

EL MAPA DE PREVENCIÓ DE RISCOS GEOLÒGICS DE CATALUNYA 1:25.000. ‘EL MAPA DE PREVENCIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS DE CATALUÑA’

Pere OLLER¹, Marcel BARBERÀ², Marta GONZÁLEZ¹, Jordi PINYOL¹, Jordi MARTURIÀ¹, Pere MARTINEZ¹

¹ Institut Geològic de Catalunya (IGC)
pereo@igc.cat
Balnes 209-211
Barcelona 08006

² GEOCAT Gestió de projectes, S.A.
Av. Josep Tarradellas, 34-36, 3ª P.
Barcelona 08029

RESUMEN

La ley de creación del Institut Geològic de Catalunya (IGC) (19/2005 de 27 de diciembre), otorga como funciones de este organismo estudiar y evaluar los riesgos geológicos o asociados, incluido el riesgo de alude; su previsión, prevención y mitigación, además de dar soporte y colaborar con los organismos competentes en la planificación y ordenación del territorio, en el urbanismo y en la gestión de emergencias. Para dar respuesta a tales premisas se inició, entre otros, el plan de cartografía geotemática “Mapa de Prevenció de Riscos Geològics de Catalunya 1:25.000 (MPRGC 25M)”. El objetivo de esta herramienta es dar soporte a la planificación territorial, urbanística, viaria y de infraestructuras en general. El mapa permitirá a las administraciones y particulares disponer de una visión de conjunto del territorio respecto a los peligros geológicos e identificar las zonas donde se recomienda realizar estudios de detalle en el caso que se planifiquen actuaciones. En paralelo se está creando una base de datos que incorporará toda la información de esta serie cartográfica y que en el futuro se convertirá en el “Sistema d’Informació de Riscos Geològics de Catalunya” (SIRGC).

1. INTRODUCCIÓN

La Ley 19/2005, de 27 de diciembre, del *Institut Geològic de Catalunya* (IGC) de la *Generalitat de Catalunya*, otorga como funciones de este organismo estudiar y evaluar los

riesgos geológicos o asociados, incluido el riesgo de aludes; su previsión, prevención y mitigación, además de dar soporte y colaborar con los organismos competentes en la planificación y ordenación del territorio, en el urbanismo y en la gestión de emergencias. Para dar respuesta a estas funciones se inició, entre otros, el plan de cartografía geotemática *Mapa de Prevenció de Riscos Geològics de Catalunya 1:25.000* (MPRGC 25M) para la totalidad del territorio catalán, constituido por 304 hojas.

El MPRGC 25M se ha concebido como un mapa multi-peligrosidad, donde se indica la superposición de diferentes peligrosidades en una misma zona. El mapa pretende dar una visión de conjunto de los peligros geológicos identificados en el territorio y recomendar la realización de estudios de detalle, en aquellos sitios identificados como peligrosos en los cuales se planifiquen actuaciones.

La información obtenida en la realización del MPRGC 25M, así como la información referente a peligros geológicos que el IGC documenta en el cumplimiento de sus funciones, se integrará en el *Sistema d'Informació de Riscos Geològics de Catalunya* (SIRGC) que actualmente se encuentra en fase de diseño. Este sistema permitirá el almacenamiento ordenado de la información, su rápida actualización, así como facilitará su consulta y análisis.

2. MAPA DE PREVENCIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS DE CATALUÑA

En el MPRGC 25M se representan los fenómenos y indicios de actividad, así como las zonas susceptibles y la peligrosidad natural de los procesos generados por la geodinámica externa (dinámicas de ladera, torrencial, nival, fluvial y litoral) y la geodinámica interna (sismicidad). En el mapa no se han considerado aquellas zonas susceptibles a que se genere peligrosidad por causas antrópicas. Los fenómenos considerados son: movimientos de ladera (desprendimientos, deslizamientos, flujos torrenciales, movimientos complejos,...), hundimientos (subsidiencias y colapsos), aludes, inundabilidad y sismicidad.

