



Propuesta de lugares de interés geológico de los canchales de la Serra de Tramuntana y Serres de Llevant (Mallorca, Islas Baleares)

Proposal of places of geological interest of the scree of Serra de Tramuntana and Serres de Llevant (Mallorca, Balearic Islands)

Roig-Munar, F. X. ⁽¹⁾; Martín-Prieto, J. A. ^(1, 4); Mas-Gornals, G. ^(2, 3); Rodríguez-Perea, A. ⁽⁴⁾; Gelabert, B. ⁽²⁾ y Cardona-Ametller, C. ⁽⁵⁾

(1) Investigador independiente, QU4TRE Consultoría ambiental, C/ Carritxaret 18-apt. 6, es Migjorn Gran, Menorca, 07749. Correo-e: xiscoroig@gmail.com

(2) Dpto. de Biología. Universitat de les Illes Balears, Carretera de Valldemossa, km 7,5, Palma de Mallorca

(3) Associació Geocientífica de les Illes Balears (GEOILLES), Plaça de sa Creu, 21, 07630 Campos (Mallorca-Illes Balears)

(4) Dpto. de Geografía, Universitat de les Illes Balears, Carretera de Valldemossa, km 7,5, Palma de Mallorca

(5) Centre Forestal de les Illes Balears. Institut Balear de la Natura (IBANAT). Gremi Corredors 10, Palma de Mallorca

Resumen

Las Serres de Tramuntana y de Llevant, (Mallorca) tienen gran número de canchales de origen periglacial, la mayoría de ellos activos. Debido a sus características geológicas y geomorfológicas, y a su singularidad se proponen 5 emplazamientos de canchal como Lugares de Interés Geológico (LIG). Esta propuesta se basa en su elevado interés científico y didáctico como ejemplos representativos de procesos sedimentológicos y geomorfológicos asociados al periglacialismo insular manifestado en morfologías de canchales, y asociados un patrimonio etnológico correspondiente al comercio del hielo en Mallorca a través de las “cases de neu” que se sitúan en los ápices de dichas morfologías.

Palabras clave: Baleares; Mallorca; Lugares de Interés Geológico (LIG); periglacialismo; canchales.

Abstract

The Serres de Tramuntana and Llevant, (Mallorca) have a large number of periglacial scree, most of them active. Five canchal sites are proposed as Places of Geological Interest (LIG) due to their geological, geomorphological and unique characteristics. This proposal is based on its high scientific and didactic interest as representative examples of sedimentological and geomorphological processes associated with insular periglacialism manifested in morphologies of scree. An ethnological heritage linked to the ice trade in Mallorca is also associated through the “cases de neu” that are located in the apices of these morphologies.

Keywords: Balearics islands; Majorca; Places of Geological Interest; periglacialism; scree.



1. Introducción

Mallorca es la mayor de las islas Baleares con una superficie de 3.640 km². La estructura de la isla es el producto de una evolución compleja en la cual se pueden diferenciar tres grandes etapas: una primera etapa mesozoica, básicamente extensiva, la compresión alpina (Oligoceno y Mioceno medio) y finalmente la extensión neógena y cuaternaria, habiendo condicionado la actual estructura y morfología de la isla (Giménez *et al.*, 2007). Desde un punto de vista geológico la isla está constituida por un conjunto de *horsts* y *grabens* limitados por grandes fallas normales formadas a partir del Mioceno superior, orientadas preferentemente NE-SO, con desplazamientos que se disponen alternativamente (Giménez *et al.*, 2007). La deformación contractiva es continua, progresando paulatinamente hacia el NO, estructurando, *grosso modo*, primero las Serres de Llevant y finalmente la Serra de Tramuntana. En esta deformación existió un ligero cambio en el sentido de transporte tectónico en el espacio y el tiempo (Sàbat, 1986; Sàbat *et al.*, 1988) que ha quedado reflejado en la orientación actual de las sierras, NE-SO para la Serra de Tramuntana y NNE-SSO para la Serra de Llevant (Fig. 1).

La Serra de Tramuntana es una alineación montañosa paralela a la costa noroccidental de la isla con una longitud de 90 km y una anchura media de 15 km (Fig. 1). La línea de cumbres que supera los 600 m y la parte más elevada corresponde a su sector central, con cotas superiores a los 1000 m, siendo el más alto el Puig Major (1.445 m s.n.m). Estos relieves están constituidos por potentes masas de calizas dolomíticas del Lías Inferior y potentes formaciones de brechas calcáreas, dispuestas en láminas cabalgantes imbricadas con vergencia al NO (Álvaro, 1997; Rodríguez-Perea, 1998; Sàbat *et al.*, 2011). La costa de la sierra presenta abruptos escarpes acantilados sobre el mar, mientras que al SE sus relieves descien-

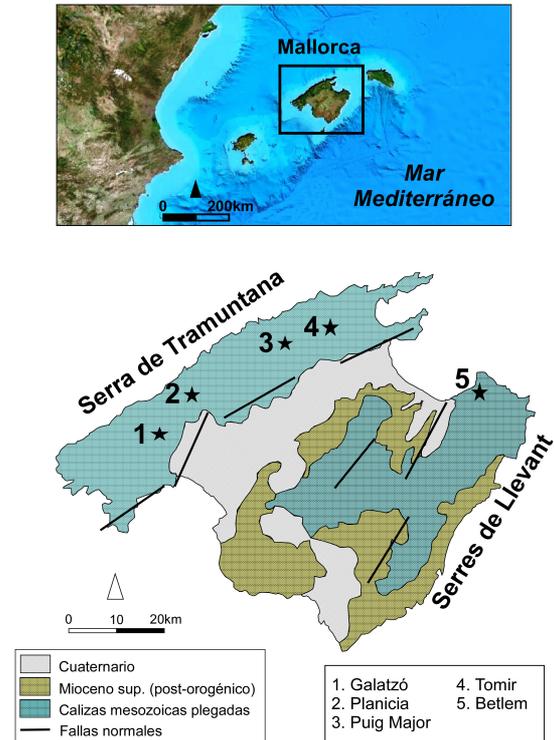


Figura 1. Mapa geológico de la isla de Mallorca, con las Sierras de Tramuntana y las Serres de Llevant, con la ubicación de los 5 canchales analizados en este trabajo. Fuente de la imagen superior: Google Earth.

Figure 1. Geological map of the island of Mallorca, with the Sierras de Tramuntana and the Serres de Llevant, with the location of the 5 scree analyzed in this work. Source top image: Google Earth.

den suavemente hasta el llano central. Esta diferencia de relieve entre la vertiente marina y la vertiente sur-oriental está condicionada por la disposición estructural de los materiales que se encuentran inclinados hacia el SE (Giménez *et al.*, 2007). Estructuralmente corresponde a un sistema imbricado de cabalgamientos vergentes hacia el NO, cuyo nivel regional de despegue está constituido por los materiales de naturaleza arcilloso-evaporítica del Keuper (Céspedes *et al.*, 2001; Giménez *et al.*, 2002; Mateos y Azañón, 2005). En el Mioceno inferior y medio comienza su etapa distensiva, caracterizada por fallas normales de gran longitud, que configura la morfoestructura de la isla (Gelabert, 1998).

Las Serres de Llevant están constituidas por un conjunto de montañas con pendientes suaves y formas redondeadas, cubiertas discordantemente por materiales del Mioceno Superior y del Plio-Cuaternario, con una longitud de 45 km y una anchura media de 10 km. Los relieves muestran altitudes modestas, siendo en Puig Morell la cota más alta (562 m.). Su estructura geológica consiste en un sistema imbricado de cabalgamientos que presenta el nivel de despegue en el Triásico (Keuper) y tiene una vergencia hacia el NO (Sàbat *et al.*, 1988). Presentan características estratigráficas intermedias entre los dominios paleogeográficos de la Serra de Tramuntana y la Serra de Llevant (Bourrouilh, 1973; Barnolas, 1984; Álvaro *et al.*, 1989). Al igual que en la Serra de Tramuntana los escarpes y las zonas culminantes de las montañas se esculpen sobre las calizas del Jurásico Inferior (López-García *et al.*, 2014).

Estas dos sierras están fosilizadas por una plataforma arrecifal del Mioceno superior cuya superficie subaérea ha sido aplanada y rellenada por materiales Plio-Cuaternarios. Estas zonas conforman extensas plataformas que quedan truncadas por la incisión de torrentes con orientaciones NE-SO y NO-SE, direcciones que coinciden con las de las fallas normales neógenas y con la fracturación que afecta a los materiales post-alpinos (Céspedes *et al.*, 2001; Giménez *et al.*, 2002). Tras su estructuración comienza la etapa erosiva de estos relieves, que continúa hasta la actualidad, configurando el paisaje de ambas sierras. Este período se caracteriza, según Mateos (2001), por un fuerte dinamismo de procesos como:

- Fenómenos gravitatorios de gran magnitud.
 - Deslizamientos asociados a grandes fracturas.
 - Dinámica torrencial intensa.
 - Procesos de karstificación, exokársticos y endokársticos, en grandes extensiones.
- Dinámica litoral de retroceso de acantilados que configura una costa verticalizada y muy activa.
 - Procesos periglaciares en épocas frías cuaternarias, posible origen de potentes canchales.

