

Actividad 4.4.2: INFORME TÉCNICO SOBRE LA GENERACIÓN DEL MAPA DE PÉRDIDAS PARA CADA UNO DE LOS CASOS DE ESTUDIO

Informe del GT4

CASO ESTUDIO ESPAÑA: ISLA DE MALLORCA

Due date of deliverable: 31/07/2022

Actual submission date: 29/07/2022

Lead contractor for this deliverable: IGME

Autores

Rosa María Mateos, Inmaculada García Moreno, Cristina Reyes Carmona, Roberto Sarro, Mónica Martínez-Corbella, Juan Antonio Luque, del Centro Nacional IGME_CSIC. Junto con la colaboración del equipo del IGOT (Portugal) y BRGM (Francia).



Table of Contents

1	OBJETO DEL INFORME	3
2	INTRODUCCIÓN.....	5
3	MOVIMIENTOS DE LADERA CON DAÑOS REGISTRADOS DURANTE EL EVENTO	6
	3.1. La Red viaria.....	8
	3.2. Edificios, viviendas y otros	9
4	VALORACIÓN DE LOS DAÑOS ECONÓMICOS.....	12
5.	CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN.....	13
6.	MAPA DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS PARA LA SERRA DE TRAMUNTANA (MALLORCA).....	14
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15

1. OBJETO DEL INFORME

En el marco del GT4 del proyecto RISKCOAST está previsto un informe técnico relativo a la “GENERACIÓN DEL MAPA DE PÉRDIDAS PARA CADA UNO DE LOS CASOS DE ESTUDIO”. En este documento se desarrolla la metodología llevada a cabo en la Isla de Mallorca que, durante los años 2008-2010, sufrió los inviernos más fríos y lluviosos de los últimos 50 años. Como consecuencia, se desencadenaron un gran número de desprendimientos rocosos, avalanchas de roca y deslizamientos que afectaron a la región montañosa de la Serra de Tramuntana: 14 desprendimientos, una avalancha de rocas, 15 deslizamientos y 4 colapsos kársticos que generaron cuantioso daños a edificaciones y urbanizaciones, la red viaria de carreteras de la Serra, estaciones eléctricas, etc.

En el presente documento se evalúan las pérdidas económicas generadas (directas e indirectas) que han permitido la elaboración de un mapa de pérdidas económicas para este evento de larga duración, que queda recogido en el Producto 4.8.

2. INTRODUCCIÓN

Desde principios de los años 50, la economía de Mallorca ha experimentado muchos cambios, con el turismo a la cabeza. Hoy en día, el negocio turístico se ha convertido en la principal fuente de ingresos de la isla (83% de su PIB). La población de Mallorca es de aproximadamente un millón de habitantes, la mayoría de los cuales trabajan en el sector turístico, atendiendo a más de 13 millones de visitantes en el 2019.

La Serra de Tramuntana es la principal alineación montañosa de la isla de Mallorca. Esta región abarca 16 términos municipales con una población total de 135.000 habitantes, siendo la cara norte mucho más poblada y urbanizada. La economía de la Tramuntana gira también de manera exclusiva en torno al turismo, que representa el 95% de su PIB.

La abrupta topografía de esta cadena montañosa, ligada a su complejidad geológica y al clima mediterráneo, determina una intensa dinámica de laderas con los consiguientes movimientos de todas las categorías (Mateos, 2002; Mateos y Azañón, 2005). El gran desarrollo urbanístico que ha sufrido la Tramuntana en los últimos 30 años ha aumentado considerablemente el riesgo originado por los movimientos de ladera.