Cada hoja consta de diversas ventanas donde la información se representa a diferentes escalas (Figura 1). El elemento central de la hoja corresponde al mapa principal. Alrededor de este se distribuyen un conjunto de elementos periféricos que corresponden a los mapas complementarios y a los mapas adicionales de peligrosidad, así como sus leyendas y textos explicativos.

En el mapa principal, a escala 1:25.000, se representan los movimientos de ladera, los hundimientos, los aludes y la inundabilidad definida por los límites de la modelización hidráulica con periodo de retorno de 500 años y por la zona potencialmente inundable con criterio geomorfológico (ZPISCG). Los mapas complementarios, a escala 1:100.000, muestran la peligrosidad de cada uno de los fenómenos representados en el mapa principal, por separado, para facilitar la comprensión. En función del número de tipologías

de los fenómenos representados en el mapa principal, los mapas complementarios pueden variar entre 1 y 6. Los mapas adicionales de peligrosidad tienen entidad propia y corresponden a los mapas de peligrosidad por inundabilidad y de peligrosidad sísmica, ambos a escala 1:50.000. El mapa de peligrosidad por inundabilidad contiene las modelizaciones hidráulicas para los distintos periodos de retorno considerados (10, 50, 100 y 500 años) y la zona inundable según criterios geomorfológicos (ZPISCG).

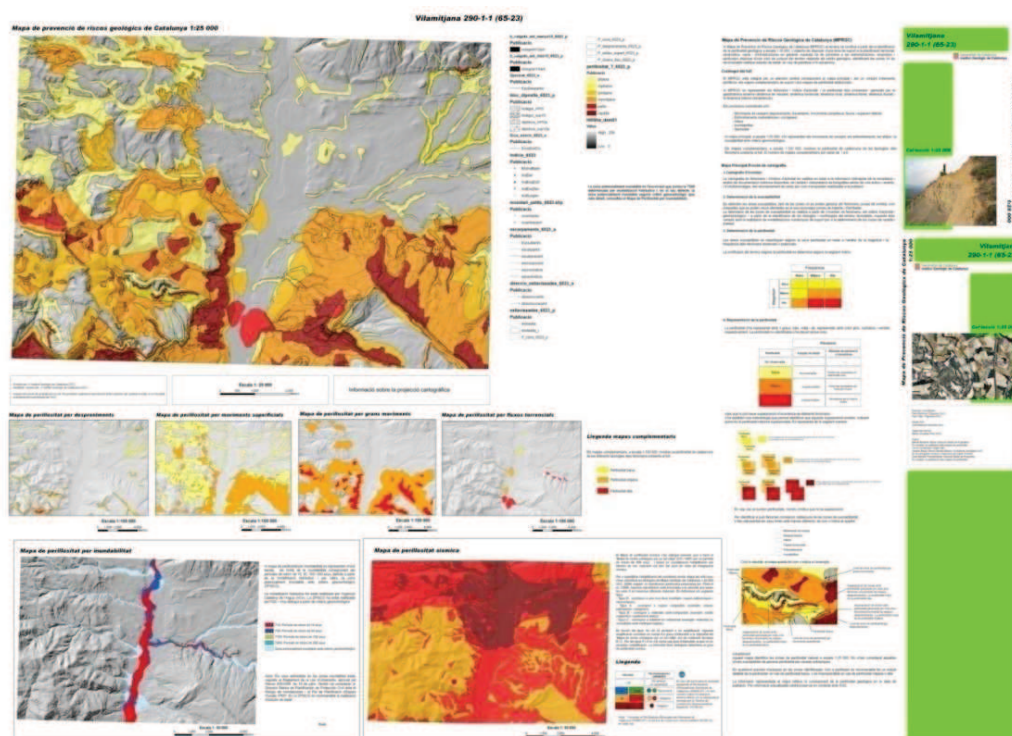


Figura 1. *Mapa de Prevenció de Riscos Geològics de Catalunya 1:25.000*. Prototipo de la hoja de Vilamitjana 290-1-1-(65-23).

