

Interreg
Sudoe



Desarrollo de herramientas para
prevenir y gestionar los riesgos en
la costa ligados al cambio
climático



**Actividad E2.1.1: Informe técnico sobre los inventarios
de movimientos de ladera en la Serra de Tramuntana
(Mallorca)**

**Informe del Informe del GT2: Cartografías de riesgo para la planificación
urbanística y territorial**

Due date of deliverable: 30/09/2020

Actual submission date: xx/xx/2020

Lead contractor for this deliverable: IGME

Autores

Cristina Reyes, Rosa María Mateos, Roberto Sarro, Eduardo Peña, Mónica
Martínez, Jorge Pedro Galve, José Miguel Azañón, Agustín Millares, Juan
Martín, Pedro Martín, Santiago Martín

Project funded by the Interreg Sudoe Programme through the European
Regional Development Fund (ERDF)



Índice

1	INTRODUCCIÓN	3
2	CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO.....	5
3	INVENTARIO DE MOVIMIENTOS DEL TERRENO EN LA SERRA DE TRAMUNTANA.....	8
4	EVALUACIÓN DE DAÑOS DERIVADOS DE LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO.....	11
5	CONCLUSIONES	12
6	REFERENCIAS.....	13

1 INTRODUCCIÓN

La actividad 2.1.1 del GT 2 de RISKCOAST tiene como finalidad presentar un informe sobre los inventarios de movimientos del terreno existentes en las zonas de estudio seleccionadas dentro del territorio SUDOE de España. Estas zonas son la provincia de Granada (Comunidad Autónoma de Andalucía) y la isla de Mallorca (Islas Baleares). En el presente informe se abarcarán los inventarios existentes en la Isla de Mallorca, concretamente, en la Serra de Tramuntana, situada al norte-noroeste de la isla. El informe va acompañado de una serie de mapas y figuras que ayudan a la comprensión de su contenido.

El primer movimiento documentado en la Serra de Tramuntana fue el deslizamiento de Biniarroi de 1721 que afectó a unos 300000 m² de terreno cultivado, modificando totalmente la topografía original de la zona y la red superficial de drenaje. Reactivaciones posteriores (1816, 1857, 1943) determinaron el abandono del núcleo de población y las tierras de cultivo (Mateos y Giménez, 2007). Otro de los deslizamientos históricos a destacar es el deslizamiento de Es Marroigs, ocurrido en diciembre de 1924 (Darder, 1925), que dejó sepultadas varias casas de labranza (Mateos et al., 2013a).

La tesis de Mateos (2001) "Los movimientos de ladera en la Serra de Tramuntana (Mallorca): Caracterización geomecánica y análisis de la peligrosidad" supone el inicio del estudio de los movimientos de ladera en la Serra de Tramuntana de Mallorca. En este trabajo, Mateos (2001) establece que el 90% de los movimientos de ladera significativos desde el siglo XVIII han tenido lugar en la Serra de Tramuntana. Aquí, diferencia tres grupos principales de movimientos de ladera, según la clasificación establecida por Cruden y Varnes (1996): (1) movimientos en materiales tipo suelos: flujos y deslizamientos complejos, (2) deslizamientos en materiales rocosos: rotacionales y traslacionales y (3) desprendimientos rocosos. Los movimientos más frecuentes en la Serra de Tramuntana son los desprendimientos de roca, debido al claro predominio litológico de calizas y dolomías y al escarpado relieve, muy condicionado por la tectónica regional. Las características estratigráficas y

tectónicas de la franja costera de la Serra de Tramuntana condicionan también la existencia de movimientos de expansión lateral, identificados en varios puntos a lo largo de la costa (García-Moreno et al., 2015; Mateos y Azañón 2005; Mateos et al., 2013b).

