado al impulso del turismo residencial, y más recientemente por el uso como primera residencia de la población en la ciudad de Málaga, conectada a la misma por la autovía de circunvalación. Estas dinámicas territoriales han producido la edificación intensiva de la cuenca alta de los pequeños arroyos que desembocan en la zona. El proceso se ha visto incentivado por la construcción en el año 2004 en la margen izquierda del Arroyo de Totalán de un gran centro comercial que ha generado un amplio proceso urbanizador en el entorno de la desembocadura. Junto a este tejido urbanizado se yuxtaponen espacios herederos del uso agrario tradicional, hoy en procesos de abandono y en estado, en la mayoría de los casos, de barbecho social. Todas estas dinámicas han configurado un espacio mixto desde el punto de vista de los procesos territoriales, y, paralelamente, se ha generado un espacio complejo de riesgo, en el que se entremezclan los peligros tecnológicos y naturales de distinto tipo y extensión, como puede observarse en la figura 6. Las tasas de inducción humana, y la exposición de población, bienes y actividades productivas son muy elevadas. Las características del planeamiento en la zona prevé la continuidad de los procesos en el futuro inmediato.

## 2. Discusión de los resultados

### A) Mapas individuales de peligrosidad por tipo de peligro

Los mapas individuales de peligrosidad, representados en la figura 3 muestran sobre este espacio mixto característicamente periurbano la presencia de una gran cantidad y variedad de zonas de peligrosidad. Se localizan puntos de peligrosidad de contaminación atmosférica concentrada (cementera e incineradora ocasional de Italcementi), y otros de contaminación difusa de aguas superficiales y subterráneas (gasolinera situada junto a la margen del arroyo Totalán, aparcamientos pertenecientes al centro comercial La Victoria, cantera de la Araña, campo de Golf El Candado). Junto a estos puntos de peligrosidad de origen tecnológico, se sitúan otros espacios afectados por peligrosidad natural con altas tasas de inducción humana en los procesos. Este es el caso del peligro de inundación y zapado de márgenes en el curso bajo del arroyo de Totalán, junto al peligro de estancamiento y bloqueo en la desembocadura del mismo arroyo. Son muy frecuentes los puntos señalados por su peligrosidad de movimientos en masa, propiciados por la presencia de la serie de arcillas, conglomerados, areniscas y yesos del Permo-trías, y por las altas pendientes, y relacionados en su mayoría con factores activadores humanos (vibraciones y desmontes asociados a la cantera o a infraestructuras viarias). El riesgo de erosión se asocia igualmente a factores determinantes litológicos y de pendiente, pero la movilización de suelo y sedimentos se relaciona además de forma muy importante con la remoción artificial de las formaciones superficiales (movimientos de tierra, taludes y acumulaciones) aparejada a la urbanización. Estos puntos de inestabilización del terreno, transitorios o permanentes, constituyen una fuente de material fácilmente erosionable que aumenta la carga sólida de los cursos fluviales y eleva tanto la energía erosiva como el potencial de sedimentación en zonas subsidentes. La peligrosidad de incendio en la zona se corresponde con la concentración de combustible (pinar y vegetación de jardines) y

