



Propuesta de inclusión de los barjanes de la playa de Sant Pere Pescador dentro del Lugar de Interés Geológico Les Llacunes – Aiguamolls de L’Empordà (Costa Brava, Cataluña)

Proposal for the inclusion the barchans on the Sant Pere Pescador beach within the Places of Geological Interest Les Llacunes – Aiguamolls de L’Empordà (Costa Brava, Catalonia)

Roig-Munar, F. X. ⁽¹⁾ y Garcia-Lozano, C. ⁽²⁾

(1) Investigador independiente y consultor ambiental, Carrer Carritxaret, 18-6, Es Migjorn Gran, 07749, Menorca, Balears: xiscoroig@gmail.com

(2) Laboratorio de Análisis y Gestión del Paisaje (LAGP) de la Universidad de Girona. Plaza Ferrater Mora, 1, 17004, Girona: alracgalo@gmail.com

Resumen

Se realiza una propuesta de inclusión de la playa de Sant Pere Pescador en el Lugar de Interés Geológico (LIG) de Les Llacunes-Aiguamolls de l’Empordà (Girona), declarado en 2004. Se ha aplicado la metodología de valoración de los LIG y su estado de conservación en relación a las premisas que establece la Ley 42/2007 para su conservación. Los resultados obtenidos por lo que respecta a su interés son elevados, así como también los valores de degradación y protección. Los resultados muestran que los valores de la playa de Sant Pere Pescador son tan elevados como el LIG, y que la gestión realizada sobre este espacio pone en peligro la estabilidad de este sistema morfológico frágil y dinámico, hecho que justifica la propuesta de LIG como soporte de protección.

Palabras clave: sistema playa-duna; barjanes; patrimonio geológico; valoración; gestión de playas; Costa Brava; Cataluña.

Abstract

A proposal to include the Sant Pere Pescador beach in the LIG (Important Geological Site) Les Llacunes - Aiguamolls de l’Empordà (Girona) is made. To this propose, the LIG evaluation methodology has been applied according to the established by Law 42/2007. The results obtained with regard to their interest are high, as well as the values of degradation and protection. The results show that the values of the Sant Pere Pescador



beach are as high as the LIG. The weak management carried out on this beach threat the stability of this fragile and dynamic morphological system, a fact that justifies the site as a LIG to ensure its protection and recovery.

Key words: beach-dune system; barchans; geological heritage; valuation; beach management; Costa Brava; Catalonia.

1. Introducción

El Inventario de Espacios de Interés Geológico de Cataluña (IEIGC) se creó en 1999, de acuerdo con la Ley 33/2015, de 21 de septiembre, por la que se modificaba la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, y que introdujo por primera vez en la legislación española la geodiversidad y el patrimonio geológico, así como la necesidad de trabajar para su conservación. El principal logro de esta Ley, en relación con la geoconservación es que en su Anexo 1, incluye ocho sistemas naturales terrestres a representar en la red de Parques Nacionales, expresamente definidos por sus características geológicas: elementos, formaciones, relieves, procesos geológicos, etc. Díaz *et al.*, (2008) señalan hasta 18 puntos de la Ley relacionados con la geoconservación. La Ley señala a las administraciones públicas como responsables de identificar y proteger el patrimonio geológico, lo que implica la elaboración de Inventarios de Lugares de Interés Geológico (IELIG) (García-Cortés y Fernández-Gianotti, 2005; García-Cortés *et al.*, 2014), cuya declaración y gestión corresponde a las Comunidades Autónomas (Art. 33.1-2 y 36.1). Este documento, de carácter legislativo, 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 u otras manifestaciones geológicas que permitan conocer, estudiar e interpretar: a) el origen y la evolución de la Tierra, b) los procesos que la han modelado, c) los climas y paisajes del pasado y presente, y d) 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) ser de origen natural, 2) tener carácter geológico, y 3) tener un valor científico, cultural y/o educativo.

El inventario de Lugares de Interés Geológico (LIG) se concibe como la base para la elaboración de la Estrategia de Geodiversidad (Monge-Ganuzas *et al.*, 2011), y se realiza con el fin de dar cobertura a las directrices que marca la Ley 42/2007. El objetivo final es la puesta en valor de la geodiversidad y la conservación del patrimonio geológico, pero, además, se plantea como una herramienta que aporte conocimiento general del territorio y sirva a la administración para su planificación y gestión. Se recomienda que los IELIG sean abiertos y sujetos a cambios futuros, que permitan la incorporación de nuevos LIG e incluso la eliminación de algunos de ellos debido a su destrucción o por la pérdida irremediable de su valor geológico (Carcavilla *et al.*, 2007).

La legislación autonómica de Cataluña, la Ley 12/1985, de 13 de junio, de espacios naturales, contempla en su artículo 24 punto 3 del capítulo IV, que uno de los objetivos de las reservas naturales parciales es proteger las formaciones geológicas y geomorfológicas, así como determinados biotopos, especies, hábitats y comunidades. En Cataluña el Inventario de Espacios de Interés Geológico de Cataluña (EIGC) fue realizado en 1999, y está constituido por tres grandes dominios o unidades geológicas: la Cordillera Pirenaica (con 71 afloramientos), la depresión Central Catalana (con 25 afloramientos), y las Cordilleras Costero Catalanas (con 62 afloramientos). Estos 158 LIG representan una selección de afloramientos y lugares de interés geológico que en su conjunto testimonian la evolución geológica del territorio catalán. Los objetivos del IEIGC son: a) preservar el patrimonio geo-

lógico para poder planificar intervenciones sobre el medio físico, ya sea desde el ámbito privado o desde el ámbito gubernamental en cualquiera de sus niveles, y atendiendo que las intervenciones sean respetuosas con el patrimonio geológico; y b) promover el sitio para la atracción de visitantes, repercutiendo positivamente en la divulgación de sus valores geológicos y la geoconservación.

Según el IEICG, en el dominio Pirenaico se ubica el LIG 166, que corresponde a la zona húmeda de *Les Llacunes- Aiguamolls de l'Empordà*, donde en 2004 se realizó su diagnóstico. Dentro del LIG se integran los cordones dunares, contemplados de interés sedimentológico, geomorfológico y de elevado interés regional. La ubicación exacta del LIG se encuentra entre las desembocaduras de los ríos Muga y el Fluvià (Figura 1). Según el informe del LIG 166 (2004), se hace hincapié en los "cordones dunares" descritos por Marqués y Julià (1983, 1988), que analizaron la sucesión de los barjanes que existen en la playa de Sant Pere Pescador. A pesar de que los trabajos de Marqués y Julià (1983, 1988) describen los barjanes situados fuera de los límites del LIG, el IEICG del LIG 166 también presenta barjanes incipientes en la playa seca, motivo por el cual se citan estos trabajos en el informe, aunque las descripciones realizadas en 1983 y 1988 corresponden a las morfologías dunares de Sant Pere Pescador.

