

EL MAPA PARA LA PREVENCIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS DE CATALUÑA 1:25 000: APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA A ESCALA REGIONAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A GENERAR FLUJOS TORRENCIALES.

M. GONZÁLEZ¹, J. PINYOL¹, M. CAMAFORT¹, J. VILAPLANA², P. OLLER¹

¹ Unitat Risc Geològic
Àrea d'Enginyeria Geològica i Risc
Institut Geològic de Catalunya

² Grup RISKMAT
Departament de Geodinàmica i Geofísica. Facultat de Geologia
Universitat de Barcelona

RESUMEN

Con el objetivo de optimizar y mejorar las tareas de evaluación de la susceptibilidad del terreno a generar flujos torrenciales en el Mapa para la Prevención de Riesgos Geológicos 1:25 000, se presenta la adaptación de la metodología basada en el análisis de los diferentes parámetros morfométricos de las cuencas hidrográficas y sus relaciones, propuesta por Wilford et al. (2004), como herramienta complementaria a otras técnicas tradicionales.

1. INTRODUCCIÓN

En Cataluña, la dinámica torrencial es un proceso habitual tanto en zonas de montaña como en la vertiente mediterránea, con una incidencia directa sobre la actividad humana. En los últimos años la dinámica torrencial ligada a lluvias de fuerte intensidad ha causado importantes daños materiales, ejemplos de ello son los episodios de junio del 2000 en Montserrat, de agosto de 2008 en el río Runer (Frontera Andorrano-Catalana; Portilla *et al.*, 2010) y de septiembre de 2008 y Julio de 2010 en Port-Ainé. En el pasado también se han documentado episodios de lluvias importantes que han producido consecuencias catastróficas sobre el territorio. Ejemplos de las más destacadas son las que ocurrieron en 1907, 1937 y

1982, que comportaron inundaciones, deposición de sedimentos y una gran destrucción de bienes (Balasch *et al.*, 2008; Hurlimann *et al.*, 2009).

Para dar respuesta a las funciones que otorga la Ley 19/2005, del 27 de diciembre, del Institut Geològic de Catalunya (IGC) de la Generalitat de Catalunya, se inició en 2007, entre otros planes de cartografía geotemática, el Mapa para la Prevención de los Riesgos Geológicos 1:25.000 (MPRGC25M), constituido por un total de 304 hojas que cubrirá la totalidad del territorio catalán. Este plan de cartografía se engloba dentro de los “Geotrabajos” que realiza el IGC, y que tienen como objetivo adquirir, elaborar e integrar la información geológica, edafológica y geotemática, a escalas adecuadas para la planificación territorial y el urbanismo.

El MPRGC25M se ha concebido como un mapa multi-peligrosidad, donde se indica la superposición de diferentes peligrosidades en una misma zona. Pretende dar una visión de conjunto del peligro geológico identificado en el territorio y recomendar la realización de estudios de detalle en caso de planificar actuaciones en zonas identificadas como peligrosas (Oller *et al.*, 2011).

Para evaluar la peligrosidad de los diferentes fenómenos considerados en el MPRG25M, de forma sistemática y homogénea para todo el territorio, se utiliza una metodología basada en la frecuencia y magnitud (o intensidad) de cada fenómeno y su afectación. Esta evaluación se realiza en las áreas identificadas previamente como susceptibles. La magnitud del fenómeno se determina en base a las dimensiones y energías esperadas, mientras que la frecuencia o actividad se determina a partir del inventario de fenómenos y de indicios de actividad. La matriz utilizada permite clasificar la peligrosidad en alta, media y baja. Los límites de frecuencia son los 50 y los 500 años; el límite de 50 años (frecuencia alta-media) se basa en el periodo de retorno de las lluvias que han dado grandes crecidas fluviales y deslizamientos generalizados, que está entre los 40 y 70 años (Corominas *et al.*, 2003). El límite de frecuencia media-baja, 500 años, corresponde a un orden de magnitud superior respecto al límite anterior. Ello permite minimizar los efectos de los errores y la incertidumbre existente en la asignación de periodos de retorno para fenómenos de baja frecuencia.