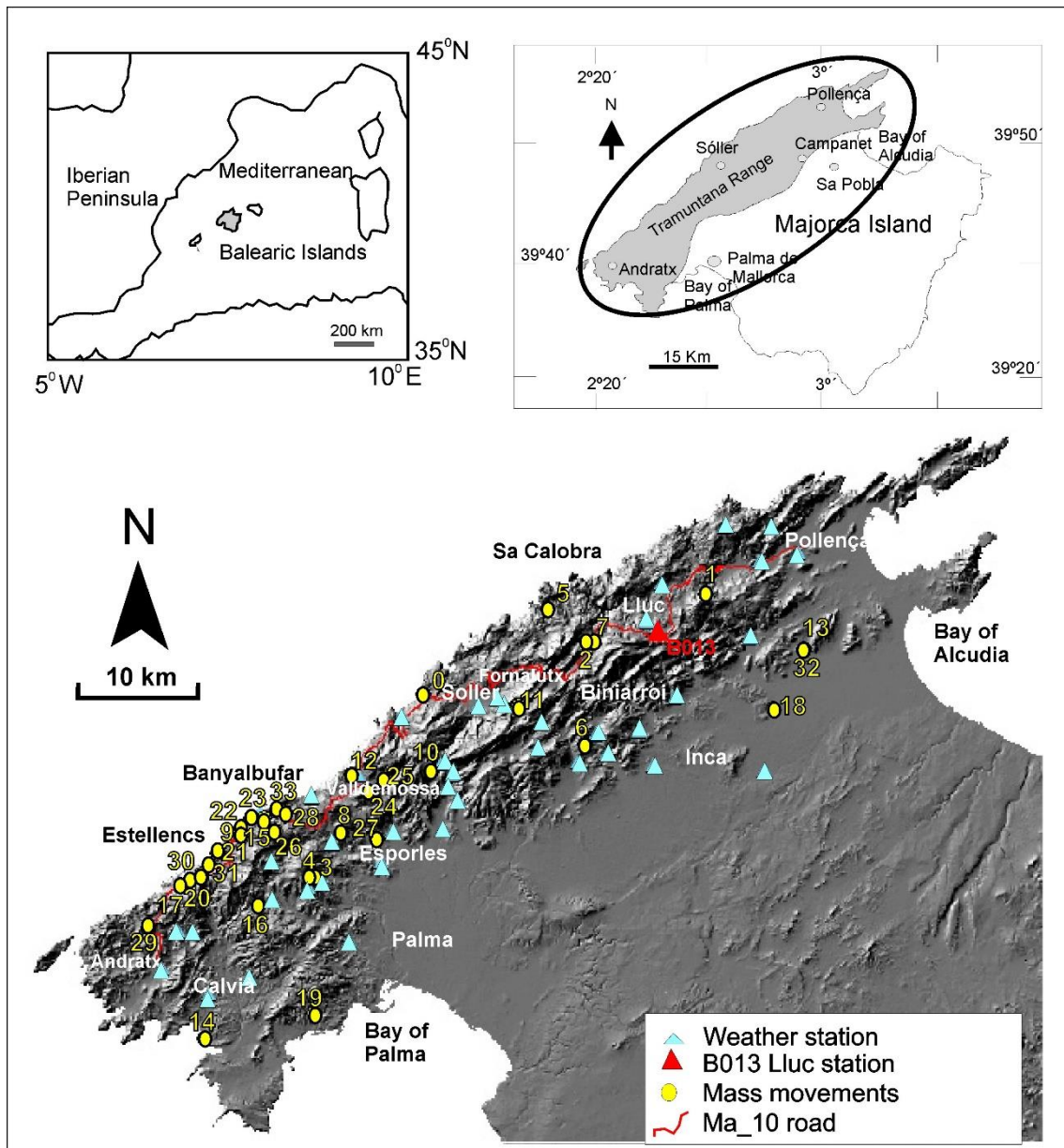


Figure 1. Localización de Mallorca en el Mediterráneo Occidental y la Serra de Tramuntana en el extremo noroeste de la isla. Sobre el modelo digital de elevación se muestran los 34 movimientos de masas registrados, la ubicación de las estaciones meteorológicas, así como la red de carreteras de la sierra (Ma-10 en rojo)

Durante los años hidrológicos 2008 - 2010, Mallorca experimentó los inviernos más fríos y húmedos de los últimos 50 años. No solo la precipitación acumulada fue el doble de los valores medios registrados, sino que en este periodo se produjeron los mayores valores de precipitación intensa (hasta 296 mm/24 h) desde que se dispone de registros instrumentales (1944). Estos episodios lluviosos coincidieron además con periodos fríos en

los que transcurrieron varios días con temperaturas que oscilaron entre 0° C y -6,8 °C, valores anómalos en el suave clima mediterráneo. El resultado fue 34 movimientos de ladera, distribuidos a lo largo de la Serra de Tramuntana (Fig. 1). Se produjeron 14 desprendimientos de rocas, una avalancha de rocas, 15 deslizamientos de tierra-flujos de tierra y 4 colapsos kársticos.