Figura 3  
MAPAS INDIVIDUALES DE PELIGROSIDAD POR TIPO DE PELIGRO



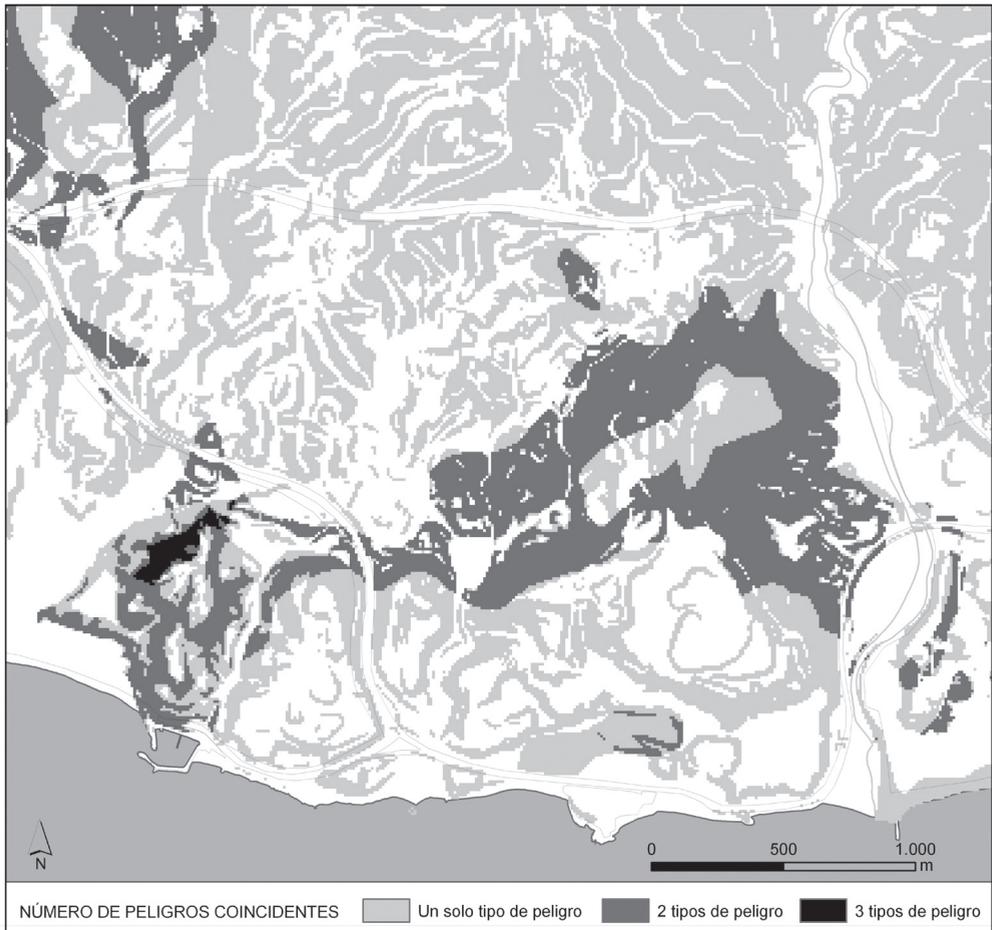


Figura 4  
MAPA DE PELIGROSIDAD CONJUNTA

con el alto riesgo de ignición de la urbanización residencial El Candado, que reúne muchas de las características propiciadoras de un incendio de interfase.

#### B) Mapa de peligrosidad conjunta

El mapa de peligrosidad conjunta (fig. 4) ha sido elaborado a partir de la superposición de los mapas individuales de peligrosidad que se muestran en la figura 3, seleccionando únicamente los grados más severos para cada tipo de amenaza. Como puede apreciarse en esta última figura, existe una gran proximidad espacial entre los distintos puntos de peligro, lo que hace presuponer una alta posibilidad de interacciones entre los procesos de peligrosidad. Al basarse en un proceso de superposición in situ de los distintos peligros, el mapa de peligrosidad