Desde el punto de vista climático, la Serra de Tramuntana y de Llevant se encuentran dentro del ámbito del clima mediterráneo, y su topografía determina las variaciones climáticas típicas de las zonas montañosas; aumento de la precipitación y disminución de la temperatura con la altura. De esta forma, en la zona central más elevada, las temperaturas medias anuales se sitúan entre los 14-15^o C, y las precipitaciones anuales pueden ser superiores a los 1.200 mm. En las Serres de Llevant las temperaturas medias anuales se sitúan entre los 15-17^o C, con una precipitación anual entre los 600-800 mm.

En períodos invernales es habitual la presencia de nevadas en las cotas más elevadas de la Serra de Tramuntana, con períodos de frío y nevadas intensas (Segura-Cortes, 2002). Como consecuencia de estos períodos fríos Servera (1997), Ginés *et al.* (2004) y Cañellas (2006) elaboran un amplio catálogo de infraestructuras de recogida de nieve para hacer hielo a diferentes alturas de las sierras de Tramuntana y de Llevant, conocidos localmente como "*pous o cases de neu*", ubicados desde las cotas más elevadas de la sierra de Tramuntana, a 1.410 m s.n.m., hasta cotas de 280 m s.n.m. en la sierra de Llevant, relacionado estas construcciones con períodos fríos y períodos de nevadas.

La abrupta topografía ligada a la complejidad geológica y a la existencia de un clima mediterráneo, condiciona el desarrollo de movimientos de ladera de diversas tipologías. Estos movimientos se pueden agrupar, según Mateos *et al.* (2015) en: a) desprendimientos rocosos, b) deslizamientos de roca, rotacio-

nales y traslacionales, y c) movimientos de suelos. De estos movimientos destacamos la formación de morfologías de canchales como el resultado de la conjunción de dos tipos de procesos geológicos externos que se dan en las sierras: a) la meteorización mecánica, y que se lleva a cabo por fuerzas físicas que rompen la roca en fragmentos cada vez más pequeños sin modificar la composición mineral de la roca, y b) los procesos gravitacionales, en referencia a la transferencia de roca y suelo pendiente abajo por influencia de la gravedad. Todos estos procesos, unidos a una topografía y orografía de las dos sierras son propicios para la acumulación de la roca transferida, y permiten la existencia de numerosos canchales en las sierras.

La existencia de estas morfologías de canchales es el motivo del presente trabajo, donde se analiza cinco canchales de las sierras de Tramuntana y de Llevant para su propuesta como patrimonio geológico, siguiendo las directrices establecidas por Carcavilla *et al.* (2007). La relevancia de los cinco enclaves seleccionados (Fig. 1) radica en que constituyen la manifestación inequívoca de procesos de épocas frías y cambio climático que afectaron a las formas y procesos de vertiente de las Serres de Tramuntana y Serres de Llevant, teniendo como testimonios no solo los procesos morfológicos (Grimalt y Rodríguez-Perea (1994), sino también arquitecturas etnológicas e industria asociada como los *pous o cases de neu* (Servera, 1997; Ginés *et al.*, 2004), ya que facilitaban la acumulación de nieve en sus ápices terminales, mejor que las paredes artificiales, y donde esta se conservaba más tiempo (Ginés *et al.*, 2004; Gorrias, 2001). Los cinco canchales son morfologías relevantes de procesos activos continuos, tratándose de morfologías actuales y dinámicas que configuran gran parte del paisaje de las Sierras, y que son susceptibles a ser consideradas como patrimonio geológico asociado a procesos activos y testimonio de períodos fríos.

2. Contexto geomorfológico de los canchales en Mallorca

Los canchales en la isla de Mallorca adoptan fisonomías muy distintas y en algunas zonas de las sierras, formando recubrimientos a modo de 'conos de derrame', tapizando buena parte de las laderas. Los fragmentos de roca que componen canchales proceden de la rotura de una masa rocosa, normalmente de un escarpe o cortado, debido sobre todo a la acción de las heladas mediante el proceso de crioclastia o gelifracción. En algunos escarpes de la Serra de Tramuntana la frecuencia de caída de rocas es tan elevada que se forman al pie del talud acumulaciones potentes de derrubios, dando lugar a canchales con extensiones de hasta 32.000 m² (Mateos *et al.*, 2015).

La primera referencia sobre canchales en Mallorca fue realizada por Fallot (1922), posteriormente Mensching (1955) describió los mantos detríticos de las laderas abruptas de la Serra de Tramuntana, refiriéndose a canchales y atribuyéndolas a la soliflucción. Solé (1962) realizó diversas observaciones sobre canchales en la Serra de Tramuntana y posteriormente Butzer y Cuerda (1962) demostraban que estas eran atribuibles al período periglacial del Pleistoceno, posteriormente Butzer (1964) realizaba algunas descripciones genéricas de los canchales. Una década más tarde Rosselló (1970, 1977a y b) inició de nuevo el debate sobre la presencia de morfologías asociadas a condiciones frías pleistocenas en las islas Baleares, describiendo derrubios periglaciares en laderas de la Serra de la Tramuntana, como resultado de modelados de procesos fríos. Rodríguez-Perea *et al.*, (1992) analizaron la dinámica superficial de un canchal en el Puig Major, Serra de Tramuntana, y en base a los resultados del estudio Grimalt y Rodríguez (1994) siguieron la línea de Rosselló (1977a y b) haciendo una aproximación al periglacialismo en Mallorca. Mateos (2001) realizó un inventario de movimientos de ladera donde tenía presentes los

canchales de la Serra de Tramuntana como posibles procesos periglaciares, afirmando que con independencia del sustrato rocoso, toda una serie de elementos geomorfológicos se superponen a estas laderas en forma de canchales y/o *rossegueres* (nombre local). Mateos *et al.* (2010, 2015) llevaron a cabo nuevos inventarios de movimientos de ladera, donde la diferenciación geológica puso de manifiesto que, en el sector más septentrional de Tramuntana los movimientos predominantes son los desprendimientos rocosos y los deslizamientos en roca, mientras que en el meridional son los movimientos que afectan a suelos. Mateos *et al.* (2015) analizaron los eventos de ladera en la sierra de Tramuntana, destacando en el sector NE un predominio de desprendimientos rocosos. Estos desprendimientos rocosos, según Cruden y Varnes (1996), tienen como origen el despegue de la masa de roca en un farallón o ladera de elevada pendiente, a favor de una superficie en la cual puede o no haber desplazamiento de cizalla, y donde posteriormente el material desciende principalmente por caída libre, rebote o rodadura de movimiento rápido a extremadamente rápido, según la clasificación establecida por Varnes (1978).

La vegetación glerícola se desarrolla entre los bloques o rocas sueltas más o menos móviles que se encuentran en las pendientes, caracterizándose las plantas de estos habitats por desarrollar largas raíces y rizomas, como respuesta a un sustrato que se desplaza, permitiéndoles sobrevivir en condiciones de sustrato móvil (Conesa, 1997). En Mallorca este tipo de comunidades netamente glerícolas, y condicionadas por la propia dinámica del sustrato (*Thlaspietea rotundifolii*), se caracterizan por especies adaptadas a estos habitats como la *Scrophularia ramosissima*, *Silene vulgaris subsp. glareosa*, *Linaria aeruginea subsp. pruinosa* (Llorens *et al.*, 2007). La asociación *Pastinacetum lucidae* tiene carácter glerícola y puede colonizar estos tipos de substrato

de canchal, siendo las especies representativas *Aetheorhiza montana*, *Aristolochia bianorii*, *Galium balearicum*, *Helleborus foetidus*, *Hypericum balearicum*, *Linaria aeruginea subsp. pruinosa*, *Paeonia cambessedesii*, *Pastinaca lucida*, *Poa flaccidula*, *Rubia baleárica*, *Scrophularia ramosissima*, *Scutellaria balearica*, *Silene vulgaris subsp. glareosa* y *Teucrium asiaticum*. La evolución natural de estos tipos de comunidades depende del dinamismo del sustrato, por tanto si la dinámica es muy erosiva no encontraremos esta vegetación. En cambio cuando el sustrato se estabiliza y no hay deslizamientos, se produce una sucesión natural hacia formaciones de *fanerófitos de Oleo-Ceratonietum*, dominadas por *Pistacia lentiscus*, incluso a formaciones boscosas de *Cyclamini-Quercetum* si la estabilización es mayor. Cuando se produce un desprendimiento, esta sucesión regresa a las formaciones anteriores. Ginés (2000), Ginés *et al.* (2004) y Llorens *et al.* (2007), citan la vegetación glareícola adaptada a estas morfologías de canchales, como un hábitat de especial singularidad para especies adaptadas a morfologías susceptibles a cierta movilidad.

