



ROAD-RISK: METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CONFLICTIVOS POR RIESGOS MÚLTIPLES EN INFRAESTRUCTURAS VIARIAS TRAS EPISODIOS TORRENCIALES

María J. Perles Roselló¹, Matías F. Mérida Rodríguez¹, Jorge Olcina Cantos², Juan F. Sortino Barrionuevo¹, Santiago Pardo García¹, Sergio Reyes Corredera¹, Antonio Gallegos Reina¹, Jesús M. Vías Martínez¹, Claudio Puglisi³, José M. Senciales González¹, Federico B. Galacho Jiménez¹

¹ Departamento de Geografía, Universidad de Málaga. Facultad de Filosofía y Letras Campus Universitario de Teatinos, s/n 29071 - Málaga. (España). mjperles@uma.es, mmerida@uma.es, francis.sortino@gmail.com, santiagopardogarcia@gmail.com, sergioreyes@uma.es, a.gallegos@uma.es, jmvias@uma.es, senciales@uma.es, fbgalacho@uma.es.

² Departamento de Geografía, Universidad de Alicante. Universidad de Alicante, ap. de correo, 99. 03080, Alicante (España) jorge.olcina@ua.es

³ ENEA (Agencia nacional por las nuevas tecnologías, energía y desarrollo económico sostenible) Italia. Lungotevere Thaon di Revel, 76 - 00196 ROMA Italia. Claudio.puglisi@enea.it

RESUMEN

La comunicación recoge los contenidos de una metodología aplicada que permite cartografiar aquellos puntos en el recorrido de una infraestructura viaria que pueden quedar bloqueados por riesgos múltiples de funcionamiento simultáneo, tras unos episodios de precipitaciones de alta intensidad. Se incorporan dos modelos predictivos para identificar los puntos con riesgo de movimientos en masa, descalzamiento del firme y/o encharcamiento y generación de balsas. Se ha diseñado igualmente una aplicación informática que permite aplicar los criterios de predicción obtenidos y cartografiar de forma automatizada los puntos conflictivos en infraestructuras distintas a las utilizadas como área de estudio.

Palabras clave: riesgos múltiples, infraestructuras, movimientos en masa, balsas, torrencialidad.

ABSTRACT

The communication contains an applied methodology that allows mapping those points in the road that can be blocked by multiple risks of simultaneous operation, after an episode of high intensity rains. It incorporates two predicted models to identify points where there are landslides risks, gravitational moving under the infrastructure and/or waterlogging. It has design at the same time a software application that allows apply the prediction criteria get and a conflicted points automatically mapping in different infrastructures like of study area.

Keywords: multiple risks, infrastructures, landslides, waterlogging, rainfall.

1. INTRODUCCIÓN

Las precipitaciones de alta intensidad horaria son características del clima mediterráneo. Las previsiones de cambio climático apuntan además una tendencia a la intensificación de la frecuencia de episodios

torrenciales en los próximos años. Cuando se produce un episodio de lluvias torrenciales se activan una serie de mecanismos hidrológicos y geomorfológicos que se traducen en riesgos múltiples sobre la población y sobre sus bienes. Buena parte de los impactos se producen en el entorno de las infraestructuras viarias; de hecho, la mayor parte de los siniestros y fallecimientos durante los episodios de lluvias torrenciales producen en carreteras. En este ámbito se concentran problemas de distinta índole. La intensidad de las precipitaciones puede generar balsas, que incorporan riesgo de aqua planning, la inundación de la calzada por saturación de los drenajes transversales artificiales o incluso el desbordamiento de los cauces adyacentes, con afecciones en el firme, e incluso destrucción de puentes. Simultáneamente, la precipitación suele activar movimientos en masa en las laderas adyacentes a las infraestructuras viarias, produciéndose caída de piedras, desprendimientos y deslizamientos que generan bloqueos de distinta severidad en la calzada. Si la inestabilización de las laderas se da en las laderas subyacentes a la carretera, el resultado es la producción de descalzamientos del firme de distinta consideración.

Los episodios de precipitación torrencial ocurridos en la ciudad de Málaga en el pasado mes de febrero, son una muestra empírica de esta realidad. En este evento se produjeron simultáneamente puntos de bloqueo de carreteras por balsas de agua (zona del Palo, Calle Ollerías y Paseo Cerrado de Calderón), por desbordamiento de cauces (arroyo del Limonar, donde se vieron afectados residencia de ancianos, un centro de acogida y una sala de radiología de un centro sanitario), desprendimientos y bloqueos de la calzada (A-7 Túnel de Cerrado de Caldero), y descalzamiento del firme y desplome de automóviles consecuente (Calle Flamencos). La repercusión de los bloqueos fue especialmente reseñable en los casos en los que se vieron afectadas infraestructuras viarias de máxima funcionalidad, como es el caso de la autovía de circunvalación de la ciudad (A-7), que interrumpió el acceso a buena parte de la ciudad durante unas horas, y dificultó el acceso de servicios operativos de socorro y asistencia.