Afortunadamente, no hubo víctimas mortales, pero sí numerosos daños en viviendas, bloques de apartamentos vacacionales, graneros y centrales eléctricas, y especialmente en la red de carreteras de la sierra, destacando los numerosos cortes en la carretera Ma-10, que provocaron importantes pérdidas económicas en los diferentes núcleos turísticos.

Este estudio pretende contribuir a la evaluación de los daños y costes causados por estos movimientos de masas, con el fin de obtener datos reales que contribuyan a tener una mayor conciencia del riesgo en esta región.

3. MOVIMIENTOS DE LADERA CON DAÑOS REGISTRADOS DURANTE EL EVENTO

Durante el periodo comprendido entre octubre de 2008 y mayo de 2010, la isla de Mallorca experimentó los inviernos más fríos y lluviosos que se recuerdan, destacando como los años más húmedos de los últimos 50 años. El 15 de diciembre de 2008 se registró la mayor precipitación en el sector central de la Serra de Tramuntana desde que se dispone de datos instrumentales (1944). Un total de 296 mm de lluvia en 24 horas se registraron cerca de Sóller, y la precipitación acumulada durante los años hidrológicos 2008-2010 fue casi el doble del valor medio. El periodo 2008-2010 no sólo fue excepcionalmente lluvioso en la isla, sino también anómalamente frío, con abundantes nevadas y heladas en las zonas más altas de la cordillera. Se trata de un hecho inusual en el suave clima mediterráneo, donde las temperaturas extremas se atenúan por la proximidad del mar. Además, las elevadas precipitaciones y las bajas temperaturas coincidieron, ya que las lluvias se produjeron principalmente durante los meses de invierno, y estuvieron vinculadas a los frentes fríos procedentes del norte de Europa.

Como resultado de este episodio climático, se desencadenaron 34 movimientos en masa en la Serra de Tramuntana, distribuidos a lo largo de toda la cadena montañosa y en ambas caras de la misma. El inventario de

estos movimientos se muestra en la Figura 1, donde los movimientos se agruparon en tres categorías principales:

- Desprendimientos de rocas - avalanchas de rocas (15)
- Deslizamientos y flujos (15)
- Colapsos kársticos (4)

La disposición estructural de los materiales que afloran en la Serra de Tramuntana afectó a la distribución de los movimientos. La cara norte, donde se produjeron 23 de los 34 movimientos (68%), es más peligrosa debido a la existencia de pendientes más pronunciadas y una mayor densidad de afloramientos de materiales blandos (Gelabert, 1992).

3.1. La red viaria

La carretera Ma-10

La carretera Ma-10, situada en la cara norte de la cordillera, tiene un intenso tráfico estimado en 7.200 vehículos diarios de media, y constituye la principal vía de esta región. Durante el período 2008-2010, 8 movimientos de ladera (5 desprendimientos y 3 desprendimientos de rocas) afectaron gravemente a la carretera. La figura 2 muestra algunas fotografías de los movimientos más importantes, destacando el desprendimiento del Gorg Blau (Fig. 2-2), el 31 de diciembre de 2008 y el desprendimiento de Estellencs 2 (Fig.2- 4), el 8 de marzo de 2010, que bloquearon la carretera Ma-10 durante tres meses y medio, cortando el acceso a varias localidades y pueblos.

Otras carreteras

Las carreteras secundarias que atraviesan la cordillera también se han visto afectadas por movimientos de ladera, especialmente por desprendimientos y colapsos kársticos. En Mallorca, el predominio de un sustrato rocoso carbonatado, principalmente calizas y dolomías del Jurásico Inferior, determina la aparición de procesos habituales en las zonas kársticas, como son los socavones y las depresiones de hundimiento poco profundas. Durante los dos últimos años, las morfologías preexistentes han aumentado considerablemente de tamaño. Esto se debe principalmente al aumento de la recarga provocado por las continuas e intensas precipitaciones en la isla. Esta recarga adicional no sólo ha provocado un aumento del nivel piezométrico

de los acuíferos, sino también (1) un aumento de la saturación del suelo, (2) una pérdida de la resistencia interna de los materiales superficiales, (3) el aumento de los procesos de disolución que afectan al sustrato rocoso, (4) la migración de las cavidades y grietas formadas en la roca hacia la superficie (Hyatt & Jacobs, 1996, Benito et al., 1995). El resultado son colapsos kársticos claramente visibles en las carreteras.