2.1 MAPA PRINCIPAL

La metodología de trabajo utilizada en la elaboración del MPRGC 25M se sintetiza en las fases siguientes:

2.1.1 CARTOGRAFÍA DE INVENTARIO

La cartografía de fenómenos e indicios de actividad se realiza en base a la información obtenida de la recopilación y análisis de la documentación histórica disponible, del

análisis e interpretación de fotografías aéreas de vuelos antiguos y recientes, de ortofotoimágenes, del reconocimiento de campo así como de encuestas realizadas a la población (Figura 2).

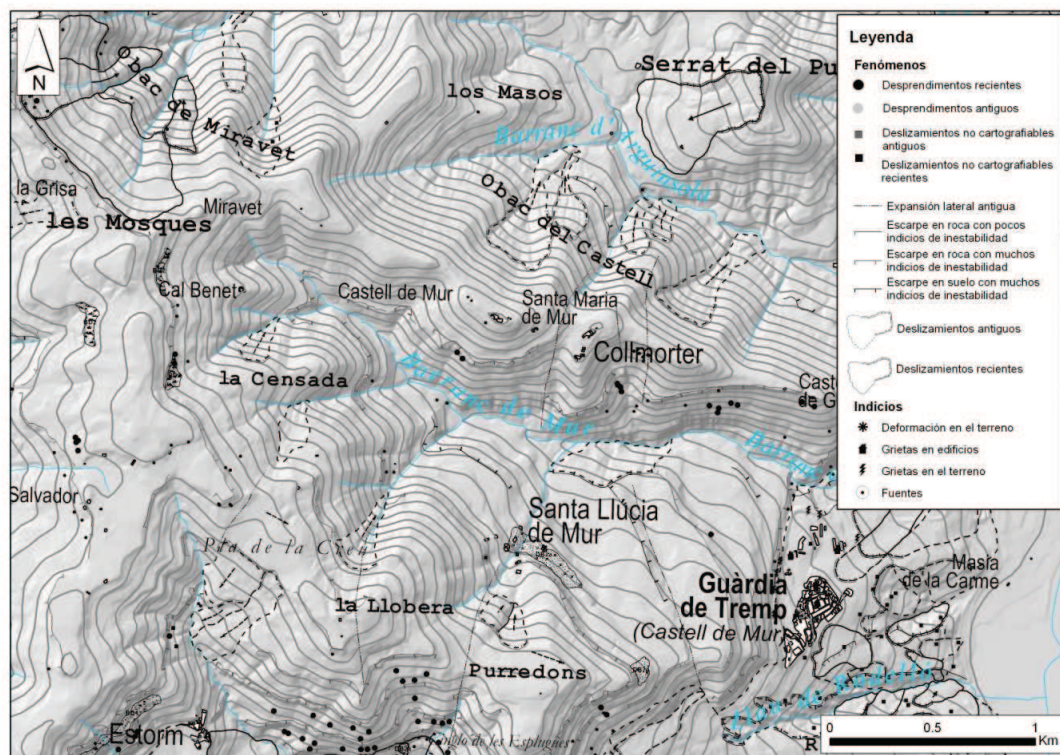


Figura 2. Inventario de fenómenos de un sector de la hoja de Vilamitjana 290-1-1-(65-23) extraído del SIRGC.

2.1.2 DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

Para evaluar y delimitar la peligrosidad se identifican previamente las zonas de susceptibilidad de los fenómenos considerados, entendiendo éstas como las áreas favorables a que se desencadene un fenómeno o se vean afectadas por él. Estas zonas engloban la zona de salida, la zona de trayecto y la zona de máximo alcance. La delimitación de esta zona se hace a partir del inventario de fenómenos, de indicios de actividad, y a partir de la identificación de las litologías y morfologías del terreno favorables. En esta fase se contempla la realización de modelizaciones numéricas que sirven de apoyo en la determinación de las zonas de salida y de alcance. Las zonas susceptibles se determinan en función de las particularidades de cada fenómeno, como se expone brevemente a continuación.