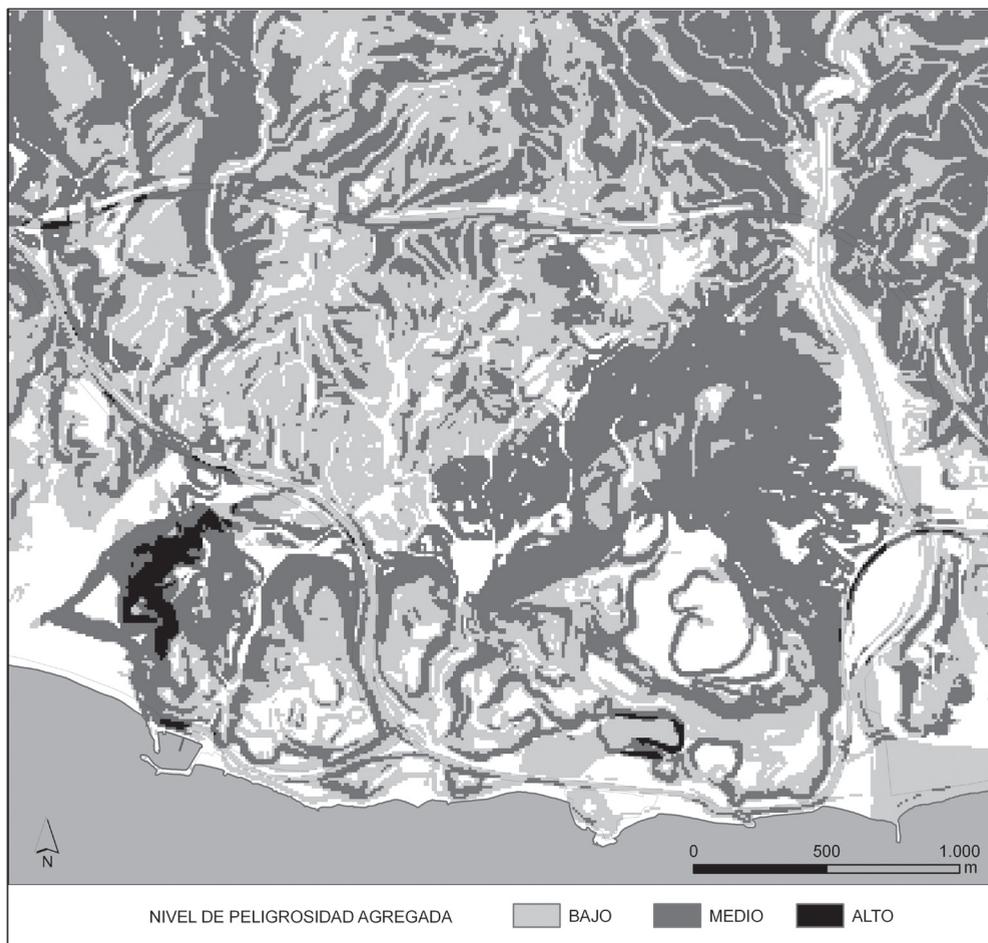


Figura 5  
MAPA DE PELIGROS AGREGADOS

conjunta recoge un aumento de la peligrosidad en aquellos sectores en los que confluyen verticalmente un mayor número de éstos. Este es el caso de algunos sectores de la urbanización El Candado señalados con un nivel alto de peligrosidad conjunta, por la coincidencia de peligro de erosión, de movimientos gravitacionales y de incendio en grado máximo (además de el de contaminación de acuíferos en grado bajo). Las zonas de peligrosidad conjunta en grado medio se sitúan al norte de la cantera, en un espacio extenso afectado por peligro de erosión y de movimientos gravitacionales. El resto del territorio, según muestra la cartografía, está afectado por un grado bajo de peligrosidad conjunta, asociado, fundamentalmente, al riesgo de erosión hídrica, de manifestación espacial más extensiva. Los grados de gravedad de peligrosidad conjunta presentan una buena discriminación espacial, asociando zonas compactas en el territorio para cada grado, y el mapa permite identificar con claridad sectores de alerta.

### C) Mapa de peligros agregados

El Mapa de peligros agregados (fig. 5), al recoger la totalidad de los tres grados delimitados para cada tipo de peligros, muestra unos resultados menos agrupados espacialmente que los mostrados en el Mapa de peligrosidad conjunta, y una tendencia general a elevar la intensidad de la peligrosidad. Por una parte aumentan los casos identificados con un grado alto de peligrosidad (aumenta en extensión el sector de El Candado y aparecen puntos de grado máximo en el entorno de la autovía y de la cementera). Al incluirse en la superposición todos los niveles de gravedad, y al ponderar el número de peligros por su intensidad, se produce, además, una concentración de los casos incluidos en los valores medios de peligrosidad agregada; esto produce una cartografía dominada por el grado medio de peligrosidad, mas dispersa visualmente y menos expresiva en las diferencias extremas de grado.