A nivel legislativo la zona se encuentra protegida por la figura de Parque Natural de los *Aiguamolls de l'Empordà* (Ley 21/1983, de 28 de octubre), donde se especifica la protección de la zona dunar. La Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, artículo 115 del Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas, tiene por objetivo asegurar la integridad y adecuada conservación de los sistemas dunares, adoptando, las medidas de protección y restauración necesarias, y regular el uso racional de estos bienes de acuerdo con su naturaleza, sus fines y con el respeto al paisaje, al medio ambiente y al patrimonio histórico. La Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de

1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres en su artículo 2.1 describe su objetivo: "contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres en el territorio europeo de los estados miembros". Esta directiva menciona los hábitats litorales dunares como espacios de relevancia e interés comunitario. La Ley 42/2007 de 13 de diciembre, de Patrimonio Natural y de Biodiversidad, establece el régimen jurídico básico de la conservación, uso sostenible, mejora y restauración del patrimonio natural y de la biodiversidad.

Según los datos IEICG, el LIG 166 (2004) presenta un interés desde el punto de vista de patrimonio geológico, ya que permite visualizar un proceso geológico y geomorfológico que continúa en nuestros días, fruto de la interacción entre los aportes fluviales y la dinámica eólica y marina, pudiendo observar ambientes y/o subambientes sedimentarios relevantes. La zona, según la descripción de 2004, conserva todavía rasgos naturales, y el hecho de que en la actualidad conforma parte del Parque Natural de los *Aiguamolls de l'Empordà*, permite asegurar su continuidad como ejemplo de evolución litoral. El LIG 166 estableció unos valores de interés turístico de 4 puntos, 4,5 para su interés didáctico, y 4 puntos para su interés científico. Según el LIG (2004) se puede considerar la segunda zona litoral en importancia de Cataluña, donde se muestra la evolución de procesos litorales, permitiendo observar los efectos de procesos relevantes para la enseñanza de la Geomorfología, la Sedimentología y la Geología del cuaternario.

En la última década se han iniciado algunas actuaciones incipientes, y sin continuidad de mejora, de los sistemas de *foredunes* y playa alta, que han pasado de un estadio 5 según Hesp (2002) a un estadio 3 (Roig-Munar *et al.*, 2018; Roig-Munar *et al.*, 2020). Las gestiones han consistido en la regulación de los usos de playa y la instalación de captadores de interferencia sedimentaria, sin tareas de mantenimiento y continuidad, hecho que ha

hipotecado los resultados positivos esperados (Roig-Munar *et al.*, 2017). Roig-Munar *et al.* (2013) describen que las medidas de gestión laxas aplicadas en el golfo de Roses son una herramienta clave para la sostenibilidad del sistema en su conjunto, sin embargo, la frecuencia e intensidad del uso de maquinaria sobre las morfologías barjanoides siguen siendo de tipo erosivo, y dificultan el desarrollo del ciclo completo de barjanes y del aporte sedimentario a los frentes dunares.

El objetivo de esta investigación es analizar y valorar el estado de conservación del LIG 166 de *Les Llacunes-Aiguamolls de l'Empordà* (2004), y su viabilidad de ampliación como LIG del sector de dunas barjanes de la playa de Sant Pere Pescador.

2. Área de estudio

El área de estudio se ubica en la llanura del Alt Empordà (costa N de Girona, Cataluña), que es una fosa tectónica neógena cubierta por sedimentos aluviales y coluviales de edades comprendidas entre el Neógeno y el Cuaternario, con dominio de procesos sedimentarios litorales holocenos actuales (Díaz y Ercilla, 1993). Morfológicamente forman una llanura encajada en los materiales de piedemonte y en los materiales aluviales y coluviales pleistocénos, con un relieve suave, de pendientes inferiores al 0,2%, desde cotas de 10 a 15 m s.n.m. El área litoral del Alt Empordà, formada principalmente por los depósitos fluviales y deltaicos de los ríos Muga, Fluvià y de la antigua desembocadura del río Ter (Figura 1), representa la más septentrional en la depresión tectónica ampurdanesa, quedando enmarcada entre los relieves paleozoicos de la sierra de Rodes-Cap de Creus, al N, y el macizo mesozoico del Montgrí y el paleógeno de la sierra de Valldevià al S.

En el litoral del Alt Empordà encontramos formas dunares de tipo barjanes y morfologías *foredunes* de playa alta. El cordón litoral actual es una formación de naturaleza predominantemente arenosa, casi rectilínea y conti-

nua, desde Roses hasta la Escala, únicamente interrumpida por las desembocaduras de los ríos Muga y Fluvià. La playa, en sentido topográfico, queda muy minimizada por el cordón de dunas móviles hacia el S y un cordón paralelo de formas dunares. En general, el límite es poco preciso y cambiante a lo largo del año, como lo es la morfología de todo el cordón litoral. Las dunas móviles están bien desarrolladas al S de la desembocadura del río Fluvià, debido al cambio de orientación de la línea de costa, que pasa a ser de N-S, a ser ligeramente arqueada hacia el S-SE. Esta orientación permite a los vientos de tramontana (N) construir uno de los sistemas dunares móviles más importantes del estado español (García-Lozano, 2019). En el pasado, el campo dunar del golfo de Roses ocupaba más de 5 km de largo y hasta 150 m de ancho en el extremo S, donde el transporte longitudinal favorece la acumulación de arenas (Marqués *et al.*, 2011). Fruto de la acción del viento de componente N la arena se desplaza hacia el S invadiendo los alrededores de Sant Martí de Empúries y la Escala, en dirección al macizo del Montgrí hasta el Mas Reixach (Figura 1). Para evitar los perjuicios que ocasionaba este desplazamiento de arena, en 1895 se inició un proyecto de fijación y repoblación de estas morfologías dunares (Artigas, 1985).

Las formas dunares de Cataluña fueron recientemente clasificadas por Pintó y García-Lozano (2016), y posteriormente analizadas por García-Lozano *et al.* (2020). García-Lozano (2019) define las formas barjanoides como las menos representadas en Cataluña, citando que el sector litoral de Sant Pere Pescador es uno de los pocos que presentan barjanes libres. Morfológicamente las barjanes son formas dunares móviles sin colonización vegetal y en forma de media luna con los brazos a sotavento respecto a los vientos dominantes (Parteli *et al.*, 2014). Estas morfologías se forman durante períodos cortos de fuertes vientos en zonas con abundante disponibilidad de sedimento, y suficientes áreas para el desarrollo de morfologías asimétricas (Tsoar y Blumberg, 2020). Su presencia se encuentra asociada a los vientos dominantes de compo-

