

## Condicionantes geológicos en la conservación del patrimonio paleontológico

José Manuel García-Aguilar, Antonio Guerra-Merchán, Sergio Ros-Montoya, M.<sup>a</sup> Patrocinio Espigares, Paul Palmqvist | Dpto. de Ecología y Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga

URL de la contribución <[www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/4082](http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/4082)>

### RESUMEN

Se lleva a cabo una revisión de los conceptos, procedimientos y normativa legal vigente utilizados en la definición, catalogación, conservación y puesta en valor del patrimonio geológico y paleontológico. Así mismo, se analizan de modo específico los condicionantes geográficos y geológicos ligados a los lugares de interés paleontológico definidos hasta el momento en España, así como los factores involucrados en la formación y conservación de los yacimientos paleontológicos. Para este último elemento, se han tomado como ejemplos ilustrativos los yacimientos arqueopaleontológicos presentes en la cuenca neógeno-cuaternaria de Baza-Orce (Granada).

### Palabras claves

Conservación | Cuenca de Baza-Orce (Granada) | Lugares de interés paleontológico | Paleontología | Patrimonio geológico | Patrimonio paleontológico | Yacimientos paleontológicos |



Los lugares de interés paleontológico ligados a medios sedimentarios marinos constituyen una clara mayoría en España. En la imagen, huella fósil de *Arisphinctes*, ammonioideo del Malm (Jurásico superior) ligado a una sedimentación carbonatada de plataforma marina (Torcal de Antequera, Málaga) | foto José Manuel García-Aguilar, autor de todas las imágenes, tablas y gráficos que ilustran este artículo, salvo que se indique lo contrario

## INTRODUCCIÓN

Al igual que la paleontología es una disciplina de la geología, el patrimonio paleontológico se considera incluido dentro del patrimonio geológico. La Ley 42/2007, relativa al Patrimonio Natural y la Biodiversidad, considera al patrimonio geológico como “el conjunto de recursos naturales geológicos de valor científico, cultural y/o educativo, ya sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, meteoritos, fósiles, suelos y otras manifestaciones geológicas que permiten conocer, estudiar e interpretar: a) el origen y 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 evolución de la vida”. El patrimonio geológico está formado por todos aquellos lugares de interés geológico, conocidos en España como LIG e internacionalmente como *Geosites*, cuyo valor les hace destacar del entorno circundante por su interés científico y/o educativo (DURÁN; CARCAVILLA; LÓPEZ-MARTÍNEZ, 2005; CARCAVILLA; PALACIO, 2010; CARCAVILLA; DELVENE; DÍAZ-MARTÍNEZ et ál., 2014; GARCÍA-CORTÉS; CARCAVILLA; DÍAZ-MARTÍNEZ et ál., 2014).

Un concepto íntimamente ligado al de patrimonio geológico es el de geodiversidad, entendida en esta misma Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad como “la variedad de elementos geológicos, incluidos rocas, minerales, fósiles, suelos, formas del relieve, formaciones y unidades geológicas y paisajes que son el producto y registro de la evolución de la Tierra”. Tal definición se refiere al número, variedad y calidad de los elementos geológicos presentes en un lugar, los procesos que dan lugar a cada uno de ellos y los recursos naturales de origen geológico, frente al valor de los mismos, representado por el patrimonio geológico. La geodiversidad representa la memoria de la Tierra, que pertenece al patrimonio natural y cultural de la humanidad (CARCAVILLA; LÓPEZ-MARTÍNEZ; DURÁN, 2007; CARCAVILLA; DELVENE; DÍAZ-MARTÍNEZ et ál., 2014). Por otra parte, un georrecurso se considera todo elemento, conjunto de elementos o espacios de valor geológico que posean un elevado valor científico–didáctico o sean utilizables como recurso para aumentar los valores culturales, socioeconómicos o recreativos de la zona donde se halla (ELIZAGA, 1988). Así, cada elemento del patrimonio geológico se considera un georrecurso.

La geodiversidad, el patrimonio geológico y los georrecursos mantienen una estrecha relación, permitiendo relacionar a la Tierra con la sociedad humana, ya que ofrece oportunidades para el desarrollo social, cultural y económico a escala local y regional. En este sentido, España posee un enorme potencial para el aprovechamiento de su patrimonio geológico y su geodiversidad mediante la declaración de figuras de protección específicas como son los parques geológicos y geoparques, y su adecuada puesta en valor social, divulgativa y turística (DURÁN; CARCAVILLA; LÓPEZ-MARTÍNEZ,



2005; CARCAVILLA; PALACIO, 2010; CARCAVILLA; LÓPEZ-MARTÍNEZ; DURÁN, 2007; CARCAVILLA; DELVENE; DÍAZ-MARTÍNEZ et ál., 2014; GARCÍA-CORTÉS; CARCAVILLA; DÍAZ-MARTÍNEZ et ál., 2014).

En las últimas décadas, la importancia del patrimonio geológico y la geodiversidad ha llevado al desarrollo de numerosas iniciativas por parte de instituciones que fomentan su conocimiento, conservación, divulgación y uso sostenible, quedando estos lugares protegidos mediante la declaración de diferentes figuras de protección, como es el caso del Torcal de Antequera, situado en la provincia de Málaga. Entre estas instituciones cabe destacar al Instituto Geológico y Minero de España (IGME), la Comisión de Patrimonio Geológico de la Sociedad Geológica de España (SGA), la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero de España (SEDPGYM), la Asociación Europea para la Conservación del Patrimonio Geológico (pro-GEO) y distintas administraciones estatales, autonómicas y locales.

## ANTECEDENTES

La preocupación por el conocimiento, la conservación y la valoración del patrimonio geológico surgió en países como Gran Bretaña a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, pues algunos científicos entendían que ciertos enclaves naturales poseían un valor intrínseco por sí mismos y, por lo tanto, debían ser protegidos y conservados. En este sentido, resulta incuestionable que la mayoría de enclaves con alto valor geológico están constituidos por recursos no renovables y su destrucción resulta normalmente irreversible (CARCAVILLA; LÓPEZ-MARTÍNEZ; DURÁN, 2007; CARCAVILLA; DELVENE; DÍAZ-MARTÍNEZ et ál., 2014).

El Torcal de Antequera (Málaga) constituye uno de los lugares de interés geológico más importantes de España y una de las zonas exokársticas más espectaculares de Europa. Incluye una extraordinaria geodiversidad, centrada en aspectos geomorfológicos, estratigráficos, sedimentológicos, paleontológicos, tectónicos e hidrogeológicos. En la actualidad, el Torcal de Antequera se halla bajo la figura de protección de paraje natural y cuenta con un centro de interpretación, rutas balizadas y numerosas actividades divulgativas encaminadas al conocimiento de la geología en sentido amplio

En todo caso, la divulgación social y cultural del patrimonio geológico comienza su desarrollo sistemático en la década de los 70 del siglo XX, en países con gran tradición geológica como Estados Unidos, Gran Bretaña o Alemania, donde se inician programas al respecto a través de instituciones encargadas de su estudio y puesta en valor, así como la creación de zonas turísticas en las que ofrecer maravillas geológicas, como el Cañón del Colorado (Arizona, Estados Unidos), una de las principales atracciones geoturísticas mundiales, con más de seis millones de visitantes en 2016 (documento en línea: <https://www.nps.gov/grca/learn/news/6-millionth-visitor-2016.htm>, consulta 7/junio/2017). A partir de estos inicios, el desarrollo del patrimonio geológico y los recursos geológicos como elementos culturales, sociales y económicos despegan en numerosos países de Europa, América y Oceanía, incluyendo la creación de leyes y fórmulas de protección para aquellos espacios de especial interés geológico, al igual que sucedía ya con los de interés biológico.

En España, los antecedentes iniciales sobre difusión del patrimonio geológico aparecen en las primeras décadas del siglo XX, ligados a la labor de Eduardo Hernández Pacheco y Estevan, pionero en la divulgación de la geología en España, quien desde el comienzo de su carrera científica estuvo en contacto con la Institución Libre de Enseñanza. Así, en 1918 se crearon los primeros parques naturales en España (Ordesa y Covadonga) y, en 1917, la Cueva de Altamira (Cantabria), “capilla sixtina” del arte parietal del Paleolítico, se abre al público, siendo declarada monumento nacional en 1924. Algo más tarde, comienzan las visitas turísticas a la Cueva del Drach (Mallorca), visitable desde 1935, y a la Cueva de Nerja (Málaga), abierta al público en 1960, siendo las precursoras del turismo geológico en nuestro país (GARCÍA-AGUILAR, 2014). Ya en la década de los 70 del pasado siglo comienza una primera difusión general de los recursos geológicos españoles, diseminada en publicaciones, guías de campo o reportajes televisivos relacionados con el conocimiento de los ecosistemas, así como mediante actividades turísticas llevadas a cabo en espacios naturales y zonas de montaña.

En el periodo 1995-1999 comienzan a darse en el conjunto del Estado Español los primeros pasos hacia la creación de parques geológicos y la definición de “geosites” a través de distintas instituciones públicas, propiciando el establecimiento de figuras de protección legal sobre recursos geológicos y un aumento significativo de publicaciones sobre estas temáticas (CENDRERO, 1996; MORALES, 1996; ELIZAGA; PALACIO, 1996; ARANA; RODRÍGUEZ-ESTRELLA; MANCHEÑO et ál., 1999, entre otras). Paralelamente, en esos años se incrementa el número de propuestas turísticas, culturales y didácticas sobre contenidos geológicos en nuestro país. Es a partir de 2004 cuando el panorama sobre el conocimiento y la difusión del patrimonio geológico a nivel mundial logran un mayor desarrollo. Varios hitos marcan esta tenden-

cia, entre ellos la creación de una red mundial de “geoparques” y “geosites” en 2004 por parte de la UNESCO, cuya implementación ha permitido la catalogación, protección y puesta en valor de estos recursos en muchos países. Fruto de este programa es la creación a fecha 2017 en España de 12 geoparques y la definición de un listado de cientos de *geosites* o puntos de interés geológico en todo el territorio español (CARCAVILLA; PALACIO, 2010; INVENTARIO, 2017).

También en España, varias leyes aprobadas en 2007 (5/2007 de la Red de Parques Nacionales, 42/2007 del Patrimonio Natural y la Biodiversidad y 45/2007 para el Desarrollo Sostenible del Medio Rural) se encargan de dar figura jurídica de protección a las zonas de especial interés geológico. En la actualidad, el estudio, protección, divulgación y puesta en valor del patrimonio geológico constituye una de las apuestas más firmes y decididas sobre el medio natural. Prueba de ello es la elaboración, desde el año 2000, de más de un centenar de estudios sobre geodiversidad y patrimonio geológico en casi todas las comunidades españolas, ofreciendo multitud de propuestas para su conocimiento y disfrute. Además, se han multiplicado los centros de interpretación, museos, agencias y organismos que desarrollan actuaciones específicas sobre su promoción y puesta en valor, así como la definición de cientos de puntos y lugares de interés geológico mediante programas e informes elaborados por instituciones públicas y privadas. Como ejemplo, cabe citar a la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (ESTRATEGIA, 2011), que llevó a cabo desde 2002 un protocolo de actuación sobre geodiversidad y patrimonio geológico en el territorio andaluz, fruto del cual ha sido la delimitación de 14 zonas de especial interés geológico mediante la definición de 655 puntos de interés geológico catalogados según 11 temáticas geológicas. De todos los puntos de interés geológico definidos en Andalucía, un 11% tratan sobre recursos paleontológicos.