La delimitación de las zonas susceptibles a que se produzcan desprendimientos se realiza en base a dos metodologías. En la primera se realiza una evaluación preliminar de toda la hoja mediante análisis SIG, a partir del cruce automático del mapa de pendientes, obtenido a partir del *Modelo Digital del Terreno* (MDT) 5x5, con el de litologías, extraído de la *Cartografía Geològica Digital de Catalunya* a escala 1:25.000. El resultado es un mapa preliminar de la susceptibilidad que se tiene que considerar como orientativo, y que es necesario validar sobre el terreno para confirmar o rechazar los resultados. En la segunda, se realiza la modelización del alcance de los desprendimientos en función de los volúmenes de salida (a partir de observaciones de campo) y de los ángulos máximos de llegada en ausencia de obstáculos obtenidos a partir de Corominas (1996). Para calcular el alcance de los desprendimientos se ha utilizado el programa libre CONEFALL 1.0 (<http://www.quanterra.org/softs.HTM>) utilizando los valores propuestos en la Tabla 1.

Volumen del desprendimiento	Valor del ángulo de alcance en ausencia de obstáculos	Valor del ángulo de alcance con obstáculos
1-10 m ³	48	54
10-100 m ³	40	48
100-1.000 m ³	33	42
> 1.000 m ³	26	36

Tabla 1. Ángulos máximos de llegada o de alcance para desprendimientos, a partir de Corominas (1996).

La susceptibilidad del terreno a que se produzcan deslizamientos está condicionada por las litologías presentes en la zona de estudio y por la morfología del terreno. Como en el caso anterior se realiza un cruce automático entre las litologías y pendientes, que se revisa sobre el terreno (Tabla 2).

Litologías	Pendiente
Derrubios, y en general las unidades clásticas no cohesivas	> 30°
Formaciones superficiales y en general unidades arcillosas	> 25°
Formaciones superficiales y en general unidades arcillosas plásticas y materiales deslizados	> 15°

Tabla 2. Matriz de susceptibilidad para los deslizamientos.

La determinación de la susceptibilidad a que se produzcan flujos torrenciales se realiza mediante la evaluación de parámetros como la pendiente media del torrente, la superficie de la cuenca, la cobertura forestal de la cuenca, la erosionabilidad de los materiales y la precipitación máxima en 24 horas (Mulas and Fresno, 2001). A cada uno de ellos se le asigna cualitativamente unos valores (Tabla 3) que definirán la susceptibilidad preliminar a que se produzcan.

Parámetros	Valor	Índice de valoración
Pendiente media del torrente (i)	< 5 % (2.86°)	0
	5-10 % (2.86° -5.71°)	1
	10-20 % (5.71° - 11.31°)	2
	> 20 %	3
Superficie de la cuenca (S)	< 3 km ²	0
	3-10 km ²	1
	10-25 km ²	2
	> 25 km ²	3
Cobertura forestal de la cuenca (F)	> 2/3	0
	1/3 – 2/3	1
	< 1/3	2
Erosionabilidad de los materiales (E)	A y el resto de B	0
	C – D –B1	1
	S	2
Precipitación máxima en 24 horas para un T=100 años (P)	< 100 mm	0
	100 – 140 mm	1
	> 140 mm	2

Tabla 3. Parámetros para la evaluación de la susceptibilidad a que se generen flujos torrenciales.
Extraído de Mulas and Fresno (2001).

La zona susceptible de ser afectada por aludes se determina partir de las zonas de aludes inventariadas en la *Base de Dades d'Allaus de Catalunya* (BDAC, Oller et al., 2005). Estas zonas se han cartografiado a partir del análisis del terreno y de los indicios que los aludes generan en la vegetación, y a partir de información histórico-testimonial.

Finalmente la susceptibilidad preliminar del terreno a que se produzcan hundimientos se ha determinado en función de las litologías presentes. Para ello se han identificado como zonas susceptibles las zonas de formaciones evaporíticas en superficie o en el subsuelo, zonas con formaciones carbonatadas con procesos kársticos activos, zonas con formaciones detríticas con circulación de aguas subterráneas y las zonas con actividades mineras con existencia de indicios de actividad. Este es el único fenómeno en el que se ha considerado la actividad antrópica como causa de su origen.