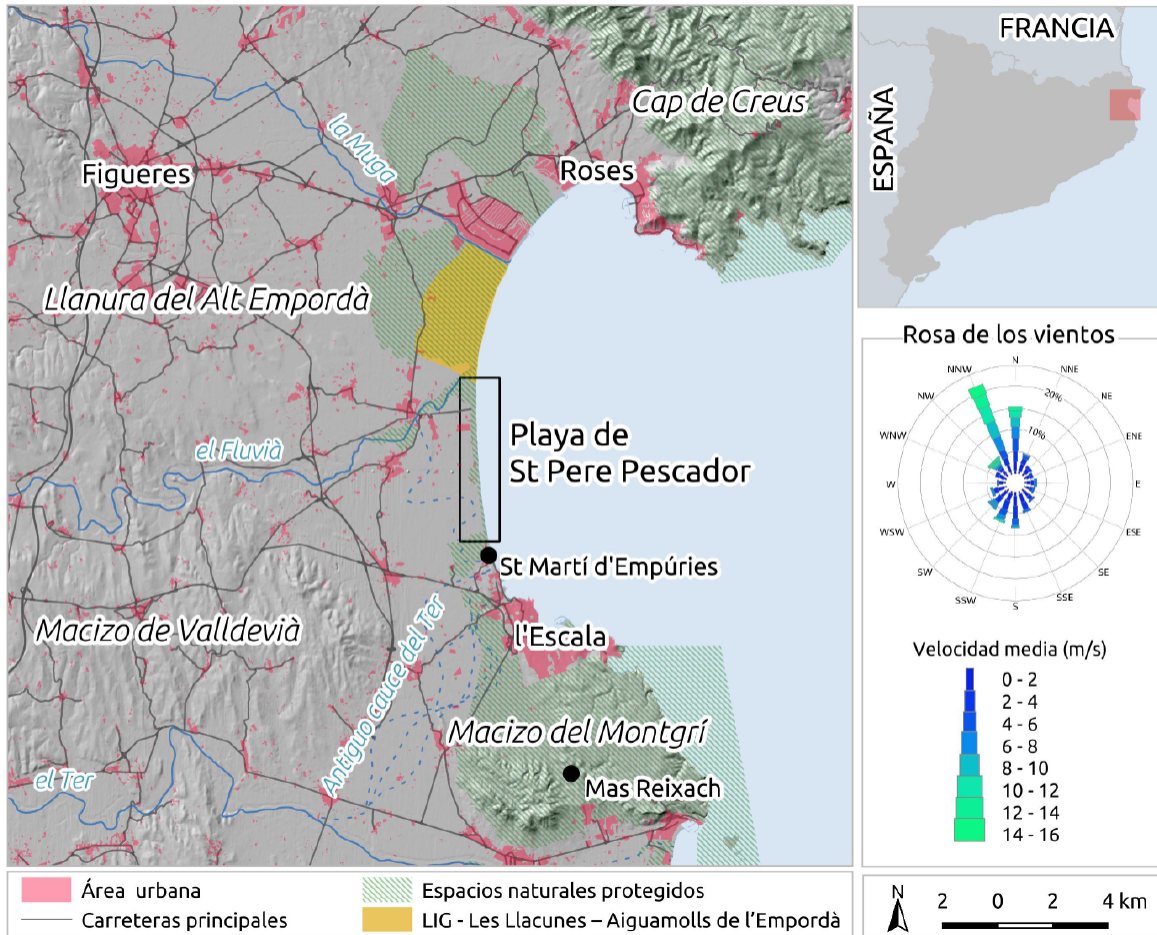


Figura 1: Área de estudio: la playa de Sant Pere Pescador se sitúa en el sector Sur del golfo de Roses, Girona, Cataluña. Desde de la desembocadura del río Muga hacia el S, los sistemas playa-duna alojan en la playa seca trenes de barjanes sucesivos que migran paralelos a la costa con la dirección de los vientos dominantes (N-S).

Figure 1: Study area: Sant Pere Pescador beach is located in the Southern sector of the Gulf of Roses, Girona, Catalonia. From the mouth of the Muga River to the S, the beach-dune systems house trains of successive barchans on the dry beach that migrate parallel to the coast with the direction of the prevailing winds (N-S).

nente N-NW, avanzando los cuerpos dunares paralelos a la costa, donde los sedimentos superficiales están constituidos mayoritariamente por arenas bien seleccionadas, medias y finas, de composición variada. Estas morfologías se encuentran asociadas a *foredunes* de escasa potencia y muy fragmentadas en la zona de playa alta, representando el umbral entre la playa y las zonas húmedas.

Marqués y Julià (1988) clasifican la costa N ampurdanesa en tres sectores según la exposición de la costa y el régimen eólico dominante, y su relación con la formación dunar

en la playa. La zona N del arco litoral de Roses está abierta hacia el S y recibe vientos de tierra hacia mar, contribuyendo así a la aportación sedimentaria en la corriente de deriva. En cambio, la zona central de la bahía, paralela a los vientos dominantes, favorece la formación de barjanes transversales que migran hacia el S. A menudo los oleajes de levante, atraviesan las depresiones e inundan la zona alta de la playa (*backshore*) dificultando así el desarrollo dunar. En episodios posteriores, los fuertes vientos de tramontana trasladan la arena situada por encima del nivel freático y se forma un costra salina muy característi-

ca de la zona (Marqués *et al.*, 2011). El tramo S del golfo de Roses está orientado hacia el N y recibe el sedimento transportado por la corriente longitudinal proveniente del N de la bahía, donde también se forman barjanas, aunque de menor entidad.

El ciclo de destrucción y formación de estas dunas móviles puede tener lugar más de una vez al año, siguiendo las condiciones climáticas asociadas a temporales y vientos dominantes de levante y tramontana. El desarrollo natural de las morfologías barjanas del Alt Empordà pasa por ciclos naturales que Marqués y Julià (1988) establecieron en tres fases, que comprenden desde su destrucción a su reactivación. Partiendo de un estadio natural de trenes bien formados de morfologías barjanas, podemos encontrar:

- (1) En un primer estadio, los temporales de levante desplazan el agua de mar a través de los canales transversales que forman los barjanas hasta inundar la playa alta, cambiando la morfología de las dunas móviles hasta allanarse y perder parcial o totalmente su morfología y su potencia. Durante estos episodios de temporal a lo largo de las zonas interdunares se canalizan flujos de agua marina que atraviesan perpendicularmente el cordón dunar, y alimentan las lagunas de agua salobre de la zona de marismas (Figura 2A). Cuando el agua acumulada en la depresión situada detrás de la playa alta se seca, se forma una costra salina que dificulta la formación de *foredune* entre la playa y las marismas.
- (2) Al finalizar los temporales de levante, los fuertes vientos del N inician nuevamente la fase de reactivación de sedimentos y la formación dunar. Es en este segundo estadio donde tienen lugar la formación inicial de las morfologías barjanas (Figura 2B).
- (3) Finalmente, la tercera fase se da cuando se alcanza el máximo desarrollo de barjanas, que se orientan de N a S siguiendo la dirección de los vientos dominantes, que

pueden alcanzar alrededor de los 4 m de potencia (Figura 2C).

El desarrollo inicial de barjanas que tiene lugar en la fase 2, en numerosas ocasiones, tiene su origen en pequeñas dunas parabólicas (Figura 3), que con el paso del tiempo adquieren morfologías barjanoides. Por las características lineales de la playa en el sector de Sant Pere Pescador, los sistemas dunares forman una sucesión continua de grandes dunas barjanoides que migran de N a S (Figura 2B y Figura 2C). Los brazos internos de estos barjanas son esenciales en la alimentación sedimentaria de los frentes de *foredune*, aportando parte del sedimento que será colonizado, y parcialmente fijado, por vegetación herbácea, y representando el sector límite entre la zona litoral arenosa y las zonas de marismas.