Los desprendimientos rocosos son los movimientos más frecuentes en las sierras de Mallorca, como pone de manifiesto la existencia de numerosos bloques con este origen en la mayoría de las laderas de las sierras y a su ocurrencia cada vez que se produce un evento de lluvias intensas (Mateos, 2001). Los escarpes de gran desnivel, que constituyen los materiales carbonatados duros del Lías, son las principales zonas de generación de desprendimientos. Estos escarpes pueden estar relacionados con accidentes geomorfológicos de diversa naturaleza, tales como: escarpes de falla, frentes, expansión lateral, rampas laterales de mantos de cabalgamiento, paredes de los valles producidos por disolución kárstica, así como escarpes de cabecera de grandes deslizamientos en roca (Mateos, 2001). Los frentes de caída de rocas están asociados generalmente a estructuras tectónicas o cambios

litológicos, en cuya base se producen potentes depósitos de acumulación de bloques, especialmente en los frentes de la Serra de Alfàbia, Son Torrella y Artà, siendo cartografiados en la zona centro de la Serra de Tramuntana por Mateos y Mazañón (2005), algunos con bloques superiores a 300 m³. Sarro *et al.* (2017) analizaron el deslizamiento rocoso de son Poc, describiendo la superposición de grandes rocas sobre canchales actuales y afirmando que estos deslizamientos son habituales a lo largo del tiempo geológico. Rius y Aguiló (2017) analizaron una zona de desprendimientos asociados a canchales en el Coll de Soller donde calculan una recurrencia mínima de 30 años de movimientos de ladera sobre una carretera.

De este modo los canchales en las sierras de Mallorca ocupan extensas superficies donde se encuentran cubriendo las laderas bajo acantilados que son su área fuente (Mateos, 2001). Los depósitos de canchales en la Serra de Tramuntana fueron analizados por Rodríguez-Perea *et al.* (1992) y hasta la fecha no ha habido investigaciones focalizadas en el estudio y análisis de estas morfologías en las islas Baleares, las cuales configuran un paisaje característico de estos espacios. Algunas de estas morfologías se encuentran sometidas a presión recreativa en diferentes sectores de la Serra de Tramuntana, según los estudios de frecuentación de excursiones realizado por Blázquez y Roig (1999), y su uso como zona de tránsito y ocio supone procesos erosivos de carácter regresivo en esta tipología de morfologías (Tor y Soriano, 2011), destacando también los procesos asociados a la extensa cabaña caprina en esta región montañosa (Moragues *et al.*, 2017).

3. Lugares de Interés Geológico (LIG) en las Islas Baleares

La representatividad, como capacidad intrínseca para ilustrar adecuadamente características y procesos geológicos, junto a la

capacidad didáctica, constituyen dos de los parámetros de mayor peso a la hora de valorar un LIG (García-Cortés *et al.*, 2014, 2018). La Ley de Patrimonio Natural y Biodiversidad (Ley 42/2007 de 13 de diciembre, y modificada por la Ley 33/2015 de Patrimonio Natural y Biodiversidad) introduce en la legislación española la geodiversidad y el patrimonio geológico, así como la necesidad de trabajar en pro de su conservación. La ley señala a las administraciones públicas como responsables del conocimiento y la protección del patrimonio geológico, lo que implica la elaboración de Inventarios de Lugares de Interés Geológico (IELIG) (García-Cortés *et al.*, 2014). La vigente ley es un deber de las administraciones públicas (Art. 5.2.f) y también la declaración y gestión de los espacios naturales protegidos, donde se incluyen las formaciones geológicas, yacimientos paleontológicos de especial interés, de notoria singularidad y/o de importancia científica, y dicha declaración y protección corresponde a las comunidades autónomas (Art. 33.1-2 y 36.1). Según la vigente ley autonómica de las Islas Baleares, Ley 5/2005 para la Conservación de los Espacios de Relevancia Ambiental (LECO), el inicio del procedimiento de declaración de las categorías de monumento natural o lugares de interés científico (LIC), corresponde al Consejo de Gobierno, mediante acuerdo tomado a propuesta de la consejería competente en materia de medio ambiente (Arts. 9, 24 y 25). Como alternativa también se puede optar por la aplicación por parte de los consejos insulares y/o ayuntamientos de la figura de Bien de Interés Cultural (BIC) como zona paleontológica, según la Ley 12/1998 del Patrimonio Histórico de las Islas Baleares (Art. 6.7), en la aplicación de alguna medida protectora de la normativa urbanística y/o de ordenación del territorio.

En las islas Baleares hay actualmente 109 lugares calificados como LIG, según los datos del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG). Según el Inventario de

Patrimonio Geológico de las Islas Baleares, del Gobierno de las islas Baleares, hay 98 LIG sin aprobar, de los cuales el 25% son de origen geomorfológico (Duque-Macías *et al.*, 2017), y ninguno de estos LIG focaliza su interés en los canchales de la isla de Mallorca. En la realización de inventarios de patrimonio geológico se recomienda que estos sean abiertos y sujetos a cambios futuros que permitan la incorporación de nuevos LIG (Carcavilla *et al.*, 2007). En la última década, diversos autores han aportado conocimientos científicos para la creación de nuevos LIG a nivel del archipiélago balear. Mas y Austadillo (2017) realizaron una propuesta de patrimonio paleontológico inmaterial del conjunto de Baleares. Circunscrito a la isla de Mallorca Morey (2018 a y b) catalogó el patrimonio paleontológico de dos municipios de Mallorca, Andratx y Algaida. Morey (2018 c, d y e) propuso estrategias de gestión museística y de interpretación del patrimonio paleontológico de Mallorca.

Matamales (2018), propuso la valoración de los afloramientos del Cretácico inferior del litoral de Cala Blanca. Mateos *et al.* (2011) proponían la puesta en valor como LIG de las canteras líticas sobre materiales neógenos y cuaternarios, denominados *marés*, que posteriormente Mas (2017) propuso como patrimonio natural y cultural. Mas y Martorell (2011) y Mas (2015a, 2015b) proponían por primera vez en Mallorca LIG's analizados mediante la metodología IELIG. Mas y Perelló (2015) proponían un nuevo LIG de afloramientos asociados a la crisis de salinidad Mesiniense. Mas *et al.* (2013) propusieron un extenso catálogo de patrimonio geointerpretativo del término municipal de Felanitx (Mallorca). Morey (2008) y Morey y Cabanellas (2008) proponían la valoración del patrimonio paleontológico del Pleistoceno litoral y establecían parámetros de valoración, categorización y gestión como zonas de control. De estos trabajos citados

tan solo Morey (2008), Mas y Martorell (2011), Mas (2015a y b) y Matamales (2018) han seguido una metodología objetiva-científica de identificación y valoración basada en criterios cuantitativos (García-Cortés y Fernández-Gianotti, 2005; Carcavilla *et al.*, 2007; García-Cortés *et al.*, 2014), y ninguno de los trabajos ha propuesto como LIG morfologías o procesos activos.

4. Metodología

Para este trabajo nos hemos basado en la clasificación de canchales realizada por Pérez-Alberti y Rodríguez-Guitan (1993). Esta clasificación se basa en 6 tipologías de depósitos de origen periglacial, donde las tipologías 1 y 3 son las más comunes en las montañas de Mallorca, siendo 1 depósitos de pie de pared rocosa sobre la que actúa la gelifracción, ya sea en pared rocosa, en acumulación de detritus de pie de pared y retroceso progresivo de esta, o bien la progresión del canchal y reducción de la pared. Y la tipología 3 de formación de campos de bloques en movimiento preferente, ya sea por crioclastia en cresta superior, o por desplazamiento de los bloques a favor de una vaguada preexistente. En base a lo expuesto anteriormente, se parte de la premisa que estos canchales se formaron bajo condiciones periglaciares durante el Pleistoceno, como resultado de la crioclastia y el posterior desprendimiento de los fragmentos rocosos procedentes de las paredes verticales de las cotas superiores (Rosselló, 1977 a y b; Rodríguez-Perea *et al.*, 1992; Mateos, 2001).

La metodología aplicada para su valoración ha consistido en:

- 1) Selección de 5 canchales como propuesta de LIG en las dos sierras (Fig. 1). La selección se ha basado en la representatividad de los canchales el potencial de visualización y observación en un amplio contexto

geográfico asociado, priorizando que estos pueden ser observados desde carreteras, caminos rurales, pistas o senderos excursionistas que permitan su observación.

- 2) Descripción geomorfológica de las 5 áreas en base al trabajo de campo y al uso de un Modelo Digital del Terreno (MDT), a partir del vuelo LIDAR PNOA del año 2014.
- 3) Valoración de cada canchal como LIG, evaluando el tipo de interés y uso potencial (científico, didáctico y turístico/recreativo), aplicándolas directrices metodológicas establecidas en el IELIG (García-Cortés *et al.*, 2014, 2018), que permiten evaluar la potencialidad de sus usos, así como una estimación de su vulnerabilidad y las amenazas externas, y su propuesta o descarte como LIG.

5. Resultados

Las cinco áreas seleccionadas para su propuesta como LIG se describen brevemente en este trabajo, donde se han tomado su extensión y cotas de desarrollo, máximo, mínimo y medio, así como su pendiente y orientación (Tabla 1). Se seleccionan 5 emplazamientos de canchales, 4 en la Serra de Tramuntana; Puig Tomir, Planícia, Puig de Galatzó y Puig Major, y que se encuentran a una altura media de 967,5 m s.n.m, y uno en las Serres de

Llevant; Betlem, a 205 m s.n.m. (Fig. 1). Todos ellos se encuentran protegidos urbanísticamente por Ley autonómica 1/1991, bajo la figura de Área Natural de Especial Interés (ANEI), impidiendo su urbanización, extracciones, carreteras u otro tipo de alteraciones de carácter antrópico.