### D) Mapa de áreas causales y receptoras del peligro

El mapa de área causal de los distintos peligros muestra cómo es muy común que exista una transferencia espacial entre las causas de un peligro y sus consecuencias o resultados en otro punto. Varios casos en la zona de estudio ejemplifican cómo las causas de la peligrosidad en una zona pueden provenir de puntos más alejados, de los que depende, por tanto, su estabilidad. En el tramo de autovía adyacente al Arroyo de Totalán en su sector final se sitúa una zona con alto peligro de movimiento en masa. La estabilidad de esta zona depende de un amplio área que comprende desde los tramos más bajos de la ladera hasta los límites de la cantera adyacente a los puntos de alto peligro de movilización. El área causal en este caso se ha definido teniendo en cuenta no sólo la lógica de la dinámica gravitatoria (total de la vertiente), sino también considerando la incidencia de las detonaciones de la cantera en la activación del movimiento. La cuenca vertiente en cada punto se ha considerado área causal del peligro de inundación. En los casos en los que en el peligro de inundación incida la probabilidad de colapso por movimiento en masa sobre el cauce, el área causal de este movimiento en masa pasa a considerarse también área causal de la inundación. Similares consideraciones se han tenido en cuenta para delimitar el área causal del zapado o erosión lateral de cauces. En el caso del peligro de incendio, se ha delimitado un área perimetral al

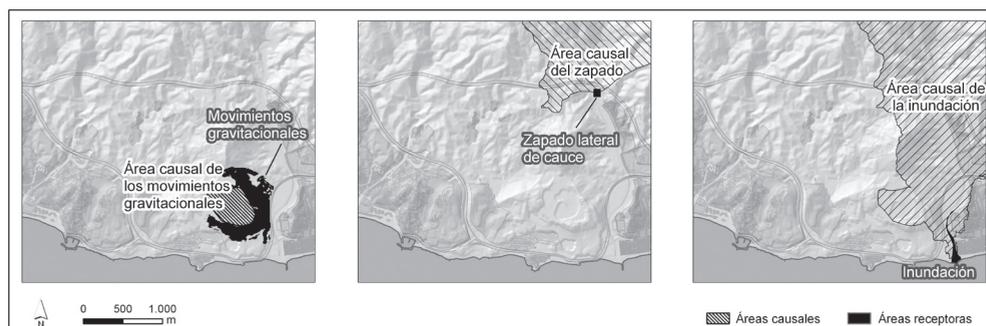


Figura 6  
ÁREAS CAUSALES Y RECEPTORAS DEL PELIGRO. DETALLE DE LA ZONA DE ESTUDIO

polígono de peligrosidad en la que sería posible que algún punto de ignición pudiera contactar con el combustible (100 m).

En el detalle que muestra la figura 6 puede observarse de forma gráfica cómo las áreas causales para los distintos peligros (movimientos gravitacionales, zapado lateral de cauces e inundación) normalmente no coinciden con las áreas receptoras del impacto (transferencia espacial). Por otra parte, se aprecia la jerarquía espacial con la que se relacionan las distintas áreas causales y receptoras, de tal modo que el conjunto de las áreas causales se ven incluidas en el área causal más amplia de la inundación, que recoge por tanto en su área receptora las consecuencias acumuladas del zapado y de los movimientos en masa. El análisis de áreas causantes y receptoras, en contraposición a la superposición vertical de los peligros, permite vincular procesos de peligrosidad que actúan de forma interrelacionada a pesar de no coincidir en el espacio. Este tipo de análisis permite que la desembocadura del arroyo de Totalán, catalogada como zona de riesgo bajo en los mapas de peligrosidad conjunta y agregada, pase a ser considerada como una zona receptora de una gran cantidad de peligros acumulados, y por tanto, de alta peligrosidad. Además, la delimitación de estas áreas originarias de la peligrosidad permite observar cuál es el área a proteger o sobre la que actuar preventivamente para evitar inestabilizar el peligro y desencadenar el impacto en el área receptora.