Otro hito en esta historia aparece con el desarrollo de Internet, donde se vienen publicando desde comienzos del siglo XXI numerosas páginas web, portales y blogs sobre rutas y zonas de interés naturalista, las cuales incluyen la descripción, con mayor o menor rigor, de lugares y fenómenos de interés geológico. Esta información, elaborada por instituciones, asociaciones, colectivos e incluso particulares, constituye en la actualidad una importante base informativa.

El horizonte de futuro frente al desarrollo del patrimonio geológico pasa por una adecuada estrategia de conservación y divulgación a través de los distintos medios de comunicación social y, sobre todo, por la creación de iniciativas turísticas, culturales y de ocio, diseñadas a tales efectos por agencias, organismos e instituciones encargadas de dinamizar y ofrecer tales actividades. Por último, sería deseable una extensión sobre el conocimiento de este patrimonio al ámbito educativo, a través de la creación de cursos, progra-

mas, materias o contenidos específicos donde difundir, investigar, valorar y aprovechar las múltiples posibilidades que ofrece toda esta riqueza desde el punto de vista cultural, científico, social y económico.

## **GEOPARQUES**

Un elemento íntimamente relacionado con la conservación y la puesta en valor del patrimonio geológico son los geoparques. Un geoparque, en el sentido en que lo define la UNESCO, es un territorio que presenta un patrimonio geológico excepcional, sujeto a un proyecto de fomento basado en su promoción turística y desarrollo socioeconómico. La declaración de un geoparque se basa en tres principios: uno, la existencia de un patrimonio geológico que sirva de protagonista y eje conductor; en segundo lugar, la puesta en marcha de iniciativas de geoconservación y divulgación; y, por último, el potencial de desarrollo socioeconómico y cultural a escala local. Por ello, los geoparques deben tener unos límites claramente definidos y una extensión adecuada para asegurar el desarrollo económico de la zona, pudiendo incluir áreas terrestres, marítimas o subterráneas. Las zonas adecuadas para proponer un geoparque deben contener varios puntos de interés geológico, preferentemente con accesos practicables, y que abarquen una geodiversidad singular.

Los geoparques surgieron a principios de la década de los 90 del siglo XX en Europa, siendo Francia, Alemania, Grecia y España los socios fundadores. En junio del año 2000 se creó la Red de Geoparques Europeos (European Geoparks Network, EGN) y, más tarde, la UNESCO auspició este programa europeo, extendiéndolo a todo el mundo. Se creó de este modo la red mundial de geoparques (World Geoparks) como una actividad complementaria del Programa Internacional de Geociencias (PICG).

Desde entonces el número de geoparques ha ido en aumento, hasta un total de 120 repartidos en 33 países (a fecha de septiembre de 2017), de los cuales 66 están en Europa, repartidos por 22 naciones. España posee doce geoparques: El Maestrazgo (Teruel), Zumaia-Costa Vasca (Guipúzcoa), Sobrarbe (Pirineo de Huesca), Las Loras (Burgos-Palencia), Parque Natural de las Sierras Subbéticas (Córdoba), Parque Natural del Cabo de Gata (Almería), Sierra Norte de Sevilla, Villuercas-Ibores-Jara (Cáceres), Cataluña Central (Barcelona), Comarca de Molina de Aragón-Alto Tajo (Guadalajara), Isla del Hierro (Islas Canarias) y Lanzarote y Archipiélago Chinijo (Islas Canarias). Además, existen otras muchas iniciativas en marcha para nuevas propuestas.

Una vez otorgado el certificado de geoparque, éste no tiene validez indefinida, pues es evaluado cada tres años. Para ello, se valora especialmente el desarrollo de las actividades geoturísticas, la conservación del medio natu-

ral y la colaboración entre los miembros de la red. También existe la figura local de “parque geológico”. Sus objetivos son similares a los de los geoparques, aunque no pertenecen a la Red de Geoparques y, por tanto, su funcionamiento no está regulado por la UNESCO. En España existen a fecha de septiembre de 2017 dos parques geológicos: Chera, en Valencia, y Aliaga, en Teruel.

## EL PATRIMONIO PALEONTOLÓGICO

Dentro del patrimonio geológico se puede definir el patrimonio paleontológico como el conjunto de restos directos o indirectos de organismos, resultado de su actividad biológica, que se han conservado en el registro geológico y al cual se le ha asignado un valor científico, didáctico o cultural (MORALES, 1996; MORALES; GÓMEZ; AZANZA, 2002; CARCAVILLA; LÓPEZ-MARTÍNEZ; DURÁN, 2007; CARCAVILLA, DELVENE; DÍAZ-MARTÍNEZ et ál., 2014). El patrimonio paleontológico se divide en “inmueble” y “mueble”. El primero de ellos se refiere a los yacimientos fosilíferos o afloramientos con un interés especial desde el punto de vista de su registro fósil, ya sea por su especial conservación, singularidad, abundancia, diversidad o importancia científica. El patrimonio paleontológico mueble se refiere a restos fósiles de especial interés y que se encuentran fuera del yacimiento o de su emplazamiento original, e incluye colecciones de fósiles expuestas en museos, instituciones académicas y científicas, exposiciones o centros de interpretación.

Estos lugares han proliferado en los últimos años, suponiendo un importante recurso didáctico y de ocio cultural para las poblaciones donde se encuentran. Al igual que el resto del patrimonio geológico, el patrimonio paleontológico está formado por los lugares de interés paleontológico (LIP). Algunos aspectos considerados a la hora de definir los LIP son: la representatividad y/o singularidad del registro geológico y del intervalo cronoestratigráfico

Ejemplos de patrimonio paleontológico mueble (izquierda, Museo Paleontológico de Orce, Granada) e inmueble (derecha, yacimiento de Fuentenueva-3 de edad Pleistoceno inferior en Orce, Granada)



representado; un contenido paleontológico singular; una singularidad mineralógica, petrológica o sedimentaria asociada; y ser registro de paleogeografías o paleoambientes que muestren la evolución geológica y biológica regional (MORALES, 1996).

La vulnerabilidad y los factores de riesgo (erosión, explotaciones mineras, urbanización, obras públicas, vertederos o expolios) que afectan al patrimonio paleontológico son habitualmente mayores que las de otros elementos del patrimonio geológico. Los fósiles tienen un interés social y cultural muy importante, constituyendo elementos susceptibles de ser expoliados por los coleccionistas. En este sentido, una vez se extrae un fósil del yacimiento y no se cataloga, el fósil deja de ser patrimonio geológico. Esta circunstancia ocurre cada vez que se lleva a cabo el expolio y la comercialización de un yacimiento paleontológico o de una parte del mismo. Este empleo ornamental de los fósiles puede derivar en un recurso comercial y económico, hasta el punto de entrar en conflicto con la administración o con los centros de investigación.

Por todo ello, la puesta en valor del patrimonio paleontológico tiene como objetivo promover su conservación y protección, divulgando el conocimiento científico para uso y disfrute de toda la sociedad, y acercando la paleontología al ciudadano. De hecho, los nuevos conocimientos obtenidos en la investigación del patrimonio paleontológico, por ejemplo, los relativos al contexto tafonómico en el que se generó un yacimiento concreto o los aspectos paleobiológicos relativos al género de vida de una especie pretérita en particular, constituyen en sí mismos un patrimonio de carácter inmaterial, cuyo valor divulgativo intrínseco puede exceder del que despierta la belleza del fósil en sí misma. Por ello, es necesario cuantificar, proteger y conservar aquellos yacimientos paleontológicos de alto valor patrimonial.

En la actualidad, dada la naturaleza dual histórica-natural del patrimonio paleontológico, la gestión de este patrimonio se enmarca entre la legislación referida al patrimonio histórico-artístico (Ley 16/1985 de Patrimonio Histórico Español) y la normativa correspondiente a la conservación del medio natural. Se da la contradicción de que este patrimonio, de indiscutible origen natural, queda gestionado por el Ministerio de Cultura y los Departamentos y Consejerías de Cultura de las comunidades autónomas. Como consecuencia, numerosas autonomías han desarrollado leyes específicas para regular la recuperación y la investigación del patrimonio paleontológico. Un caso particular es la asociación de yacimientos fosilíferos con restos arqueológicos, como las industrias líticas, donde intervienen la paleontología (a veces paleoantropología) y la arqueología. No suele ser tarea fácil valorar estos yacimientos desde un punto de vista patrimonial, porque los límites de competencias entre la paleontología y la arqueología se solapan en la mayoría de los casos (CARCAVILLA; DELVENE; DÍAZ-MARTÍNEZ et ál., 2014). La

Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad considera el patrimonio geológico en su conjunto, incluyendo el paleontológico, como patrimonio natural.

Una idea de la importancia científica actual del patrimonio paleontológico la tenemos en las XXXII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología celebradas en Molina de Aragón (Guadalajara) en septiembre de 2016 donde, de las 89 comunicaciones presentadas, 37 de ellas (un 42%) trataban sobre patrimonio paleontológico. En estos casos, las temáticas abarcaron aspectos tales como la definición de nuevos lugares de interés paleontológico (LIP), cuestiones legislativas, metodologías de valoración, aplicaciones didácticas y elementos de paleontología urbana, entre otras.

Otro dato sobre la relevancia del patrimonio paleontológico en el contexto del patrimonio geológico lo tenemos en el número de lugares de interés geológico de contenido específicamente paleontológico presentes en España. Así, de los 142 LIG catalogados en 2010 dentro del proyecto Global Geosites (CARCAVILLA; PALACIO, 2010), 43 (un 30%) corresponden a lugares de interés paleontológico. Hay que tener en cuenta que el conjunto de LIG abarcan múltiples temáticas geológicas: estratigrafía, sedimentología, geomorfología, paleontología, tectónica, petrología-geoquímica, minería, mineralogía, hidrogeología e historia de la geología, evaluados según una metodología específica (GARCÍA-CORTÉS; FERNÁNDEZ-GIANOTTI, 2005; GARCÍA-CORTÉS; CARCAVILLA; DÍAZ-MARTÍNEZ et ál. 2014).



La coexistencia de elementos arqueológicos y paleontológicos en un mismo yacimiento hace que, a menudo, existan conflictos de competencias y objetivos ligados a su exploración. En la imagen, el yacimiento arqueológico romano del Haza del Algarrobo (Mijas, Málaga), donde convergen restos de una antigua factoría romana (siglo I d. de C.) con fósiles marinos de edad Plioceno inferior

## LOS LUGARES DE INTERÉS PALEONTOLÓGICO EN ESPAÑA: CONTEXTOS GEOLÓGICOS Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) muestra en su página web ([www.igme.es](http://www.igme.es)), a fecha de junio de 2017, un inventario de 3.154 lugares de interés geológico (LIG) catalogados en el conjunto de España (INVENTARIO, 2017). Junto a esta información, aparece también un documento metodológico sobre las directrices y protocolos seguidos para el establecimiento de dicho inventario (DOCUMENTO, 2017). La información aportada sobre cada uno de los 3.154 lugares de interés geológico recogidos en este inventario se refiere a su código; nombre-topónimo; interés principal y secundario (en su caso) a través de 11 posibles temáticas geológicas (mineralogía, petrología-geoquímica, minería-metalogenia, geotecnia, hidrogeología, tectónica, estratigrafía, sedimentología, paleontología, geomorfología e historia de la geología); unidad geológica regional a la que pertenece; grado de confidencialidad; edad y descripción detallada, en la que se ofrecen: datos generales, localización (municipio, cota, hoja topográfica 1:50.000 y coordenadas geográficas), situación geológica, interés, uso y seguimiento, infraestructura del lugar (equipamiento público, accesos, duración de los itinerarios existentes, etc.), documentación gráfica y bibliografía. En el caso de tratarse de lugares de interés paleontológico, se incluye además el tipo de interés específico, la presencia de microfauna y/o macrofauna, así como los tipos de rocas sedimentarias donde se ubican los fósiles. A todo este compendio informativo se añade un mapa interactivo de España, donde se posiciona cada uno de los lugares de interés geológico.