5.1. Puig Major

Hemos seleccionado el canchal de sa Coma de n'Arbona, en el Puig Major, único analizado en Mallorca por Rodríguez-Perea *et al.* (1992), y que se desarrolla en la vertiente S (Figs. 2A y 3A) y que se encuentra en el sector de la Serra con mayor abundancia de estas morfologías (Mateos *et al.*, 2015). El canchal ocupa una superficie relativamente reducida, 6.215 m², siendo uno de los más elevados de la Serra de Tramuntana, situado a una altura media de 1.018,5 m s.n.m. Presenta lóbulos asociados a un *talweg* con una pendiente de 45º y está formado por los acúmulos de derrubios de frentes y escarpes de caída de rocas asociados a estructuras tectónicas y cambios litológicos de esta zona (Mateos, 2001). Se desconoce la potencia de estos depósitos, aunque posiblemente es variable y supera los 4,5 m. Presenta superficies irregulares y tres lóbulos de avance que podrían ser debido a otros procesos gravitacionales e incluso a la actividad humana (Rodríguez-Perea *et al.* 1992) al en-

Tabla 1. Características básicas de los cinco canchales. Fuente. IDEIB (Infraestructura de Dades Espacials de les Illes Balears) con una resolución MDE 2 m.

Table 1. Basic characteristics of the five scree. Source. IDEIB (Infrastructure of Spatial Data of the Balearic Islands) with an MDE resolution of 2 m.

Canchal	Extensión (m ²)	Altura mín (m)	Altura máx. (m)	Pendiente (º)	Orientación	Altura media (m)
Betlem	23.354	128	283	52	N-NE	205,5
Galatzó	5.196	718	803	53	N-NE	760,5
Tomir	16.176	734	825	51	SW	779,5
Planícia	20.204	464	557	41	N	510,5
Puig Major	6.215	975	1062	45	S	1.018,5

contrarse en una de las zonas de fuerte presión recreativa de *trekking* (Roig y Blázquez, 1999). Esta actividad recreativa ha supuesto la desestabilización del cuerpo del lóbulo central y la acumulación de bloques de grandes dimensiones en la zona inferior del *talweg*. Aunque en superficie aparecen solamente fragmentos gruesos, en el interior existe material fino que permite que estos cuerpos retengan agua y que en condiciones periglaciares permitan flujos gravitacionales lentos, que actualmente son atribuibles a procesos de lluvias y heladas, que permitió la industria del hielo hasta inicios del siglo XX, ya que se constata la existencia en su ápice terminal de la construcción de una casa de *neu* (Fig. 2A). Presenta interés geomorfológico y ha sido el único canchal estudiado y analizado en las islas Baleares, ya que representa de forma ejemplar las laderas de bloques (canchales) de litología calcárea, permitiendo además observar diversas formas evolutivas con algunos cortes del interior de las mismas. La presencia del *pou de neu* refuerza su interés como espacio geotnológico. Hidrológicamente tiene un papel importante debido a su gran permeabilidad, y el contenido en finos permite la capacidad de retención de agua. Como resultado se encuentran diversas surgencias de fuentes asociadas a este canchal. A nivel paisajístico

es un elemento destacado de la vall de Soller debido a su llamativo aspecto asociado a la cumbre más alta de la sierra, donde se aprecian los afloramientos de bloques sin cobertura vegetal.

5.2. Puig Galatzó

El canchal del Puig Galatzó, con una superficie de 5.196 m², se extiende sobre la vertiente N-NE (Fig. 2B y 3B) y se desarrolló en lóbulos asociados a un *talweg* que presenta una pendiente de 53° y una altura media de 803 m s.n.m. El origen de estas morfologías está directamente asociada a los escarpes de las cotas superiores del Galatzó, que presentan escarpes de potencias que oscilan entre los 10 y 15 m. con una importante fracturación que facilita su deposición por caída en cotas inferiores, dando lugar al canchal. Se desconoce la potencia de estos depósitos, aunque en base a diferentes secciones observadas en lóbulos y cicatrices de erosión se estiman potencias de 3,5 m. Presenta superficies irregulares y hasta 4 lóbulos de avance que podrían ser debido a procesos gravitacionales e incluso a la actividad recreativa que se da sobre el canchal como zona de descenso del Puig Galatzó, desestabilizando la zona central del canchal (Fig. 3B), creando acumulaciones de bloques de

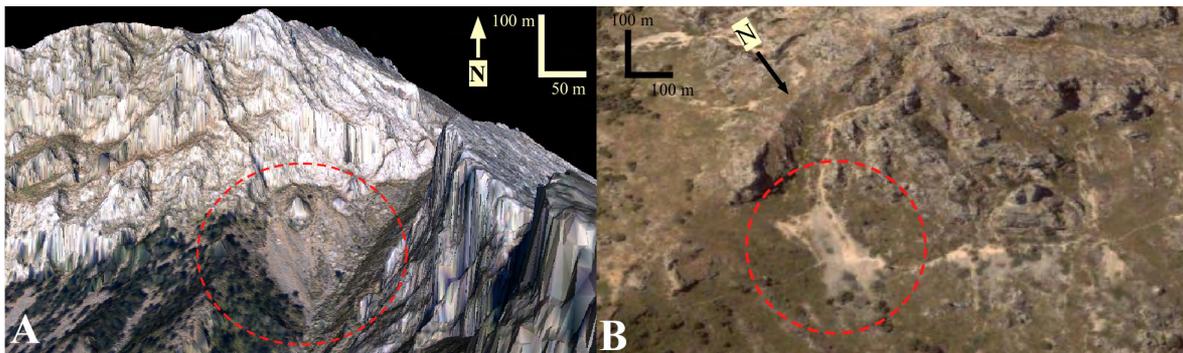


Figura 2. Modelos Digitales del Terreno (MDT) de dos canchales: A) Puig Major y B) del Puig de Galatzó. Fuente. MDE realizado sobre IDEIB con resolución de 2 m. Fuente de la imagen B: Google Earth.

Figure 2. Digital Terrain Models (DTM) of two scree: A) Puig Major and B) Puig de Galatzó. Source. MDE performed on IDEIB with a resolution of 2 m. Source of B: Google Earth.

grandes dimensiones en el ápice terminal del canchal y afectando la zona boscosa de encinar. El canchal presenta cierta estabilización en sus lindes perimetrales al bosque debido a una lenta colonización de vegetación de tipo arbustivo. Aunque en superficie aparecen solamente fragmentos gruesos, en el interior existe material fino que permite que estos cuerpos retengan agua y que en condiciones periglaciares existieran flujos gravitacionales lentos, que actualmente tan solo son atribuibles a procesos de lluvias y heladas. Presenta interés geomorfológico ya que representa de forma ejemplar uno de los canchales mejor representativo del sector S de la Serra de Tramuntana, permitiendo además observar diversas formas evolutivas con algunos cortes del interior de las mismas (Fig. 3A). Hidrológicamente tiene un papel importante en el ciclo hidrológico de la cuenca asociada a este canchal, encontrando asociadas al talweg algunas surgencias de agua ubicadas en la zona de encinares. A nivel paisajístico es posiblemente el elemento morfológico más destacado del Puig Galatzó debido a ser la zona de paso para su ascensión. Cercano al lóbulo terminal del canchal, dentro de la zona boscosa, se encuentra una casa de *neu* que posiblemente se nutría de la nieve acumulada en esta morfología.

5.3. Betlem

El canchal de las Serres de Llevant se desarrolla en la vertiente N-NE, ocupando una superficie de 23.354 m², con un pendiente de 53°, una cota máxima de 283 m s.n.m, correspondiente al contacto con los acantilados de potencias superiores a los 55 m (Fig. 3C), donde la fracturación de la roca y la disposición de esta favorece la caída y acumulación de bloques en forma de canchales. Se desconoce la potencia de estos depósitos, aunque en base al trabajo de campo podemos estimar potencias de 5 a 6 m. Presenta superficies irregulares y presenta estabilización y revegetación de la superficie del canchal, hecho que indica

que los procesos dinámicos son escasos. Se trata de un espacio sin frecuentación recreativa debido a la lejanía a rutas de *trekking* y áreas recreativas. En superficie predominan los fragmentos gruesos y no se aprecian lóbulos de reactivación reciente. Presenta interés geomorfológico, ya que representa uno de los canchales más representativos de las Serres de Llevant de litología calcárea y ubicado en cotas bajas (Fig. 3C). Hidrológicamente tiene un papel importante debido a su gran permeabilidad, donde el contenido en finos permite cierta capacidad de retención de agua, encontrando como resultado algunas surgencias de agua asociadas al talweg del canchal y ubicadas en la zona de pinares cercanos al litoral de Betlem. A nivel paisajístico es posiblemente uno de los elementos morfológicos más destacado de Betlem.