Durante los años 2008-2010 se sucedieron una serie de inviernos fríos y lluviosos en la isla. Como consecuencia se desencadenaron en la Serra de Tramuntana 34 roturas significativas de diferentes tipologías: 15 deslizamientos, 14 desprendimientos, una avalancha de rocas y 4 colapsos kársticos (Mateos et al., 2012a). Los daños fueron numerosos y cuantiosos afectando a viviendas, edificios, subestaciones eléctricas y muy especialmente a la red viaria, destacando los numerosos cortes que sufrió la carretera Ma-10, la principal vía de comunicación de la Tramuntana. Las pérdidas económicas, directas e indirectas, se valoraron en unos 11 millones de Euros (Mateos et al., 2013c), aproximadamente el 0.042 del PIB de la Comunidad Autónoma Balear. La existencia de un inventario previo de movimientos de ladera (Mateos, 2006), y la oportunidad de estudio que ofrecía el evento 2008-2010, determinó que la Serra de Tramuntana fuese elegida como zona piloto dentro del marco del Proyecto Europeo DORIS (2011-2013) y del Proyecto Europeo LAMPRE (2013-2015), ambos del VII Programa Marco de Investigación. La finalidad de ambos proyectos europeos se focalizó en la investigación, el desarrollo y la aplicación de nuevas técnicas de control remoto y modelizaciones numéricas, para mejorar el conocimiento de los procesos geológicos activos con el objeto de predecir, prevenir y mitigar los riesgos derivados. En el marco de estos proyectos, Bianchini et al., (2013) realizaron un mapa de deslizamientos activos en la Serra de Tramuntana mediante técnicas de interferometría de satélite radar. El trabajo de Sarro et al., (2014) se focaliza en la modelización y simulación 3D de desprendimientos rocoso de Son Poc y el trabajo de Mateos et al. (2015) recoge la calibración y validación de estos modelos a lo largo de la principal carretera de la Serra de Tramuntana, la Ma-10.

Todos estos antecedentes llevan a que la Serra de Tramuntana de Mallorca haya sido seleccionada como una de las zonas de estudio del proyecto RISKCOAST.

2 CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

El Archipiélago Balear -y región SUDOE (código ES532)- se localiza en el Mediterráneo occidental y está formado por cuatro islas principales: Mallorca, Menorca, Ibiza y Formentera. La isla de Mallorca es la mayor de ellas, con una superficie de 3640.16 km². Geomorfológicamente se distinguen tres grandes unidades en la isla, que se corresponden con un conjunto de *horsts* (altos) y *grabens* (fosas) dispuestos alternativamente: la Serra de Tramuntana (al NO), las Serres de Llevant (al E) y los Llanos Centrales.

La Serra de Tramuntana, con una orientación NE-SO, es una alineación montañosa paralela a la costa noroccidental de la isla. Presenta una línea de cumbres con altitudes superiores a 600 m, una anchura media de unos 15 km, y una longitud máxima de 90 km. La parte más elevada de la cordillera es el sector central, donde se encuentran los picos más elevados de la Serra (Puig Major, 1445 m, Puig Massanella, 1348 m). La estructura geológica de la Serra determina la geomorfología de esta región, con una gran asimetría entre la vertiente meridional de la Serra, menos abrupta, y la vertiente septentrional/costera, más escarpada y con gran desarrollo de acantilados. La costa norte apenas presenta desarrollo de playas, tan sólo existen pequeñas calas generalmente relacionadas con la desembocadura de los torrentes. Los relieves alineados de la Serra están separados por valles longitudinales de cierta entidad que se abren al mar en los extremos de la Serra.

La región de Tramuntana abarca 16 municipios con una población total de 115000 habitantes, con la cara norte mucho más densamente poblada y urbanizada. Destacan los municipios turísticos de Andratx y Calvià al sur de la sierra, con un enorme desarrollo urbanístico en las últimas décadas. La carretera Ma-10 (111 km) constituye la carretera principal de la región y tiene una

circulación intensa de automóviles, estimada en un promedio diario de 7200 vehículos. La economía de la región se fundamenta exclusivamente en el turismo, que representa el 95 % de sus ingresos.

En los últimos 30 años la Serra de Tramuntana ha experimentado un gran desarrollo urbanístico, en concreto los municipios turísticos de Calvià y Andratx, aumentando considerablemente el riesgo a los movimientos de ladera. Un claro ejemplo de ello es Cala Llamp cerca de Andratx donde la expansión urbanística se ha realizado en una ladera costera de elevada pendiente.