Hasta el momento la incidencia de todo este conjunto de riesgos en las carreteras ha sido tratada de forma sectorial por los distintos especialistas en cada materia, analizando los distintos tipos de riesgos como procesos separados. Sin embargo, desde nuestra perspectiva de análisis, basada en la ecuación general del riesgo y en concepto de riesgos integrados (Casale y Margotinni, 1999; Perles y Cantarero, 2010; Perles y Mérida, 2010), todos estos fenómenos tienen mucho en común. Concurren en el espacio y en el tiempo en el entorno de las infraestructuras viarias. Se activan simultáneamente, presentan interrelaciones físicas y espaciales, y comportan riesgos directos para la conducción. Al alterar el tráfico, condicionan sustancialmente la funcionalidad del territorio al que dan servicio, (Perles y Mérida, 2010; Youssef et al., 2011). Por todos estos motivos, necesitan de una perspectiva integradora de análisis (Lexer et al., 2008; Delmonaco et al., 2006; Montz, 1994), que interrelacione de forma efectiva, y no simplemente acumulativa, las interacciones entre los distintos procesos de riesgo, y su incidencia en los diversos elementos expuestos.

Conocer de antemano dónde se producirá el punto problemático de bloqueo permite poner en marcha labores preventivas. Si además conocemos el tipo de servicio que presta la carretera en cada tramo, podremos dar prioridad en estas tareas preventivas a aquellos puntos de la infraestructura viaria en los que el bloqueo del tráfico afecte a un mayor número de personas, o a funciones del territorio de mayor trascendencia. La trascendencia de los bloqueos dependerá de la intensidad del tránsito en el vial y de la funcionalidad y carácter más o menos estratégico de los espacios y poblaciones a las que este de acceso y puedan quedar aislados

El estudio de la propensión a los movimientos del terreno en las laderas adyacentes a infraestructuras viarias lineales (carreteras, vías férreas y otras similares) precisa de un análisis particular de los factores de susceptibilidad, ya que al tratarse de un entorno muy alterado por la intervención antrópica se genera un contexto mixto entre lo natural y lo artificial que modifica las condiciones en las que actúan los factores determinantes y activadores de la movilización. (Luce y Wemple, 2001; Perles y Cantarero, 2010; Corominas et al., 2013). La materia tratada adquiere especial interés y actualidad ante la promulgación reciente de documentos normativos que instan a la elaboración de cartografías de riesgos específicas para los entornos especialmente sensibles de las denominadas Infraestructuras Críticas.

Desde esta perspectiva de análisis, en el marco del Proyecto de Investigación de Excelencia (ref.: 8.06/5.26.4120), se ha diseñado una metodología predictiva implementada en una aplicación informática que nos permite identificar en el espacio y cartografiar de forma automatizada aquellos puntos del trazado

de una carretera que constituyen puntos conflictivos potenciales para el tráfico tras un episodio de lluvias torrenciales, tanto por motivos de peligrosidad, como de vulnerabilidad.

2. OBJETIVOS

El principal objetivo del proyecto en el que se sustenta este trabajo ha sido la elaboración de una metodología que permita identificar y detectar en el espacio aquellos puntos en el recorrido de una infraestructura viaria que, por sus características intrínsecas, factores del entorno inmediato y espacios a los que de acceso, pueden constituir puntos especialmente conflictivos en episodios de precipitaciones de alta intensidad.

Se ha diseñado la metodología a través de un modelo de evaluación multi-criterio sustentado en la estructura de un SIG, de tal modo que, se suministre como resultado una herramienta ágil y útil para consultas diversas y reiteradas en otros puntos del espacio a partir de unos datos básicos de entrada en el modelo. Se ha generado igualmente una interfaz informática que permite la aplicación automatizada de la metodología.

De este modo, de forma más concreta, se han abordado los siguientes objetivos:

- Deducir un modelo predictivo de la probabilidad de bloqueo de la carretera por confluencia de peligros múltiples de funcionamiento asociado tras episodios torrenciales (peligros asociados).
- Diseñar una estrategia metodológica para evaluar la magnitud de la población y bienes y servicios afectables por el bloqueo y cierre del tránsito viario en el punto conflictivo identificado (exposición y vulnerabilidad frente al peligro).
- Generar una interfaz para la aplicación de la metodología diseñada en otras infraestructuras.

3. ÁREA DE ESTUDIO

Las áreas de estudio utilizadas para diseñar del modelo predictivo y mostrar los resultados de su aplicación se corresponden con distintos tramos de carreteras andaluzas (A-357 de Ronda a Málaga, A-7 Circunvalación de Málaga y A-44 de Motril a Dúrcal), aunque en este trabajo se muestra únicamente una selección de mapas ilustrativos. Se ha procurado seleccionar zonas con peligrosidad potencial elevada (elevadas pendientes, litologías susceptibles a la movilización, elevados coeficientes de escorrentía). De igual modo, se ha considerado como criterio de selección la funcionalidad del territorio al que la carretera en cuestión da servicio, para recoger entre las zonas piloto una casuística de modelos territoriales diversos, que a su vez definirán distintos escenarios de vulnerabilidad (tipo de poblamiento, accesibilidad, actividad principal del territorio, etc.).