2.1.3 DETERMINACIÓN DE LA PELIGROSIDAD

La peligrosidad de cada fenómeno se analiza en base al análisis de la magnitud y de la frecuencia de los fenómenos observados o potenciales. Así, las áreas susceptibles se clasifican según su peligrosidad de acuerdo con la matriz representada en la Figura 3. La magnitud del fenómeno se determina en base a las dimensiones y energías esperadas, mientras que la frecuencia se determina a partir del inventario de fenómenos y de indicios de actividad. Esta matriz permite valorar la peligrosidad en alta, media y baja, y se representa mediante un código semafórico, en color rojo, naranja y amarillo respectivamente.

		Frecuencia		
		Baja	Media	Alta
Magnitud	Baja	Peligrosidad Baja	Peligrosidad Baja	Peligrosidad Baja
	Media	Peligrosidad Baja	Peligrosidad Media	Peligrosidad Media
	Alta	Peligrosidad Media	Peligrosidad Alta	Peligrosidad Alta

Figura 3. Matriz de peligrosidad en función de la magnitud y la frecuencia.

Para cada fenómeno la determinación de la magnitud varía. Para desprendimientos se determina en base a los volúmenes estimados de salida y a la altura del escarpe. Por ejemplo, si los desprendimientos son en roca dura el rango de magnitud se clasifica en volúmenes inferiores a 1 m^3 , entre 1 y 10 m^3 , y superiores a 10 m^3 (Tabla 4). Así si la altura del escarpe es inferior a 10 metros la magnitud será baja, media y alta respectivamente.

Magnitud	Altura del escarpe (o altura del área de salida)		
Volumen de salida estimado	<10 m	10 – 100 m	>100 m
<1 m^3	Baja	Media	Alta
1-10 m^3	Media	Alta	Alta
> 10 m^3	Alta	Alta	Alta

Tabla 4. Magnitudes de los desprendimientos en roca dura en base a los volúmenes de salida y a la altura del escarpe.

Para los deslizamientos las magnitudes se determinan en base a los volúmenes de los indicios identificados de acuerdo con la Tabla 5.

Magnitud	Volumen	Tipos de deslizamientos
Baja	< 800 m^3	Movimientos superficiales y flujos
Media	800 – 2.000 m^3	
Alta	> 2.000 m^3	Grandes deslizamientos

Tabla 5. Magnitudes para los deslizamientos.

La frecuencia para todos los fenómenos se considera de dos formas, o bien a través del periodo de retorno, con datos relativos a su edad a partir de información histórico o testimonial, o bien, si no se dispone de datos suficientes como para determinar los

periodos de retorno, en función de la abundancia de indicios y de su actividad (Tabla 6).

Frecuencia	Periodo de retorno (T)	Indicios
Baja	> 500 años	Indicios antiguos poco abundantes
Media	30-500 años	Indicios antiguos abundantes o indicios recientes dispersos
Alta	< 30 años	Indicios recientes abundantes o muy abundantes en general

Tabla 6. Frecuencia de los desprendimientos en función del periodo de retorno y de la cantidad de indicios.

Uno de los retos importantes del mapa ha sido la representación gráfica de la superposición de peligrosidades por coincidencia de más de un proceso en un mismo lugar. Con este objetivo se ha establecido una metodología que permite identificar que existe tal superposición de fenómenos e indica cual es la peligrosidad máxima superpuesta y cuáles son los procesos que la generan. En ningún caso se suman peligrosidades, sólo se indica que hay superposición de ellas. Para identificar a qué fenómeno corresponde cada una de las zonas de susceptibilidad se han representado sus límites con tramas diferentes, tal y como se indica en la Figura 4 y con epígrafes.

Cada uno de los niveles de peligrosidad comporta unas consideraciones de prevención. Éstas informan sobre la necesidad de realizar estudios adicionales de detalle y orientan sobre la necesidad de realizar medidas correctivas. Actualmente estas consideraciones no tienen implicaciones legales, es decir, no son de obligado cumplimiento, razón por la cual deben ser consideradas como recomendaciones. En la Figura 5 se presenta un ejemplo del mapa principal de la hoja de *Vilamitjana 290-1-1-(65-23)*.