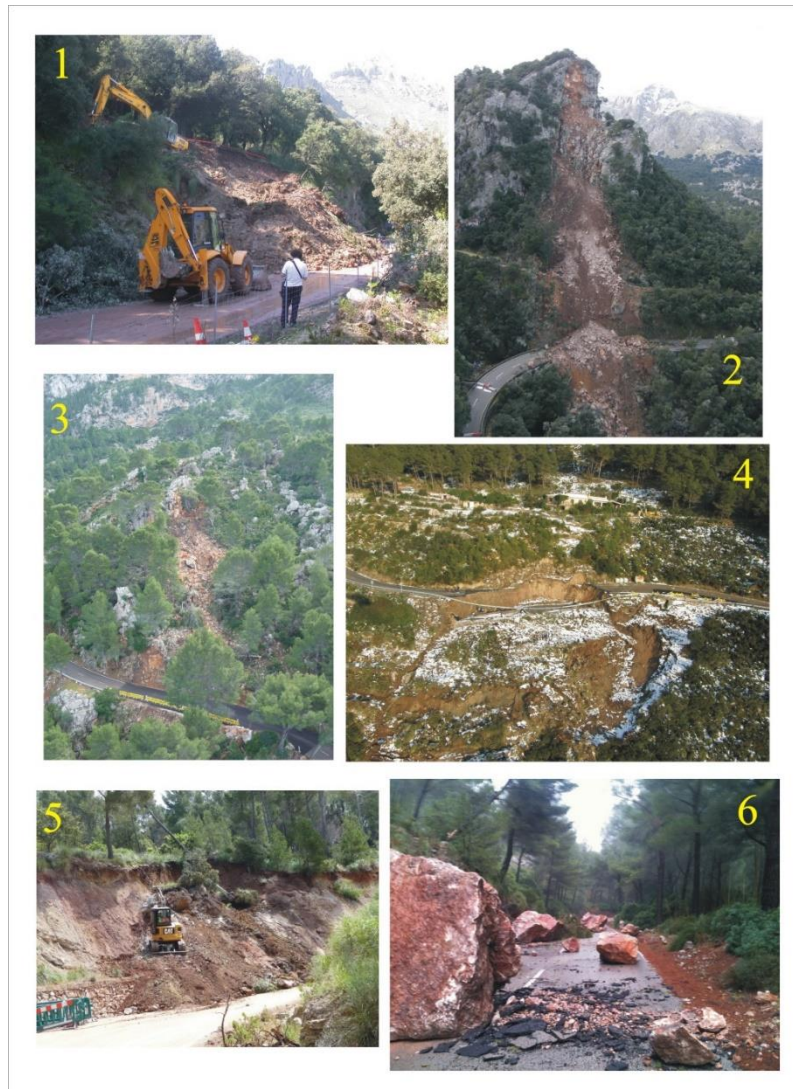


Figura 2. Fotografías de los movimientos más importantes que afectan a la carretera Ma-10. 1) Sa Calobra (3/12/2008), 2) Gorg Blau (31/12/2008), 3) Estellencs 1 (15/01/2010), 4) Estellencs 2(8/03/2010), 5) Banyalbufar (09/05/2010) y 6) Pilar (12/10/2010)

La Fig. 3 muestra algunos colapsos kársticos que afectaron la red de carreteras (Fig. 3. 4, 5, 6), así como el deslizamiento de Cala Tuent (Fig. 3-

1, 2), que bloqueó la carretera y cortó el acceso a Cala Tuent durante un par de meses.



Figura 3. Fotografías de carreteras secundarias de la Serra afectadas por deslizamientos, desprendimientos y colapsos kársticos. 1 y 2) Deslizamiento de Cala Tuent (15/12/2008), 3) Desprendimiento de Es Verger (15/12/2008), 4) Hundimiento de Búger (enero 2010), 5) Hundimiento de Es Verger (15/12/2008) y 6) Hundimiento de Crestatx (3/5/2010)

3.2. Edificios, viviendas y otros

Los desprendimientos de rocas y los deslizamientos de tierra durante 2008-2010 también causaron graves daños en edificios, casas vacacionales, viviendas, central eléctrica, etc. Cabe destacar la zona de Costa d'en Blanes, en el sector sur de la Serra de Tramuntana, donde se evacuaron 17 viviendas ante el riesgo inminente de un gran desprendimiento de rocas. Esta zona urbana se construyó en la década de 1990 sobre una antigua cantera de yeso (Fig. 4-6). La geología determina las características del movimiento. En la superficie afloran rocas carbonatadas altamente karstificadas (caliza) con un espesor de hasta 10 m. En la base de la cantera, y por debajo de las calizas, se observan las margas yesíferas que fueron explotadas durante la actividad minera. Grandes bloques de caliza se deslizan sobre los materiales blandos, apareciendo grandes grietas en la parte superior de la cantera, que han afectado a algunas casas.