5.4. Puig Tomir

El canchal del Puig Tomir se desarrolla sobre una vertiente orientada hacia el SW, ocupando una superficie de 16.176 m², una pendiente de 51°, con una cota media de 825 m s.n.m. Según Mateos (2001) los canchales de esta zona de la Serra representan los acúmulos de derrubios de frentes y escarpes de caída de rocas asociados a estructuras tectónicas y cambios litológicos que las afectan, favorecidos por bajas temperaturas, así mismo (Mateos *et al.*, 2015) describe este sector de la Serra como el de mayor abundancia de canchales. El canchal presenta diferentes lóbulos de erosión asociados a puntos de sendero y a un elevado grado de frecuentación recreativa en una de las zonas de la Serra de Tramuntana más frecuentadas (Roig y Blázquez, 1999). Se desconoce la potencia de estos depósitos, aunque en base a diferentes secciones observadas en lóbulos y cicatrices de erosión se estiman potencias de 5,5 m. Presenta superficies irregulares y hasta 7 lóbulos de avance que son una conjunción de procesos gravitacionales condicionados por la actividad re-

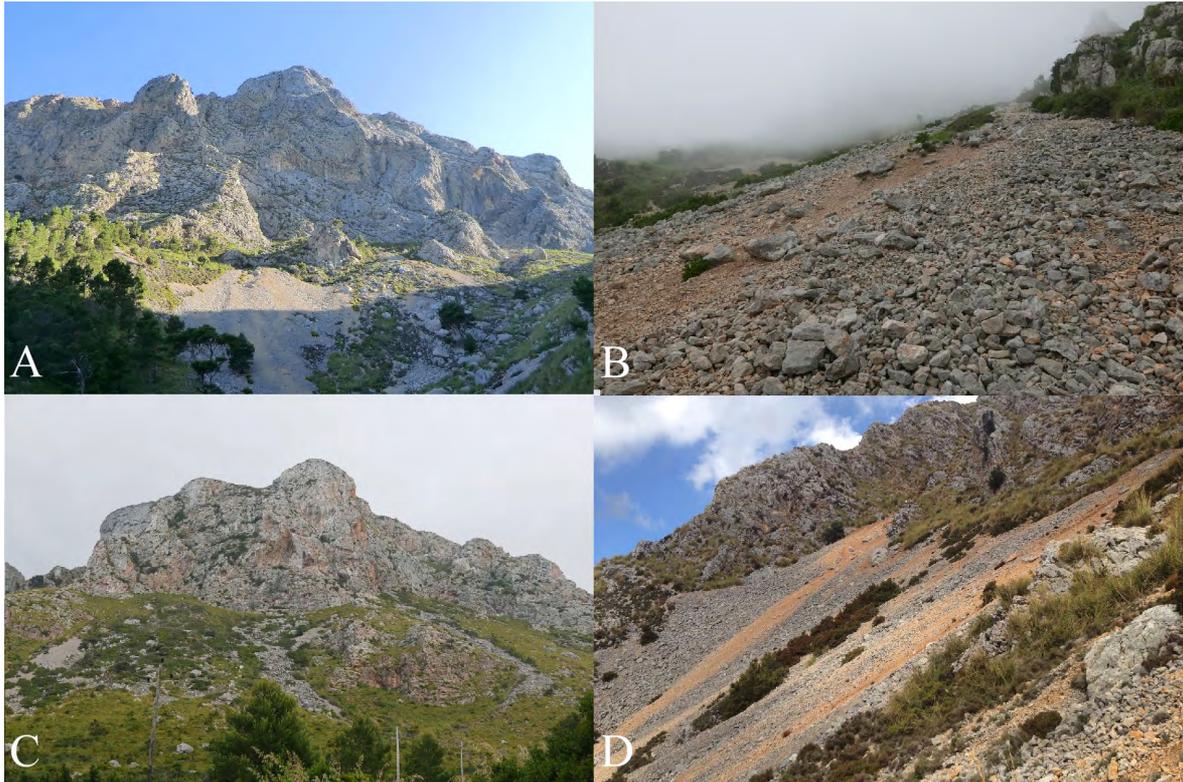


Figura 3. Imágenes representativas de cuatro de los canchales propuestos como LIG. A) coma de n'Arbona, Puig Major. B) Puig de Galatzó. C) Betlem. D) Puig Tomir.

Figure 3. Representative images of four of the scree proposed as LIG. A) coma de n'Arbona, Puig Major. B) Puig de Galatzó. C) Betlem. D) Puig Tomir.

creativa que los desestabiliza (Tor y Serrano, 2011). En superficie hay abundante matriz fina y pocos fragmentos gruesos, creando un lóbulo terminal que invade la zona de encinar y que es atribuible a la reptación por frecuentación. En el interior existe material fino que permite que estos cuerpos retengan agua y que en condiciones periglaciares existieran flujos gravitacionales lentos que actualmente son atribuibles a procesos de lluvias y heladas.

Presenta interés geomorfológico ya que representa de forma ejemplar uno de los canchales más representativos de la Serra de Tramuntana, permitiendo además observar diversas formas evolutivas con algunos cortes del interior de las mismas (Fig. 3D). Hidrológicamente tiene un papel importante

debido a su gran permeabilidad y su contenido en finos permite una elevada capacidad de retención de agua, dando como resultado algunas surgencias de agua asociadas al talweg del canchal y ubicadas en la zona de encinares que se encuentran en el ápice terminal, como es el caso de la embotelladora de agua de Binifaldó o *Font del Pedregaret* (fuente del pedregal). El canchal presenta desestabilización en sus lindes perimetrales al bosque, con avance de materiales gruesos por desestabilización hacia la zona boscosa asociada a su actividad recreativa.

A nivel paisajístico es uno de los elementos más característicos de la ascensión al Puig Tomir, donde podemos asociar a estas morfologías varias *cases de neu*, reflejo de períodos

fríos y de la industria de la nieve en la sierra (Figs. 4A y B). La fuerte presión a la que está sometido supuso la realización de actuaciones de retención de los lóbulos inferiores para evitar la afectación a la embotelladora mediante gaviones en 1951 (Fig. 5A), la definición y recuperación del antiguo camino que ascendía al Puig, así como la instalación de cartelería enunciativa sobre la prohibición de tránsito por el canchal (Fig. 5B).

5.5. Planícia

Los canchales de Planícia se encuentran en la vertiente N de la Serra de Tramuntana con superficies de 20.204 m², pendientes del 41º y a cotas medias de 510 m s.n.m. Los canchales se encuentran asociados a frentes rocosos con alta fracturación, de potencias en torno a los 60 m. y actualmente poco activos, donde los canchales que se encuentran presentan



Figura 4. Cases de neu asociadas a las morfologías de canchales. A) Puig Major. B) Puig Tomir. Fuente: Miquel Àngel Escanelles.

Figure 4. Cases of neu associated with the morphologies of the scree. A) Puig Major. B) Puig Tomir. Source: Miquel Àngel Escanelles.



Figura 5. A) Actuación mediante gaviones en el ápice terminal del lóbulo central del canchal de Tormir para evitar la afectación a la embotelladora. B) Cartelería anunciando la prohibición de tránsito sobre el canchal.

Figure 5. A) Performance gabions in the terminal apex of the central lobe of the scree of Tormir to avoid affecting the bottling plant. B) Posters announcing the prohibition of transit on the scree slope.

fases de estabilización y colonización vegetal en este sector de la Serra. Se desconoce la potencia de estos depósitos, aunque en base al trabajo de campo podemos estimar potencias de 5 m. Presenta superficies irregulares con un proceso de estabilización y revegetación de la superficie, hecho que indica que los procesos dinámicos son escasos. Se trata de un espacio sin frecuentación recreativa debido a la lejanía a rutas y áreas recreativas. En superficie predominan los fragmentos gruesos y no se aprecian lóbulos ni procesos de reactivación del canchal. Presenta interés geomorfológico, presentando un ejemplo de laderas estables. Hidrológicamente tiene un papel importante de retención de agua, encontrando como resultado varias fuentes, así como surgencias de agua asociadas al canchal ubicadas en la zona de encinares.

6. Propuesta de LIG

De acuerdo con la Ley 42/2007 de 13 de diciembre, y su modificación 33/2015, se considera Patrimonio Geológico al conjunto de recursos naturales geológicos de valor científico, cultural y/o educativo, que sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, meteoritos, fósiles, suelos y otras manifestaciones geológicas que permitan conocer, estudiar e interpretar: 1) el origen y la evolución de la Tierra, 2) los procesos que la han modelado, 3) los climas y paisajes del pasado y presente, y 4) el origen y la evolución de la vida. Según Carcavilla *et al.* (2007) para que un elemento sea patrimonio geológico se tienen que dar simultáneamente tres circunstancias clave: 1) que sea de origen natural, 2) que tenga carácter geológico, y 3) que posea un valor científico, cultural y/o educativo.