Las metodologías utilizadas son revisadas periódicamente para su mejora. En este artículo, se presenta la adaptación de la metodología basada en el análisis de los diferentes parámetros morfométricos de las cuencas hidrográficas y sus relaciones, propuesta por Wilford *et al.* (2004), como herramienta complementaria a la metodología clásica de cartografía. El objetivo es optimizar y mejorar las tareas de evaluación de la susceptibilidad del terreno a generar flujos torrenciales en el MPRG25M.

2. MÉTODO BASADO EN EL ANÁLISIS DE PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LAS CUENCAS

El método escogido es el propuesto por Wilford *et al.* (2004) que, a partir del análisis de diferentes parámetros morfométricos de las cuencas hidrográficas y de diferentes relaciones existentes entre ellos, determina la susceptibilidad de éstas a generar un tipo u otro de fenómeno asociado a la dinámica torrencial: inundaciones, flujos hiperconcentrados o corrientes de derrubios.

Las inundaciones se caracterizan por tener un volumen de carga sólida inferior al 20% del volumen total del flujo, los flujos hiperconcentrados pueden tener concentraciones de carga sólida de entre el 20 y el 47%, y para las corrientes de derrubios el porcentaje es superior a estos valores. Los parámetros morfométricos utilizados son: el área de la cuenca; la longitud de la cuenca, definida como la longitud en línea recta desde el ápice del cono hasta el punto más distal de la cuenca; y el relieve de la cuenca, definido como la diferencia de altitud entre el su punto más alto y el ápice del cono (Figura 1). Las relaciones entre éstos parámetros propuestos por Wilford *et al.* (2004) son la Relación de Melton (relieve de la cuenca / $\sqrt{\text{área de la cuenca}}$) y la de Relieve (relieve de la cuenca / longitud de la cuenca).

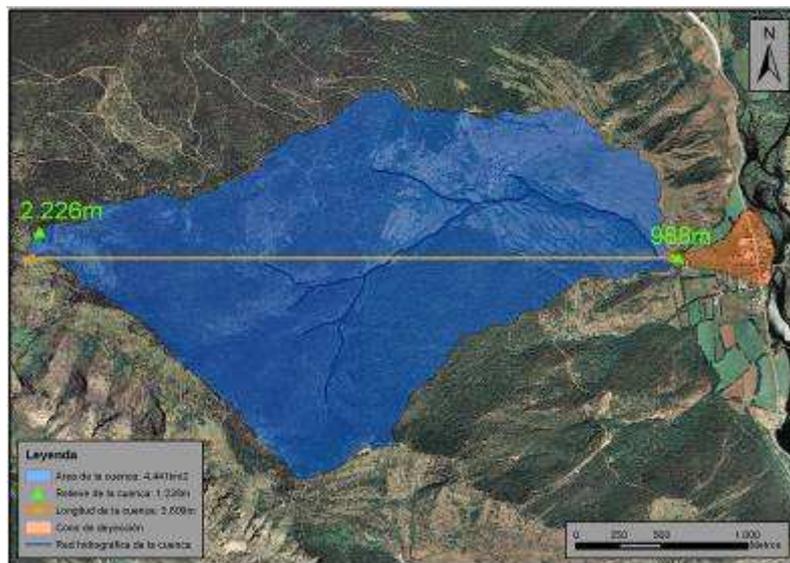


Figura 1. Parámetros de las cuencas utilizados en el método de Wilford *et al.* (2004). Ejemplo del barranco de Jou (La Guingueta d'Àneu, Pallars Sobirà, Pirineo de Lérida).

Para determinar la susceptibilidad de las cuencas a generar inundaciones, flujos hiperconcentrados o corrientes de derrubios, Wilford *et al.* (2004) proponen unos valores límite de clase para las distintas combinaciones de parámetros y relaciones. Éstas combinaciones son la Relación de Melton vs Longitud de la cuenca, la Relación de Melton vs

la Relación de Relieve y la Relación de Relieve vs la Longitud de la cuenca (Tabla 1). Los autores del método recomiendan la combinación de la Relación de Melton vs Longitud de la cuenca ya que es en la que los resultados teóricos obtenidos se acercan más a la realidad.