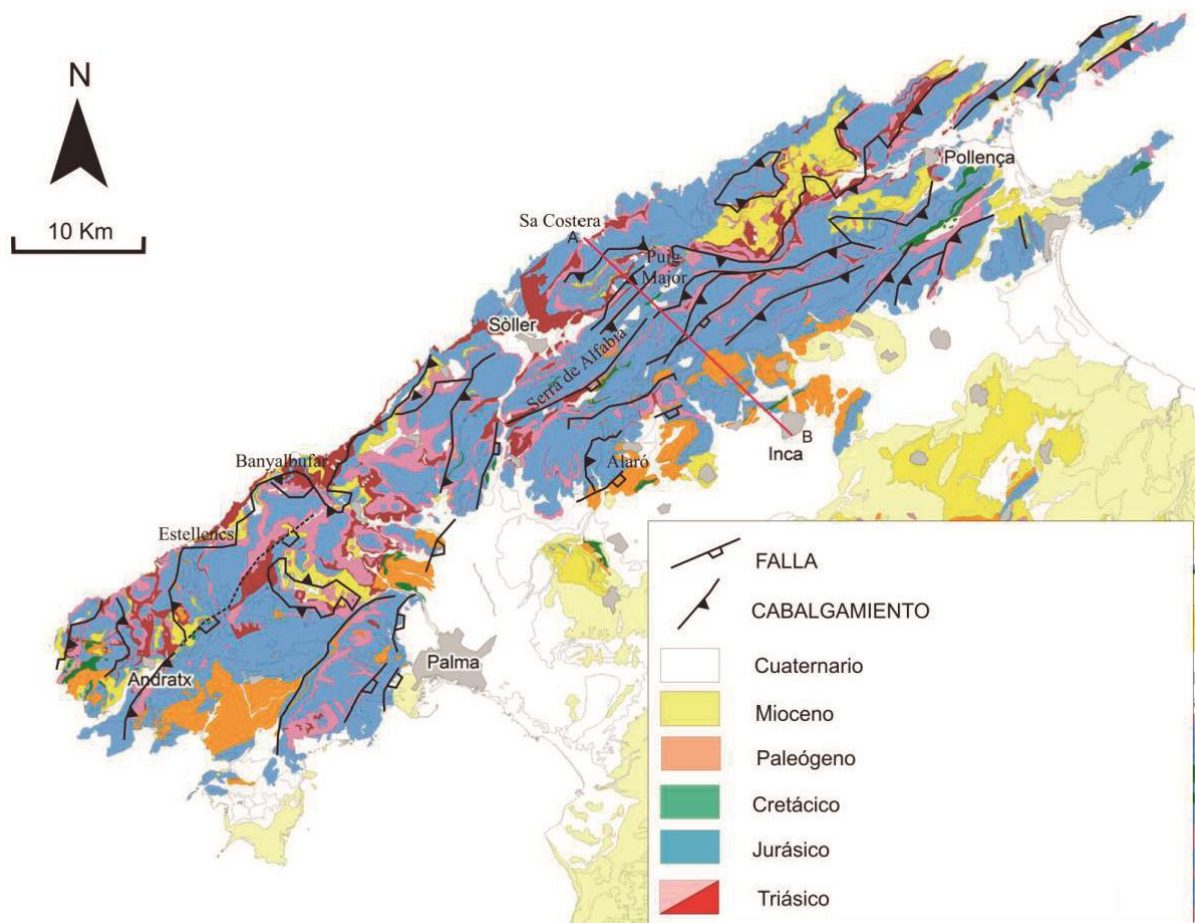


Figura 1. Mapa geológico de la Serra de Tramuntana (Isla de Mallorca) obtenido de García-Moreno (2017).

Geológicamente, la isla de Mallorca se considera una prolongación de la Cordillera Bética que emerge en el Mar Mediterráneo. En la Serra de Tramuntana afloran, mayoritariamente, las rocas sedimentarias que pertenecen a las Zonas Externas de la Cordillera Bética. Las distintas unidades litológicas que se encuentran son las siguientes (Figura 1):

- Areniscas, arcillas, margocalizas y margas con intercalaciones de yesos. Son materiales típicos de ambientes fluviales y lacustres de edad **Triásico**.
- Calizas masivas, calizas nodulosas y dolomías. Son materiales típicos de plataforma marina pelágica de edad **Jurásico**.
- Margas y margocalizas, generalmente de colores blanquecinos. Son materiales de **edad Cretácico**, depositados en plataforma marina profundo.
- Conglomerados, calcarenitas, margas y calizas arrecifales, de edad **Paleógeno-Neógeno**, correspondientes con medios continentales aluviales, ambientes de plata y plataformas marinas someras y cálidas.
- Limos, arcillas y gravas del **Cuaternario**.