Los cinco canchales analizados (Figs. 1 y 3) se ajustan a los 4 puntos contemplados en la Ley 42/2007, así como a los criterios descritos por Carcavilla *et al.* (2007). Para la valoración

de los LIG se ha aplicado la metodología propuesta por García-Cortés *et al.* (2014, 2018), resumiendo en la Tabla 2 los valores obtenidos mediante la aplicación de los criterios descritos en el Anejo II de los IELIG para la caracterización de su interés científico, didáctico y turístico de cada área propuesta. En la Tabla 2 se detallan los valores obtenidos sobre el interés de cada canchal, su fragilidad y amenazas, su susceptibilidad de degradación y su prioridad de protección global. Serán estos valores los que determinan su valor geológico en referencia a la singularidad, basado en la aplicación de la metodología. Los cinco canchales analizados (Fig. 1) presentan un interés geológico de carácter sedimentológico y geomorfológico, según la Tabla 4.1.1 del IELIG (García-Cortés *et al.* (2014, 2018).

En la Tabla 2 se resume la valoración final en base a los parámetros empleados en la metodología del para caracterizar cada uno de los LIG propuestos, contemplados según su interés científico, didáctico y turístico de cada área (García-Cortés *et al.*, 2014, 2018). El valor medio de los cinco LIG's propuestos es de 155,77 puntos, por tanto se trata de lugares de alto interés. El valor medio de los valores científico, didáctico y turístico es de 6,72, suponiendo en términos generales un valor alto, siguiendo las directrices propuestas en el Anejo II de la EILIG.

Los resultados medios por cada valor son de:

Valor científico; el valor medio es de 6,48 puntos, suponiendo un valor alto entre 3,33 y 6,65, según el Anejo II de la EILIG. Analizados los valores por canchales las puntuaciones más altas corresponden al Puig Tomir y al Puig Major, con valores de 7,13 y 7,63 respectivamente, mientras que el resto de canchales ofrecen valores entre 5,50 y 5 (Tabla 2). Con estos valores se pone de manifiesto su interés como LIG científico, e incluso su valoración es un argumento para retomar los estudios de análisis y evolución de canchales en la Serra

Tabla 2. Valoración del interés científico, didáctico y turístico de cada LIG de acuerdo con la metodología del IELIG (García-Cortés *et al.*, 2014, 2018).

Table 2. Assessment of the scientific, didactic and touristic interest of each LIG according to the IELIG methodology (García-Cortés *et al.*, 2014, 2018).

	Científico	Didáctico	Turístico	Fragilidad	Amenazas	Susceptibilidad degradación	Prioridad protección
Betlem	5,50	6,63	5,63	230	150	86,25	33,62
Tomir	7,13	7,88	7,25	260	160	104	43,53
Galatzó	7,13	7,13	6,50	260	160	104	43,46
Puig Major	7,63	8,38	7,25	260	160	104	43,46
Planícia	5,00	6,50	5,25	230	115	66,125	20,04
Promedio	6,48	7,30	6,38	248,00	149,00	92,88	36,82

de Tramuntana realizados por Rodríguez-Perea *et al.* (1992).

Valor didáctico; es el más sobresaliente, con un valor medio de 7,30, destacando el Puig Tomir y el Puig Major, con valores de 7,88 y 8,38 respectivamente, observando que el valor más bajo es el de Betlem con 6,63 puntos. Por tanto, deben considerarse en conjunto los canchales como lugares de interés didáctico muy alto, por lo que debería quedar recogido en el inventario LIG de las Islas Baleares y en algunas de las iniciativas que desarrolla el Gobierno Balear en temas de educación ambiental referida a la geología y la geomorfología.

Valor turístico; obtenemos un resultado con una puntuación de 6,38, siendo un valor superior a los propuestos en el Anejo II de la EILIG, con 3,3 puntos. Considerando que puede ser tenido en cuenta al pertenecer al paisaje de todas las rutas de *trekking* que transcurren por las sierras. A pesar de estos valores no es aconsejable su uso como espacio de ocio, si no de observación, y especialmente la vinculación de estas morfologías a las *cases de neu* asociadas.

Por lo que respecta a sus valores de fragilidad, amenazas y susceptibilidad cabe destacar que los valores indican:

Fragilidad; se trata de áreas de fragilidad alta, con 248 puntos de media, implicando un ele-

mento natural altamente frágil, expuesto a su alteración o destrucción por acciones antrópicas, en este caso de tipo recreativo, y/o a procesos naturales que influyen en la dinámica del canchal. Las condiciones de los cinco canchales, ubicados en zonas protegidas mediante la figura de Área Natural de Especial Interés, reduce los valores de fragilidad asociados a impactos de carácter industrial, extractivo, urbano o semiurbano. La fragilidad más alta la presentan los tres canchales que están sometidos a presión recreativa y se encuentran en zonas con numerosas excursiones que transcurren por las cercanías o sobre el canchal (Roig y Blázquez, 1999), como son el Puig Major, el Puig Tomir y el Puig de Galatzó, tratándose de los tres canchales que presentan desestabilización y reactivación mediante lóbulos erosivos asociados a impactos recreativos.

Amenazas; el valor estimado para las amenazas externas es de 149 puntos de media, dado que constituyen elementos expuestos a la posible afectación antrópica relacionada a un uso público del espacio, especialmente aquellas asociadas a la reactivación de procesos dinámicos coligados a su uso como zonas de tránsito. Se trata de la única amenaza que hay sobre estos ambientes, focalizada en los canchales del Puig Major, el Puig Tomir y el Puig de Galatzó, ya que Planícia y Betlem no se encuentran sometidos a presión recreativa.

Susceptibilidad de degradación; el valor medio es de 92.88 puntos, valor elevado debido a la ubicación de estos ambientes, a su protección legislativa y a su relativamente poca exposición a actividades nocivas de carácter grave. Su degradación potencial está limitada únicamente al uso del canchal como zona de tránsito y a eventos naturales asociados a temperaturas y pluviométricas que den como resultado la reactivación de procesos dinámicos externos, ya sea mediante caída de bloques sobre el canchal o el propio dinamismo interno de este. Algunos de los afloramientos presentan fragilidad alta y amenazas antrópicas, asociados a altos niveles de frecuentación recreativa, así como a un incremento de la cabaña caprina que puede afectar de forma continuada la estabilidad de estos sistemas. En este caso es difícil la expoliación de elementos por su tipología, magnitud, peso y acceso, pero no su afectación por el dinamismo propio del cada uno de los canchales.

Prioridad de protección global; la prioridad de protección global es alta, de 36,82 puntos, por ello se propone poner en valor estas morfologías como nuevos LIG para su conservación, con la señalización del punto y dando a conocer su valor científico, didáctico y cultural. Las mayores puntuaciones son el Puig Major, el Puig Tomir y el Puig de Galatzó, coincidentes con las zonas de máximo uso recreativo asociado a los canchales.

Su valor geológico de referencia es la singularidad de estos canchales, que reside en la existencia de estas morfologías a escala regional con potencial científico y didáctico, ya que permite interpretar y comparar la historia y los procesos geológicos y geomorfológicos de montaña en una isla mediterránea, reforzado por la presencia de patrimonio etnológico de *cases de neu*, que refuerzan su valor como elemento geológico, geomorfológico y etnológico.

7. Conclusiones

Se proponen cinco nuevos Lugares de Interés Geológico (LIG) en la isla de Mallorca, para incluir en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico y en el inventario de Patrimonio Geológico de las Islas Baleares. Estos nuevos LIG propuestos están constituidos por depósitos de canchales asociados a vertientes y acantilados, como resultado de morfologías relictas de períodos periglaciares que perduran hasta hoy en numerosas laderas de las Serres. Esta propuesta se enmarca dentro de las recomendaciones de procesos abiertos sujetos a cambios para la incorporación de nuevos LIG (Carcavilla *et al.*, 2007).

Los cinco canchales propuestos como LIG tienen un alto valor científico, puesto de manifiesto en otros espacios continentales y que tienen la figura de LIG como canchal, como es el caso de los canchales de la Mujer Muerta, en la sierra de Guadarrama (Losa, Segovia, Castilla y León), y el canchal de Villuercas en la Sierra de Acebadillas (Navazualas, Cáceres, Extremadura). Así mismo estos cinco enclaves permiten observar y valorar aspectos evolutivos, con movimientos cíclicos estimados cada 30 años en Mallorca (Rius y Aguiló, 2017).

Estos cinco canchales suponen las primeras propuestas de LIG de estas características en las islas Baleares, ya que constituirían los primeros LIG de canchales en Mallorca, considerandos como de interés sedimentológico y geomorfológico, de relevancia nacional e internacional dentro de la cuenca mediterránea occidental a nivel insular, según los criterios de García-Cortés *et al.* (2014, 2018).

Los emplazamientos propuestos cuentan con un gran valor didáctico y educativo, ya que ilustran acontecimientos geológicos y geomorfológicos, convirtiéndose estas áreas en un ejemplo de la evolución del clima de la isla de Mallorca y de sus dos sierras, que juntamente con los *pous* o *cases de neu* se configuran como una herramienta de concienciación y de la percepción

del cambio climático. Esta característica de los LIG propuestos refuerza su carácter didáctico a toda la población local y visitante, especialmente en una isla turística con elevados índices de frecuentación turístico y recreativo en las áreas de las dos sierras.