Variables	Límites de clase		
	Inundaciones	Flujos hiperconcentrados	Corrientes de derrubios
R. Melton vs Longitud	R. Melton < 0.3	R. Melton 0.3 – 0.6	Relación de Melton > 0.6 y Longitud < 2.7
		R. Melton > 0.6 y Longitud > 2.7	
R. Melton vs R. Relieve	R. Melton < 0.3	R. Melton 0.3 - 0.77	Relación de Melton > 0.77 y Relación de Relieve > 0.42
		R. Melton > 0.77 y R. Relieve < 0.42	
R. Relieve vs Longitud	R. Relieve < 0.15	R. Relieve 0.15 – 0.35	Relación de Relieve > 0.35 y Longitud < 2.7
		R. Relieve > 0.35 y Longitud > 2.7	

Tabla 1. Tabla con los valores de los parámetros propuestos para clasificar los diferentes tipos de flujos torrenciales (Wilford *et al.*, 2004).

3. VALIDACIÓN DEL MÉTODO

Previamente a la aplicación del método, se realizó la validación de éste en 29 cuencas hidrográficas del territorio, en las que se conocía su dinámica torrencial y, por lo tanto, el tipo de flujo característico que se producía en la cuenca (inundación, flujo hiperconcentrado o corriente de derrubios), ya que el método propuesto por Wilford *et al.* (2004) estaba calibrado en 65 cuencas hidrográficas de la Columbia Británica (Canadá). El objetivo era comparar los resultados teóricos de la aplicación del método con el tipo de fenómeno generado en la realidad. Una vez seleccionadas las zonas de estudio y realizadas las cartografías necesarias, se calcularon los parámetros morfométricos y las relaciones propuestas por Wilford *et al.* (2004). Así, se determinó para cada cuenca la susceptibilidad a que se produjera un tipo de fenómeno. El resultado de la validación fue que en 9 de cada 10 cuencas hidrográficas, aproximadamente, se daba la coincidencia entre el fenómeno determinado por el método y el documentado. En los casos donde no había coincidencia, las causas se atribuyeron a diversos motivos, como la inexistencia de material disponible a movilizarse, o como la indeterminación en la descripción del fenómeno observado, hecho que se ha confirmado en algunos casos en el transcurso de dicha validación (Camafort, 2011).

Se pudo constatar como limitación importante del método, que por mucho que éste pronostique que en una cuenca se puedan producir flujos torrenciales con un porcentaje considerable de carga sólida (flujos hiperconcentrados o corrientes de derrubios), si en la cuenca no hay material disponible para ser movilizad, se producirán probablemente fenómenos de tipo inundación. Así, esta limitación condiciona que su aplicación vaya acompañada del método de cartografía clásico, que ayude a verificar los resultados obtenidos con el método, como son las observaciones de campo, la interpretación de ortofotomapas o fotografías aéreas de diferentes años, o las encuestas a la población, entre otras.

4. APLICACIÓN DEL MÉTODO EN LA ELABORACIÓN DE LOS MPRG25M

El método ha sido adaptado a los recursos económicos y temporales destinados a la realización y publicación de las distintas hojas 1:25.000 que componen el MPRG25M. Para ello, se aplica sistemáticamente en las cuencas hidrográficas que desembocan en los cursos fluviales principales, siempre y cuando tengan pendientes superiores a 7°, y en las cuencas que existan indicios de actividad torrencial. Los indicios geomorfológicos de actividad torrencial a tener en cuenta para seleccionar las cuencas a evaluar son: a) la existencia de materiales susceptibles de ser movilizados, tanto en las vertientes como en el lecho del canal; b) la presencia de zonas de erosión-soscavación, que pueden indicar un grosor significativo de materiales susceptibles a moverse; c) la existencia de zonas sin vegetación debidas a fenómenos de erosión; i d) la existencia de materiales depositados por la dinámica aluvial-torrencial en conos y abanicos.