#### a) Mapa de estabilidad actual del área causal del peligro

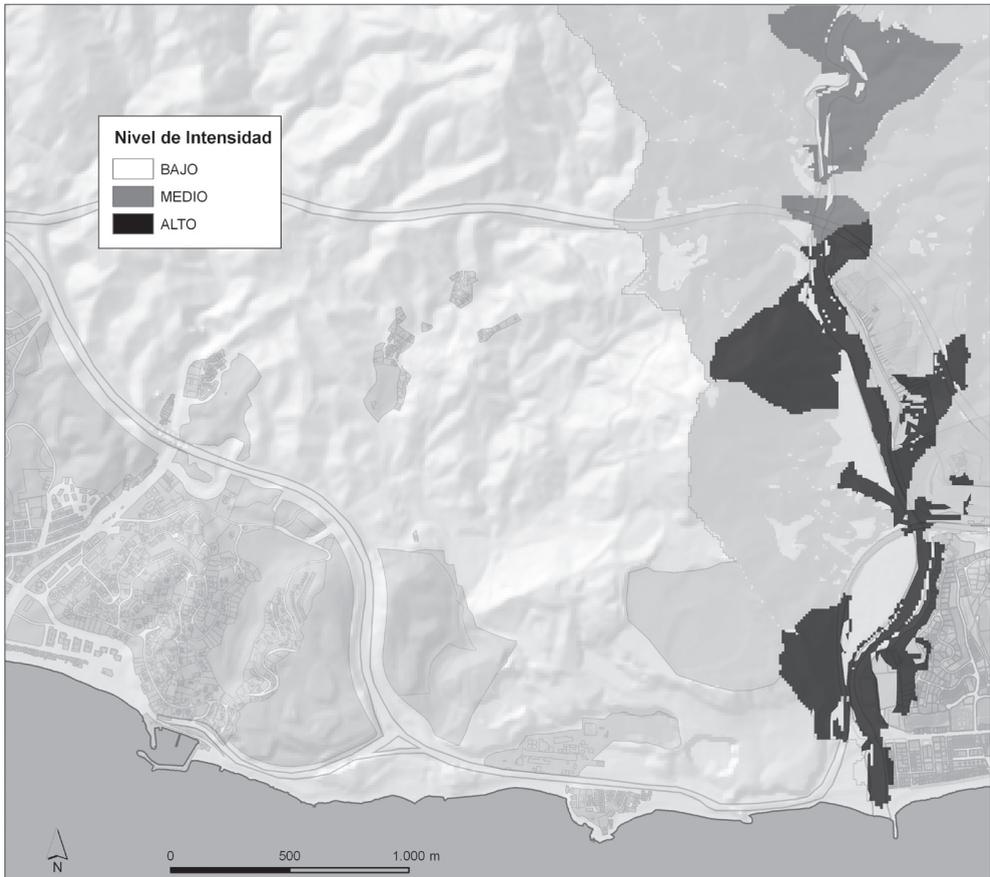
El mapa de estabilidad de las áreas causales de los distintos peligros es una derivación del mapa anterior en la que se evalúa de forma específica el grado de estabilidad del área causal, y con ello de su área receptora del impacto. En la cartografía puede observarse cómo es el área causal de la inundación la que presenta un mayor grado de inestabilidad potencial, por contener una más alta densidad e intensidad de peligros, y concita por ello una mayor probabilidad de que estos peligros entren en acción y en fricción unos con otros. Se trata, por tanto, de una zona frágil, con poca capacidad de tolerancia respecto a actuaciones que puedan activar la peligrosidad. El área causal del zapado de márgenes constatado en el cauce bajo el viaducto de la autovía muestra valores similares de inestabilidad, siendo el área causal de los movimientos gravitacionales la menos inestable de las analizadas.