La estructura de la Serra de Tramuntana se originó durante la etapa de compresión ligada al plegamiento-orogenia alpina, durante el Oligoceno (Pomar et al., 1983) – Mioceno (Ramos Guerrero et al., 1985). Dicha estructura está formada por un sistema de cabalgamientos imbricados constituidos por las calizas y dolomías jurásicas. El nivel regional de despegue de estos cabalgamientos lo constituyen los materiales triásicos, de modo que afloran en la mayoría de la mayor parte de los valles de la Serra. A partir del Mioceno medio, se desarrolla un sistema de fallas extensionales que continua hasta la actualidad y que configuran la estructura general de la isla en altos y cubetas.

3 INVENTARIO DE MOVIMIENTOS DE LADERA EN LA SERRA DE TRAMUNTANA

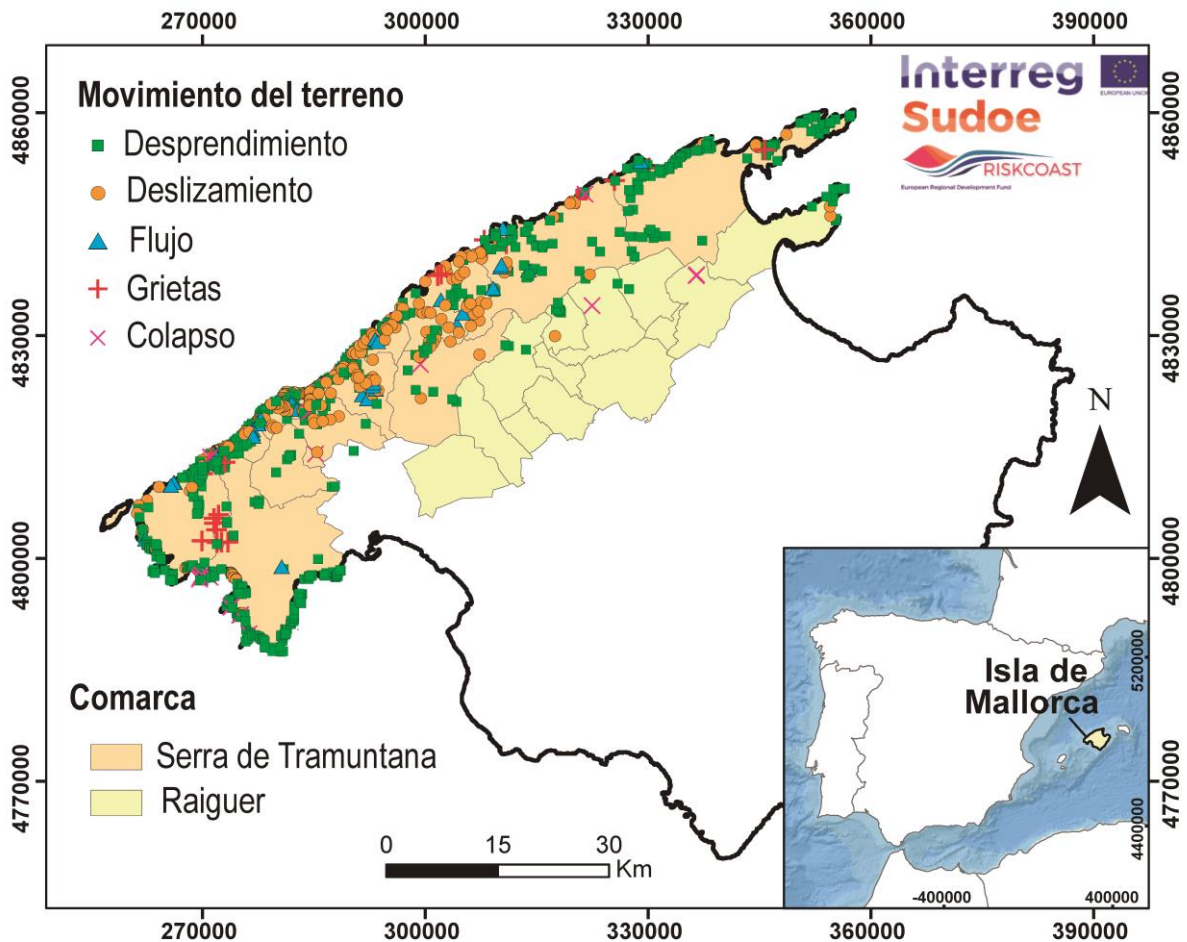


Figura 2. Mapa RISKCOAST de movimientos del terreno de la Serra de Tramuntana. Se indican las diferentes tipologías de movimientos

El inventario de movimientos del terreno agrupa aquellos movimientos registrados en la Serra de Tramuntana, al noroeste de la isla de Mallorca. De cada movimiento registrado, existe información referente a: localización, fecha del evento, material, daños, tamaño, volumen de material movilizado y tipología. En este informe se presenta la información referida exclusivamente al tipo de movimiento del terreno, ilustrado en un mapa que muestra la distribución espacial y tipología con distintos colores y símbolos. El inventario