3. Metodología

Se ha analizado el conjunto de los sistemas dunares formados por morfologías móviles tipo barján, situadas entre la desembocadura del río Fluvià hasta el núcleo urbano de Sant Martí d'Empúries (Figura 1) mediante la aplicación de la metodología y los valores descritos en el Apéndice II de los IELIG, para caracterizar su interés científico, didáctico y turístico de cada área propuesta (García-Cortés *et al.*, 2018). Posteriormente, se ha valorado el estado de conservación del espacio litoral en relación a las figuras de protección entre 2004 y 2020, así como su planificación y gestión. Finalmente, se han aplicado las directrices metodológicas establecidas en el IELIG (García-Cortés *et al.*, 2018), que permiten evaluar la potencialidad de sus usos (científico, didáctico y turístico/recreativo), así como una estimación de su vulnerabilidad y sus amenazas externas actuales, para establecer su prioridad de protección. Mediante esta evaluación, y en base a los trabajos realizados por Marqués y Julià (1983, 1988), se estudia la ampliación del LIG 166 (2004) a lo largo de toda la playa de Sant Pere Pescador, donde se desarrollan los mejores ejemplos de morfologías barjanas.



Figura 2: Ciclos naturales de formación y destrucción de barjanes en la playa de Sant Pere Pescador, según Marqués y Julià (1988). A- Fase 1, situación con la playa seca allanada y una depresión situada entre la playa y la marisma, donde se ha formado una costra salina. B- Fase 2 situación de formación incipiente de los barjanes cuando los temporales de levante ceden. C- Fase 3 situación de máximo desarrollo de barjanes. Fuente: Imágenes del Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Catalunya (4 de diciembre de 2007).

Figure 2: Natural cycles of formation and destruction of the barchans on the beach of Sant Pere Pescador according to Marqués and Julià (1988). A- Phase 1 with the dry beach leveled and a depression located between the dry beach and the marsh where a salt crust has already formed. B- Phase 2 during the incipient formation of the barchans when the eastern storms give way. C- Phase 3 with the maximum development of the barchans. Source: Photograph Department of the Environment of the Generalitat de Catalunya (December 4, 2007).



Figura 3: Duna parabólica en la playa de Sant Pere Pescador el día 13 de noviembre de 2019. Esta morfología dunar pertenece al inicio de la fase 2 descrita por Marqués y Julià (1988) y que con el tiempo migrará hacia una duna barján. Fuente: Fotografía realizada por Garcia-Lozano, C.

Figure 3: Parabolic dune on the beach of Sant Pere Pescador on November 13, 2019. This dune morphology belongs to the beginning of phase 2 described by Marqués and Julià (1988) and which will eventually migrate to a Barjan dune.

Source: Photograph taken by Garcia-Lozano, C.

3.1. Valorización de los LIG

El sistema de barjanes ha sido valorado siguiendo los parámetros de la Tabla 4.5.1 y la Tabla 4.8.1 (García-Cortés *et al.*, 2018), que se basa en 4 clases valoradas donde se establecen: valores intrínsecos; valores intrínsecos y de uso; valores de uso, y valores de uso y protección que permiten la valoración de un LIG. De estas 4 claves se valoran 18 parámetros que son sus valores intrínsecos y que son valorados en función de parámetros que establecen la representatividad, su carácter tipo, el grado de conocimiento, el estado de conservación, las condiciones de observación, su rareza, la diversidad geológica, y su espectacularidad. Los valores intrínsecos y de uso valoran los aspectos que inciden en su visitación y uso, como son el contenido divulgativo o su potencial, su contenido didáctico, así como las posibles actividades a realizar. Los valores de uso del LIG presentan parámetros como la presencia de infraestructuras logísticas, el entorno socioeconómico asociado al espacio, y la asociación a otros elementos del patrimonio. Por último los valores de uso y protección se focalizan en la densidad de población, la accesibilidad al espacio valorado, su fragilidad como forma o proceso y la cercanía a zonas recreativas. A estos parámetros descritos se les otorgan diferentes pesos ponderados, de acuerdo con la Tabla 4.8.1 y los valores del apéndice III, que permiten calcular su valor en cada uno de tres usos posibles: el uso científico, el uso didáctico y el uso turístico y/o recreativo. Sus valores son puntuables de 0 a 4, siendo el valor 0 el más poco relevante y el valor 4 el más sobresaliente, y el valor total es el resultado de cada puntuación otorgada a los parámetros utilizados, su ponderación y la división de su sumatorio por 40 (Tabla 1). Estos valores tendrán mayor relevancia en función de la puntuación de cada uno de sus usos. Una vez obtenida la puntuación de uso se realiza la valoración conjunta de su interés general, y por intereses científico, didáctico y turístico/recreativo, donde son considerados LIG de muy alto valor aquéllos que superen los 6,65 puntos, de valor alto aquéllos cuyas puntuaciones estén comprendidas entre 3,33

y 6,65 y, finalmente, se considerarán de valor medio los LIG con puntuaciones inferiores a 3,33 puntos.

3.2. Vulnerabilidad de los LIG

Las amenazas externas equivalen a la vulnerabilidad definida por García-Cortés *et al.* (2013), atribuida a la alteración por efecto de actuaciones o amenazas antrópicas. Desde el punto de vista de la conservación de los LIG es interesante desglosar la susceptibilidad de degradación ya que, mientras que la vulnerabilidad y las amenazas naturales escapan a posibles actuaciones de mitigación, la identificación de las amenazas antrópicas y su cuantificación pueden orientar la adopción de medidas de protección. Se valoran las vulnerabilidades naturales y las antrópicas, para ello se aplican parámetros de valoración enfocados a establecer la susceptibilidad de degradación del lugar, atribuyendo a cada uno una puntuación objetiva, según la Tabla 4.9.1, y los valores establecidos en el Apéndice IV de la metodología LIG (García-Cortés *et al.*, 2018), con valores puntuables de 1 a 20.

Los valores que permiten analizar la vulnerabilidad natural se focalizan en tres parámetros; el LIG analizado desde rasgos métricos a rasgos kilométricos, su fragilidad como espacio de potencial uso o visitación, y la existencia de amenazas naturales. Estos tres parámetros permiten establecer la susceptibilidad de degradación natural del LIG. El valor obtenido es la susceptibilidad de degradación que presenta un LIG para degradarse en función de su tamaño, su fragilidad y su vulnerabilidad mediante procesos naturales, como factor que evalúa la posibilidad de alteración ante los procesos naturales, reales o potenciales, que lo afectan (amenazas naturales). Las consecuencias de estos procesos naturales en su deterioro podrían ser tanto más intensos cuanto más frágil sea el LIG, Así mismo los procesos que provocan la alteración del LIG pueden ser los mismos que lo han generado o que lo caracterizan, denominándolos vulnerabilidad intrínseca. El cálculo de la vul-

nerabilidad antrópica se focaliza en 9 parámetros que permiten establecer su valor, siendo estos: el interés de explotación del recurso, y su vulnerabilidad de expolio, especialmente en espacios con altos valores fosilíferos, estos dos parámetros analizan el impacto directo. Los valores de proximidad a actividades antrópicas, y la accesibilidad como factor de agresión potencial, analizan la permeabilidad del espacio frente a su uso. Los parámetros de régimen de protección legislativa, protección física o indirecta y la titularidad y régimen de acceso nos permiten establecer valores que pueden restringir su potencial de usos. Por último, la densidad de población asociada al espacio y su proximidad a zonas recreativas, ofrece un valor de potencialidad de usos y degradación asociado a la tipología de cada LIG. Por tanto en el análisis de los LIG debe considerarse tanto la susceptibilidad de degradación por causa antrópicas (S_{DA}) como por causas naturales (S_{DN}).