4. METODOLOGÍA

La metodología predictiva que se ha diseñado pretende responder a las siguientes preguntas: ¿Qué peligros se activan en el entorno de una infraestructura viaria tras un episodio torrencial? ¿En qué punto del trazado será más probable que se produzcan y bloqueen la carretera?, y, por último ¿dónde las consecuencias de un bloqueo del tráfico serán más graves para la población y la funcionalidad del territorio?

Partiendo de los conceptos generales de la Ecuación General del Riesgo ($R=P*Ve$), se ha definido la noción de punto conflictivo. Un punto conflictivo es aquel en el concurran una alta probabilidad de bloqueo del tráfico por peligros ambientales de su entorno, y que, a su vez, produzca una desconexión del territorio con consecuencias más graves para la población y su actividad. De este modo, se identificarán en un primer paso cuáles son los puntos conflictivos por peligrosidad, para en un paso posterior gradar su conflictividad según la gravedad de las repercusiones de la interrupción del tráfico que el punto genera.

En razón de estos dos conceptos generales (Peligrosidad y Vulnerabilidad) se establecen dos grandes bloques metodológicos (Bloque I: Peligrosidad, y Bloque II: Vulnerabilidad), que a su vez se subdividen en módulos diferenciados temáticamente (peligrosidad relacionada con los movimientos en masa (Módulo A), o peligrosidad relacionada con procesos hídricos (Módulo B). De forma equivalente, el Bloque II, relativo al análisis y evaluación de la vulnerabilidad, se estructura en dos módulos. El Módulo C se refiere a la

estimación de las consecuencias del punto conflictivo sobre la accesibilidad de la carretera, y en el Módulo D se evalúan las repercusiones del bloqueo sobre la dinámica funcional del entorno territorial de la carretera.

La estructura general de la metodología queda resumida en el siguiente esquema gráfico (Figura 1).

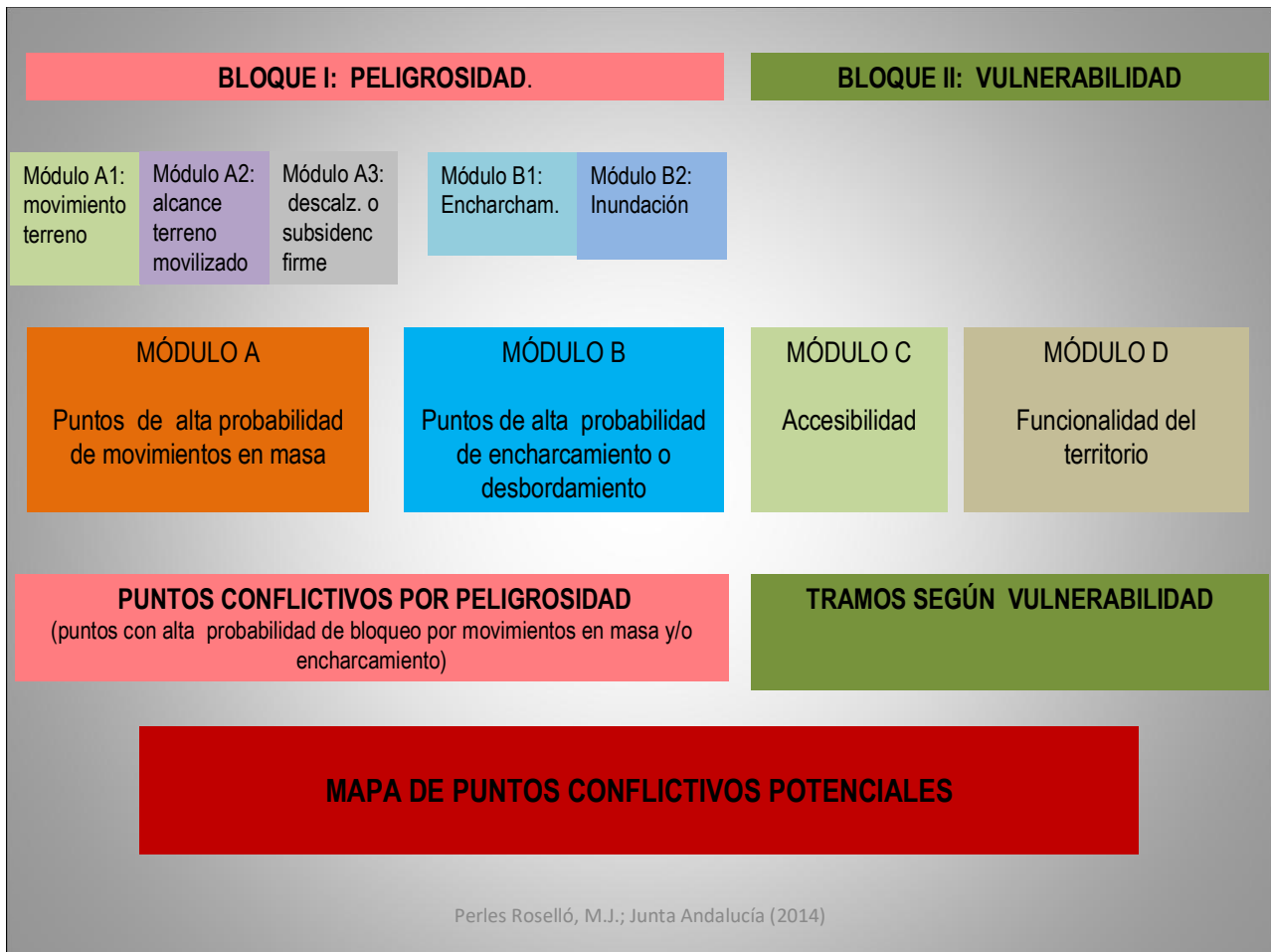


Figura 1. Resumen de bloques metodológicos.