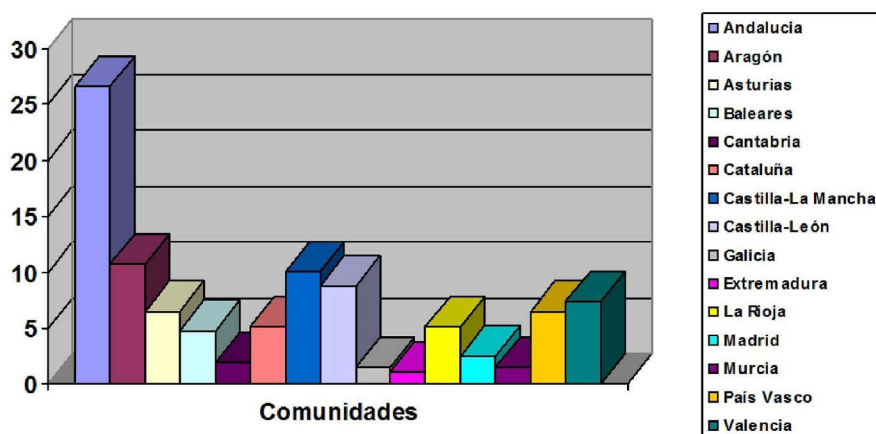
Mediante el análisis de esta información, a fecha de junio de 2017, se han deducido los siguientes datos en relación con los lugares de interés paleontológico (LIP) en España: de los 3.154 LIG inventariados, 525 corresponden a LIP (un 16,6% del total de LIG). De ellos, 224 presentan un interés paleontológico principal (42,7% del total de LIP y 7,1% del total de LIG) y 301 presentan un interés paleontológico secundario (57,3% del total de LIP y 9,5% del total de LIG).

Toda la información anterior permite deducir una serie de conclusiones relevantes sobre la distribución del patrimonio paleontológico en España. Un primer dato de interés apunta a que sólo el 7,1% de todos los lugares de interés geológico presentan como temática principal algún fenómeno paleontológico. El porcentaje se eleva hasta el 16,5% si añadimos aquellos LIG que presentan a la paleontología como interés secundario. Este dato invita a considerar la necesidad de una mayor prospección, catalogación y puesta en valor de los yacimientos paleontológicos a nivel estatal. Otras temáticas geológicas, como son el caso de la geomorfología o la estratigrafía, presentan en este sentido un número mucho mayor de lugares de interés geológico que aquellos relacionados con la paleontología.

A partir de la información contenida en los 525 lugares de interés paleontológico definidos hasta la fecha se ha llevado a cabo un análisis específico mediante gráficas que recogen la distribución de los LIP en España por comunidades autónomas, por edades geológicas y por ambientes sedimentarios.

En cuanto a la distribución espacial de lugares de interés paleontológico, tenemos que de las 15 comunidades autónomas que presentan un patrimonio paleontológico catalogado, ocho exponen cada una de ellas entre un 5 y un 11% del total de LIP: Aragón, Asturias, Cataluña, Castilla-La Mancha, Castilla-León, La Rioja, Valencia y País Vasco. Otras seis exponen menos del 5% de este patrimonio en cada caso: Baleares, Cantabria, Galicia, Murcia, Madrid y Extremadura. Finalmente, una comunidad (Andalucía) concentra el 26,5% de los LIP españoles. Las causas de estas diferencias se deben a varios factores, entre los que destacan en primer lugar la superficie de las distintas comunidades y, especialmente, su variedad geológica, puesto que la presencia mayoritaria de formaciones sedimentarias de distintas edades, como es el caso de Andalucía, favorece la aparición de yacimientos paleontológicos. No obstante, deben ser considerados en este sentido otros factores, como son las políticas llevadas a cabo a nivel autonómico para la prospección, catalogación y puesta en valor de su patrimonio paleontológico.

En todo caso, cabe realizar un análisis sobre la concentración y riqueza paleontológica de cada comunidad española promediando el factor superficie. Un valor significativo en este sentido es la relación entre la superficie de cada comunidad y su número de LIP. En este caso, podemos diferenciar 4 tipos de comunidades según este factor: las que poseen un índice menor de 0,5; las que poseen un índice entre 0,5 y 1; las que poseen un índice entre 1 y 2; y las que poseen un índice mayor de 2. El primer grupo de comunidades, con índices SNL menores de 0,5, incluye a Castilla-León, Galicia y, sobre todo, Extremadura, regiones que pese a poseer una extensión considerable



Porcentaje de lugares de interés paleontológico por comunidades españolas

COMUNIDAD	NÚMERO DE LIP	% SOBRE EL TOTAL	SUPERFICIE (KM <sup>2</sup> )	ÍNDICE SNL (*)
Andalucía	139	26,5	87.268	1,59
Aragón	56	10,7	47.719	1,17
Asturias	34	6,5	10.604	3,21
Baleares	25	4,8	4.992	5,01
Cantabria	10	1,9	5.321	1,88
Cataluña	27	5,1	32.108	0,84
Castilla-La Mancha	53	10,1	79.463	0,67
Castilla-León	46	8,8	94.222	0,49
Galicia	8	1,5	29.574	0,27
Extremadura	6	1,1	41.634	0,14
La Rioja	27	5,1	5.045	5,35
Madrid	13	2,5	8.030	1,62
Murcia	8	1,5	11.313	0,71
País Vasco	34	6,5	7.234	4,70
Valencia	39	7,4	23.255	1,68

Tabla 1. Datos sobre la distribución de lugares de interés paleontológico por comunidades españolas

(\*): índice calculado mediante la fórmula  $(n.º \text{ de LIP's} / \text{superficie en km}^2) \times 1.000$

y una catalogación adecuada de sus recursos geológicos, su contexto geológico se encuentra dominado por formaciones metamórficas y plutónicas, lo que hace que su patrimonio paleontológico sea limitado.

En el segundo grupo de comunidades, aquellas con un índice SNL entre 0,5 y 1, se encuentran Castilla-La Mancha, Cataluña y Murcia. Conviene destacar que, aunque las tres abarcan superficies muy diferentes, presentan todas ellas una variedad geológica notable. Por ello, su discreto índice cabe interpretarlo en base a una limitada prospección y catalogación de sus recursos paleontológicos frente al potencial existente.

El tercer grupo de comunidades, con índices SNL entre 1 y 2, comprende a Andalucía, Aragón, Cantabria, Madrid y Valencia, las cuales poseen extensiones muy dispares, contextos geológicos variados y políticas activas de puesta en valor del patrimonio geológico. Se consideran dentro del estándar medio en cuanto a este factor.

El resto de comunidades, con un índice SNL mayor de 2 (Asturias, Baleares, La Rioja y País Vasco), muestra extensiones limitadas y marcos geológicos dominados por formaciones sedimentarias. En todos estos casos, se considera que una acertada política de prospección y puesta en valor de los recursos paleontológicos ha favorecido una relación adecuada entre su extensión y el número de LIP inventariados.

Las comunidades españolas no catalogadas en cuanto a la aparición de LIG (Navarra, Canarias, Ceuta y Melilla), lo son en respuesta a distintos factores. En el caso de Canarias, resulta lógico hasta cierto punto si tenemos en cuenta su contexto geológico, dominado por formaciones volcánicas, mientras que, en Ceuta y Melilla, su escasa extensión y variedad geológica no ha permitido aún la definición de LIG. El caso de Navarra resulta llamativo, pues muestra una extensión apreciable, una variedad geológica de formaciones sedimentarias y políticas activas de prospección y puesta en valor del patrimonio geológico. De este modo, cabe esperar en un futuro cercano la aparición en esta comunidad de lugares de interés paleontológico.

Un nuevo valor numérico de interés de cara al análisis del patrimonio paleontológico español se refiere al índice SCL (tabla 2), que relaciona la superficie cartográfica estimada de cada periodo geocronológico (épocas para el Neógeno-Cuaternario) en España con el número de LIP catalogados en cada uno de los mismos. Este índice nos informa sobre varios factores, como la riqueza paleontológica de cada periodo geocronológico, el grado de conservación de los distintos yacimientos paleontológicos presentes, en principio tanto mejor cuanto más modernos, y la presencia en cada periodo de los medios sedimentarios adecuados para la formación de tales yacimientos paleontológicos.

Respecto a los valores del índice SCL, destaca el periodo Cretácico con un valor de 13,73, seguido del Plioceno, Pleistoceno, Jurásico y Mioceno,



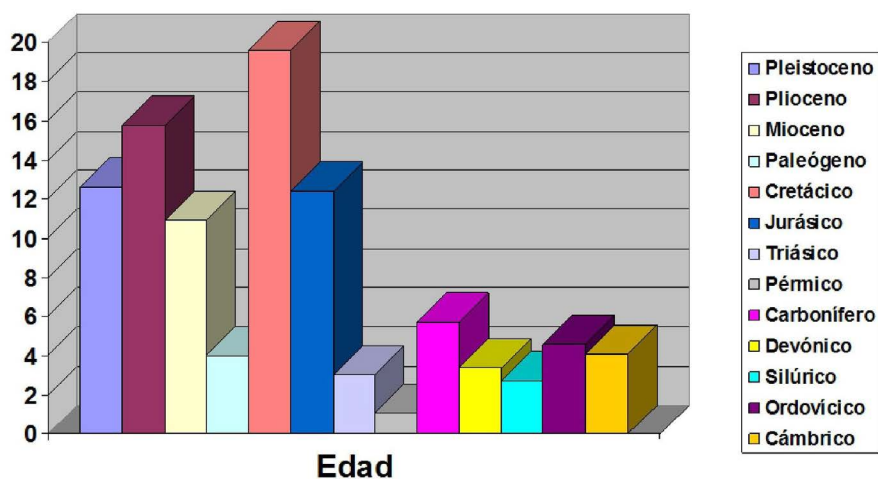
Índices SNL por comunidades autónomas. En el caso de Navarra, no hay catalogado a fecha 2017 ningún lugar de interés paleontológico

con índices SCL que oscilan entre 7 y 8,5. En el otro extremo tenemos el Paleógeno y el Triásico, con índices menores de 4. El resto de periodos geocronológicos, correspondientes al Paleozoico, muestra índices SCL bastante similares, entre 4 y 6.

Estos datos sugieren que el Cretácico es el periodo más productivo en España desde el punto de vista de la definición de LIP, y que muestra buenas condiciones geológicas para la formación de yacimientos paleontológicos, como son una adecuada extensión cartográfica, buenos afloramientos y ambientes sedimentarios apropiados. Le siguen en este sentido tres épocas y un periodo, Plioceno, Pleistoceno, Jurásico y Mioceno.

Los periodos del Paleozoico se estiman dentro de la media frente a estos parámetros, mientras que el Paleógeno y el Triásico muestran en España las peores condiciones geológicas para la presencia y conservación de patrimonio paleontológico, lo que se debe esencialmente a su limitada extensión cartográfica y la presencia de medios sedimentarios poco prolíficos en cuanto al desarrollo de yacimientos paleontológicos, como los ambientes continentales aluviales o marinos profundos, en general azoicos.

Además de la información indicada anteriormente, el análisis de los 525 lugares de interés paleontológico ofrece una serie de datos de interés acerca de LIP de carácter especial. Entre ellos, destaca la catalogación hasta la fecha en España de 48 yacimientos paleontológicos con restos de dinosaurios (un 9,1% del total de LIP), concentrados sobre todo en las comunidades de La Rioja y Aragón. Ocho lugares de interés paleontológico (1,5% del total de LIP) lo son por mostrar en su registro sedimentario el límite K-T (Cretácico-Terciario), de notorio interés desde el punto de vista paleobiológico.