Aplicados los valores establecidos en la metodología, el cálculo de la vulnerabilidad es entendida como la combinación de su fragilidad intrínseca (F) y de las amenazas externas (An) a las que está sometido. La vulnerabilidad por causas naturales dependerá de la intensidad de los procesos geológicos y/o geomorfológicos activos que pueden actuar sobre el LIG, así como los procesos biológicos que pueden alterarlo. Las consecuencias de estos procesos geodinámicos y/o biológicos en el deterioro serán tanto más intensos cuanto más frágil sea éste, así como la extensión que presente el mismo. Para el cálculo de la susceptibilidad de degradación por causas naturales (S_{DN}), se multiplica el factor tamaño (E_F) por la vulnerabilidad natural (V_N), donde la vulnerabilidad natural viene dada, a su vez, por el producto de la fragilidad (F) por las amenazas naturales A_N :

$$S_{DN} = E_F * V_N = E_F * F * A_N$$

$$S_{DA} = E_F * V_{UA}$$

Donde V_N es la vulnerabilidad antrópica, tomando los valores de la Tabla 4.9.2 establecidos en el Apéndice IV de la metodología

LIG (García-Cortés *et al.*, 2018). Estos valores se toman, dependiendo del caso que corresponda, y optando por la puntuación más alta, adoptando S_{DN} , valores entre 0 y 10, donde la fragilidad, que será mayor cuanto más alterables sean las litologías del LIG, y A_N son las amenazas naturales a las que puede estar sometido. El cálculo de la susceptibilidad de degradación por amenazas antrópicas (S_{DA}) se realizará multiplicando el factor tamaño del LIG (E_F) por la suma ponderada de sus parámetros con sus 9 valores descritos. Dado que atribuimos al valor de un LIG una puntuación comprendida entre 0 y 10 puntos, la fórmula de la SD obtiene estos valores. Para ello, en el Apéndice IV de la metodología propone un procedimiento que otorga hasta 10 puntos a S_{DN} y otros 10 a S_{DA} .

3.3. Prioridad de protección

La prioridad de protección (PP) se obtiene mediante la suma del interés de un LIG y su susceptibilidad de degradación. En este caso si se consideran las prioridades de protección para sus tres usos: el uso científico (Ic), el uso didáctico (Id) y el uso turístico y/o recreativo (It), sus valores se obtendrán mediante las siguientes fórmulas:

$$PPc = Ic + S_{DN}$$

$$PPd = Id + S_{DN}$$

$$PPt = It + S_{DN}$$

$$PPG = [(Ic+Id+It) / 3] + S_{DN}$$

Donde PP es el la Prioridad de Protección, c; científica, d; didáctica, t; turística, y S_{DN} es la degradación antrópica a la que está sometida el LIG analizado. De acuerdo con esto un valor PP inferior a 200 se considera innecesaria su protección, mientras que al valor comprendido entre 201 y 500 se considerará necesaria a medio plazo, y con valores superiores a 500 se considerará alta, recomendándose, según García-Cortés *et al.* (2018) a las administraciones competentes la adopción, a corto plazo, de medidas de protección.

4. Resultados

Los resultados obtenidos en la valoración del actual LIG 166 (2004) de las morfologías dunares barjanoides dels Aiguamolls de l'Empordà y Sant Pere Pescador se pueden observar en la Tabla 1. Observamos de este modo que los parámetros utilizados presentan una media de la columna Punt, destacando los valores 0 de su estado de conservación, con gestiones que facilitan su constante degradación en período estival, y un entorno económico con rentas superiores a la media regional. Observamos que los valores 1 son atribuibles por ser una localidad tipo y de rareza a nivel regional, así como presentar condiciones de observación enmascaradas por la topografía del espacio, también los valores de espectacularidad y densidad de población son escasos. La valoración 2 se centra en el tamaño del LIG, de orden kilométrico, y su asociación

a elementos culturales, atribuibles a intentos históricos de fijación del sistema. Así mismo la potencialidad de realizar actividades y la cercanía a zonas recreativas presenta valores bajos. Los valores más altos, el 4, se atribuyen a sus morfologías barjanas, con elevada representatividad, diversidad y contenidos didácticos y divulgativos, asociados a una elevada accesibilidad.

En base a estos 18 parámetros, valorados de 0 a 4, se realiza la valoración y ponderación (Tabla 1) de los parámetros empleados para caracterizar su interés general como media de sus 3 valores (interés científico, interés didáctico e interés turístico) es de 6,25, tratándose de un valor alto. De todos los valores el más sobresaliente es el didáctico, con 7,13 puntos, superando el valor de 6,65 propuesto en Anejo II de la EILIG, y debiéndose considerar como un lugar de interés muy alto para

Tabla 1. Valoración del interés científico, didáctico y turístico del sistema dunar de Alt Empordà, de acuerdo con la metodología del IELIG (García-Cortés *et al.*, 2018).

Table 1. Assessment of the scientific, didactic and tourist interest of the Alt Empordà dune system, according to the IELIG methodology (García-Cortés *et al.*, 2018).

PARÁMETRO	Punt	Científico		Didáctico		Turístico	
		Peso	Punt	Peso	Punt	Peso	Punt
Representatividad (R)	4	30	120	5	20	0	0
Carácter localidad tipo (T)	1	10	10	5	5	0	0
Grado conocimiento científico del lugar (K)	4	15	60	0	0	0	0
Estado de conservación (C)	0	10	0	5	0	0	0
Condiciones de observación (O)	1	10	10	5	5	5	5
Rareza (A)	1	15	15	5	5	0	0
Diversidad geológica (D)	4	10	40	10	40	0	0
Contenido/uso didáctico (Cdd)	4	0	0	20	80	0	0
Infraestructura logística (I)	4	0	0	15	60	5	20
Densidad de población (Dp)	1	0	0	5	5	5	5
Accesibilidad (Ac)	4	0	0	10	40	10	40
Tamaño del LIG (capacidad de carga) (E.)	2	0	0	5	10	15	30
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	2	0	0	5	10	5	10
Espectacularidad o belleza (B)	1	0	0	5	5	20	20
Contenido divulgativo/uso divulgativo (Cdv)	4	0	0	0	0	15	60
Potencialidad para realizar actividades (Ptr)	2	0	0	0	0	5	10
Cercanía zonas recreativas (Zr)	2	0	0	0	0	5	10
Entorno socioeconómico (Es)	0	0	0	0	0	10	0
			255		285		210
		Ic =	6,37	Id =	7,13	It =	5,25