Como puede observarse, los puntos conflictivos por peligrosidad se obtienen por agregación espacial de los resultados obtenidos en los módulos A y B; los tramos de vulnerabilidad diferenciada se elaboran por la combinación de las condiciones de interrupción de la accesibilidad y de la funcionalidad para cada tramo (módulos C y D). Por último, para evaluar el grado de conflictividad (riesgo) que generarán los puntos ya seleccionados por su peligrosidad, los Puntos conflictivos por peligrosidad se unifican con los Tramos de la carretera según vulnerabilidad, de tal modo que quedan gradados según las repercusiones potenciales que producirán sobre la población y el normal funcionamiento del territorio.

A un nivel más detallado, la metodología general cuenta con procedimientos metodológicos específicos para la obtención de los resultados previstos en cada módulo. Estas metodologías sub-módulo difieren en sus requerimientos y procedimientos, por lo que cada una de ellas ha constituido una unidad de trabajo diferenciado en la estructuración de la metodología general de identificación de puntos conflictivos, así como en la interfaz de aplicación. A continuación, se detallan de forma sucinta las estrategias metodológicas diferenciadas a nivel de sub-módulo, y también, posteriormente, las utilizadas para unificar jerárquicamente la información parcial para identificar finalmente los puntos conflictivos.

- **Bloque I (Peligrosidad)**

-Módulo A1: Movimiento del terreno.

Metodología que evalúa la probabilidad de movimientos en masa en las laderas adyacentes a la infraestructura viaria. Se fundamenta en un modelo determinista, en el que la susceptibilidad a la movilización del terreno se calcula en razón de la concurrencia de factores predisponentes a la inestabilidad en cada ladera. La deducción del algoritmo predictivo se basa en un análisis estadístico de la relación de coincidencia espacial entre los factores predisponentes, que actúan como variables predictoras, y la presencia de signos indicativos de movilización en la misma zona. Para la elaboración del modelo de indexación (Carrasco et al, 2003), se ha utilizado la ladera como unidad espacial de análisis. Se han analizado un total de 564 laderas que conforman el universo estadístico de casos para la deducción del modelo de susceptibilidad. A partir de este experimento de calibración se ha determinado un algoritmo predictor que constituye la base del modelo de cálculo de la probabilidad de movilización diseñado en este módulo. Los factores predisponentes finalmente seleccionados como causantes de la movilización son los siguientes:

- Estabilidad en vertientes de la litología
- Homogeneidad interna de la serie litológica
- Presencia y tipo de contactos litológicos
- Presencia y tipo de discontinuidad tectónica
- Orientación del plano potencial de movilización
- Pendiente de la ladera
- Disposición de la calzada o ladera aledañas sobre formas geomorfológicas activas
- Presencia de agua en la ladera
- Signos de remoción natural o artificial en la ladera
- Presencia de talud artificial.

La interfaz informática diseñada permite la aplicación del modelo y la elaboración automatizada del conjunto de procedimientos necesarios para aplicar el Módulo A1, esto es, para calcular la probabilidad de movilización en cada ladera. Se ha diseñado un módulo específico para la delineación automatizada de laderas vertientes a la carretera.

-Módulo A2. Alcance del terreno movilizado.

Metodología que calcula el recorrido potencial de los terrenos movilizados por movimientos en masas (A1) y su posibilidad de alcance de la infraestructura viaria. El alcance se calcula mediante una fórmula específica adaptada a la casuística del contexto de aplicación, y el resultado se pone en relación con el ancho de la berma en cada punto.

La interfaz informática permite el cálculo de los parámetros espaciales, y la aplicación automatizada del conjunto de procedimientos implicados en este módulo.

-Módulo A3. Descalzamiento/ subsidencia del firme.

Metodología que evalúa la probabilidad de descalzamiento del firme de las infraestructuras viarias estudiadas, en razón de la probabilidad de movilización del terreno (A1) de las laderas subyacentes a la infraestructura, y de otros factores determinantes (presencia de agua en la base de la ladera y presencia de signos de remoción en la superficie del terreno).

-Módulo A. Evaluación conjunta de la probabilidad de afectación de la calzada por movimientos del terreno (alcance desde laderas suprayacentes y descalzamiento desde laderas subyacentes).

La metodología resume las condiciones más desfavorables de los procedimientos aplicados en los módulos A1, A2 y A3. Para su representación cartográfica, aplica un procedimiento de transferencia espacial desde las laderas causantes de la afección en la carretera, hasta la carretera misma, para así definir sectores de la carretera con mayor probabilidad de afección.