Porcentaje de lugares de interés paleontológico en España por edades geológicas (en el caso del Paleógeno, se incluyen los periodos Paleoceno, Eoceno y Oligoceno)

PERIODO GEO-CRONOLÓGICO	NÚMERO DE LIP	(%) SOBRE EL TOTAL	ÍNDICE SCL (**)
Pleistoceno	66	12,6	7,76
Plioceno	83	15,8	8,30
Mioceno	57	10,9	7,13
Paleógeno	21	4,1	3,23
Cretácico	103	19,6	13,73
Jurásico	65	12,4	7,65
Triásico	16	3,0	3,55
Pérmico	6	1,1	4,00
Carbonífero	30	5,7	4,29
Devónico	18	3,4	6,00
Silúrico	14	2,7	4,00
Ordovícico	24	4,6	6,00
Cámbrico (1)	21	4,1	6,00

gico. Por último, tenemos 49 lugares de interés paleontológico correspondientes a icnitas, de los que 42 son de carácter continental (8% del total de LIP) y siete de carácter marino (1,3% del total de LIP).

## RELACIÓN ENTRE AMBIENTES SEDIMENTARIOS Y YACIMIENTOS PALEONTOLÓGICOS

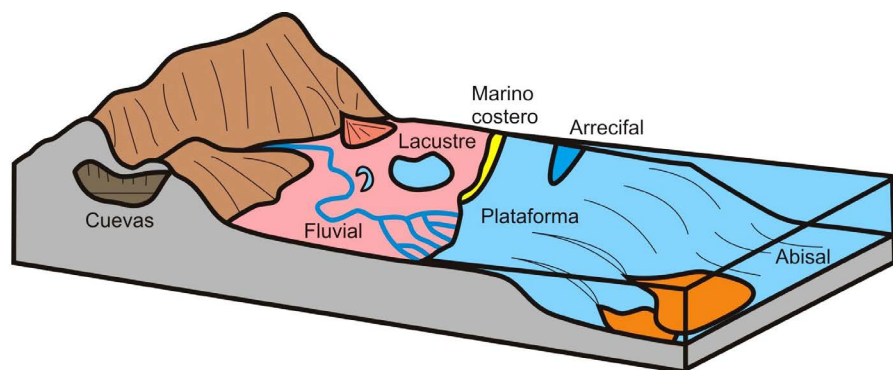
Resulta evidente la relación entre el tipo de ambiente sedimentario y la formación de yacimientos paleontológicos. La gráfica que relaciona el tipo de medio sedimentario con el porcentaje de LIP presentes en España nos ofrece una idea precisa sobre el particular. De este modo, vemos cómo los medios sedimentarios marinos ligados a márgenes continentales (plataformas continentales, zonas costeras y arrecifes) suponen el origen de casi el 61% de los lugares de interés paleontológico españoles. Tales ambientes sedimentarios ofrecen las características idóneas para la formación de yacimientos fósiles, incluyendo la presencia de biotas muy productivas con alta biomasa y diversidad, la abundancia de especies de pequeño tamaño bien esqueletizadas, lo que favorece su conservación, y la existencia de tasas de sedimentación elevadas en respuesta a patrones tectónicos de subsidencia apreciable.

El siguiente conjunto de medios sedimentarios, en orden de abundancia de LIP ligados a ellos, son los de carácter continental. Los medios de tipo fluvial (llanuras de inundación esencialmente) y lacustres suponen el origen de

Tabla 2. Datos sobre la distribución de lugares de interés paleontológico en España por edades geológicas.

(\*\*): índice calculado mediante la fórmula (Número de LIP's definidos en ese periodo / % estimado de la superficie cartográfica nacional del periodo geológico considerado). La estimación de las distintas superficies cartográficas se ha realizado mediante el mapa geológico de España a escala 1:1.000.000 en su edición digital del año 2015 (documento en línea: [http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/geologicos1M/Geologico1000\\_\(2015\)/pdfs/EditadoG1000\\_\(2015\).pdf](http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/geologicos1M/Geologico1000_(2015)/pdfs/EditadoG1000_(2015).pdf)) (Consulta: 24/04/2018), considerando los afloramientos de rocas sedimentarias de las distintas edades.

(1): algunos de estos lugares de interés geológico pueden pertenecer al Precámbrico.



Ambientes sedimentarios ligados a la aparición de yacimientos paleontológicos

casi un 30% de los lugares de interés paleontológico españoles. Los rasgos sedimentológicos de estos ambientes son claramente diferenciales respecto a los marinos someros: menor tasa de sedimentación general, lo que induce a concentrar en la columna estratigráfica los posibles yacimientos paleontológicos, facies específicas como lutitas, areniscas y carbonatos lacustres, una menor productividad orgánica general, salvo excepciones, y la presencia de especies fósiles características, como plantas y diversos taxones de (micro)-vertebrados.

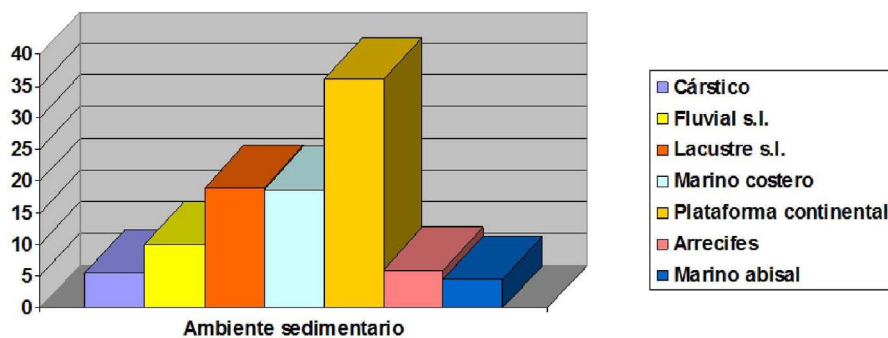
También resulta común en estos ambientes la presencia de icnitas. Prueba de ello es que de los 49 LIP que contienen icnitas, 42 (un 86%) corresponden a especies continentales. Además, estos escenarios sedimentarios fluvio-lacustres resultan idóneos para la aparición de yacimientos de dinosaurios. En España se han catalogado hasta el momento 48 lugares de interés paleontológico que contienen restos de dinosaurios. La repercusión social y educativa de estos lugares, fomentada por los medios de comunicación, hace que posean un especial interés.

Los ambientes sedimentarios restantes ligados a puntos de interés paleontológico en España son claramente minoritarios, en torno al 10%. Se trata de cavidades cársticas, con un 5,5% de los LIP, que suelen albergar yacimientos de grandes vertebrados y, de modo particular, fósiles humanos. Pese a su escasa representación, tales ambientes resultan de extraordinario interés por sus repercusiones paleoantropológicas, como es el caso de la Sima de los Huesos en Atapuerca, Burgos (CERVERA; ARSUAGA; BERMÚDEZ DE CASTRO et ál., 1998), Cueva de El Sidrón en Asturias (ROSAS; AGUIRRE, 1999) o la Cueva de Maltravieso en Cáceres (documento en línea: <http://maltravieso.rupestre.org>) (Consulta: 24/04/2018).

Por último, los ambientes sedimentarios de tipo marino abisal marcan el origen del 4,6% de LIP. Las condiciones biogeológicas de estos escenarios, como su baja subsidencia general, menor productividad orgánica, dificultad

de llegar a aflorar en superficie, etc., explican esta escasa representación y los tipos de fósiles que conservan, en general microscópicos (como por ejemplo foraminíferos). No obstante, estos ambientes presentan el interés especial de estar ligados en muchas ocasiones a LIP donde aparecen el límite estratigráfico K-T (Cretácico-Terciario, 65 m.a.), de relevantes repercusiones en la extinción de los dinosaurios. En España, hay definidos hasta el momento ocho de estos lugares donde es posible observar tal límite estratigráfico, entre los que podemos destacar los situados en Agost (Alicante), Zumaia y Sopelana (País Vasco) y Caravaca (Murcia).

A su vez, el catálogo de ambientes sedimentarios descritos presenta una correlación bastante efectiva con las edades de los distintos lugares de interés paleontológico. De este modo, los medios marinos de plataforma continental fueron mayoritarios en el Paleozoico inferior, Jurásico y Cretácico. El conjunto de estos tres periodos cronológicos supone más del 43% de la edad de todos los LIP españoles. Por otra parte, los medios continentales suelen dominar durante el Carbonífero, Pérmico, Triásico, Plioceno y Pleistoceno. El conjunto de estos periodos supone en torno al 42% del total. El 15% restante de las edades marcan la presencia habitual de ambientes sedimentarios arrecifales (Devónico y Mioceno) y marinos pelágicos (Paleógeno).



AMBIENTE SEDI-MENTARIO	NÚMERO DE LIP	(%) SOBRE EL TOTAL
Cárstico	29	5,5
Fluvial s.l.	53	10,1
Lacustre s.l.	100	19
Marino costero	98	18,7
Plataforma continental	189	36
Arrecifes	32	6,1
Marino pelágico	24	4,6

Porcentaje de lugares de interés paleontológico en España por ambiente sedimentario

Tabla 3. Datos sobre la distribución de lugares de interés paleontológico en España por ambientes sedimentarios

## CONDICIONANTES GEOLÓGICOS ESPECÍFICOS EN LA FORMACIÓN DE UN YACIMIENTO PALEONTOLÓGICO

La formación de un yacimiento paleontológico implica una serie de circunstancias geológicas que permitan básicamente dos fenómenos: la acumulación concentrada de restos orgánicos *post-mortem* (tanatocenosis) en un área sujeta a una subsidencia neta y el enterramiento rápido que permita su conservación, aislando estos restos orgánicos de microorganismos y agentes mecánicos y/o atmosféricos que induzcan a su desaparición (ABEL, 1928; MELÉNDEZ, 1977). En tales circunstancias tafonómicas, los tejidos blandos de los seres vivos suelen desaparecer, fosilizando sus partes minerales (conchas, caparazones, huesos y dientes esencialmente) o las huellas de su actividad biológica, denominadas genéricamente icnitas, donde cabría contemplar desde las pistas de reptación y madrigueras de invertebrados marinos a las huellas de dinosaurios o las industrias líticas talladas por homínidos, en cuanto evidencias de la actividad vital de un taxón pretérito. Por consiguiente, tenemos como factor geológico más relevante a la hora de formar un yacimiento paleontológico la existencia de escenarios sedimentarios adecuados a estos dos condicionantes claves para el taforregistro, la acumulación inicial y el enterramiento rápido, escenarios que corresponden, sobre todo, a las plataformas marinas, zonas costeras, marismas, lagos y llanuras de inundación, sujetos todos ellos a una subsidencia neta.

Otras variables involucradas en la constitución de yacimientos paleontológicos son la presencia de factores hidrodinámicos, que tiendan a transportar y concentrar los restos esqueléticos antes de su enterramiento, hasta constituir yacimientos con fauna alóctona al medio sedimentario de registro; procesos diagenéticos que puedan modificar la forma, composición y estructura de los restos fósiles mediante incrementos de presión (compactación diagenética) y presencia de fluidos (lixiviación, recristalización, etc.); factores tectónicos y deformaciones que puedan condicionar la tasa de subsidencia del medio (MELÉNDEZ, 1977); estructura y configuración de los ambientes sedimentarios y, por supuesto, los distintos factores paleoecológicos que condicionen los grados de diversidad y biomasa en los antiguos ecosistemas, a través de variables paleoclimáticas, paleogeográficas y de relaciones tróficas entre las especies, entre otras.