se ha realizado a partir de la recopilación de los datos de los siguientes trabajos y registros:

- Inventario de la tesis doctoral de Mateos (2001).
- Revisión bibliográfica realizada por Mateos (2001), donde observó que el 90% de los movimientos de ladera significativos desde el siglo XVIII han tenido lugar en la Serra de Tramuntana.
- Observación y descripción de eventos in situ desde el año 2008 hasta 2017, realizada en la tesis doctoral de García-Moreno (2017).
- Incidencias registradas en la red de carreteras de la Serra de Tramuntana, facilitada por la Dirección Insular de Carreteras del Consell, desde 2006 hasta el 2010, incluidas en la tesis doctoral de García-Moreno (2017).
- Incidencias registradas en la Serra de Tramuntana, facilitada por la Dirección Insular de Carreteras del Consell, desde 2015 hasta la actualidad, inventariados por primera vez en el presente informe.

Se han recopilado un total de 965 registros de movimientos de ladera y se presentan en la Figura 2 clasificados según su tipología: desprendimientos, deslizamientos, flujos, colapsos kársticos y zonas agrietadas relacionadas con procesos de expansión lateral.

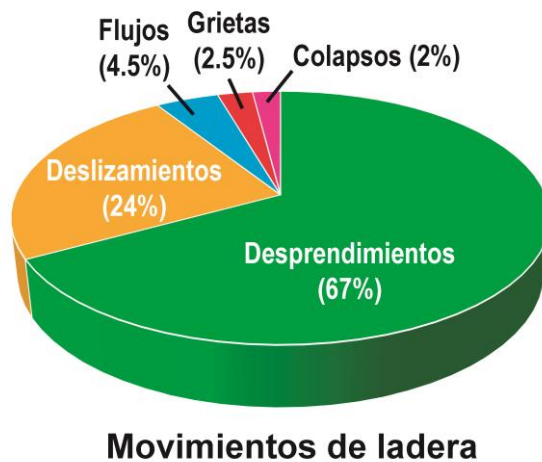


Figura 3. Diagrama circular de la abundancia de los movimientos de ladera según su tipología en la Serra de Tramuntana.