Figura 4. Representación de la multi-peligrosidad. A la izquierda, superposición de las peligrosidades y a la derecha, límites de los polígonos en función del fenómeno que representa.

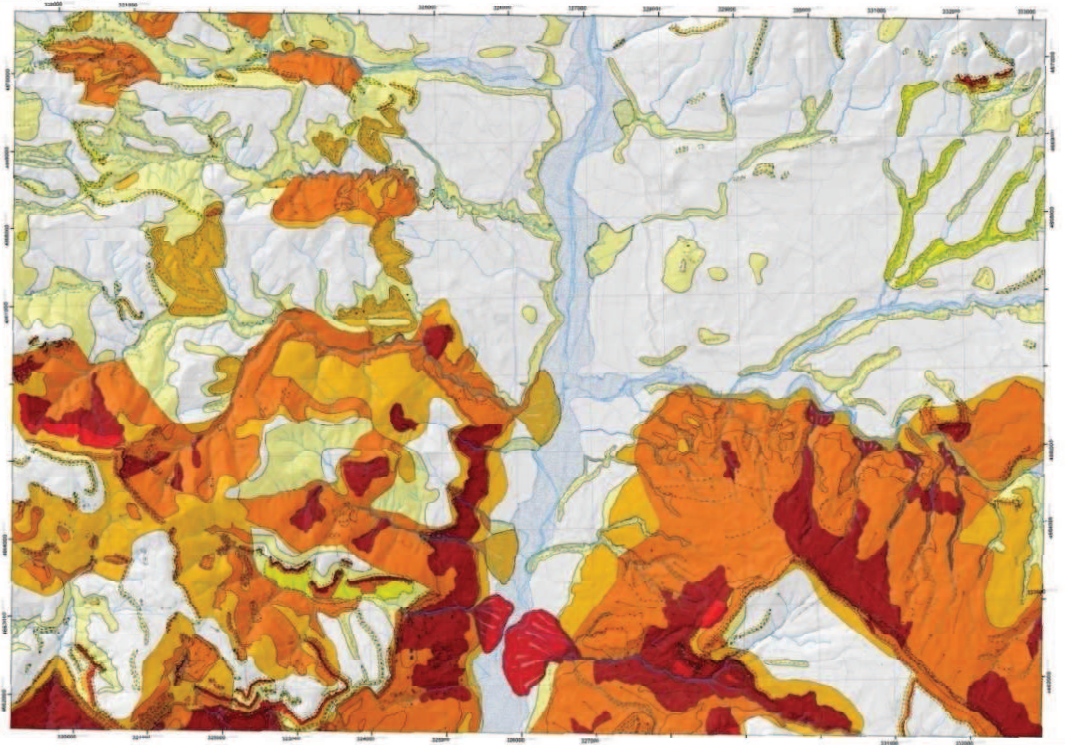


Figura 5. Mapa principal, ejemplo de la hoja de *Vilamitjana 290-1-1-(65-23)*.

2.2 MAPAS COMPLEMENTARIOS

Los mapas complementarios muestran la peligrosidad de cada una de las tipologías de los fenómenos representados en el mapa principal por separado. El número de los mapas complementarios puede variar de 1 a 6.

2.3 MAPAS ADICIONALES

2.3.1 MAPA DE PELIGROSIDAD SÍSMICA

El mapa de peligrosidad sísmica se ha obtenido a partir del *Mapa de Zones Sísmiques* (ICC, 2001) para un periodo de retorno de 500 años para un suelo medio, teniendo en cuenta la amplificación por efectos de suelo. Para tener en cuenta la amplificación del movimiento sísmico debido a los efectos del suelo se ha realizado la clasificación geotécnica de las litologías del *Mapa Geològic de Catalunya 1:25.000* de la hoja de *Vilamitjana 290-1-1-(65-23)* en 4 tipologías: R, A, B y C, en base a la velocidad que tienen las ondas S a atravesarlas (Fleta et. al., 1998):

Tipo R: corresponde a rocas duras (ejemplo: paleozoicas o mesozoicas).
 Tipo A: corresponde a rocas compactas (ejemplo: paleógenos o neógenos).
 Tipo B: corresponde a materiales semi-compactados (ejemplo: rocas evaporíticas o depósitos cuaternarios antiguos).
 Tipo C: corresponde a materiales no cohesionados (ejemplo: depósitos no consolidados con contenido orgánico).