Una vez seleccionadas las cuencas, se obtienen tres escenarios posibles: a) la cuenca es susceptible a que en ella se generen flujos torrenciales; b) la cuenca no es susceptible a que se generen flujos torrenciales, por lo tanto se generaran inundaciones; c) el método no pronostica si se puede producir un flujo torrencial o una inundación. A partir de este punto, es necesario, validar los resultados obtenidos a través de las observaciones de campo, de la interpretación exhaustiva de ortofotoimágenes, y de las encuestas a la población.

5. APLICACIÓN A LA HOJA DE ESPILLS (64-22)

A modo de ejemplo, se muestra como se ha aplicado la metodología en las cuencas hidrográficas de la hoja del MPRG25M de Espills (64-22), situada en la provincia de Lérida, en el Prepirineo catalán.

En la Figura 2, se muestra el diagrama de dispersión con los valores de la Relación de Melton vs Longitud de la cuenca obtenidos. En círculos, se representan los valores para las cuencas de la hoja de Espills; en cuadros, los valores de las cuencas utilizadas para la validación del método (Camafort, 2011); y en rombos, con las etiquetas A, B, C y D, se destacan cuatro de las cuencas seleccionadas, para este artículo, cómo ejemplo de aplicación. Para cada una de ellas, se presenta la cartografía de su cuenca hidrográfica, del cono de deyección asociado, así como los indicios de actividad observados (Figura 3).