Uno de los ejemplos mejor estudiados en España en cuanto a los condicionantes geológicos involucrados en la formación de yacimientos paleontológicos lo tenemos en el área Orce-Venta Micena (Granada), donde se han definido hasta el momento más de 25 yacimientos pleistocenos de vertebrados, algunos de ellos considerados de interés a escala mundial (Barranco León-D, Fuente Nueva-3 y Venta Micena) debido a su extraordinaria diversidad faunística registrada, la ingente concentración de restos óseos y, en



El área Orce-Venta Micena expone uno de los patrimonios paleontológicos de vertebrados pleistocenos más importantes del mundo, condicionado por una serie de factores tecto-sedimentarios favorables

los dos primeros casos, la presencia de restos pertenecientes a *Homo* sp. (ESPIGARES; MARTÍNEZ-NAVARRO; PALMQVIST et ál., 2013; TOROMOYANO; MARTÍNEZ-NAVARRO; AGUSTÍ et ál., 2013). El modelo geológico asociado a estos yacimientos parte de la existencia de un área de sedimentación lacustre carbonatada durante el Villafranquiense superior (1,2 a 2 millones de años atrás) (GARCÍA-AGUILAR; MARTÍN, 2000; GARCÍA-AGUILAR; PALMQVIST, 2011).

Tales sistemas lacustres se hallaban en este periodo dentro de una cuenca sedimentaria cerrada de unos 25 km de longitud, satélite de la cuenca neógena de Guadix-Baza (Granada), situada en posiciones centrales dentro de la cordillera bética. En este caso, los aportes detríticos se concentraban en zonas perimetrales de los sistemas lacustres someros de contexto climático templado, que mostraban amplias zonas emergidas entre ellos. Estos lagos se hallaban rodeados en buena parte de su perímetro por relieves del sustrato geológico que favorecían este carácter cerrado y endorreico.

Las señales climáticas a lo largo del Villafranquiense superior hicieron que tales lagos presentasen ciclos de expansión y regresión (etapas alternantes de nivel alto-nivel bajo de la lámina de agua en los lagos, con frecuencias temporales correspondientes a ciclos de Milankovitch de 40 y 100 ka), gobernando el depósito mayoritario de margas y calcilutitas en las etapas de nivel alto y calizas s.l. y facies detríticas finas durante las etapas de nivel bajo, donde la superficie de los sistemas lacustres en estas etapas era mucho menor (GARCÍA-AGUILAR; ESPIGARES; GUERRA-MERCHÁN et ál., 2016). La potencia máxima observada de esta unidad Villafranquiense superior es de unos 35 m, lo que supone una tasa de sedimentación promedio de 4,4 cm/ka, relacionada con una subsidencia de claro origen tectónico. Todos estos condicionantes geológicos de tipo tecto-sedimentario favorecen un marco tafonómico adecuado para la formación de los yacimientos paleontológicos en la zona, puesto que la acumulación de restos orgánicos



Los sedimentos lacustres villafranquienses del área Orce-Venta Micena muestran una sucesión cíclica de margas y (margo)calizas, ligadas respectivamente a situaciones de nivel alto y nivel bajo en el desarrollo de los lagos. En la imagen, sección estratigráfica de potencia métrica correspondiente al corte III de excavación en el yacimiento paleontológico de Venta Micena (1,6 m.a.)



La presencia de indicadores geoquímicos, mineralógicos y sedimentológicos ligados a la actividad hidrotermal en las formaciones lacustres villafranquienses del área Orce-Venta Micena (Granada) resulta común. En la imagen, nivel oscuro compuesto por sílice amorfa a techo de la sección estratigráfica del yacimiento Barranco León-D

quedaría aislada de alteraciones atmosféricas y microbiológicas al quedar enterrada con cierta rapidez en un sedimento carbonatado o detrítico fino bajo lámina de agua.

Dicha acumulación, además, se vio favorecida por la actividad recolectora de restos óseos de la hiena gigante *Pachycrocuta brevirostris*, que generaba basureros ingentes en el entorno de sus cubiles de cría (PALMQVIST; MARTÍNEZ-NAVARRO; PÉREZ-CLAROS et ál., 2011). No obstante, a este escenario sedimentológico cabe añadir otro factor, determinante en la concentración y diversidad de paleopoblaciones de vertebrados en buena parte de los yacimientos, consistente en la presencia de surgencias hidrotermales en la zona. Tales surgencias habrían aportado parte del caudal necesario para evitar la desecación de los lagos, incluso en épocas de altas temperaturas, además de un entorno microclimático estable a lo largo de todo el año, y el aporte de minerales esenciales para el desarrollo de las bases tróficas de estos antiguos ecosistemas (GARCÍA-AGUILAR, GUERRA-MERCHÁN, SERRANO et ál., 2014).

La presencia simultánea de varios marcadores sedimentológicos y geoquímicos en los sedimentos situados junto a los principales yacimientos paleontológicos de la zona, como son las anomalías de magnesio, materializadas en la aparición de dolomita primaria y arcillas magnésicas (paligorskita y sepiolita), yeso primario, travertinos termógenos y capas oscuras de sílex amorfo, demuestran la presencia de surgencias hidrotermales, e indirectamente informan acerca de la hidroquímica de estos lagos, caracterizada por la presencia dominante de iones,  $Mg^{++}$ ,  $SO_4^{=}$ ,  $Ca^{++}$  y  $SiO_2$ . De este

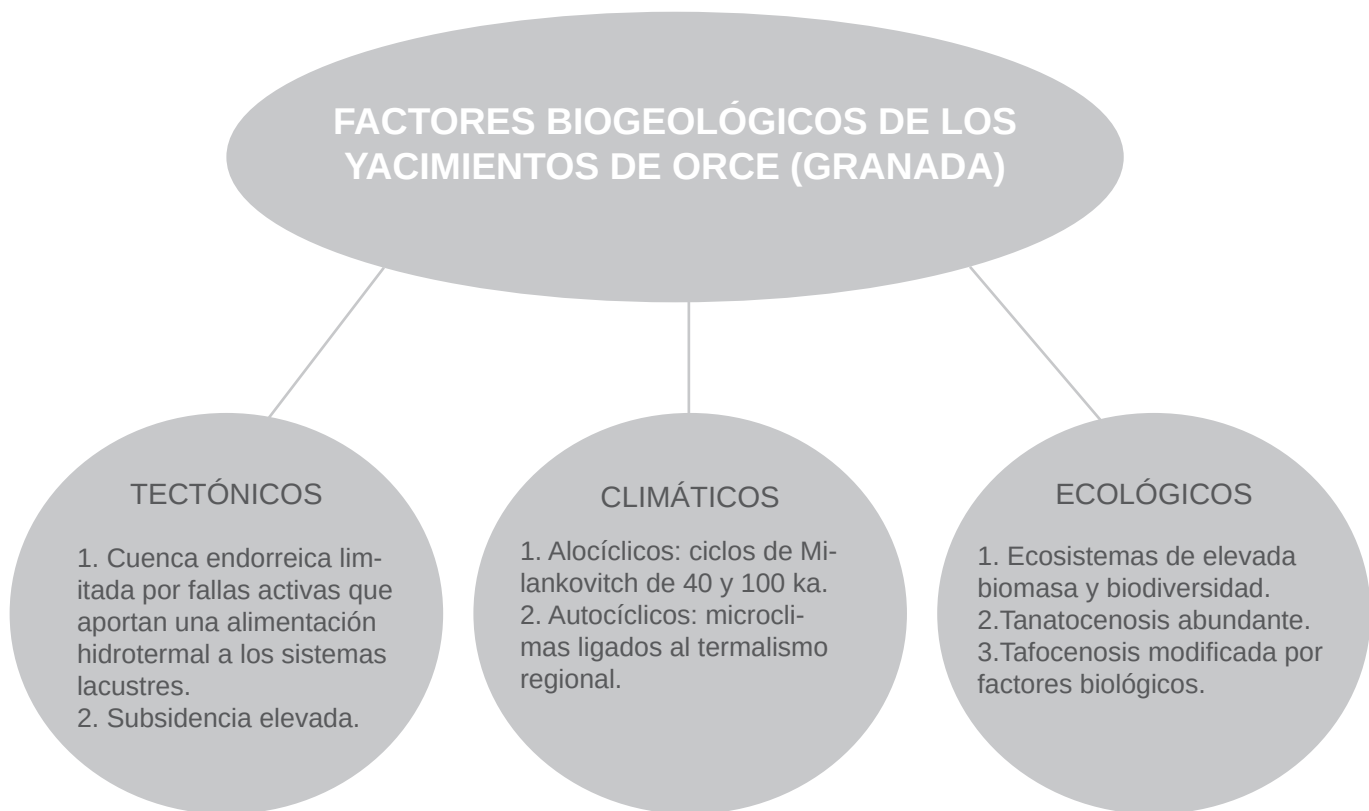


Tabla 4. Relación de factores involucrados en la formación de los yacimientos paleontológicos del área Orce-Venta Micena (Granada)

modo, tenemos una interesante relación encadenada de factores geológicos y paleobiológicos que permiten explicar la formación de los yacimientos paleontológicos del área Orce-Venta Micena.

### CONDICIONANTES GEOLÓGICOS EN LA PRESERVACIÓN DE UN YACIMIENTO PALEONTOLÓGICO

En ocasiones, otros factores geológicos pueden ocasionar la pérdida de un yacimiento paleontológico. Entre ellos tenemos los de carácter catastrófico, como son el vulcanismo, la actividad sísmica o los deslizamientos. En estos casos, las consecuencias pueden ser muy destructivas y ocasionar importantes pérdidas en el patrimonio paleontológico. Otros agentes, como la actividad hidrológica, factores climáticos, presencia de minerales explotables y otras características de los yacimientos, exclusivamente geológicas, entre las que se puede citar la litología o tasa de sedimentación, también pueden influir en la génesis, preservación y/o modificación de estos yacimientos o de parte de los elementos que lo componen. Si nos centramos en la cuenca de Guadix-Baza, y concretamente en los yacimientos arqueopaleontológicos de

Orce y Baza, algunos de los condicionantes geológicos que han influido en la conservación son los siguientes:

> Deslizamientos o *slumps*: la influencia de este condicionante geológico se ha detectado en el yacimiento de Baza-1 (Baza, Granada). Los *slumpings* son deslizamientos de sedimentos que en ocasiones puede ser de grandes dimensiones. Estos materiales, que se mantienen en equilibrio precario, se ven desestabilizados en muchas ocasiones por pequeños seísmos, lo que inicia su desplazamiento a favor de la gravedad. Tales deslizamientos pueden afectar a zonas en las que se localiza un yacimiento y destruirlo completamente, o puede desplazar parte del material y reorganizarlo espacialmente (ROS-MONTOYA; MARTÍNEZ-NAVARRO; ESPIGARES et ál., 2017).

> Meteorización: es la alteración que han sufrido los elementos óseos debido a la exposición a los agentes atmosféricos. Para cuantificar el grado de modificación de los fósiles por esta causa, en condiciones previas a su enterramiento en el sedimento, el método más utilizado es el propuesto por Behrensmeyer (1978). Esta autora establece seis estados de meteorización, aplicables a mamíferos cuyo peso sea superior a 5 kg, y asigna rangos de tiempo de exposición para cada una de las categorías a partir de sus observaciones en el Parque Nacional de Amboseli, en Kenia.