A cada grupo de litologías se le han asignado las amplificaciones propuestas a continuación:

Tipo R y A: No se incrementa ningún grado de intensidad.
 Tipo B y C: Se incrementa 0.5 grados la intensidad.

Asimismo, se incrementa 0.5 grados de intensidad cuando el suelo está formado por materiales implicados en deslizamientos, ya sean antiguos o recientes.

En el mapa final (Figura 6) también se representan los valores de la aceleración sísmica básica de la *Norma de Construcción Sismorresistente Española* (NCSE-02, 2002) para un emplazamiento en roca, de obligado cumplimiento, y la intensidad asignada al *Pla d'Emergències Sísmiques de Catalunya* (SISMICAT, 2003).

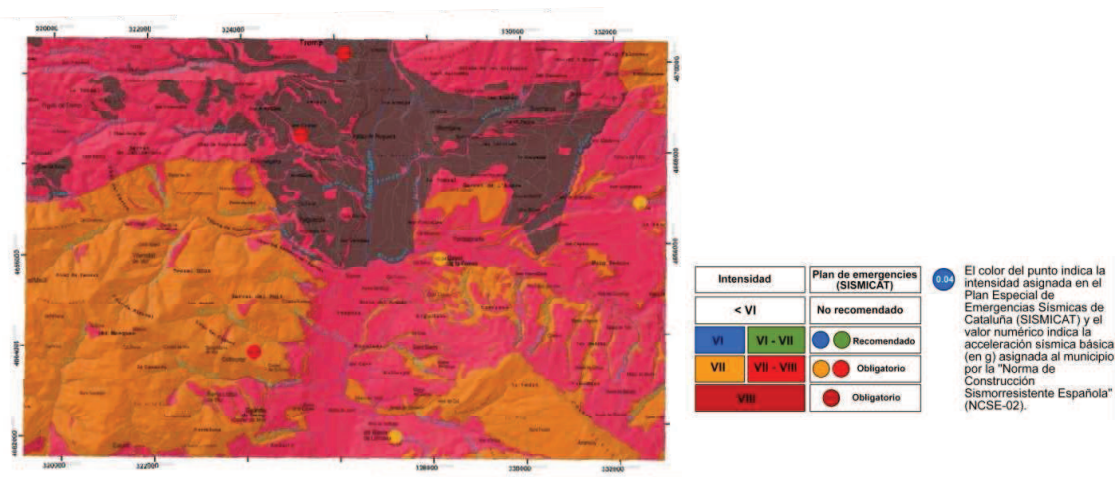


Figura 6. Mapa adicional de peligrosidad sísmica, ejemplo de la hoja de Vilamitjana 290-1-1-(65-23).

2.3.1 MAPA DE PELIGROSIDAD POR INUNDABILIDAD

En el mapa de peligrosidad por inundabilidad, a escala 1:50.000 (Figura 7), se representan los límites de la modelización hidráulica para periodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años, facilitados por la *Agència Catalana de l'Aigua* (ACA), y en aquellos cursos de orden menor donde no se ha realizado la modelización, se representan los límites de la zona potencialmente inundable determinada con criterios geomorfológicos (ZPISCG) del IGC.

La delimitación de la ZPISCG se realiza a partir de fotointerpretación y de trabajo de campo y a priori, se considera que la ZPISCG incluye la totalidad de la llanura de inundación (T_0) y la primera terraza (T_1), mientras que las terrazas más antiguas se interpretan como no inundables.