Figura 7

MAPA DE ESTABILIDAD ACTUAL DEL ÁREA CAUSAL DEL PELIGRO (MOVIMIENTOS GRAVITACIONALES, ZAPADO LATERAL DE CAUCES E INUNDACIÓN). DETALLE DE LA ZONA DE ESTUDIO

FIGURA 8  
 MAPA DE PELIGROS EN CADENA. DETALLE DE LA ZONA DE ESTUDIO



#### E) Mapa de peligrosidad acumulada en cadena

El mapa de peligros en cadena muestra un incremento de los valores de peligrosidad en varios puntos, fundamentalmente asociados al tramo final del Arroyo Totalán y a las zonas más subsidentes del valle. Como pudo observarse en el área de peligrosidad conjunta anteriormente comentado, en estas zonas la elevación del grado de peligrosidad se produce en escasa medida por la coincidencia espacial de peligros in situ (solo coinciden peligros en grado medio y bajo fundamentalmente de inundación, contaminación hídrica superficial y subterránea y contaminación atmosférica). Sin embargo, la peligrosidad se eleva por diversos tipos de asociaciones en cadena de los peligros, que repercuten en esta zona como receptora. Se identifican, junto a asociaciones en cadena simples entre dos procesos de peligrosidad (erosión hídrica-inundación), asociaciones múltiples, que unen en efecto dominó varios pro-

cesos de peligrosidad (movimientos gravitacionales-colapso de curso fluvial – inundación – contaminación hídrica superficial y subterránea) y por último, procesos de retroalimentación de la peligrosidad originaria (zapado de márgenes – movimiento gravitacional en laderas adenañas – aporte de sólidos y/o colapso – zapado de márgenes). En el caso de análisis todas las cadenas se fundamentan en la dinámica de fluidos y en la dinámica gravitatoria como vector de consecuencias que vincula unos peligros con otros.

## **V. CONCLUSIONES**

El análisis territorial de la peligrosidad con propósitos aplicados a la planificación está necesitado de una conexión más cercana con las circunstancias reales en las que se desenvuelven los procesos de peligro múltiple (interconexiones con secuencia topológica variable), circunstancias normalmente más complejas que las que los modelos sectoriales simplifican. La evaluación individual e independiente de los distintos peligros que afectan a un territorio, sin considerar los efectos en cadena que se producen al actuar simultáneamente sobre un espacio, conduce a la minusvaloración del peligro. Es preciso diseñar metodologías que aborden esta complejidad a una escala de trabajo acorde a la de la planificación, y no a la de la investigación de detalle.

La propuesta cartográfica aplicada en el artículo permite observar de forma comparada la utilidad de cartografías basadas en la superposición vertical frente a las fundamentadas en la distinción de áreas causantes y áreas receptoras y en el concepto de vector de transferencia de impactos. En torno al concepto más difícil de modelar de transferencia espacial y temporal de impactos, se han diseñado los mapas de estabilidad de áreas causantes y el mapa de peligros en cadena, con resultados expresivos que mejoran sensiblemente los documentos cartográficos basados en la superposición vertical. Como propuesta aproximativa, esta cartografía abre la puerta hacia enfoques más vinculados a las dinámicas espaciales propias de la peligrosidad múltiple, e ilustra el concepto de peligros acumulados, aunque presenta aspectos a superar. Por ejemplo, se han ignorado en el procedimiento metodológico aspectos como la naturaleza no lineal de la incidencia de unos procesos de peligrosidad sobre otros, así como la presencia de umbrales críticos. Se ha dejado también a un lado el hecho de que el aumento de la peligrosidad acumulada trae consigo no sólo una elevación de la intensidad del área receptora, sino, en algunos casos, una modificación al alza de su extensión (por ejemplo en el caso de la inundación, como puede observarse en el trabajo de Perles, Gallego y Cantarero, 2006). Estas cuestiones han sido relegadas a fin de desarrollar una metodología operativa y aplicable a una escala de trabajo afín a la de planeamiento, ámbito en el que la cartografía de peligrosidad adquiere su valor último.