A pesar de que las áreas propuestas como LIG están protegidas mediante la figura ANEI, no han sido utilizadas como recursos didácticos ni han sido gestionados, destacando únicamente el caso del Puig Tomir (Fig. 5). Algunos de los afloramientos propuestos presentan alta fragilidad y amenazas de tipo antrópico, debido a que están asociadas a altos niveles de frecuentación recreativa, así como a un incremento de la cabaña caprina que afecta de forma continuada estos sistemas. La declaración de LIG podría dar soporte a su gestión como sistemas de montaña. La propuesta de estos LIG ha de servir para retomar los estudios de Rodríguez-Perea *et al.* (1992) sobre los procesos morfológicos de los canchales en las islas Baleares y para realizar una cartografía de la ubicación de estos canchales de la Serra de Tramuntana y de Llevant, su relación con las *cases de neu* y su susceptibilidad y vulnerabilidad.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a los dos revisores anónimos del trabajo y al editor de la revista, Dr. Javier Elez, sus sugerencias de cambios, modificaciones y puntualizaciones, ya que consideramos que estas han ayudado de forma considerable a la mejora y comprensión del trabajo.

Bibliografía

- Álvaro, M. (1987). La tectónica de cabalgamientos de la Serra Norte de Mallorca (Islas Baleares). *Boletín Geológico y Minero*, 98: 34-41
- Álvaro, M.; Barnolas, A.; Cabra, P.; Comas-Rengifo, M. J.; Fernández-López, S.R.; Goy, A.; Del Olmo, P.; Ramírez del Pozo, J.; Simó, A. y Ureta, S. (1989). El Jurásico de Mallorca (islas Baleares). *Cuadernos de Geología Ibérica* 13, 67-120.
- Barnolas, A. (Ed.) (1984). Sedimentología del Jurásico de Mallorca, Grupo español del Mesozoico. IGME-CGS S.A., 263 p.
- Blàzquez, M.; Roig, M. (1999). L'abast de l'excursionisme, Mallorca. *Bolletí de Geografia aplicada*, 1, 11-32.
- Bourrouilh, R. (1973). Stratigraphie, sedimentologie et tectonique de l'île de Minorque et du NE de Majorque (Baléares). Tesis Doctoral, Univ. Paris VI, 822 p.
- Butzer, K. W. (1964). Pleistocene cold-climate phenomena of the island of Mallorca. *Zeitschrift für geomorphologie*, 8 (1), 7-31 <https://doi.org/10.1086/626833>
- Butzer, K. W. y Cuerda, J. (1962). Coastal stratigraphy of southern Mallorca and its implications for the Pleistocene chronology of the Mediterranean sea. *Journal of Geology*, 70, 398-416
- Cañellas, N. (2006). Instal·lacions per a la recollida de neu a Mallorca. Revisió bibliogràfica. *Territoris* 6, 67-105.
- Carcavilla, L.; López-Martínez, J.; Durán, J.J. (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Instituto Geológico y Minero de España. Serie *Cuadernos del Museo Geominero*, 7, 360 pp., Madrid.
- Céspedes, A.; Giménez, J.; Sàbat, F. (2001). Caracterización del campo de esfuerzos neógenos en Mallorca mediante el análisis de poblaciones de fallas. *Geogaceta* 30, 199-202.
- Conesa, J.A. (1997). Tipologia de la vegetació: anàlisi i caracterització. Universitat de Lleida, 480 pp.
- Cruden, D.M.; Varnes, D.J. (1996). Landslide Types and Processes. En A.K. Turner y R.L. Schuster (Eds.), *Landslide investigation and mitigation* (pp. 36-75). Washington D.C.: Transportation Research Board, Special Report 247, National Research Council.
- Duque-Macías, J.; Giménez-García J.; Rodríguez A. (2017). La "Associació de Geòlegs de les illes Balears" (AGEIB) y el Patrimonio geológico del archipiélago balear. En L. Carcavilla; J. Duque-Macías; J. Giménez; A. Hilarario; M. Monge-Ganuzas; J. Vegas; A. Rodríguez (Eds.), Patrimonio geológico, gestionando la parte abiótica del patrimonio natural. *Cuadernos del Museo Geominero*, 21, (pp. 239-246).
- Fallot, P. (1922). Etude géologique de la Sierra de Majorque. Tesis Doctoral, Univ. Paris. 480 pp et planches et coupes.

- García-Cortés, A.; Fernández-Gianotti, J. (2005). Estrategia del Instituto Geológico y Minero de España para el estudio y protección del Patrimonio Geológico y la Geodiversidad. En M.A. Lamolda (Ed.), *Geociencias, recursos y patrimonio geológicos*. Serie Geología y Geofísica, 3 (pp. 59-72), Instituto Geológico y Minero de España, 210 pp.
- García-Cortés, A.; Carcavilla, L.; Díaz-Martínez, E.; Vegas, J. (2014). Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG). Instituto Geológico y Minero de España, 64 pp.
- García-Cortés, A.; Carcavilla, L.; Díaz-Martínez, E.; Vegas, J. (2018). Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG). Versión 5/12/2014. Actualización 19/07/2018, Instituto Geológico y Minero de España, 61 pp.
- Gelabert, B. (1998). La Estructura Geológica de la Mitad Occidental de la Isla de Mallorca. Instituto Tecnológico Geominero de España. *Colección memorias*, 129 pp.
- Ginés, A. (2000). Morfología càrstica i vegetació a la Serra de Tramuntana. Una aproximació ecològica a la dinàmica de l'exocarst. *Endins* 23, 101-110
- Ginés, J.; Fiol, M.; Ginés, A. (2004). Avencs relacionats amb el comerç de la neu a l'illa de Mallorca. *Endins* 26, 5-30.
- Giménez, J.; Fornós, J.J.; Gelabert, B. (2002). Anàlisi de la fracturació de los materiales calcáreos neógenos de la costa sudoriental de Mallorca. *Geogaceta*, 31, 91-94.
- Giménez, J.; Gelabert, B.; Sàbat, F. (2007). El relieve de las Islas Baleares. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* (15.2), 175-184.
- Gorrias, A. (2001). Les cases de neu de Mallorca, Ed. El Far. Col. l'Esparrall, 5, Palma de Mallorca, 221 pp.
- Grimalt, M.; Rodríguez Perea, A. (1994). El modelado periglacial en Baleares. Estado de la cuestión. En Gómez Ortiz, A.; Simon Torres, M. & Salvadore Franch, F. (eds.). *Periglaciario en la Península Ibérica, Canarias y Baleares*. Granada: Serv. Public. Universidad de Granada, p.189-201.
- Llorens, Ll.; Gil, Ll.; Tébar, F.J. (2007). La vegetació de l'illa de Mallorca; bases per a la interpretació i gestió d'hàbitats. Ed. Conselleria de Medi Ambient. Govern de les Illes Balears, 480 pp.
- López-García, J.M.; Barnolas, A.; Sevillano, A. (2014). Caracterización litoestratigráfica del Jurásico medio y superior del Torrent de Sa Jonquera, sector noroccidental de la Sierra de Levante (Mallorca). *Geogaceta*, 55, 23-26.
- Mas, G. (2015a). El marès de Campos: patrimoni cultural i natural. I *Jornades d'Estudis Locals de Campos*, 2011, Campos 29-30 d'abril de 2011 (pp. 47-65), Ajuntament de Campos-Mancomunitat Migjorn, Mallorca.
- Mas, G. (2015b). El Nummulític de Consolació. Un lloc d'interès geològic (LIG) al municipi de Santanyí. I *Jornades d'Estudis Locals de Santanyí*, Santanyí: llengua, terres i gent (pp. 77-90), Ajuntament de Santanyí.
- Mas, G. (2017). La piedra de marès de Mallorca, patrimonio natural y cultural. En L. Carcavilla; J. Duque-Macías; J. Giménez; A. Hilario; M. Monge-Ganuzas; J. Vegas; A. Rodríguez (Eds.), *Patrimonio geológico, gestionando la parte abiòtica del patrimonio natural*. Cuadernos del Museo Geominero, 21, (pp. 413-420).
- Mas, G.; Martorell, J. (2011). Un nou lloc d'interès geològic per al patrimoni natural de Manacor: Propostes d'ús didàctic i de geoconservació. VI *Jornades d'Estudis Locals de Manacor*, 2010. Manacor: Fets i protagonistes (pp. 85-111), Ajuntament de Manacor.
- Mas, G.; Moragues, L.; Mestre, J.; Espinosa, M. (2013). El patrimoni geològic de Felanitx (Mallorca). En G.X. Pons; A. Ginard; D. Vicens (Eds.), VI *Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears*. Ponències i Resums (pp 53-55). Soc. Hist. Nat. Balears.
- Mas, G.; Perelló, D. (2015). Un nou lloc d'interès geològic (LIG) per al patrimoni natural d'Inca. XV *Jornades d'estudis Locals d'Inca*, 2014 (pp. 71-83), Ajuntament d'Inca.
- Mas, G.; Austadillo, H. (2017). Patrimonio paleontològic inmaterial de las islas Baleares. En L. Carcavilla; J. Duque-Macías; J. Giménez; A. Hilario; M. Monge-Ganuzas; J. Vegas; A. Rodríguez (Eds.), *Patrimonio geológico, gestionando la parte abiòtica del patrimonio natural*. Cuadernos del Museo Geominero, 21, (pp. 421-428).
- Matamales-Andreu, R. (2018). Valoración patrimonial del conjunto de afloramientos de cala Blanca (Mallorca, Illes Balears) según los parámetros del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG). En E. Almayuelas; P. Bilbao-Lasa; O. Bonilla; M. del Val; J. Errandonea-Martin; I. Garate-Olave; A. García-Sagastibelza; B. Intxauspe-Zubiaurre; N. Martínez-Bracerías; L. Perales-Gogenola; M. Ponsoda-Carreres; H. Portillo; H. Serrano; R. Silva-Casal; A. Suárez-Bilbao; O. Suarez-Hernando (Eds.), *Life finds a way. Abstract book of*