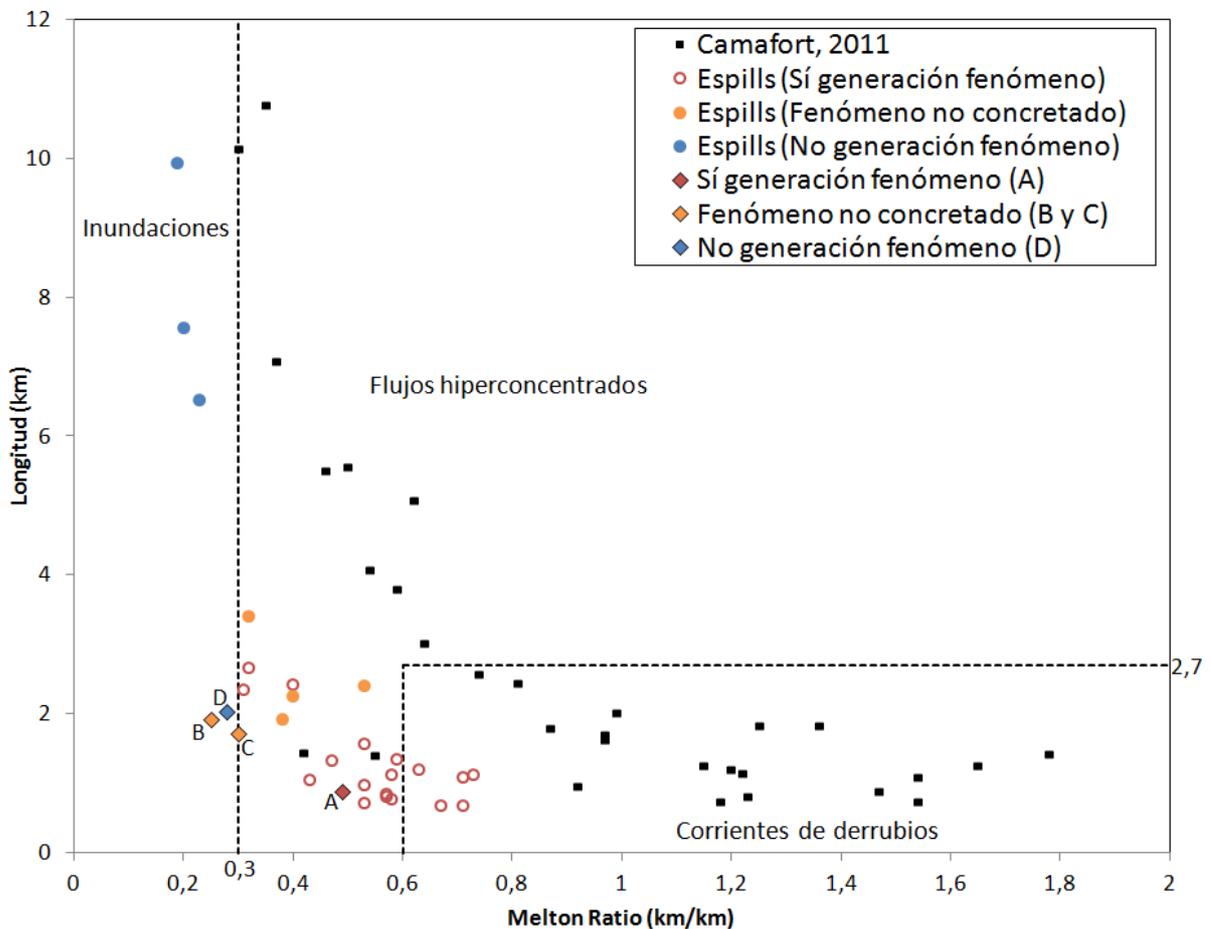


FIGURA 2. Diagrama de dispersión, en círculos, las cuencas analizadas en la hoja de Espills (Camafort *et al.*, 2012); en cuadrados, las cuencas utilizadas para validar el método (Camafort, 2011); y en rombos con las letras A, B, C y D las cuencas utilizadas de ejemplo en este artículo.

Las cuencas hidrográficas A y B se analizaron porque se observaron indicios de actividad mediante fotointerpretación. Las cuencas hidrográficas C y D se escogieron por desembocar en un curso principal y tener pendientes superiores a 7° .

Para las cuencas A y B, una vez calculados los parámetros morfométricos y las relaciones entre ellos, se obtienen unos valores de relación de Melton de 0.49 y 0.25 y de longitud de la cuenca de 901 y 1,925 metros respectivamente. Según estos valores, la cuenca A es susceptible a generar flujos hiperconcentrados; y la B es susceptible a que se generen inundaciones. Para validar estos resultados se han realizado visitas a la zona, que nos ha permitido reconocer, por una parte, todos los indicios de actividad observados durante el análisis de las fotografías aéreas, e identificar un depósito importante, formando un cono de deyección, en la parte más baja de la cuenca A, de tamaño hectométrico. En él, se han

observado diferentes episodios más antiguos y un canal funcional reciente (Figura 4), confirmando que se trata de una cuenca susceptible a que se generen flujos torrenciales. La visita de campo, en el caso de la cuenca B, ha permitido comprobar los indicios de actividad torrencial, observados por fotointerpretación. Por lo tanto, se trata de una cuenca susceptible a generar flujos torrenciales y no únicamente inundaciones como pronosticaba el método. Este ejemplo pone de manifiesto que el método no puede utilizarse de forma automática y que requiere de la validación de los resultados por técnicas tradicionales, ya sea fotointerpretación exhaustiva o trabajo de campo.