Con posterioridad a este estudio, diversos autores han analizado los efectos de la exposición subaérea sobre los elementos óseos en diversos medios naturales, proponiendo ligeras modificaciones a dicha clasificación en función del clima de la región, lo que condiciona el grado de cobertura vegetal y, con ello, la exposición directa a la insolación (GIFFORD, 1977, 1981; JOHNSON, 1985; TODD; WITTER; FRISON, 1987; TAPPEN, 1994, 1995; CUTLER; BEHRENSMEYER; CHAPMAN, 1999). En cualquier caso, el grado de meteorización es una medida relativa, ya que en la tasa de meteorización influyen tres factores:

1. Los diferentes elementos esqueléticos se meteorizan a diferente velocidad, probablemente debido a diferencias en su densidad estructural. Así, los huesos pequeños y compactos, como los elementos del carpo, el tarso y las falanges, se meteorizan más lentamente que otros elementos del mismo esqueleto (BEHRENSMEYER, 1978; LYMAN; FOX, 1989; TODD; WITTER; FRISON, 1987).

2. Los huesos de diferentes especies se meteorizan a distinta tasa, debido a diferencias de tamaño corporal o estructurales (BEHRENSMEYER, 1978, GIFFORD, 1981). A estos efectos, resultan particularmente notables las diferencias entre la velocidad a la que se destruyen los restos de las especies de dimensiones reducidas frente a los huesos de grandes herbívoros, lo que puede llevar a estimaciones discrepantes con unas y otras sobre el período

ESTADO DE METEORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	AÑOS
0	La cortical ósea se encuentra intacta, sin presentar grietas ni escamas. En este estado el hueso se encuentra todavía fresco, con la médula intacta, pudiendo conservar aún adheridos restos de piel, ligamentos o tejidos blandos.	0-1
1	La superficie cortical muestra estrías longitudinales, alineadas en los huesos largos con el eje mayor del elemento; en las superficies articulares puede aparecer ya un agrietamiento en mosaico. En este estado no se conserva ya la médula ósea del interior.	0-3
2	La superficie externa de hueso aparece exfoliada en mosaico y las grietas longitudinales están más marcadas, mostrando algunas los bordes angulares.	2-6
3	Los huesos compactos se encuentran muy alterados, de manera homogénea, presentando una textura fibrosa y grietas con los bordes redondeados. La meteorización penetra 1-1,5 mm como máximo en el interior del hueso.	4-15
4	La meteorización progresa, de forma que las fracturas se profundizan y penetran en las cavidades internas. Los huesos presentan una superficie muy fibrosa y rugosa, produciéndose el desprendimiento de astillas y la pérdida de tejido cortical.	6-15
5	El hueso aparece muy alterado y se vuelve sumamente frágil y quebradizo, lo que lleva a su destrucción, dando lugar a la génesis de grandes astillas de material óseo muy frágiles. En este estado el hueso no se suele conservar en una tafocenosis.	6-15

Tabla 5. Estados de meteorización ósea | fuente BEHRENSMEYER, 1978

de tiempo transcurrido por los restos a la intemperie antes de su enterramiento (PALMQVIST; DE RENZI; ARRIBAS et ál., 2002).

3. El medio físico en el que se encuentra el elemento óseo puede ralentizar o acelerar la tasa de meteorización (BEHRENSMEYER, 1978). La clasificación de Behrensmeyer (1978) fue definida en la sabana africana, con unas condiciones ambientales concretas y no se puede extrapolar directamente a todas las asociaciones fósiles. Otros autores (ANDREWS,1990; FERNÁNDEZ-JALVO; SÁNCHEZ-CHILLÓN; ANDREWS et ál., 2002; TAPPEN, 1994) muestran que los restos expuestos en condiciones ambientales más húmedas, templadas y con mayor cobertura de vegetación sufren un proceso de meteorización más lento. Los estudios de conservación en medios áridos también indican una ralentización de la meteorización para estos últimos ambientes (ANDREWS; WHYBROW, 2005). Por otra parte, Lyman (1988) y Lam (1992) muestran que los huesos depositados en el interior de las cuevas están menos meteorizados que aquellos que se encuentran en el exterior de éstas. De igual forma, Todd (1983) establece que la presencia de múltiples

esqueletos tiende a crear un microambiente diferente al existente cuando los elementos óseos aparecen aislados unos de otros.

> **Relieve:** si los fósiles se encuentran muy próximos a la superficie topográfica, la vegetación actual puede afectar a los huesos enterrados y/o fosilizados, ya que la gran mayoría de las plantas secretan sustancias químicas osteolíticas (auxinas, cinetinas y ácido indolacético) que pueden disolver su superficie, creando a menudo surcos poco profundos de morfología dendrítica. Las raíces suelen penetrar en los huesos, sobre todo por los orificios craneales y los forámenes nutricios, llegando en algunas ocasiones a hacer estallar el hueso. En los elementos que presentan un grado de meteorización avanzado, la actividad de las raíces se ve favorecida, al quedar expuesto el tejido esponjoso, lo que permite que penetren más hacia el interior del hueso. Estos surcos se han interpretado a menudo como resultado de la disolución de la cortical ósea por ácidos, fenómeno asociado al crecimiento y la descomposición de las raíces en contacto directo con la superficie de los huesos, o a los efectos ocasionados por los ácidos secretados por los hongos involucrados en la descomposición de la vegetación (BEHRENSMEYER, 1978; LYMAN, 1994; MORLAN, 1980; GRAYSON, 1988).

> **Trasporte hidrodinámico:** existen numerosos indicios dentro de las asociaciones fósiles que pueden sugerir que los elementos han estado sometidos a transporte hídrico, tales como la presencia de fracturación, abrasión y pulido superficial, la alineación de los restos óseos en una dirección preferente y la selección de distintos elementos anatómicos según su flotabilidad.

El transporte fluvial constituye uno de los mecanismos de dispersión de elementos más analizado (BEHRENSMEYER, 1975, 1982; BOAZ Y BEHRENSMEYER, 1976; COARD, 1999; DODSON, 1973; FERNÁNDEZ-JALVO; ANDREWS, 2003; FROSTICK Y REID, 1983; HANSON, 1980; KORTH, 1979; VOORHIES, 1969; WOLFF, 1973). Así, Voorhies (1969) desarrolló un estudio experimental con huesos de ovejas y coyotes, cuyos resultados indican que algunos elementos esqueléticos son más fácilmente transportables por los procesos fluviales que otros, clasificando los huesos en tres grupos conforme a su potencial de transporte hidrodinámico. Behrensmeyer (1975) realizó otro trabajo en el que incluye algunas modificaciones de los grupos de Voorhies, señalando que la densidad estructural de los huesos, así como su tamaño y su forma, influyen decisivamente sobre la probabilidad de que un determinado hueso pueda ser transportado fluvialmente.

Por ello, presumiendo que el transporte de los huesos comienza en el lugar de muerte del animal, las proporciones de los diferentes grupos de Voorhies en una asociación fósil puede proporcionar evidencias de la proximidad de los fósiles a la tanatocenosis original. Igualmente, la proporción entre dientes

(los elementos más densos y resistentes gracias al esmalte) aislados de porciones anatómicas (maxilares y mandíbulas) y vértebras (los componentes más ligeros y meteorizables del esqueleto, dada su naturaleza esponjosa, por lo que muestran una mayor susceptibilidad al transporte hidrodinámico) en un esqueleto de mamífero es próxima a 1:1, aunque existen variaciones según los órdenes. Por ello, encontrar un ratio próximo a este valor en la tafocenosis indicaría un enterramiento inmediato de los restos tras la muerte de los animales, mientras que un valor más sesgado en favor de los dientes pondría de manifiesto la selección resultante del transporte *post mortem*.

Otros autores (DOBSON, 1973; KORTH, 1979) han completado los estudios de Voorhies y Behrensmeyer con el análisis de micromamíferos e invertebrados. La selección hidrodinámica de los distintos elementos esqueléticos depende de dos parámetros: 1) distancia de transporte desde la zona fuente, donde los restos de los animales se depositaron inicialmente, hasta su posición final; y 2) energía de la corriente de agua (WOLFF, 1973).

No obstante, otros parámetros operan en los diferentes contextos sedimentarios, como el tipo de sustrato, la topografía del cauce, la presencia de turbulencias en el caudal y diversos aspectos morfológicos de los propios huesos, pudiendo influir también en los resultados del transporte (FERNÁNDEZ-JALVO; ANDREWS, 2003). Boaz y Behrensmeyer (1976) documentaron grandes diferencias en la capacidad de transporte entre los huesos completos y los fragmentados, por un lado, y según los distintos taxa, por otro. Las diferencias también son importantes cuando se considera el transporte de los elementos desarticulados o articulados. Así, los experimentos realizados por Coard y Dennell (1995) y por Coard (1999) han demostrado que un grupo de elementos anatómicos articulados posee por lo general una mayor flotabilidad y, con ello, mayor capacidad de ser transportado que la de esos mismos elementos una vez desarticulados. En estos experimentos también se pone de manifiesto que el estado del hueso lo hace más o menos susceptible a ser transportado. Así, los huesos frescos y desarticulados son mucho menos transportables que los mismos elementos “secos” y articulados.

> Modificaciones postdeposicionales: al margen de las modificaciones producidas por los agentes bióticos durante la fase bioestratinómica, son numerosos los factores que pueden influir en la conservación, la alteración e incluso la desaparición de los restos esqueléticos una vez producido su enterramiento definitivo en el sedimento. Estos factores pueden ser intrínsecos al elemento óseo (su tamaño, porosidad, estructura química y molecular) o extrínsecos al mismo, como el tipo de sedimento, el pH del medio, la presencia de agua, la temperatura y la acción de bacterias (LYMAN, 1994). Las modificaciones postdeposicionales se pueden producir de varias formas, dando como resultado la petrificación, la corrosión, la mineralización,

la deformación, la fracturación y el desplazamiento de los huesos dentro del sedimento (LYMAN, 1994).

La composición y el pH del suelo son uno de los factores que puede incidir de forma más determinante en la conservación de los elementos óseos. Los huesos en contacto con sedimentos con  $\text{pH} < 4$  suelen presentar evidencias de corrosión (ANDREWS, 1990). Igualmente, los suelos altamente alcalinos también pueden provocar la corrosión de los tejidos óseos durante la fosilización (FERNÁNDEZ-JALVO; SÁNCHEZ-CHILLÓN; ANDREWS et ál., 2002). La presencia de microbios como bacterias, hongos y protozoos también es importante, ya que pueden atacar los huesos, desmineralizando los tejidos y produciendo su destrucción.

Esta actividad se manifiesta en forma de túneles o agujeros de pequeñas dimensiones (TRUEMAN; MARTILL, 2002). Andrews (1990) documenta que los elementos que se encuentran en medios con una importante presencia de agua muestran ennegrecimientos ocasionados por depósitos de óxidos de manganeso sobre su superficie. Kuman y Clarke (2000) citan en el "Member 5" del yacimiento paleontológico de Sterkfontain (Sudáfrica) la presencia de manchas negras en la superficie de ciertos útiles líticos, debidas a la precipitación de óxidos de manganeso procedentes de la disolución de las capas de dolomitas que cubren el yacimiento. Lockwood y Tobias (2002) también mencionan la existencia de estas manchas en el cráneo Stw-13, procedente del "Member 4".

La sobrecarga de sedimento sobre los elementos óseos puede ocasionar la deformación y fracturación de dichos elementos. Si el depósito se produce de forma rápida, la presión puede fracturar o aplastar a los huesos enterrados, mientras que si se produce de forma lenta es más frecuente la deformación plástica, con cambios en la morfología y las dimensiones del fósil sin que se produzca su fracturación (SHIPMAN, 1981). Las fracturas producidas por sobrecargas suelen originar fragmentos de un mismo elemento que se disponen de forma adyacente (VILLA; MAHIEU, 1991). Según Klein y Cruz-Urbe (1984), la sobreabundancia en un yacimiento de dientes aislados y de elementos óseos pequeños, como carpales, tarsales, sesamoideos y falanges, indica que la asociación ósea probablemente ha sufrido una importante destrucción postdeposicional.