Pequeños desprendimientos de rocas también han afectado a casas (Fig. 4-2, 3, 5) y bloques de apartamentos (Fig. 4-4) causando una gran alarma en la población. También se han registrado daños en graneros y en una central eléctrica (Fig. 4- 1). Afortunadamente, no hubo víctimas mortales.

4. VALORACIÓN DE LOS DAÑOS ECONÓMICOS

Con el objetivo de evaluar las pérdidas económicas causadas por los movimientos de ladera, las autoras se han puesto en contacto con diversos departamentos locales y regionales del Gobierno de Mallorca. Los daños en la carretera se han evaluado de acuerdo con la información de los Servicios de Conservación de Carreteras, e incluyen: saneo y retirada de escombros de la carretera, adecuación de los proyectos de retaluzado, medidas de estabilidad, así como los relativos a la reparación de la carretera. También se han calculado los costes indirectos referidos a las pérdidas económicas de los diferentes términos municipales afectados por el corte de la carretera, como son Banyalbufar, Estellencs y Cala Tuent.



Figura 4. Daños causados en edificios, viviendas y otras edificaciones por movimientos de ladera durante 2008-2010. 1) Central de Deià (29/10/2008), 2) Biniaraix (6/01/2009), 3) Puigpunyent (14/09/2009), 4) Siesta (8/01/2009), 5) Son Albertí (Ene 2010) y 6) Costa d'en Blanes (Ene 2010)

Movimiento Nº de inventario y fecha	Daño a:	Coste económico (€)	
		Directos	Indirectos
Sa Calobra (Nº 2) 03 Dic 2008	Carretera Ma-10	100,000	
Es Verger (Nº 3) 15 Dic 2008	Carretera Es Verger	10,000	
Es Verger (Nº 3) 15 Dic 2008	Carretera Es Verger	10,000	
Cala Tuent (Nº 5) 15 Dic 2008	Cala Tuent road	200.000	300.000
Gorg Blau (Nº 7) 31 Dic 2008	Carretera Ma-10	1.500,0000	1.000,000
Banyalbufar (Nº 9) Enero 2009	Carretera Ma-10	6,000	
Crestatx (Nº 13) Enero 09, 03 Mayo 10	Carretera urbanización	200,000	
Búger (Nº18) Enero 2010	Carretera de Búger	120,000	20,000
Estellencs (Nº 17) 15 Enero 2010	Carretera Ma-10	150,000	
Estellencs (Nº 29) 08 Marzo 2010	Carretera Ma-10	2.000,000	1.500,000
Petrol station (Nº 31) 09 Abril 2010	Carretera Ma-10	20,000	
Banyalbufar (Nº 33) 09 Mayo 2010	Caterrera Ma-10	300.000	

Tabla 1. Costes directos e indirectos (€) causados por los movimientos de masas en la red de carreteras de la sierra de Tramuntana, durante el periodo de lluvias y frío 2008-2010

Movements	Damage	Cost (€)	
		Direct	Indirect
Costa Deià (Nº 0) 29 Oct 2008	Power station	72,000	
Biniaraix (Nº 11) 06 Jan 2009	Small building	12,000	
Crestatx (Nº 13) Jan 09, 03 May 10	Housing development street	120,000	
Edificio Siesta (Nº 14) 09 Jan 2009	Building	30,000	
Son Albertí (Nº 15) 23 Jan 09, Jan 10	Small building	20,000	
Casa Puigpunyent (Nº 16) 14 Sept 09	Dwelling	30,000	
Costa d'en Blanes (Nº 19) Jan 2010	Dwellings	1,500,000	1,700,000
Son Antic (Nº 27) 17 Feb 2010	Barn and terraces	30,000	

Tabla 2. Costes directos e indirectos (€) causados por los movimientos de ladera en varios edificios, viviendas, casas y otros situados en la Serra de Tramuntana, durante el periodo de lluvias y frío 2008-2010.