## **VI. BIBLIOGRAFÍA**

- ESPON Hazard project (2003). «The spatial effects and management of natural and technological hazards in general and in relation to climate change». 1st Interim Report, March 2003.
- FOHN, P.M.B. (1992): Climatic change, snow cover and avalanches, *Catena Supplement*, 22, pp. 11-13.

- GREIVING,S., FLEISCHHAUER, M. Y LÜCKENKÖTTER, J. (2004): «Dealing with hazards: Multi risk mapping of Europe's regions and its policy implications»AESOP, Grenoble, France.
- HEWITT, K. (1997). *Regions at risk. A geographical introduction to disasters*. Londres, Longman.
- KHANDEKAR, M.L., MURTY, T.S., SCOTT, D., y BAIRD, W. (2000): The 1997 El Niño, Indonesian Forest Fires and the Malaysian Smoke Problem: A Deadly Combination of natural and man-made hazard. *Natural Hazards* 21, pp. 131-114. Springer. Netherlands.
- KUMPULAINEN, S. (2006): Vulnerability concepts in hazard and risk assessment. *Natural and technological hazard and risks affecting the spatial development of European regions*. Geological Survey of Finland, Special Paper 42, 65-74.
- 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.
- LEXER, W., PALUCHOVA, K., SCHWARZL, B. (2008): Risk Assessment. Improving the Implementation of Environmental Impact Assessment (IMP)3 Project. 3.2 report. Sixth Framework Programme.
- LLORENTE ISIDRO, M.; DÍEZ HERRERO, A. Y LAÍN HUERTA, L. (2006): La experiencia del IGME en cartografía de peligrosidad de avenidas torrenciales e inundaciones: de Casiano de Prado a PRIGEO. En: Díez Herreros, A.; Laín Huerta, L. y Llorente Isidro, M. (eds). *Mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones. Métodos, experiencias y aplicación*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Medio Ambiente. Riesgos Geológicos N° 7. 41-63. Madrid.
- MEJÍA-NAVARRO M., GARCÍA L.A (1996): Integrated Planning Decision Support System (IPDS). En: *Natural disaster reduction: proceedings of the 1996 International Conference and Exposition on Natural Disaster Reduction*. Edited by George W. Housner and Riley M. Chung (1997) ASCE, pp. 189-190.
- MÉRIDA RODRIGUEZ, M., PERLES ROSELLÓ, M.J. y BLANCO SEPÚLVEDA (1998): Urbanización, infraestructuras y riesgos naturales en la periferia montañosa de la ciudad de Málaga. El caso del monte San Antón. *Revista Baética*, vol. 20, pp. 129-157.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2006): Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. <http://www.mma.es>
- MONTZ, B.E.(1994): «Methodologies for analysis of multiple hazard probabilities: An application in Rotura, New Zealand, Centre for Environmental and Resource Studies, University of Waikato, Hamilton.
- OLCINA CANTOS, J. (2008): «Prevención de riesgos: cambio climático, sequías e inundaciones». Panel Científico-Técnico de Seguimiento de la Política de Aguas. Documento Técnico. Fundación Nueva Cultura del Agua. [www.unizar.es/fnca](http://www.unizar.es/fnca)
- PARLAMENTO EUROPEO: Directiva 2006/0005 (COD) LEX 802 del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la Evaluación y Gestión de los Riesgos de Inundación. Estrasburgo, 2007.
- PEDRAZA, J.; CARRASCO, R.M.; BODOQUE, J.M; SANZ, M.A.; MARTÍN-DUQUE, J.F.; GONZÁLEZ, A. & DÍEZ, A. (2004). «The Jubaguerra stream event: analysis of a mass movement connected with a flash flood phenomenon and its application to other areas in