En función de su morfología se observan dos tipos diferentes de fracturas: a) circulares, con borde liso o ligeramente rugoso, debidas a la sobrecarga producida por el sedimento en los elementos óseos que se encuentran depositados sobre superficies horizontales; y b) fracturas con bordes muy irregulares y de forma denticulada, que se originan en elementos dispuestos sobre superficies irregulares. En todo caso, la presencia de fracturas diagenéticas

ofrece claves importantes para establecer el estado tafonómico de una asociación ósea.

Así, si tales fracturas delimitan ambas porciones anatómicas, indicaría que el fósil es acumulado (esto es, enterrado en el lugar donde sobrevino la muerte del individuo) o resedimentado (es decir, enterrado tras un transporte lateral); pero si solo aparece una de tales porciones, el estado tafonómico deducible sería el de reelaborado (*reworked*), lo que supondría que, tras el enterramiento inicial y la fosilización del elemento esquelético, tuvo lugar su exhumación y, posteriormente, un nuevo enterramiento en un contexto cronológico más moderno, quedando asociado con los restos fósiles de organismos con los que esta especie no llegó a coexistir en el tiempo. Aclarar esto resulta crucial en tafonomía, pues ni que decir tiene que las inferencias paleoecológicas efectuadas sobre dicha "comunidad" carecerían de valor.

## CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO Y PALEONTOLÓGICO

La necesidad de reconocimiento y conservación de la geodiversidad y el patrimonio geológico radica en que su destrucción es siempre irreversible, por lo que su desaparición supone una pérdida parcial del valioso registro geológico. En la actualidad, distintas iniciativas persiguen promover la conservación, uso y disfrute de estos recursos, además de buscar, identificar, valorar y divulgar aquellos lugares que posean un elevado valor geológico y paleontológico, mediante la realización de inventarios, la aprobación y el desarrollo de leyes adecuadas, la puesta en marcha de planes de conservación y la ejecución de programas divulgativos. En muchas ocasiones, el patrimonio geológico guarda una estrecha relación con otros aspectos científicos, ecológicos, histórico-artísticos o culturales.

La necesidad de su conservación se basa en su fragilidad, su valor intrínseco y su potencial, tras su adecuada investigación, para la divulgación, la educación y el desarrollo local. Por ello, esta conservación constituye una obligación y una responsabilidad de las administraciones públicas y de la sociedad en general. Una síntesis de estas ideas aparece recogida en la "Declaración de Girona" de 1997 sobre el patrimonio geológico (<http://www.igme.es/patrimonio/links/declaracionGirona.htm>): "La conservación de los lugares de interés geológico es absolutamente necesaria e indisoluble con la del patrimonio natural y cultural en general, es un rasgo de sociedades culturalmente avanzadas. Cualquier política ambiental y de conservación de la naturaleza que no contemple adecuadamente la gestión del patrimonio geológico nunca será una política ambiental correcta. Es necesario que los responsables de las diferentes administraciones públicas y centros de investigación, técnicos, científicos, investigadores, ambientalistas, naturalistas, ecologistas, periodistas y educadores, se movilicen activamente en una campaña de sensibiliza-

ción del conjunto de la población a fin de lograr que el patrimonio geológico, indudable cenicienta del patrimonio, deje de serlo en beneficio de todos”.

El objetivo final del estudio del patrimonio geológico y paleontológico es promover su conservación. Existen muchas maneras de afrontar la preservación de este patrimonio, por lo que se suele hablar de geoconservación para referirse al conjunto de técnicas y medidas (estrategias, programas y acciones) encaminadas a asegurar la conservación del patrimonio geológico. Se basa en el conocimiento del valor de los lugares a conservar, sus características intrínsecas, su fragilidad, los procesos genéticos que intervinieron en su formación, así como en la evaluación de las amenazas presentes o potenciales de degradación y su posible evolución en el futuro.

La geoconservación no sólo busca evitar la destrucción de elementos geológicos singulares, sino también prevenir, corregir o minimizar las afecciones que puedan sufrir. Además, en el caso de estar sujetos a la acción de algún proceso geológico activo, la geoconservación busca asegurar el mantenimiento del ritmo natural de los procesos y permitir su evolución. La geoconservación también abarca la preservación de los valores culturales, estéticos o paisajísticos relacionados con el patrimonio geológico y paleontológico, así como sus aplicaciones turísticas, recreativas y económicas. Por ello, no debe enfocarse de una manera aislada contemplando sólo aspectos científicos, sino intentando conjugar otros aspectos dentro de un enfoque multidisciplinar. Este patrimonio tiene la particularidad de que, a veces, su exposición es producto de la transformación antrópica del territorio, como pueden ser las secciones puestas al descubierto en los taludes de las carreteras y vías férreas. Esto no significa que cualquier lugar de interés geológico o paleontológico pueda ser modificado con fines científicos o didácticos, sino que, en ciertos casos, cabe asumir un cierto grado de transformación.

La complejidad de esta gestión requiere que sea realizada por equipos multidisciplinarios. En el IV Congreso Mundial de Conservación que tuvo lugar en Barcelona en 2008, la Asamblea General de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) aprobó la moción titulada “Conservación de la geodiversidad y del patrimonio geológico”. La adopción de esta resolución inició una nueva etapa para tratar de poner fin a un olvido injustificable y supone un primer paso para detener la destrucción del patrimonio geológico o, dicho de otra manera, para evitar que la Tierra continúe perdiendo “su memoria”. Esta resolución se basó en el reconocimiento “del patrimonio geológico como un patrimonio natural con valores culturales, estéticos, de paisaje, económicos y/o intrínsecos que es necesario preservar y transmitir a las futuras generaciones” (Resolución 4.040 de la UICN).

La geoconservación requiere la existencia de una legislación que defina mecanismos concretos de protección del patrimonio geológico. El sistema de

conservación de la naturaleza más importante es la declaración de espacios naturales protegidos, cuya gestión tiene como objetivo la conservación de sus valores naturales. En ellos se establece un sistema de gestión y un régimen jurídico que garantice esta conservación y la práctica de usos compatibles con la misma, regulada a través de sus instrumentos de planificación: los Planes de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN) y los Planes Rectores de Uso y Gestión (PRUG). Ambos deben recoger la existencia y las necesidades de gestión para la adecuada conservación del patrimonio natural (geológico y paleontológico incluidos) contenido en las áreas protegidas.

España cuenta con una legislación favorable para la protección del patrimonio geológico, especialmente mediante la Ley 42/2007 de Patrimonio Natural y Biodiversidad, que entre sus principios aborda de forma específica los conceptos de geodiversidad y patrimonio geológico e incluye la preservación de la geodiversidad. Pero, además, la conservación de la geodiversidad y del patrimonio geológico es en nuestro país una obligación contemplada en la Ley 42/2007, en varios de sus artículos. Por otro lado, casi todas las comunidades autónomas cuentan con leyes de conservación de la naturaleza y/o de espacios naturales protegidos que no pueden ser menos restrictivas que la nacional. Sin embargo, aún queda mucho camino por recorrer para alcanzar un nivel adecuado de protección del patrimonio geológico español. Además de la Ley 42/2007, existen otras que defienden y promueven el desarrollo, conservación y conocimiento del patrimonio geológico como recurso científico, cultural y turístico: Ley 16/1985 de Patrimonio Histórico Español, Ley 5/2007 de la Red de Parques Nacionales y Ley 45/2007 para el Desarrollo Sostenible del Medio Rural.

En la Ley 5/2007 se define la figura de parque nacional como los “espacios naturales de alto valor ecológico y cultural, poco transformados por la explotación o actividad humana que, en razón de la belleza de sus paisajes, la representatividad de sus ecosistemas o la singularidad de su flora, de su fauna, de su geología o de sus formaciones geomorfológicas, poseen unos valores ecológicos, estéticos, culturales, educativos y científicos destacados cuya conservación merece una atención preferente y se declara de interés general del Estado”. En la actualidad, la conservación de la naturaleza es competencia de las comunidades autónomas, si bien el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino dicta un marco general de referencia al que deben ceñirse las autonomías según la Ley 42/2007 de Patrimonio Natural y Biodiversidad.

Otro hecho a destacar es el reconocimiento del valor de la geodiversidad y el patrimonio geológico por parte de la Carta Rural Europea, que los considera a los mismos niveles que otros recursos naturales, culturales o etnográficos, a pesar de estar infrutilizados como iniciativas turísticas y socioeconómicas. En el caso de Andalucía, la declaración de monumentos naturales, pre-

vista en la Ley 2/89 de Espacios Naturales protegidos de Andalucía, refuerza el tratamiento de la geodiversidad y el patrimonio geológico en la Red de Espacios Protegidos mediante la incorporación de algunos monumentos geológicos como, por ejemplo, el conocido Tornillo del Torcal de Antequera (Málaga). Además, en este periodo comienzan algunas experiencias de dinamización turística del patrimonio geominero como motor del desarrollo socioeconómico en zonas de economía recesiva, debido a la paralización de la actividad minera, como es el caso de las minas de Río Tinto (Huelva), donde existen programas turísticos y didácticos que ponen en valor los antiguos equipamientos e infraestructuras mineras, hoy abandonadas.

### **ELEMENTOS LIGADOS A LA PUESTA EN VALOR DE UN YACIMIENTO PALEONTOLÓGICO**

Resulta evidente la necesidad de impulsar una adecuada puesta en valor del patrimonio paleontológico. Una vez realizada la primera etapa de cobertura legislativa, su definición y catalogación, cabe llevar a cabo actuaciones centradas en su proyección socio-cultural, educativa y turística, la cual incidirá en el fomento del empleo de las zonas donde se hallan tales yacimientos y, por tanto, en un aliciente económico para los habitantes de la región, últimos garantes de su conservación. Entre las iniciativas posibles destacan las rutas y visitas turísticas guiadas por especialistas a estos lugares de interés paleontológico, rutas didácticas para alumnado de educación primaria y secundaria, así como actividades específicas de bajo impacto ambiental, como por ejemplo rutas fotográficas, recreación artística de escenarios paleoecológicos, creación de museos, exposiciones temáticas o rutas de senderismo.

Otra modalidad de patrimonio paleontológico se refiere a la "paleontología urbana". Nuestros pueblos y ciudades ofrecen a menudo edificios, solerías y otros elementos urbanos compuestos de rocas sedimentarias que incluyen restos fósiles de diversas edades, características y grados de conservación. En muchos casos, estos elementos pueden ser constitutivos de rutas paleontológicas urbanas mediante una adecuada investigación, catalogación y puesta en valor, tal y como sucede en ciudades como Málaga (GARCÍA-AGUILAR, 2014) o Bilbao (ORDIALES; MARTÍNEZ-GARCÍA; MURELAGA, 2016). En el caso de Málaga, varias calles y monumentos contienen rocas de edad Mioceno superior pródigas en fósiles marinos, que constituyen un pequeño museo paleontológico al aire libre. En el caso de Bilbao, algunas de sus rocas ornamentales con presencia de fósiles han permitido elaborar una ruta didáctica abierta de gran interés.

No obstante, todas estas iniciativas no llegarían a buen puerto sin la adecuada inversión en infraestructuras, publicidad y difusión mediante los medios de comunicación social. Una de las posibles actuaciones más demandadas de



Restos fósiles marinos de escala centimétrica y edad Mioceno superior presentes en las rocas que forman parte de la fachada de la catedral de Málaga. La presencia de fósiles en edificios y otros elementos urbanos constituye también una parte del patrimonio paleontológico

esta puesta en valor del patrimonio paleontológico sería, sin lugar a dudas, la proyección turística.