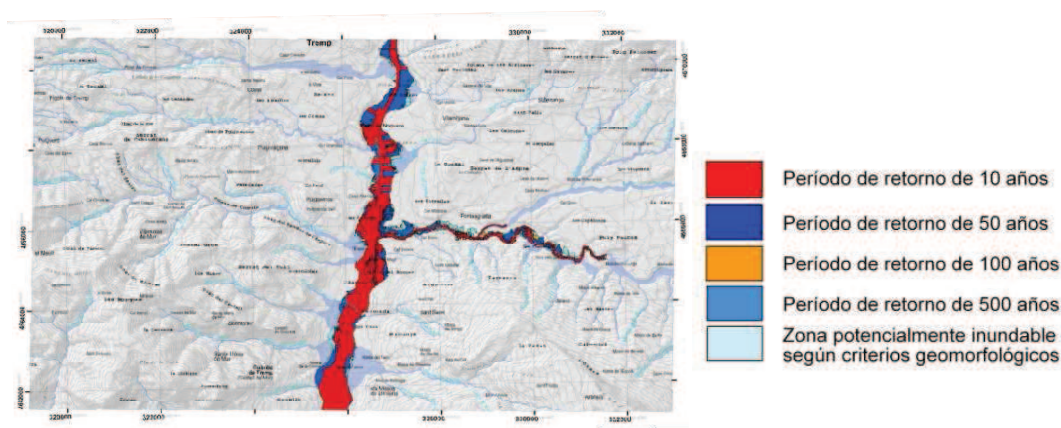


Figura 7. Mapa de peligrosidad por inundabilidad, ejemplo de la hoja de *Vilamitjana 290-1-1-(65-23)*.

8. CONCLUSIONES

El *Mapa de Prevenció de Riscos Geològics de Catalunya* 1:25.000 viene a suplir la carencia existente en Cataluña de cartografía geotemática y especialmente de peligrosidad. Tiene como objetivo ser una primera capa, continua en todo el territorio, de información de su peligrosidad geológica a escala 1:25.000, para uso en la planificación territorial. Permitirá consultar la información de la peligrosidad geológica de forma integrada y, a la vez comprensible, en un solo documento, a escala media. Para la planificación de actuaciones en zonas con peligrosidad identificada en el mapa, se recomienda la realización de estudios específicos de peligrosidad a escalas más detalladas.

A su vez, esta cartografía es la base temática a partir de la cual se estructura la futura base de datos de riesgos geológicos, actualmente en construcción.

REFERENCIAS

- BDAC, 2005. *Base de Dades d'Allaus de Catalunya*. Institut Geològic de Catalunya, DPTOP, Generalitat de Catalunya, Barcelona. Consultable en http://www.icc.es/web/gcontent/ca/allaus/igc_allaus_bdac.html
- Corominas, J., 1996. *The reach of angle as a mobility index for small and large landslides*. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 33, Nº.2, pp. 260-271.
- Fleta, J., Estruch, I. and Goula, X., 1998. Geotechnical characterization for the regional assesment of seismic risk in Catalonia. *Proceedings 4th Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society*. Barcelona, pp. 699-702.
- ICC, 2001. *Mapa de zones sísmiques considerant l'efecte de sòl*. Institut Cartogràfic de Catalunya, DPTOP, Generalitat de Catalunya, Barcelona. Disponible a www.igc.cat
- Mulas, J. and Fresno, F. (2001). Geotecnia y peligrosidad natural. En Ríos, S. (Ed.) *El medio físico y su peligrosidad en un sector del Pirineo Central*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie Medio Ambiente, 1, Madrid, pp. 81-100.
- NCSE-02 (2002). *Norma de Construcción Sismorresistente Española. Parte General y de Edificación*. Comisión Permanente de Normas Sismorresistente, Real Decreto 997/2002 del 27 de septiembre de 2002, Boletín Oficial del Estado nº 244, viernes 11 de octubre de 2002. Ministerio de Fomento. 35898-35987 pp.
- Oller, P.; Marturià, J.; González, J.C.; Escriu, J.; Martínez, P (2005): *El servidor de datos de aludes de Cataluña, una herramienta de ayuda a la planificación territorial*. In proceedings of: VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Valencia, 21-24 de Junio de 2005. E. P. 905-916.
- SISMICAT, 2003. *Pla Especial d'Emergències Sísmiques a Catalunya*. Departament de Justícia i Interior, Generalitat de Catalunya, Barcelona.