-Módulo B2: Inundación del firme por desbordamiento de cauces aledaños

Road-risk: metodología para la identificación de puntos conflictivos por riesgos múltiples en infraestructuras viarias tras episodios torrenciales

Metodología que evalúa la probabilidad de encharcamiento por generación de balsas de agua de las infraestructuras viarias. Se calcula a partir de la concurrencia de una serie de condiciones de subsidencia topográfica en el perfil longitudinal de la carretera (micro-cuencas endorréicas), y de la disponibilidad de flujo de escorrentía hacia el punto subsidente.

La interfaz de aplicación facilita la identificación automatizada de los puntos en los que la escorrentía se embalsa, y calcula la acumulación de flujo hídrico en cada tramo de la calzada (aqua planning). Posibilita igualmente el cálculo automatizado del porcentaje de carga sólida presente en el caudal de escorrentía generado por cada ladera o cuenca vertiente, información de utilidad para identificar tramos con mayor posibilidad de atasco en los sistemas artificiales de drenaje transversal de la carretera (culverts).

-Módulo B: Puntos de alta probabilidad de encharcamiento o desbordamiento.

Metodología que estima la probabilidad de que el caudal de inundación de los cauces aledaños a la calzada, llegue a alcanzar e inundar a la misma.

La aplicación calcula de forma automatizada la probabilidad de que el caudal de crecida llegue a inundar la calzada a partir de datos de caudales estimados de forma externa a la aplicación. En el cálculo de caudales se ha considerado la incidencia de las características de la cuenca en lo que respecta a acarreo potenciales procedentes de la erosión hídrica, de movimientos en masa, de restos vegetales y de otras posibles cargas artificiales que puedan incorporarse al caudal (automóviles, mobiliario urbano, etc.).

-Módulo B: Puntos de alta probabilidad de encharcamiento o desbordamiento.

Metodología resumen, que incorpora las condiciones probables más desfavorables de las metodologías B1 y B2, lo cual se traduce en la identificación de sectores de la infraestructura viaria con alta probabilidad de presentar problemas relacionados con el agua (encharcamiento, aqua -planning o desbordamiento)

- **Bloque II (Vulnerabilidad)**

-Módulo C: Alteraciones de la accesibilidad de los distintos tramos de la red viaria

Procedimiento metodológico que evalúa la accesibilidad que posibilita la infraestructura viaria en los distintos sectores de la red. Considera la incidencia del bloqueo en la conectividad del tramo de carretera afectado, la intensidad del tráfico interrumpido, y la velocidad de las rutas alternativas.

-Módulo D: Repercusiones del bloqueo en la funcionalidad del territorio atendido por la red viaria

Estrategia metodológica que permite evaluar la participación de los distintos tramos de la red viaria en la funcionalidad del territorio al que dan acceso, y con ello, las repercusiones territoriales de su posible interrupción. La vulnerabilidad del territorio se valora en razón del volumen de población afectable, la funcionalidad urbana, y volumen de equipamientos e instalaciones productivas relevantes interrumpidas.

- **Metodología final de unificación**

Integra los BLOQUE I (peligrosidad) y BLOQUE II (vulnerabilidad) y que permite gradar la conflictividad de los puntos de peligrosidad identificados en razón de su posición en un tramo de mayor o menor vulnerabilidad.

5. RESULTADOS

Una vez deducida la metodología para el análisis de cada problema, y su representación cartográfica, los procedimientos de elaboración han sido introducidos como rutinas en una interfaz informática destinada a la aplicación de la metodología predictiva en otras infraestructuras viarias. En aras de su aplicabilidad, la metodología ha sido diseñada para sacar el máximo partido a fuentes de disponibilidad general, fácil acceso y/o edición pública, y se ha procurado limitar sólo a casos imprescindibles la aportación de datos de

elaboración propia o toma de decisiones abiertas por parte del técnico que la aplique. La automatización de la práctica totalidad de los procesos, y la agilidad y claridad en el procedimiento que permite la interfaz de aplicación contribuye de forma directa a la obtención de un producto resultante eficaz para la aplicación de la metodología (Figura 2).