DEGRADACIÓN ANTRÓPICA	VULNERABILIDAD						
	PD	Pes	Punt				
Interés para la explotación minero y/o hídrica (Vum)	0	25	0				
Vulnerabilidad de expolio (Vuex)	0	25	0				
Proximidad de actividades e infraestructuras (Vui)	1	15	15				
Accesibilidad (Ac)	4	10	40				
Régimen de protección del lugar (P)	1	5	5				
Protección física o indirecta (Pf)	4	5	20				
Titularidad del suelo y régimen de accesos (Ts)	4	5	20				
Densidad de población (P)	1	5	5				
Proximidad zonas recreativas (Zr)	4	5	20				
		Valor	125				
DEGRADACIÓN NATURAL	PD						
Tamaño del LIG (Ef)	0,01						
Fragilidad (F)	20						
Amenazas Naturales (An)	20						
Vulnerabilidad (V_N)	400						
Vulnerabilidad amenazas antrópicas (S_{DA})	4						
Susceptibilidad de degradación (S_{DN})	4						
PRIORIDAD DE PROTECCIÓN							
PP para su interés científico	384						
PP para su interés didáctico	414						
PP para su interés turístico/recreativo	339						
Prioridad de protección global	375						

la didáctica de la geología y la geomorfología, concretamente de procesos sedimentarios asociados a llanuras litorales y a procesos eólicos. El valor científico presenta un valor de 6,37 y debe considerarse alto, hecho que podría propiciar un mayor impulso a la investigación como campo dunar de morfologías barjanas. El valor de interés turístico es alto, con un valor de 5,25, por tanto, puede ser un buen atractivo geoturístico, dentro del contexto de otros espacios de relevancia ambiental catalogados de la zona.

Los valores obtenidos en la aplicación de los parámetros de las Tablas del Apéndice IV de la metodología para el cálculo de la degradación natural y degradación antrópica (García-Cortés *et al.*, 2018) permiten establecer su S_{DN} y S_{DA} . Observamos en la Tabla 1 que los parámetros son valorados de 0 a 4, y que los parámetros de interés de explotación minera o expolio presentan un valor 0, debido al

nulo interés de extracción de sedimentos de la zona litoral del sistema playa-duna, protegida como Parque Natural, y por su nulo interés de expolio. Los valores 1 son notables en la proximidad de actividades, asociados a numerosos campings y núcleos urbanos, a estar dentro del ámbito del Parque Natural y con una densidad baja. Por el contrario los valores altos son atribuibles a la accesibilidad regulada y a su titularidad, dentro de un espacio de dominio público marítimo terrestre, a la protección física, en este caso la gestión parcial de dunas y a la proximidad de zonas recreativas.

En base a estos valores, y su correspondiente ponderación (Tabla 1), se calculan los valores de la vulnerabilidad natural (V_N), presentando un valor 400 (Tabla 1), al tratarse de morfologías dinámicas de rasgos kilométricos pero de escasa extensión, ubicadas dirección N-S sobre una franja de playa de entorno los 50

m de achura. A nivel de fragilidad las morfologías barjanes están afectadas por procesos dinámicos desencadenados por sus 3 fases de construcción y destrucción natural descritas por Marqués y Julià (1988), por tanto, con dominio de procesos naturales intrínsecos de relevancia moderada o de gran intensidad, y que se encuentran condicionadas por aspectos naturales que inciden en su evolución y mantenimiento. Por el contrario, estos procesos se ven alterados por las gestiones mecanizadas de la playa emergida, donde se desarrollan estos campos dunares de morfologías parabólicas, *foredune* y barjanes (Figuras 2 y 3). Las actuaciones mecanizadas consisten en la erradicación de los trenes de barjanes para tener una playa turística sin morfologías ni vegetación. Esta acción, mediante la nivelación mecánica, supone la inestabilidad del conjunto del sistema aéreo, agravando procesos naturales sobre playas denudadas y sin morfologías dunares y vegetación asociada, y acelerando procesos de migración de sedimento dirección N-S, y debilitando las morfologías dunares delanteras, las cuales están alimentadas por el suministro sedimentológico de los brazos internos de los barjanes.

El cálculo de los parámetros S_{DA} y S_{DN} , correspondientes a la valoración de la susceptibilidad de degradación antrópica y natural del LIG, permitir priorizar, ante la previsible insuficiencia de medios, el seguimiento de su estado de conservación. Una vez evaluados el valor V_N del LIG será posible conocer los parámetros de susceptibilidad degradación como factor estimativo que combina la susceptibilidad de degradación del lugar con su valor, y que mide el perjuicio o daño potencial sobre el patrimonio geológico, en función de la magnitud de las consecuencias de la degradación del lugar (Tabla 1). El riesgo de degradación del LIG será mayor con valores superiores a 2,5, y por ende estos deberían ser objeto de medidas de protección urgentes. (riesgo de degradación muy alto), los que presentan valores comprendidos entre 1 y 2,5 deberían ser objeto de medidas de protección a corto plazo (riesgo de degradación alto), mientras que los que presentan valores comprendidos

entre 0,5 y 1 podrían ser objeto, a criterio de los gestores, de medidas de protección a más largo plazo (riesgo de degradación medio). Los resultados obtenidos en S_{DA} muestran un valor 4, al igual que los valores S_{DN} obtenidos en S_{DN} . Estos valores se encuentran condicionados por el tamaño del LIG y por su elevada fragilidad, ya sea por tratarse de un espacio altamente dinámico por procesos fluviales, eólicos y marinos, o bien por la gestión mecanizada de las formas que dan lugar a su erosión puntual, focalizada en períodos estivales, dando lugar a la aceleración de los procesos descritos por Marqués y Julià (1988). Así mismo las amenazas naturales ejercen un valor alto, ya que la degradación del espacio por causas antrópicas puede verse agravado por las condiciones naturales que actúan sobre el sistema y agravan sus fases de estructuración y desestructuración.

La valoración de la prioridad de protección del LIG en base a sus tres intereses y a su interés general ofrece unos resultados que indican su necesaria protección a medio plazo. El interés general de las morfologías barjanes es de 375 (Tabla 1), mientras que por interés didáctico destaca el valor de 410 puntos, 380 para el científico y un valor de 335 para el turístico. Estos resultados informan de su necesidad de protección como LIG.

5. Discusión

La propuesta del LIG 166 (2004) se basa en las formas y procesos descritos por Marqués y Julià (1988), y fueron tomados como referencia para justificar los valores geológicos del LIG 166 (2004) - Les Llacunes - Aiguamolls de l'Empordà. Sin embargo, y a pesar de ser descritos como valores geomorfológicos, las barjanes de Sant Pere Pescador no se incluyeron en el LIG, pese a los resultados obtenidos referentes a su a valor científico, didáctico y turístico (Tabla 1), conformándose como las barjanes más desarrolladas del litoral catalán (García-Lozano, 2019) y uno de los más importantes del estado español (Marqués *et al.*, 2011), pudiéndose observar su formación

gracias a los fuertes vientos dominantes provenientes del N. Según Carcavilla *et al.* (2007) los IELIG han de ser abiertos y sujetos a cambios, y han de permitir la eliminación de algunos de ellos, debido a su destrucción o por la pérdida irremediable de su valor geológico o geomorfológico, como sería parcialmente en caso analizado del LIG 166 (2004), y la propuesta del nuevo LIG, o su ampliación hacia el sector S de Sant Pere Pescador, donde se da el mayor desarrollo de los trenes de barjanes (Figura 4). Basándose en esta posibilidad de cambio y análisis de un LIG existente, y en base a los resultados obtenidos, nos permite establecer que el valor de interés de la zona propuesta es alto, con un valor de 6,25, por tanto ha de considerarse este sistema dunar como propuesta de LIG, o ampliación de LIG

existente, por ser un buen ejemplo para su divulgación, a todos los niveles educativos, así como favorecer su accesibilidad controlada mediante caminos e itinerarios incluidos dentro del ámbito del Parque Natural, ya que permite observar los procesos dinámicos en todas las fases de formación y eliminación de las barjanes (Figura 4).