La interrupción de la llegada de turistas a estas localidades durante varios meses provocó el cierre de restaurantes, hoteles y bares, con la consiguiente pérdida de puestos de trabajo y beneficios. Estos ayuntamientos han facilitado información sobre estas pérdidas económicas indirectas, evaluadas por los afectados para solicitar indemnizaciones al Estado y a las compañías de seguros.

En cuanto a los costes de reparación de viviendas, edificios y otros, la información fue facilitada por particulares. En el caso de la urbanización Costa d'en Blanes, todos los datos económicos relativos a los estudios de suelo y proyectos de reparación, coste indirecto de evacuación de viviendas, costes de reparación, etc., han sido facilitados por el ayuntamiento de Calvià.

Las Tablas 1 y 2 muestran los costes relacionados con cada evento. Las pérdidas económicas totales se valoran en aproximadamente 11 millones de euros, lo que representa el 0,042% del PIB de la Comunidad Autónoma de Baleares.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los movimientos de ladera son un grave problema en las regiones montañosas; causan víctimas, daños a la propiedad, pérdida de servicios... Y se invierten importantes recursos económicos para prevenirlos y mitigarlos (Roberds et al., 2002). Las estadísticas de víctimas y daños de estos procesos no se registran sistemáticamente, por lo que resulta difícil estimar las pérdidas económicas (Ghayoumian et al., 1998). Un análisis del riesgo de deslizamiento suele tener en cuenta los costes directos, principalmente la reconstrucción y reparación de los elementos expuestos (Zezere et al., 2008), pero no es habitual incluir los costes indirectos, ya que se necesita adquirir y evaluar una gran cantidad de información no disponible fácilmente.

En el presente estudio se ha realizado un análisis de los daños causados por numerosos movimientos de ladera (34) en la Serra de Tramuntana (Mallorca) durante el periodo lluvioso y frío (2008-2010). No sólo la red de carreteras se vio seriamente afectada, sino también varios edificios, viviendas, casas, etc., causando gran alarma en la población. Los costes de reparación y reconstrucción se han calculado a partir de la información comunicada por las autoridades locales, los servicios de mantenimiento de

carreteras y los particulares. Estos costes directos se han estimado en aproximadamente 6,4 millones de euros.

Teniendo en cuenta que la economía de esta región depende principalmente del turismo, también se han tenido en cuenta los costes indirectos, valorados en aproximadamente 4,5 M€. Los cortes en las carreteras han provocado la interrupción de la llegada de turistas a algunas localidades, lo que ha provocado el cierre de restaurantes, hoteles, bares, etc., con la consiguiente pérdida de puestos de trabajo y de beneficios. La evacuación de 17 casas vacacionales por el riesgo inminente de un gran desprendimiento de rocas también ha generado cuantiosos costes indirectos (valorados en 1,7 millones de euros).

En las Islas Baleares, la concienciación sobre el riesgo ligado a los movimientos de ladera era insignificante. Tanto la población como las autoridades no eran conscientes de los daños y el impacto económico que pueden suponer estos procesos. Los 34 movimientos aquí registrados han cambiado por completo esta percepción. Una zona como Mallorca, que vive de y para el turismo, no puede subestimar este tipo de peligros; la seguridad de la población de la isla y de sus visitantes debe ser una prioridad.

6. MAPA DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS PARA LA SERRA DE TRAMUNTANA (MALLORCA)

Con la información de los daños económicos, directos e indirectos, recopilada en los apartados anteriores se ha elaborado el siguiente mapa (Fig. 5), clasificando los desprendimientos rocosos según los daños causados en Euros.

Este mapa será el producto 4.8 a entregar en el GT4 del proyecto Riskcoast.