- the Gredos Mountains (Central Spain)». En C.A. Brebbia (ed.), *Risk Analysis IV*. Wessex Institute of Technology (WIT Press), Southampton, United Kingdom, pp. 345-358.
- PERLES ROSELLÓ, M.J. (2004): «Evolución histórica de los estudios sobre riesgos. Propuestas temáticas y metodológicas para la mejora del análisis y gestión del riesgo desde una perspectiva geográfica». *Revista Baética*, vol. 26, pp. 103-127.
- PERLES ROSELLÓ, M.J. y CANTARERO PRADOS, F. (2007): Particularidades de la generación del riesgo en espacios periurbanos. *Revista Baética*. N° 29, Fac. de Filosofía y Letras, Un. Málaga.
- PERLES ROSELLÓ, M.J., GALLEGOS REINA, A. Y CANTARERO PRADOS, F.(2006): «Análisis del ajuste del área inundable obtenida mediante una evaluación integrada de la peligrosidad de inundación y peligros asociados». *Baética* 28. Fac. y Letras, Univ. Málaga.
- PERLES ROSELLÓ, M.J.; CANTARERO PRADOS, F.; GALACHO JIMÉNEZ, F.B.; GALLEGOS REINA, A.; VÍAS MARTINEZ, J.M. (2006): «Propuesta metodológica para el análisis integrado de peligros asociados. aplicación al peligro de inundación, movimientos gravitacionales y erosión hídrica». XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. Granada 2006.
- PERLES ROSELLÓ, M.J., VÍAS MARTINEZ, J.M., 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.
- PITA LÓPEZ, M.F. (1999): *Riesgos catastróficos y Ordenación del Territorio en Andalucía*. Consejería de Obras Públicas y Transportes, Junta de Andalucía, Sevilla.
- SLARI, G.B. CROSTA, P. FRATTINI, F. AGLIARDI (2008) : «A probabilistic local-scale multi-risk analysis» *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-. Milan.
- SAURÍ, D. (2004). «Tendencias recientes en el análisis geográfico de los riesgos ambientales». En: *los procesos de riesgo con origen natural: una constante en la relación hombre-medio*. Áreas, n° 23, monográfico Universidad de Murcia, Murcia.
- SMITH, K. (2001). *Environmental hazards. Assessing risk and reducing disaster*, Routledge, Londres, 392 páginas.
- THE WORLD BANK (2005): *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*. World Bank.
- TIBALDI, A., FERRARI, L. y PASQUARE, G. (1995): «Landslides triggered by earthquakes and their relations with faults and mountain slope geometry: an example from Ecuador», *Geomorphology*, 11 (3): 215-226.
- TIGRA (1997): *Integrated Geological Risk Assessment*. European Commission DG XII, Environment and Climate Program.
- TOBIN, G.A. y MONTZ, B.E.(1997): *Natural Hazards: explanation and integration*, Guilford Press, Londres, 388 pp.
- VALPREDÀ E., CIPRIANI L.E., CREMONA G., IMMORDINO F. (2000): «Coastal Susceptibility and Integrated Risk Assessment: The Versilia Case Study (Tuscany, Italy)». The 3rd AGILE Conference on GIScience.
- WHITMAN R.V., LAGORIO H.J., SCHENEIDER P.J. (1996): «FEMA-NIBS Earthquake Loss Estimation Methodology». En: *Natural disaster reduction. Proceedings of the 1996 International Conference and Exposition on Natural Disaster Reduction*. Ed. George W. Housner y Riley M. Chung. ASCE. Pp. 113-114. Washington.