Por lo que respecta a la vulnerabilidad, se trata de un espacio de alta fragilidad, ya que están afectadas sus formas por procesos dinámicos naturales y cambiantes, desencadenados por la fase de construcción y degradación morfológica, descritas por Marqués y Julià (1988), y basados en procesos naturales intrínsecos. En la actualidad los ciclos de formación y destrucción de los barjanes se ven fuertemente



Figura 4: Barjanes en la playa de Sant Pere Pescador y morfologías asociadas. A - Destrucción de los barjanes e inundación de la depresión post-playa durante un temporal de levante. B -Costra salina formada con la evaporación del agua en la depresión situada en la playa alta. C - Tren de barjanes en la fase 3 según Marqués y Julià (1988) en la playa de Sant Pere Pescador. Fuente: A y C - Fotografías tomadas el 2014 por el Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Catalunya; B - Fotografía tomada por Garcia-Lozano, C. en verano de 2018.

Figure 4: barchans on the Sant Pere Pescador beach and associated morphologies. A - Destruction of the barchans and flooding of the post-beach depression during a storm. B - Salt crust formed with the evaporation of water in the depression located on the upper beach. C - barchans train in phase 3 according to Marqués and Julià (1988) at Sant Pere Pescador beach. Source: A and C - Photographs taken in 2014 by the Department of the Environment of the Generalitat de Catalunya; B - Photograph taken by Garcia-Lozano, C. in summer 2018.



Figura 5: Allanamiento mecánico de la playa de Sant Pere Pescador. Los barjanes son destruidos de forma artificial cuando llega la temporada de verano a pesar de presentar más valores geomorfológicos que el LIG adyacente. Fuente: Empresa de servicios Can Pipa.

Figure 5: Mechanical raid on the Sant Pere Pescador beach. The barchans are artificially destroyed when the summer season arrives despite having more geomorphological values than the adjacent LIG. Source: Can Pipa service company.

alterado por la acción antrópica, hasta el punto de que nunca se alcanzan las dimensiones de 4 m de potencia de la década de los 80. La actual gestión de la cuenca fluvial, así como de la playa, impiden el pleno desarrollo de las morfologías barjanes. Por un lado, la disminución de sedimento aportado por los ríos, retenida en los embalses y por la extracción de áridos, dificulta la disponibilidad de un gran volumen de arena en las playas para la formación dunar. Por otro lado, la nivelación o allanamiento mecánico de la playa seca en período estival (Figura 5), para su uso como recurso turístico, impide el pleno desarrollo de las dunas móviles que en la actualidad no superan los 2 m de potencia (García-Lozano, 2019).

Esta mecanización conlleva a la desaparición puntual de las formas, dando lugar a un proceso de migración sedimentaria hacia la zona urbana de Sant Martí de Empúries, donde las gestiones se centran en la retirada mecánica de grandes volúmenes sedimentarios, de los que no se ha podido determinar su destino, el cual no es el retorno a la playa o al sistema dunar, convirtiéndose su llegada en un *input* negativo irreversible, debido a su retirada, en el balance sedimentario del sistema. Con todo se trata de una playa expuesta a su alteración o destrucción continuada por acciones antrópicas periódicas (Figura 5), realizadas en temporada turística, a pesar de estar protegidas estas morfologías por la figura de Parque Natural.

Desde el punto de vista de la conservación es interesante desglosar la susceptibilidad de degradación en estos dos componentes F y A_N , ya que, mientras que la fragilidad (F) escapa en gran medida a posibles actuaciones de mitigación, la identificación de las amenazas naturales y antrópicas, así como su identificación y su cuantificación pueden orientar la adopción de medidas de adecuadas de protección y de gestión para el mantenimiento de formas y procesos.

Según García-Cortés *et al.* (2014, 2018) al intervenir el factor humano, es preferible incorporar estas presiones al bloque de la vulnerabilidad antrópica, considerando de manera específica el interés minero y el atractivo de expolio, en función de la densidad de población, accesibilidad y cercanía a carreteras, etc., que se considera como presión antrópica general. En el caso de las morfologías dunares las ecuaciones propuestas no son aplicables, ya que se priorizan parámetros como el interés minero y fosilífero, no presentes en estas morfologías dinámicas. Por tanto se ha de valorar en la metodología aplicada (García-Cortés *et al.*, 2018) la posibilidad de un mejor detalle en el análisis de ambientes dinámicos expuestos a la gestión y planificación incorrecta, ya que los valores aplicados (Tabla 1) no tienen presentes estos valores como *inputs* negativos. En el caso que nos ocupa la fragilidad asociada al factor humano se focaliza a las tareas de limpieza mecánica de playas que suponen la erradicación de los trenes

de barjanas y el alisamiento total de la playa emergida (Figura 5), con finalidades de ocio y recreación, incompatibles con los valores de interés turístico, así como la intervención de sus cuencas fluviales.

6. Conclusiones

Como resultado de las investigaciones llevadas a cabo en la playa de Sant Pere Pescador se pueden concluir las siguientes premisas:

- (1) Resulta una contradicción que la justificación del LIG 166 - Les Llacunes-Aiguamolls de l'Empordà se fundamente en los trabajos de Marqués y Julià (1983, 1988), cuya área geográfica es la Playa de Sant Pere Pescador y, sin embargo, esta zona se excluya del LIG.
- (2) La valorización de la playa de Sant Pere Pescador presenta un valor global de 6,25, motivo por el cual debería ser considerada su inclusión en el LIG 166. Los IELIG han de ser abiertos y sujetos a cambios (Carcavilla *et al.*, 2007), lo que abre la posibilidad de ampliar el LIG 166 hacia el sector S de St Pere Pescador. Justamente en este sector se desarrollan los mejores ejemplos de trenes de barjanas de todo el litoral catalán.
- (3) A pesar del interés general de este espacio, las dunas se allanan de forma mecánica hasta su destrucción precisamente para convertir las barjanas en superficie de playa, y afectando todo el conjunto de playa emergida hasta las *foredunes*. Esta mecanización afecta también al correcto suministro hacia las formas dunares delanteras y a la zona húmeda. La mala gestión del sistema playa-duna origina regresión puntual circunscrita a períodos estivales, lo que afecta de forma continuada su regresión y estabilidad como morfologías. Esta degradación del sistema impide llegar a las potencias naturales de los barjanas y altera de forma considerable las tres fases de construcción y destrucción natural del sistema.

- (4) Su preservación va más allá del origen geológico de la llanura y de la geomorfología de las formas, ya que constituyen un elemento geodinámico regulador de los equilibrios entre la zona litoral y las zonas húmedas, y clave para el mantenimiento de las formas dunares delanteras, ya que estas sedimentológicamente se nutren de la llegada de sedimento asociado a las zonas deprimidas y los brazos internos de estas formas móviles.