- **Los desprendimientos suponen el 67%** (648 registros) de los movimientos de ladera inventariados en total (Figura 3). Se localizan prácticamente en la totalidad de la Serra de Tramuntana, pero se concentran principalmente en la franja costera. El 55% de los desprendimientos afectan a las calizas y dolomías del Jurásico que forman los principales escarpes de la Serra. El resto afectan a otras litologías rocosas, así como a los depósitos del Cuaternario.
- **Los deslizamientos suponen el 24%** (234 registros) del total de movimientos de ladera (Figura 3). Existen deslizamientos en materiales tipo suelos y los deslizamientos en roca. Los deslizamientos en materiales tipo suelos se encuentran principalmente en la parte central y SO de la Serra, allí donde afloran los materiales más blandos del Keuper, y en concreto en la base de los cabalgamientos y en los valles. Los materiales más afectados son los del Triásico y los depósitos del Cuaternario, que representan ambos el 50% de los deslizamientos. Los deslizamientos rocosos los encontramos principalmente en la parte central de la vertiente costera de la cadena montañosa, y concretamente en la franja litoral. Afectan principalmente a las calizas y dolomías del Jurásico. Esta tipología de movimiento representa solo el 4% del total de deslizamientos registrados.
- **Los flujos representan el 4.5%** (40 registros) del total de movimientos registrados (Figura 3). Al igual que los deslizamientos en suelos, aparecen principalmente en la parte central y SO de la Serra, allí donde afloran los materiales más blandos. Los coluviones del Cuaternario y las arcillas del Triásico (Keuper) son los materiales más afectados.
- **Las zonas agrietadas relacionadas con procesos de expansión lateral suponen un 2.5%** (25 registros) del total de movimientos registrados (Figura 3). Afectan a las calizas y dolomías del Jurásico y se localizan principalmente en la franja costera de la Serra, donde se registran el 64% de los casos.

- **Los colapsos kársticos representan tan solo un 2% (18 registros)** del total de movimientos inventariados (Figura 3). Afectan a las calizas y dolomías del Jurásico y se localizan principalmente en la franja costera de la Serra.

En la figura 4 se muestran varias fotografías de los eventos más significativos ocurridos durante el lluvioso periodo 2008-2010.



Figura 4. Eventos más significativos ocurridos en la Serra de Tramuntana durante el lluvioso periodo 2008-2010

4 EVALUACIÓN DE DAÑOS DERIVADOS DE LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO

En el inventario de movimientos de ladera se han registrado un total de 202 eventos que generaron daños y afecciones: a carreteras (75%), edificaciones (12.3%), muros y marjadas (4.2%), taponamiento de torrentes (0.5%), caminos (6.4%) y olivares (1.6%). Cabe destacar que la mayoría de puntos donde existieron daños se concentran en la carretera Ma-10, especialmente en el tramo entre Andratx y Banyalbufar. De todos los registros que presentan datos relativos a los daños causados, la mayor parte se refiere a costes directos. Tan sólo en un 2 % de los casos hay información relativa a los costes indirectos.

Durante el periodo lluvioso de 2008-2010 hubo numerosos registros de daños a viviendas, bloques de apartamentos, almacenes, subestaciones eléctricas y en especial a la red viaria de Serra, de Tramuntana, concretamente a la carretera Ma-10. El mayor movimiento registrado fue la avalancha de rocas de Son Cocó que tuvo lugar el 19 de diciembre de 2008 (Mateos et al., 2010). El movimiento se desencadenó en la vertiente oriental del Puig de s'Alcadena (Alaró), donde un gran desprendimiento de rocas generó una avalancha con un alcance de unos 650 m. La topografía original de la ladera determinó una curva en la trayectoria del movimiento, lo que causó una desaceleración del mismo y, consecuentemente, la acumulación de los bloques de mayor tamaño en este sector. La avalancha arrasó el pinar que encontró a su paso, dejando una lengua de bloques de 60000 m² de superficie y 300000 m³ de volumen. Algunos de los bloques movilizados presentaron volúmenes superiores a 1500 m³ y varios miles de toneladas de peso. No se registraron daños materiales ni personales.

Los trabajos de restauración de la vía y estabilización de algunas laderas a lo largo de su trazado fueron muy laboriosos y bloquearon la carretera Ma-10 durante más de tres meses, cortando el acceso a varios lugares y pueblos. Las pérdidas económicas totales se valoraron en aproximadamente 11 millones de Euros, lo que representa 0,042 % del PIB de las Islas Baleares (Mateos et al.,

2013c). Cabe destacar que varias carreteras secundarias también fueron afectadas por desprendimientos, deslizamientos y colapsos kársticos, dejando en ocasiones a núcleos urbanos aislados durante varios meses. Los daños en viviendas y edificios también fueron importantes. Así, por ejemplo, en la Costa d'en Blanes, en el sector sur de la Serra de Tramuntana, 17 casas fueron evacuadas.