- the XVI Encuentro de Jóvenes Investigadores en Paleontología* (pp. 267-270).
- Mateos, R. M. (2001). Los movimientos de ladera en la Serra de Tramuntana (Mallorca). Caracterización geomecánica y análisis de la peligrosidad. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 374 pp.
- Mateos, R. M.; Azañón, J.M. (2005). Los movimientos de ladera en la Sierra de Tramontana de la Isla de Mallorca: tipos, características y factores desencadenantes. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 18 (1-2), 87-97.
- 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.; Durán, J.J.; Robledo, P.A. (2011). Marès Quarries on the Majorcan Coast (Spain) as Geological Heritage Sites. *Geoheritage* 3, 41-54. <https://doi.org/10.1007/s12371-010-0026-5>
- Mateos, R.M.; García-Moreno, I.; Reichenbach, P.; Herrera, G.; Sarro, R.; Rius, J.; Aguiló, R. (2015). Calibration and validation of rockfall modelling at regional scale: application along a roadway in Mallorca (Spain) and organization of its management. *Landslides*. <https://doi.org/10.1007/s10346-015-0602-5>
- Mensching, H. (1955). Karst Und Terra Rossa Auf Mallorca (Karst and Terra Rossa on the Isle of Majorca). *Erdkunde*, 9 (3) 188–196. <https://doi.org/10.3112/erdkunde.1955.03.02>
- Moragues, E.; Manzano, X.; Bosch, G.; Mayol, J. (2017). L'impacte de la cabra (*Capra hircus*) sobre el teix (*Taxus baccata*) a l'illa de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 60, 9-22.
- Morey, B. (2018a). El patrimonio Paleontológico de Mallorca (Archipiélago Balear. Mediterráneo occidental). Museos y centros de interpretación. In: Pons, G.X., del Valle, L., Vicens, D., Pinya, S., McMinn, M. i Pomar, F. (eds.). *Llibre de ponències i resums de les VII Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears*. 81-84. Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB) – Universitat de les Illes Balears (UIB).
- Morey, B. (2018b). Estratègies de gestió del patrimoni Paleontològic de Mallorca (Illes Balears, Mediterrània occidental). In: Pons, G.X., del Valle, L., Vicens, D., Pinya, S., McMinn, M. i Pomar, F. (eds.). *Llibre de ponències i resums de les VII Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears*. 85-88. Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB) – Universitat de les Illes Balears (UIB).
- Morey, B. (2018c). El patrimoni Paleontològic del terme d'Algaida i de la comarca de Randa (Mallorca, Illes Balears). Catalogació, caracterització, valoració, gestió i divulgació. In: Pons, G.X., del Valle, L., Vicens, D., Pinya, S., McMinn, M. i Pomar, F. (eds.). *Llibre de ponències i resums de les VII Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears*. 547-550. Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB) – Universitat de les Illes Balears (UIB).
- Morey, B. (2018d). El patrimoni Paleontològic del terme d'Andratx (Mallorca. Illes Balears): catalogació, caracterització, valoració, gestió i divulgació. In: Pons, G.X., del Valle, L., Vicens, D., Pinya, S., McMinn, M. i Pomar, F. (eds.). *Llibre de ponències i resums de les VII Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears*. 551-552. Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB) – Universitat de les Illes Balears (UIB).
- Morey, B. (2018e). Cataloguing, characterization, valuation and management of the Palaeontological heritage: a perspective from Majorca (Spain). *Geoheritage*, 10 (3): 483-498. <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0278-4>
- Morey, B. (2008). El Patrimoni paleontològic del Pleistocè superior marí de Mallorca: catalogació, caracterització, valoració i propostes per a la gestió i conservació. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 51, 227-258.
- Morey, B; Cabanellas M. (2008). Los yacimientos del Pleistoceno marino mallorquín como puntos de control del litoral (estado en que se encuentran y factores que provocan su destrucción). *Territoris*, 7, 69-86.
- Pérez-Alberti, A.; Rodríguez-Guitán, M. (1993). Formas y depósitos de magaclastos y manifestaciones actuales de periglaciario en las sierras septentrionales y orientales de Galicia. En: A. Pérez-Alberti; L. Guitián Rivera; P. Ramil Rego (Eds.), *La evolución del paisaje en las montañas del entorno de los caminos jacobeos* (pp. 91-105), Junta de Galicia, Consejería de Relaciones Institucionales y Portavoz del Gobierno.
- Rius, J.M; Aguiló, R.I. (2017). Inspección y mantenimiento de sistemas de protección contra desprendimientos rocosos en las carreteras de la Serra de Tramuntana de Mallorca. En E. Alonso; J. Corominas; M. Hürlimann (Eds.), *IX Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables* (pp. 1063-1074), Santander, Junio 2017.
- Rodríguez-Perea, A. (1998). La geología de la Serra de Tramuntana. La Serra de Tramuntana,

- aportacions per a un debat. *Papers de Medi Ambient*, Ed. Sa Nostra, 3, 11-22.
- Rodríguez-Perea, A.; Grimalt, M.; Servera, N. (1992). Dinámica superficial de los canchales calcáreos del Puig Mayor (Mallorca). *En Estudios de geomorfología en España: Actas de la II Reunión Nacional de Geomorfología* (pp. 487-497), Universidad de Murcia, Murcia.
- Rodríguez-Perea, A.; Grimalt, M. (1994). El modelado periglacial en Baleares. Estado de la cuestión. En A. Gómez-Ortiz; M. Simón-Torres; F. Salvador-Franch (Eds.) *Periglaciario en la Península Ibérica, Canarias y Baleares*. Monografía nº 7, 189-201, Sociedad Española de Geomorfología, Granada.
- Rosselló, V. (1970). Clima y morfología pleistocena en el litoral mediterráneo español. *Papeles del Departamento de Geografía*. Secretariado de Publicaciones. Universidad de Murcia, 79-101.
- Rosselló, V. (1977a). Screes periglaciares en la montaña mallorquina. En AGE Universidad de Granada (Ed). V Coloquio de Geógrafos Españoles, Granada, 83-92.
- Rosselló, V. (1977b). El modelado de las áreas glaciales y periglaciales. En AGE-Universidad de Granada (Ed). V Coloquio de Geógrafos Españoles, Granada, 25-28.
- Sàbat, F. (1986). Estructura geològica de les Serres de Llevant de Mallorca (Balears). (Tesis Doctoral). Barcelona: Universitat de Barcelona, 128 pp.
- Sàbat, F.; Muñoz, J.A.; Santanach, P. (1988). Transversal and oblique structures at the Serres de Llevant thrust belt (Mallorca Island). *Geologisches Rundschau*, 77, 529-538. <https://doi.org/10.1007/BF01832396>
- Sàbat, F., Gelabert, B., Rodríguez-Perea, A., Giménez, J., (2011). Geological structure and evolution of Mallorca: Implications for the origin of the Western Mediterranean. *Tectonophysics*, 510: 217-238. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2011.07.005>
- Sarro, R.; Mateos, R.M.; García-Moreno, I.; Herrera, I. (2017). Análisis del desprendimiento rocosa de Son Poc (Mallorca, 2013) mediante modelización 3D. En E. Alonso, J. Corominas y M. Hürlimann (Eds.), IX Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables (pp. 834-844), Santander, Junio 2017.
- Segura-Cortes, A. (2002). Les nevades a Mallorca en el segle XVIII: l'episodi de 1788. En J.A. Guijarro-Pastor (Ed.), El agua y el clima (pp. 555-565), Publicaciones de la Sociedad Española de Climatología.
- Servera, J. (1997). Evolució tipològica de les cases de neu de Mallorca (Illes Balears). En Consell Insular de Mallorca (Ed.), La pedra en sec. Obra, paisatge i patrimoni., (pp. 381-395), Palma de Mallorca.
- Sole, L. (1962). Le Quaternaire marin des Baléares et ses rapports avec les côtes méditerranées de la Péninsule Ibérique. *Quaternaria*, 6, 309-342.
- Tor, Q.; Soriano, I. (2011). Efectes de la freqüentació a la Tartera del Pedraforca (Prepirineu catalans). En *Actes del I Col.loqui Internacional de Botànica Pirenaico-cantàbrica a Ordino* (pp 443-452), Andorra.
- Varnes, D. J. (1978). Slope Movements, Types and Processes. En R.L. Schuster y R.J. Krizck (Eds.), *Landslides: Analysis and Central* (pp. 11-33). Washington D.C.: Transportation Research Board, Special Report 176, National Academy of Sciences.

Recibido el 13 de octubre de 2018

Aceptado el 11 de marzo de 2019