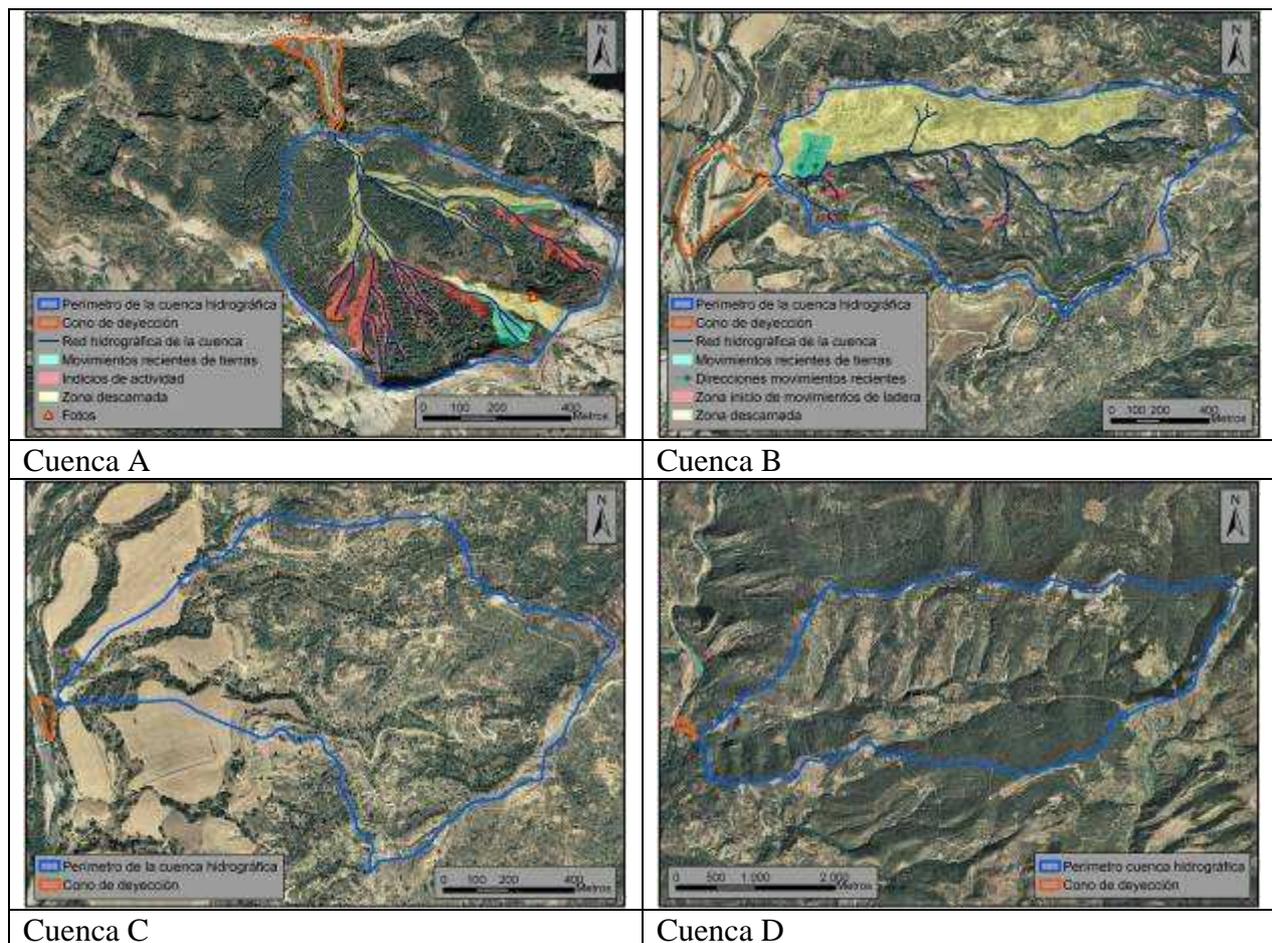


FIGURA 3. Cartografía de la cuenca hidrográfica, del cono de deyección y de los indicios de actividad torrencial observados para cada una de las cuencas utilizadas como ejemplo en este artículo.

Los valores obtenidos para la relación de Melton son de 0.30 y 0.28, y la longitud de la cuenca es de 1,726 y 2,045 metros, para las cuencas C y D, respectivamente. Estos valores indican que la cuenca C es susceptible a generar flujos hiperconcentrados, y la cuenca D es susceptible a que se produzca inundaciones. En ninguno de los dos casos

se han observado indicios de actividad, ni la existencia de materiales susceptibles a ser erosionados por fotointerpretación. Así que, para la cuenca C, el método no ha pronosticado el tipo de flujo, y la validación realizada a través de la fotointerpretación, de trabajos de campo y de encuesta, ha sido decisiva para verificar que no hay indicios que indiquen que la cuenca sea susceptible a que se produzcan flujos torrenciales, por lo tanto es susceptible a que se produzcan inundaciones. Para la cuenca D, tanto el método, como lo observado por diferentes técnicas tradicionales de cartografía, confirman que la cuenca no es susceptible a generarlos.