A pesar de que existen daños registrados en la Serra desde 1721, la concienciación del riesgo por movimientos de ladera en las Islas Baleares es insignificante. Recientemente, el impacto del periodo húmedo 2008-2010 ha cambiado esta percepción. Al tratarse de un periodo con tantas incidencias y repercusiones en la economía insular, los medios de comunicación, tanto regionales como nacionales, se interesaron en la noticia. Así por ejemplo el diario El Mundo, en su tirada nacional, dedicó en dos ocasiones (2009 y 2010) una página completa a los movimientos de la Serra Tramuntana. Este impacto mediático generó en la población un aumento en la percepción del riesgo frente a este tipo de procesos. La alarma social generada hizo reaccionar a los gestores públicos viendo la necesidad de realizar estudios concretos encaminados a la mitigación del riesgo, con la finalidad de poder llevar a cabo políticas de ordenación del territorio y planificación urbanística. No hay que olvidar que la principal fuente de ingresos de la isla de Mallorca es el turismo (83 % de su PIB) y es importante garantizar al máximo la seguridad de las personas (Mateos et al., 2012b).

5 CONCLUSIONES

El inventario RISKCOAST de movimientos de laderas en la Serra de Tramuntana, actualizado al 2020, ofrece casi un millar (965) de eventos desde los inicios del siglo XVIII. Se distribuyen a lo largo de la Serra y principalmente en su vertiente costera. Los desprendimientos de roca son el tipo de movimiento de ladera más abundante de la Serra de Tramuntana, especialmente en la franja costera y en los escarpes de las carreteras. Tienen lugar en las rocas más duras

y competentes de la Serra: las calizas y dolomías del Jurásico. Los deslizamientos, por el contrario, afectan a rocas más blandas, principalmente a las arcillas y margas del Triásico (facies Keuper). Los deslizamientos son menos frecuentes, pero es importante su consideración, especialmente en el sector central de la Serra. Los flujos, expansiones laterales y colapsos kársticos son menos frecuentes pero no menos importantes, ya que representan procesos activos y recurrentes en la Serra de Tramuntana.

Los daños son cuantiosos, especialmente aquellos relacionados con los movimientos que afectan a la red viaria de la Serra, y concretamente a la carretera Ma-10. Periodos lluviosos y fríos como el 2008-2010 pueden causar numerosos eventos consecutivos y poner en riesgo la seguridad de numerosas personas, especialmente de los millones de turistas que visitan la isla.

6 REFERENCIAS

- Bianchini, S.; Herrera, G.; Mateos, R.M.; Notti, D.; García-Moreno, I.; Mora, O.; Moretti, S. (2013b). Landslide Activity Maps Generation by Means of Persistent Scatterer Interferometry. *Remote Sensing*, 2013, 5, 6198-6222.
- Cruden, D.M.; Varnes, D.J. (1996). Landslide types and processes. In: Turner AK, Schuster RL (eds) *Landslides investigation and mitigation*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., pp 36–75, Chapter 3. Special Report.
- Darder, B. (1925). Los deslizamientos de tierras en Fornalutx (Isla de Mallorca). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. Tomo XXV. Año 1925. 142-148.
- García-Moreno, I.; Mateos, R.M.; Gelabert, B.; Herrera, G.; Palmer, E. (2015). Procesos activos de expansión lateral en la vertiente de la Serra de Tramuntana de Mallorca. XIV Reunión Nacional de Cuaternario, Granada, 30 de junio, 1 y 2 de julio de 2015, S07-04 La huella de los peligros geológicos. J.P. Galve, J.M. Azañón, J.V. Pérez Peña y P. Ruano (Eds) 223-226.
- García-Moreno, I. (2017). Actividad de los movimientos de ladera de la Serra de Tramuntana (Mallorca). Aplicación de técnicas remotas (DInSAR) y simulación de desprendimientos rocosos. Memoria de tesis doctoral. Universidad de las Islas Baleares, Facultad de Filosofía y Letras, Departamento de Geografía.
- Mateos, R.M. (2001). Los movimientos de ladera en la Serra de Tramuntana (Mallorca), caracterización geomecánica y análisis de peligrosidad.