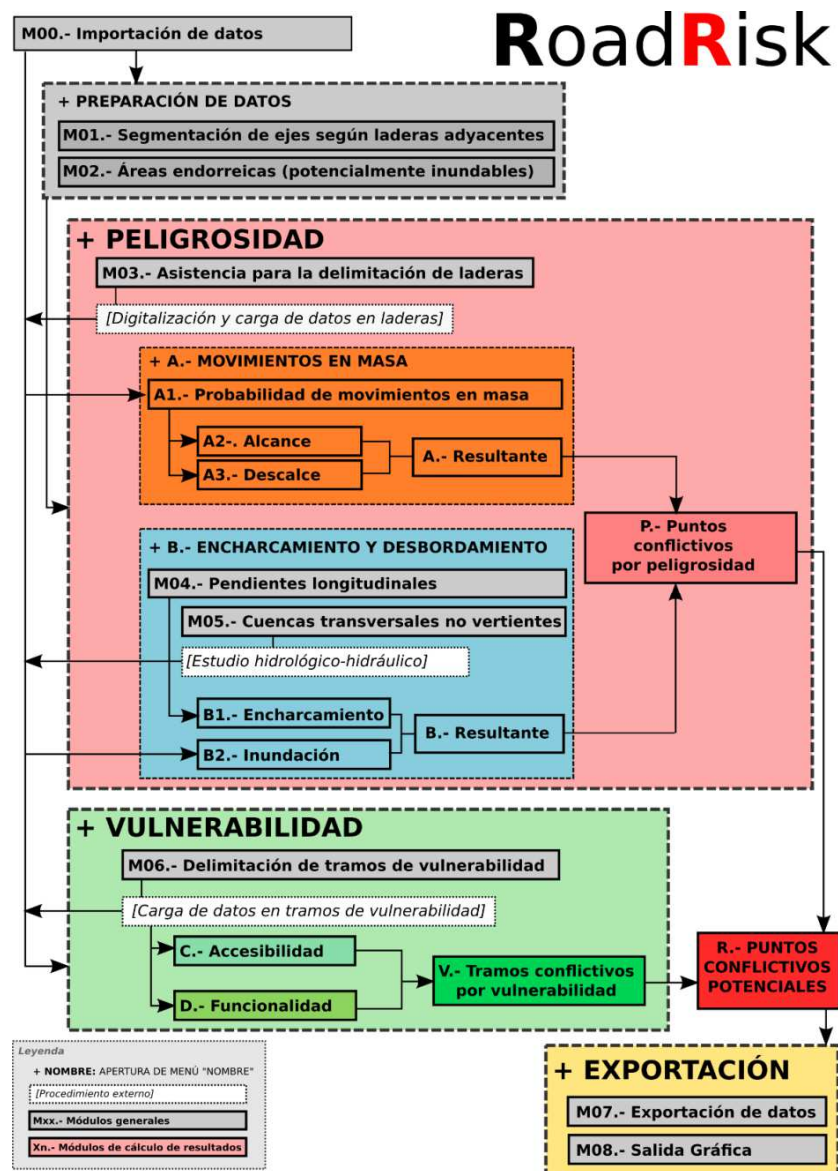


Figura 2. Interfaz de aplicación informática sobre Sistema de Información Geográfico.

Road-risk: metodología para la identificación de puntos conflictivos por riesgos múltiples en infraestructuras viarias tras episodios torrenciales

Se adjuntan a continuación algunos ejemplos gráficos de cartografía obtenida en los distintos módulos de aplicación de la metodología. (Figura 3 y 4)