Por todo ello, y de acuerdo a los valores obtenidos en la prioridad de protección, la playa de Sant Pere Pescador debe ser incluida en el LIG 166 Les Llacunes-Aiguamolls de l'Empordà (2004), o bien considerar la inclusión de otro LIG que contemple las barjanas de las playas de Can Comes (zona actual del LIG 166) y de Sant Pere Pescador (Figura 1). Dichos espacios son los únicos espacios del litoral catalán que presentan trenes de barjanas de estas dimensiones (García-Lozano, 2019). En menor medida, la Pletera, situada en la bahía de Pals, también presenta dichas morfologías (Roig-Munar *et al.*, 2017), mientras que las playas del delta del Ebro presenta campos de dunas barjanoides, aunque a menudo estos no están dispuestos paralelos a la costa (García-Lozano, 2019).

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a los tres 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

Artigas, P. (1885). *Memoria relativa a la excursión verificada por los alumnos de tercer año de la escuela especial de ingenieros de montes a los montes públicos, dunas y alcornoques de la provincia de Gerona*. Madrid: Imprenta de Moreno y Rojas.

- Carcavilla, L.; López Martínez, J.; Durán, J. J. (2007). *Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos*. Serie Cuadernos del Museo Geominero, 7. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. 360 p.
- Díaz, J.I.; Ercilla, G. (1993). *Holocene depositional history of the Fluvia-Muga prodelta, northwestern Mediterranean Sea*. Marine Geology, 111: 83-92. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(93\)90189-3](https://doi.org/10.1016/0025-3227(93)90189-3)
- Díaz-Martínez, E.; Guillén Mondéjar, F.; Mata Pelló, J.M.; Muñoz Barco, P.; Nieto Albert, L.M.; Pérez Lorente, F.; de Santisteban Bové, C. (2008). Nueva legislación española de protección de la Naturaleza y desarrollo rural: implicaciones para la conservación y gestión del patrimonio geológico y la geodiversidad. *GeoTemas*, 10: 1311-1314.
- 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*. 59-72. Serie Geología y Geofísica, 3. Instituto Geológico y Minero de España. 210 p.
- García-Cortés, Á.; Carcavilla, L.; Vegas, J.; Díaz-Martínez, E. (2013). *Algunos resultados del inventario de lugares de interés geológico de la Cordillera Ibérica*. En: *Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo*. Cuadernos del Museo Geominero, 15 (Eds.: J. Vegas, A. Salazar, E. Díaz-Martínez y C. Marchán). Instituto Geológico y Minero de España, 379-388.
- 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 p.
- 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)*. Instituto Geológico y Minero de España, 61 p.
- García-Lozano, C. (2019). *Els sistemes dunars de la costa catalana: evolució històrica, estat actual i potencial de restauració*. Tesis doctoral. Universitat de Girona, Girona.
- García-Lozano, C., Pintó, J., Roig-Munar, F.X. (2020). *Set of indices to assess dune development and dune restoration potential in beach-dune systems on Mediterranean developed coasts*. *Journal of Environmental Management*, 259, 1-109754. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109754>
- Hesp, P. A. (2002). *Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology, and dynamics*. *Geomorphology*, (48), 245-268. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00184-8](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00184-8)
- Inventari Espais Interès Geològic de Catalunya EICG (2004). *Les Llacunes-Aiguamolls de l'Alt Empordà (166)*. Generalitat de Catalunya Departament de Medi Ambient i Habitatge Direcció General del Medi Natural, 26 pp.
- Marquès, M.A., Julià, R. (1983). *Coastal problems in Alt Empordà, Catalonia*. In: Fabri, P., & Bird, E. (eds.) *Coastal Problems in the Mediterranean Sea*. 83-94.
- Marquès, M.A. y Julià, R. (1988). *St. Pere Pescador beach-dune interaction*. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 3, 57-61.
- Marquès, M. A., Julià, R., Muntaner, J., Montaner, J. (2011). *Las dunas de la costa norte catalana*. En E. Sanjaume & F. J. Gracia (Ed.), *Las dunas en España* (p. 187-203). Cádiz: Sociedad Española de Geomorfología.
- Monge-Ganuzas, M., Mendia, M. y Hilarío, A. (2011). *La estrategia de geodiversidad en el País Vasco*. En: E. Fernández-Martínez, y R. Castaño de Luis (Eds.), *Avances y retos en la conservación del Patrimonio geológico de España - Actas de la IX Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico (Sociedad Geológica de España)*. Universidad de León, 201-206.
- Parteli, E. J. R., Durán, O., Bourke, M. C., Tsoar, H., Pöschel, T., Herrmann, H., (2014). *Origins of barchan dune asymmetry: Insights from numerical simulations*. *Aeolian Research* 12, 121-133. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2013.12.002>
- Pintó, J.; Garcia-Lozano, C. (2016). *Transformació històrica recent i situació actual del paisatge dunar a Catalunya*. En F. X. Roig-Munar (Ed.), *Restauració i gestió de sistemes dunars. Estudi de casos* (p. 81-99). Palafrugell: Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis.
- Roig-Munar, F. X.; Vicens, J.; Mir-Gual, M.; Martín-Prieto, J. A.; Pons, G. X. (2013). *Evolució espacial temporal (1956-2012) de los sistemas dunares del Baix y Alt Empordà (Girona, Cataluña)*. *Geo-Temas*, 14, (VII Jornadas de Geomorfología litoral), 99-102.
- Roig-Munar, F. X.; Pintó, J.; Vicens, J.; Martín-Prieto, J. Á.; Ramos, S; Garcia-Lozano, C. (2017). *Análisis de la evolución del sistema dunar de la Pletera (Costa Brava, Cataluña) mediante el uso de variables geomorfológicas y de gestión*. *Geo-Temas*, 17 (IX Jornadas de Geomorfología litoral), 75-178.

Roig-Munar F.X.; Martín-Prieto, J.; Pintó, J.; Ramos, S.; Vicens, J.; Rodríguez-Perea, A.; Garcia-Lozano, C.; Gelabert B. (2018). *Análisis de la evolución de los sistemas dunares del Alt y Baix Empordà (Costa Brava, Catalunya) mediante el uso de variables geomorfológicas y de gestión* En: García, C., Gómez-Pujol, L., Morán-Tejeda, E., Batalla R.J. (eds). *Geomorfología del Antropoceno. Efectos del cambio global sobre los procesos geomorfológicos*. UIB, SEG, Palma. 169-172 pp.

Roig-Munar, F.X.; Garcia-Lozano, C.; Pintó, J.; Martín-Prieto, J.A., (2020). Spatio-temporal

evaluation of the geomorphological state of beach-dune systems using management criteria. *Land Degradation and Development*, 1-13. <https://doi.org/10.1002/ldr.3677>

Tsoar, H.; Blumberg, D.G. (2002). *Formation of parabolic dunes from barchans and transverse dunes along Israel's Mediterranean coast*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27: 1147-1161. <https://doi.org/10.1002/esp.417>

Recibido el 9 de abril de 2020

Aceptado el 24 de septiembre de 2020