- Memoria tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Geológicas, Departamento de Geodinámica.
- Mateos, R.M. y 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. (2006). Los movimientos de ladera en la Serra de Tramuntana (Mallorca). Caracterización geomecánica y análisis de peligrosidad. PhD. Servicio de Publicaciones de la Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 299 p.
- Mateos, R.M. y Giménez, J. (2007). El deslizamiento de Biniarroi (Mallorca) de 1721. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 20 (1-2): 3-16
- Mateos, R.M.; García-Moreno, I.; Azañón, J.M.; Tsige, M. (2010) La avalancha de rocas de Son Cocó (Alaró, Mallorca). Descripción y análisis del movimiento. *Boletín Geológico y Minero* 121(2):153–168.
- Mateos, R.M.; García-Moreno, I.; Azañón, J.M. (2012a). Freeze-thaw cycles and rainfall as triggering factors of mass movements in a warm Mediterranean region: the case of the Tramuntana Range (Majorca, Spain). *Landslides* 9:417–432.
- Mateos, R.M.; García-Moreno, I.; Herrera, G.; Mulas, J. (2012b.) Impacto social de los movimientos de ladera en Mallorca, en el periodo 2008-2010. VIII Congreso Geológico de España, Oviedo, 17-19 julio 2012. Riesgos Naturales, Ordenación del Territorio y Geología Ambiental. Sociedad Geológica de España y Universidad de Oviedo. *Geo-Temas* 13 ISSN. 1576-5172.
- Mateos, R.M.; García-Moreno, I.; Herrera, G.; Roldán, F.J. y Palmer, E. (2013a). Bartomeu Darder i Pericàs como testigo y cronista del deslizamiento de Es Marroigs en 1924 (Mallorca). Análisis desde la perspectiva actual. *Boletín Geológico y Minero*, 124 (4): 657-669, ISSN: 0366-0176.
- Mateos, R.M.; Rodríguez-Peces, M.J.; Azañón, J.M.; Rodríguez-Fernández, J.; Roldán, F.J.; García-Moreno, I.; Gelabert, B. y García-Mayordomo, J. (2013b). El deslizamiento de Bàltix (Mallorca) y su posible origen sísmico. Procesos activos desde el Pleistoceno superior. *Boletín Geológico y Minero*, 124 (1): 41-61. ISSN: 0366-0176.
- Mateos, R.M.; García-Moreno, I.; Herrera, G.; Mulas, J. (2013c). Damage caused by recent mass-movements in Majorca (Spain), a region with a high risk due to tourism. *Landslide Science and Practice*. Margottini C, Canuti P, Sassa K (eds), Volume 7: Social and Economic Impact and Policies, p 105-113.
- Mateos, R. M., García-Moreno, I., Reichenbach, P., Herrera, G., Sarro, R., Rius, J., Aguiló, R y Fiorucci, F. (2015). Calibration and validation of rockfall modelling at regional scale: application along a roadway in Mallorca (Spain) and organization of its management. *Landslides*, 13(4), 751-763.
- Pomar, L.; Riba, O.; Rodríguez-Perea, A. y Santanach, P. (1983). Estructuras de formación en el Mioceno inf. del Port de's Canonge y del Macizo de Randa (Mallorca). Pomar L, Obrador A, Fornós JJ y Rodríguez Perea A. Eds. El

- Terciario de las Baleares. Guía de las excursiones del X Congr. Nac. Sedim Menorca 1983. Inst. Estudios Baleárics. Universitat de Palma de Mallorca, 45-57.
- Ramos-Gerrero, E.; Marzo, M.; Pomar, L. y Rodríguez Perea, A. (1985). Estratigrafía y sedimentología del paleógeno del sector occidental de la Sierra Norte de Mallorca (Baleares). Rev. Inv. Geol. Dip. Prov. Barcelona, 40, 29-63.
- Sarro, R., Mateos, R. M., García-Moreno, I., Herrera, G., Reichenbach, P., Laín, L., y Paredes, C. (2014). The Son Poc rockfall (Mallorca, Spain) on the 6th of March 2013: 3D simulation. Landslides, 11(3), 493-503.