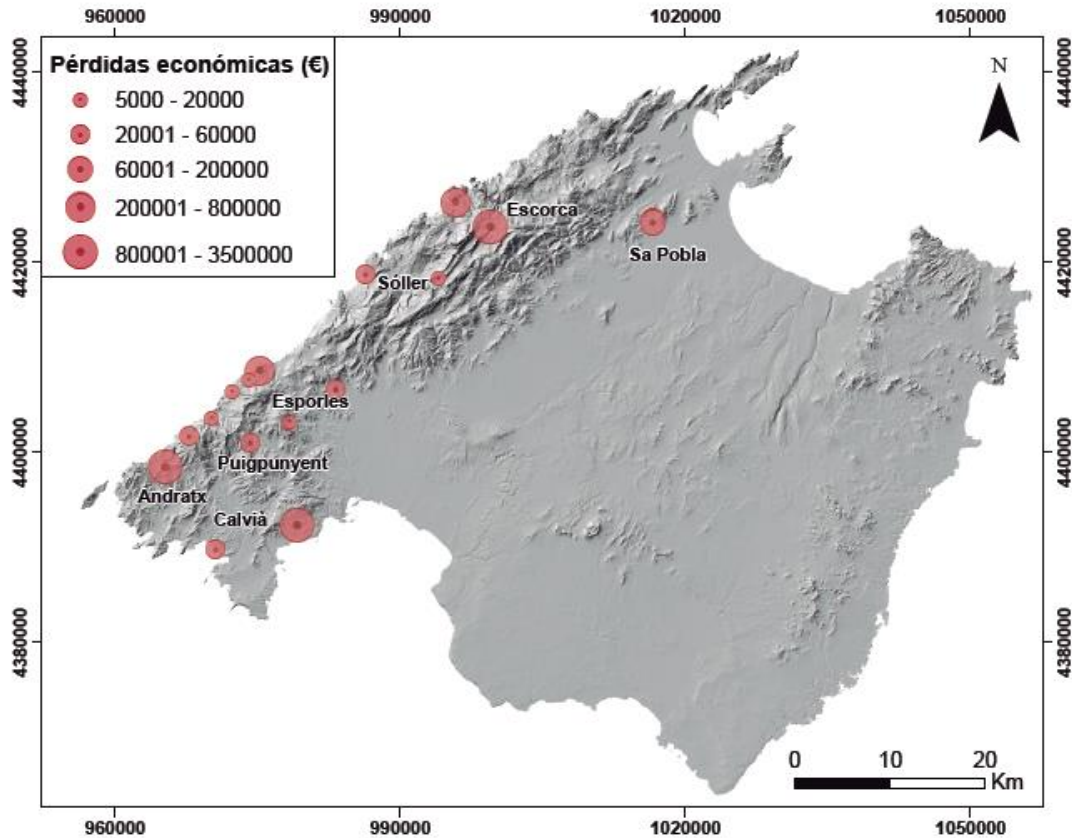


Fig. 5 Mapa de pérdidas económicas por movimientos de ladera en la Serra de Tramuntana de Mallorca, durante el periodo 2008-2010

7. Referencias bibliográficas

Benito, G., Pérez del Campo, P., Gutiérrez-Elorza, M., Sancho, C., (1995) Natural and human-induced sinkholes in gypsum terrain and associated environmental problems in NE Spain. *Environmental Geology* (1995) 25. 156-164.

Ghayoumian, J., Shoaie, Z., Jafari, M.S., (1998) Extent and economic significance of landslides in Iran. In: *Proceedings VIII International Congress IAEG*. Vol 1-5: 959-964.

Gelabert, B., Sabat, F., Rodríguez-Perea, A., (1992) A structural outline of the Serra de Tramuntana of Mallorca (Balearic Islands). *Tectonophysics*, 203. 167-183.

Hyatt, J.A., Jacobs, P.M., (1996) Distribution and morphology of sinkholes triggered by flooding following Tropical Storm Alberto at Albany, Georgia, USA. *Geomorphology* 17 (1996) 305-316.

Mateos, R.M., (2002) Slope movements in the Majorca Island (Spain). *Hazard Analysis. Instability, Planning and Management. Seeking Sustainable Solutions to Ground Movements Problems*. Edited by Robin G. McInnes and Jenny Jakeways. Ventnor, UK. Mayo 2002.

Mateos, R.M., Azañón, J.M., (2005) Los movimientos de ladera en la Sierra de Tramuntana de la Isla de Mallorca: tipos, características y factores condicionantes. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 18 (1-2): 89-99.

Mateos, R.M., M. Azañón, R. Morales and M. López-Chicano, (2007) Regional prediction of landslides in the Tramuntana Range (Majorca) using probability analysis of intense rainfall. *Z. Geomorph. N. F.*, N° 51, 3. 287-306.

Roberds, WJ., Ho, KKS., Leroi, E., (2002) Quantitative risk assessment for landslides. In: *Proceedings Geology and Properties of Earth Material 2002- Soil, Geology, and Foundations*, (1786): 69-75. 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board.

Zezeze, JL., Garcia, RAC., Oliveira, SC., Reis, E., (2008) Probabilistic landslide risk analysis considering direct costs in the area north of Lisbon (Portugal). *Geomorphology*, 94 (3-4). 467-495.