FIGURA 4. Fotografía del cono de deyección de la Cuenca A.

8. CONCLUSIONES

Las conclusiones extraídas de la aplicación del método en el territorio son las siguientes:

- El método de Wilford *et al.* (2004) se considera una metodología apta para la evaluación preliminar de la susceptibilidad de las cuencas hidrográficas a generar flujos torrenciales en el MPRG25M.

- Es imprescindible la verificación de los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología mediante el trabajo de campo y el criterio de experto ya que, por un lado, el método no contempla la presencia/ausencia de material susceptible a movilizarse, y por otro, porque puede existir cierta incertidumbre en la identificación de los indicios de actividad torrencial mediante fotointerpretación.
- Las cartografías de las cuencas se tienen que elaborar a una misma escala y siguiendo los mismos criterios geomorfológicos de tal forma que los resultados obtenidos para distintas zonas sean comparables.

REFERENCIAS

- Balash, C., Becat, J., Marugán, C.M., Nadal, A., Rapalino, V. i Remacha, R. (2008). Les riuades del segle XX al Pallars Sobirà: 1907, 1937 i 1982. Arxius i societat, Quaderns de divulgació històrica, Núm 2. Departament de Cultura i Mitjans de comunicació, Generalitat de Catalunya. 239p.
- Camafort, M. (2011). “Avaluació de la perillositat per corrents d’arrossegalls en conques torrencials a Catalunya. Aplicació al Mapa per a la Prevenció de Riscos Geològics.” Trabajo final de carrera. Dept. de geodinàmica i Geofísica. Facultat de Geologia. Universidad de Barcelona. Septiembre 2011. 154p.
- Camafort, M., González, M., Pinyol, J., Vilaplana, J.M., Oller, P. (2012). Evaluación de la susceptibilidad por corrientes de derrubios. Aplicación al Mapa para la Prevención de Riesgos Geológicos 1:25 000 de Cataluña. ACTAS de la XII Reunión Nacional de Geomorfología, Santander 2012.
- Corominas, J., Copons, R., Vilaplana, J.M., Altimir, J., Amigó, J. (2003). Integrated landslide susceptibility analysis and hazard assessment in the Principality of Andorra. *Natural Hazards* 30, 421–435.
- Hürlimann, M., Moya, J., Abancó, C., Portilla, M., Chevalier, G., Baeza, C., Raïmat, C., Graf, C., Torreadella, J., Oller, P., Copons, R., Mases, M. (2009). Peligrosidad de corrientes de derrubios a escala de cuenca vertiente en el Pirineo oriental. Primeros resultados del proyecto “Debris-Catch”. VII Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables. Alonso, E. & Corominas, J. eds. Barcelona.
- Ley 19/2005, del 27 de diciembre, del Institut Geològic de Catalunya. DOGC, 3 de enero de 2006, 4543, 80p.
- Oller, P., González, M., Pinyol, J., Barberà, M., Martínez, P. (2011). The geological hazard prevention map of Catalonia 1:25 000. A tool for geohazards mitigation. Proceedings of the Second World Landslide Forum – 3-7 October 2011, Rome. 6p.

Portilla, M., Chevalier, G., Hürlimann, M. (2010). Description and analysis of the debris flows occurred during 2008 in the eastern Pyrenees. *Natural Hazard and Earth System Sciences*, 10, 1635-164.

Wilford, D.J., Sakals, M.E., Innes, J.L., Sidle, R.C. i Bergerud, W.A. (2004). Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. *Landslides* (2004) 1: DOI 10.1007/s10346-003-0002-0. Published online: 5 March 2004, Springer-Verlag, pp. 61-66.