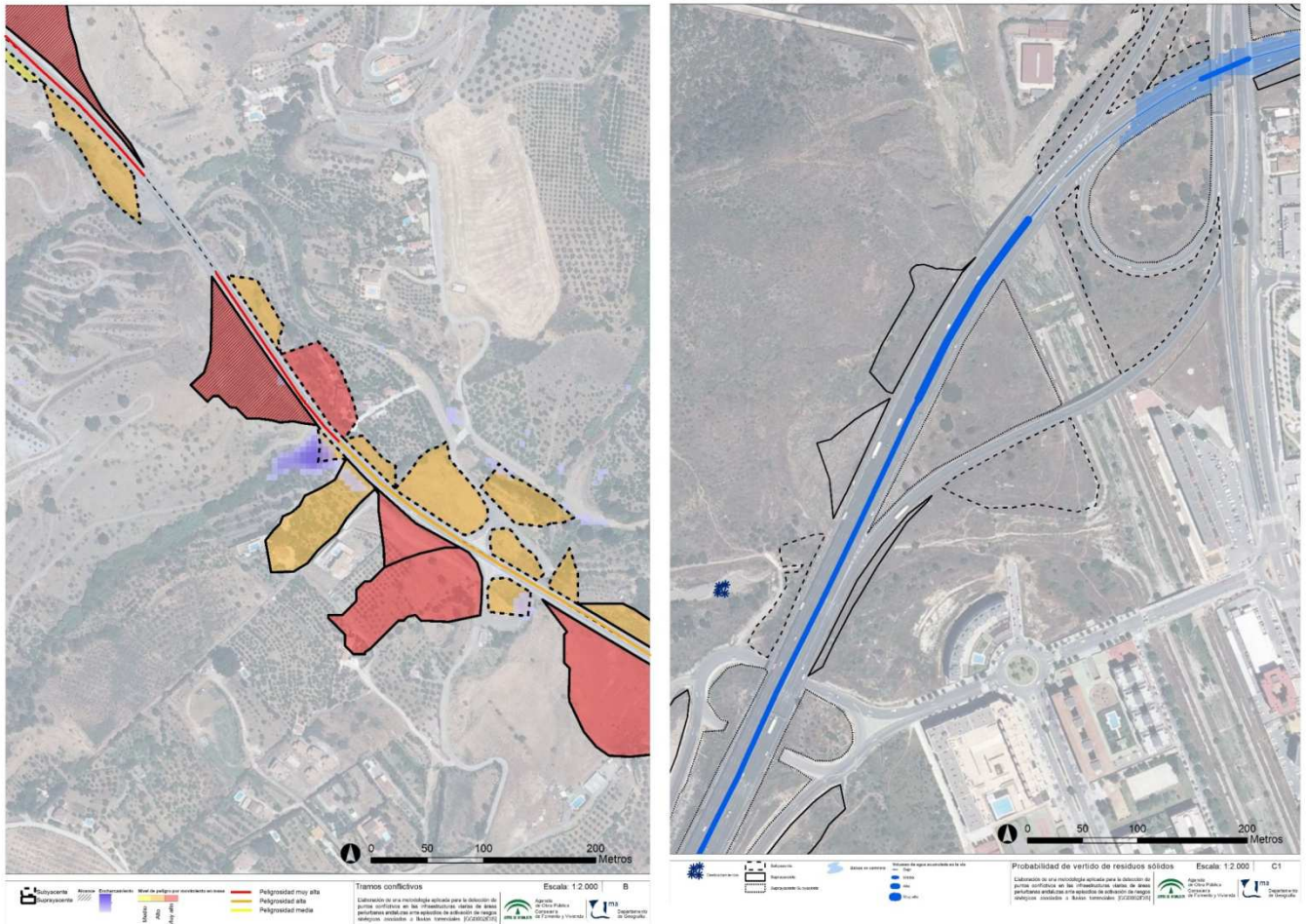


Figura 3. Resultante Módulo “A”: Tramos de alta probabilidad de bloqueo por movimientos del terreno (invasión y/o descalzamiento) y mapa resultante “B”: Puntos de alta probabilidad de encharcamientos o desbordamientos

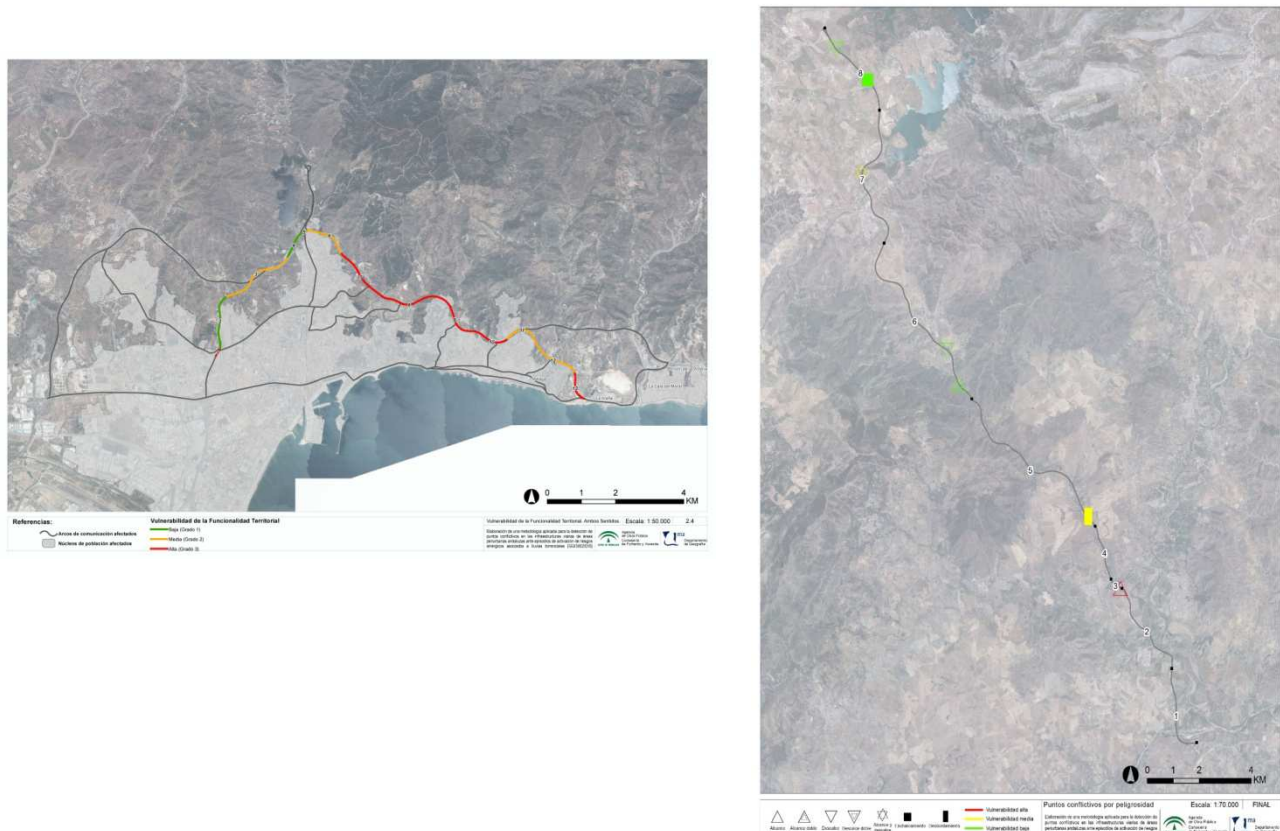


Figura 4. Resultados del Bloque II: Mapa de Vulnerabilidad de la Función Territorial y Mapa final de puntos conflictivos potenciales

6. CONCLUSIONES

Los resultados del proyecto presentan un interés directo para la mejora de la seguridad y la funcionalidad del viario en situaciones críticas. Las utilidades de la aplicación son múltiples, y los beneficiarios se sitúan tanto en el ámbito de la consultoría privada, como en el de la gestión pública de las carreteras. Puede ser de utilidad preventiva en infraestructuras ya construidas, y también usarse en la fase de proyecto para simular cual sería el grado de peligro en diferentes alternativas de trazados planteadas. Desde el punto de vista de la gestión del tráfico, ofrece criterios para diseñar y reforzar la señalización de la zona, especialmente en la fase crítica del episodio torrencial.

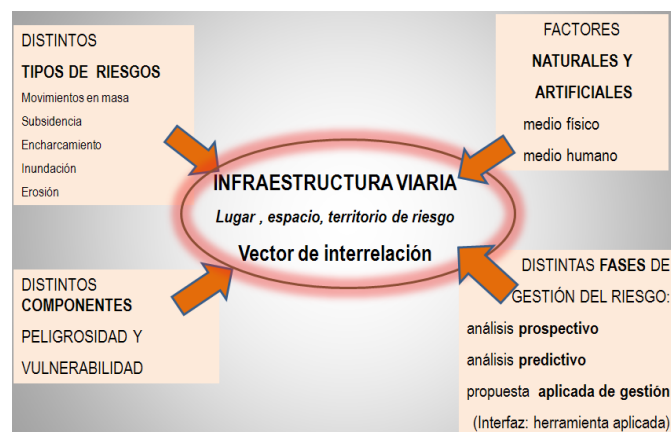


Figura 5. Perspectiva transversal integrada

En relación al grado de innovación del proyecto, puede afirmarse que la conjunción de enfoques diversos de una forma integrada para la detección de puntos conflictivos desde una perspectiva compleja constituye un tratamiento novedoso de la problemática. Se han tratado de forma unitaria e interrelacionada distintos tipos de peligros, condicionados por factores procedentes tanto del medio natural como artificial, y se ha integrado, de forma efectiva, la cartografía de peligrosidad junto a la de vulnerabilidad. Los resultados se entrelazan con el objetivo finalista de ser útiles tanto en la fase preventiva como en la de gestión de la catástrofe. El tratamiento transversal de información, problemas y procesos de procedencia tan diversa para un objetivo aplicado común constituye una aportación innovadora del trabajo.

7. AGRADECIMIENTOS

El trabajo presentado en la comunicación se ha realizado en el marco de un Proyecto de Investigación financiado por la Agencia de la Obra Pública y la Consejería de Infraestructuras y Vivienda de la Junta de Andalucía (GGI3002IDIS)

8. BIBLIOGRAFÍA

- Carrasco, R.M.; Pedraza, J.; Martín Duque, J.F.; Mattera, M.; Sanz M.A.; Bodoque, J.M. y Diez Herrero, A. (2003): Cartografía de zonas de susceptibilidad o propensión a los movimientos en masa en el Valle del Jerte (Sistema Central Español). En: F, J. Ayala-Carcedo y Corominas (eds) Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. Serie: Medio Ambiente, nº 4, 133-153.
- Casale, r. y Margotinni, C. (1999): Flood and landslides: Integrated Risk Assesment. Ed. Springer Science & Bussines Media. Alemania.
- Corominas, J.; Ibarbia, I.; Luzuriaga, S.; Navarro, J.A.; Jujo, I.; Jurnet, C.; Hurlimann, M. (2013): Rockfall and debris flow hazard assesment of the coastal road of Guipuzkoa (Northern Spain), en Margottini, C., Canuti, P., Sassa, K. (eds.), Landslides Science and Practice, vol. 6, Risk Assesment, Management and Mitigation. Ed. Springer. Germany.
- Delmonaco, G.; Margottini, C. and Spizzino, D. (2006): "Report on new methodology for multi-risk assesment and the harmonisation fo different natural risk maps" ARMONÍA Project. Applied multi-risk mapping of Natural Hazards for Impact Assessment. Del. No 3.1. European Community.
- Lexer, W.; Paluchova, K. and Schwarzl, B. (2008): Risk Assessment. Improving the Implementation of Environmental Impact Assesment (IMP)3 Project. 3.2 report. Sixth Framework Programe.
- Luce, C.H. and Wemple, B.C. (2001): Introduction to special issue on hydrologic and geomorphic effects of forest roads. Earth Surface Processes and Landforms, 26, 111-113.
- Montz, B.E.(1994): "Methodologies for análisis of multiple hazard probabilities: An application in Rotura, New Zealand, Centre for Environmental and Resource Studies, University of Waikato, Hamilton.
- Perles Roselló, M.J. y Cantarero Prados, F. (2010): Problemas y retos en el análisis de los riesgos múltiples del territorio: propuestas metodológicas para la elaboración de cartografías multi-peligros. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles (BAGE), nº 52, p245-271, Madrid.
- Perles Roselló, M.J. y Mérida Rodríguez M.F. (2010): Patrón territorial y conformación del riesgo en espacios periurbanos. El caso de la periferia este de la ciudad de Málaga. Revista Scripta Nova, vol XIV, Barcelona.
- Youssef, A.M.; Pradhan, B. and Hassan, A.M. (2011): Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. Environmental Earth Sciences, 62(3), 611-623.