España, tercera potencia turística mundial en términos absolutos, con más de 75 millones de visitantes en 2016 (FERNÁNDEZ, 2017), y primera en términos relativos a su población, tiene en esta actividad un 11% de su PIB y más del 12% del empleo nacional (periodo 2010-2014) (GARCÍA, 2016).

Más allá de los clásicos escenarios turísticos de “sol y playa”, monumentos y ciudades, el turista de cierto nivel socio-cultural demanda cada vez más propuestas sugerentes para el disfrute de sus vacaciones. En este sentido, la oferta de actividades turísticas responsables a lugares de interés geológico y paleontológico dotaría a estos recursos de una repercusión social, cultural y económica que en la actualidad sigue siendo residual. Países como Estados Unidos o Islandia tienen en su patrimonio geológico una importante fuente de recursos turísticos mediante una acertada política de conservación, puesta en valor y publicidad.

Ejemplo de ello lo tenemos en los numerosos parques naturales de Estados Unidos centrados específicamente en la observación y disfrute de recursos geológicos y paleontológicos, como Grand Canyon (Arizona), Oak Canyon (Utah), Monument Valley (Arizona) o Bryce Canyon (Utah). El acceso a estos lugares aparece regulado por empresas concesionarias que cobran una entrada a cada visitante, controlando el cupo de visitas diarias y ofreciendo toda una serie de servicios turísticos: aparcamiento, rutas (auto)guiadas, paneles explicativos, centros de interpretación, museos, tiendas, restaurantes e incluso hoteles, además de algunos servicios específicos como los vuelos en globo o helicóptero, actividades deportivas, actividades didácticas para centros escolares e incluso actividades científicas para especialistas.

Naturalmente, todas estas propuestas carecerían de sentido sin una adecuada publicidad y difusión a través de agencias, tour-operadores, redes sociales, medios de comunicación, apoyo institucional por parte de administraciones locales, regionales y estatales, empresas privadas, fundaciones, etc. Sin duda, estas actuaciones suponen un gran reto y un desafío a medio y largo plazo. No obstante, las experiencias desarrolladas en torno a la puesta en valor de este patrimonio invitan al optimismo. España posee unos recursos geológicos y paleontológicos grandiosos en número y variedad, muy por encima de algunos países que destacan como motores del turismo geológico, buenas infraestructuras y la posibilidad de llevar a cabo una adecuada puesta en valor de tales recursos. Todo este potencial se puede desarrollar a medio plazo mediante los canales y actuaciones adecuadas, o permanecer de modo residual en el contexto de los recursos naturales del país. De las iniciativas públicas y privadas que se realicen en este sentido dependerá el que todo este patrimonio pueda contar con un adecuado desarrollo para el mejor progreso social, cultural y económico de España.

## CONCLUSIONES

España posee un importante patrimonio geológico y paleontológico, de interés a escala mundial, que merece una especial atención como recurso cultural y motor de actividades socioeducativas de bajo impacto ambiental. Del inventario de 3.154 lugares de interés geológico (LIG) catalogados a fecha de junio de 2017 por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 525 (un 16,5%) son de carácter paleontológico. A su vez, el 26,5% de estos 525 LIP se hallan catalogados en Andalucía, aunque las comunidades de Baleares, La Rioja y el País Vasco presentan una mayor cantidad de LIP en proporción a su superficie. Por edades geológicas, Cretácico y Plioceno concentran el 34,5% de LIP, mientras que, por medios sedimentarios, el 61% de los LIP en España presentan un origen ligado a plataformas marinas, costas y arrecifes.

Con relación al patrimonio paleontológico, resulta necesario potenciar todas aquellas políticas encaminadas a su prospección, conservación, investigación y puesta en valor. Una vez realizada la primera etapa de cobertura legislativa y la definición y catalogación de los distintos lugares de interés paleontológico, cabe llevar a cabo actuaciones centradas en su proyección socio-cultural, educativa y turística, la cual incidirá en el fomento del empleo de las zonas donde se hallan tales yacimientos y, por tanto, en un aliciente económico y social para ellas.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABEL, O. (1928) *Los animales prehistóricos*. Barcelona: Labor, 1928
- ANDREWS, P. (1990) *Owls, caves and fossils*. Chicago: University Press, 1990
- ANDREWS, P.; WHYBROW, P. (2005) Taphonomic observations on a camel skeleton in a desert environment in Abu Dhabi. *Palaeontologia electronica*, vol. 8, n.º 1, 2005, pp. 1-17
- ARANA, R.; RODRÍGUEZ-ESTRELLA, T.; MANCHEÑO, M. A.; GUILLÉN, F.; ORTIZ, R.; FERNÁNDEZ TAPIA, T.; RAMO, A. (DEL) (1999) *El Patrimonio Geológico de la Región de Murcia*. Murcia: Fundación Séneca, 1999
- BEHRENSMEYER, A. K. (1975) The taphonomy and paleoecology of Plio-Pleistocene vertebrate assemblages east of Lake Rudolf, Kenya. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, 146, 1975, pp. 473-578
- BEHRENSMEYER, A. K. (1978) Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology*, 4(2), 1978, pp. 150-162
- BEHRENSMEYER, A. K. (1982) Time resolution in fluvial vertebrate assemblages. *Paleobiology*, vol. 8, n.º 3, pp. 211-228
- BOAZ, N. T.; BEHRENSMEYER, A. K. (1976) Hominid taphonomy: transport of human skeletal parts in an artificial fluvial environment. *American Journal of Physical Anthropology*, 45, 1976, pp. 53-60
- CARCAVILLA, L.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; DURÁN, J. J. (2007) *Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2007 (Cuadernos del Museo Geominero; 7)
- CARCAVILLA, L.; PALACIO, J. (2010) *Geosites, aportación española al patrimonio geológico mundial*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2010
- CARCAVILLA, L.; DELVENE, G.; DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; GARCÍA CORTÉS, A.; LOZANO, G.; RÁBANO, I.; SÁNCHEZ, A.; VEGAS, J. (2014) *Geodiversidad y patrimonio geológico*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2014
- CENDRERO, A. (1996) El patrimonio geológico. Ideas para su protección, conservación y utilización. En *El Patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1996, pp. 17-38
- CERVERA, J.; ARSUAGA, J. L.; BERMÚDEZ DE CASTRO, J. M.; CARBONELL, E. (1998) *Atapuerca: un millón de años de historia*. Madrid: Plot ediciones; editorial Complutense, 1998
- COARD, R. (1999) One bone, two bones, wet bones, dry bones: transport potentials under experimental conditions. *Journal of Archaeological Science*, 26, 1999, pp. 1369-1375
- COARD, R.; DENNELL, R. W. (1995) Taphonomy of some articulated skeletal remains: transport potencial in an artificial environment. *Journal of Archaeological Science*, 22, 1995, pp. 441-448
- CUTLER, A. H.; BEHRENSMEYER, A. K.; CHAPMAN, R. E. (1999) Environmental information in a recent bone assemblage: roles of taphonomic processes and ecological change. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 149, 1999, pp. 359-372
- DODSON, P. (1973) *The significance of small bones in paleoecological interpretation*. University of Wyoming Contributions to Geology, 12, 1973, pp. 15-19
- DURÁN, J. J.; CARCAVILLA, L.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. (2005) Patrimonio geológico: una panorámica de los últimos 30 años en España. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)*, 100 (1-4), 2005, pp. 277-287
- ELÍZAGA, E. (1988) Georrecursos culturales. En AYALA-CARCEDO, F. J.; JORDÁ, J. (coord.) *Geología Ambiental*. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España, 1988, pp. 85-100
- ELÍZAGA, E.; PALACIO, J. (1996) Valoración de puntos y/o lugares de interés geológico. En CENDRERO, A. (ed.) *El Patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1996, pp. 61-79
- ESPIGARES, M. P.; MARTÍNEZ-NAVARRO, B.; PALMQVIST, P.; ROS-MONTOYA, S.; TORO, I.; AGUSTÍ, J.; SALA, R. (2013) Homo vs. Pachycrocuta: earliest evidence of competition for an elephant carcass between scavengers at Fuente Nueva-3 (Orce, Spain). *Quaternary International*, 295, 2013, pp. 113-125
- *ESTRATEGIA Andaluza de gestión Integrada de la Geodiversidad* (2011) Sevilla: Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía
- FERNÁNDEZ-JALVO, Y.; ANDREWS, P. (2003) Experimental effects of water abrasión on bone fragments. *Journal of Taphonomy*, 1(3), 2003, pp. 147-163
- FERNÁNDEZ-JALVO, Y.; SÁNCHEZ-CHILLÓN, B.; ANDREWS, P.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, S.; ALCALÁ MARTÍNEZ, L. (2002) Morphological taphonomic transformations of fossil bones in continental environments, and repercussions on their chemical composition. *Archaeometry*, 44, 2002, pp. 353-361
- FERNÁNDEZ, S. (2017) España recibió 75,3 millones de turistas en 2016. *El Mundo* [en línea], 12/01

/2017 <<http://www.elmundo.es/economia/2017/01/12/587751a246163f6d518b4600.html>> [Consulta: 25/04/2018]

- FROSTICK, L.; REID, I. (1983) Taphonomic significance of sub-aerial transport of vertebrate fossils on steep semi-arid slopes. *Lethaia*, 16, 1983, pp. 157-164
- GARCÍA, I. (2016) El turismo gana peso en el empleo y en el PIB español. *Expansión* [en línea], 22/06/2016 <<http://www.expansion.com/empresas/transporte/2016/06/22/576a595ee5fdea8f348b45db.html>> [Consulta: 25/04/2018]
- GARCÍA-AGUILAR, J. M. (2014) *Patrimonio Geológico de la provincia de Málaga*. Málaga: Servicio de publicaciones de la Universidad de Málaga, 2014
- GARCÍA-AGUILAR, J. M.; MARTÍN, J. M. (2000) Late Neogene to recent continental history and evolution of Guadix-Baza basin (SE Spain). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 13, 2000, pp. 65-77
- GARCÍA-AGUILAR, J. M.; PALMQVIST, P. (2011) A model of lacustrine sedimentation for the early Pleistocene deposits of Guadix-Baza basin (southeast Spain). *Quaternary International*, 243, 2011, pp. 3-15
- GARCÍA-AGUILAR, J. M.; GUERRA-MERCHÁN, A.; SERRANO, F.; PALMQVIST, P.; FLORES-MOYA, A.; MARTÍNEZ-NAVARRO, B. (2014) Hydrothermal activity and its paleoecological implications in the latest Miocene to middle Pleistocene lacustrine environments of the Baza basin (Betic Cordillera, SE Spain). *Quaternary Science Reviews*, 96, 2014, pp. 204-221
- GARCÍA-AGUILAR, J. M.; ESPIGARES, M. P.; GUERRA-MERCHÁN, A.; RODRÍGUEZ-GÓMEZ, G.; JIMÉNEZ-ARENAS, J. M.; MARTÍNEZ-NAVARRO, B.; ROS-MONTOYA, S.; PÉREZ-CLAROS, J. A.; FIGUEIRIDO, B.; PALMQVIST, P. (2016) Los yacimientos del Pleistoceno inferior de la cuenca de Baza y el primer poblamiento humano de Europa (II): inferencias poblacionales y estrategias de subsistencia de los homínidos. *Actas de las XXXII Jornadas de la Sociedad española de Paleontología, Molina de Aragón (Guadalajara)*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2016, pp. 347-352 2007 (Cuadernos del Museo Geominero; 20)
- 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 LAMOLDA, M. A. (ed.) *Geociencias, recursos y patrimonio geológicos*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2005, pp. 59-72 (Geología y Geofísica; 3)
- GARCÍA-CORTÉS, A.; CARCAVILLA, L.; DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; VEGAS, J. (2014) *Propuesta para la actualización metodológica del inventariado español de lugares de interés geológico (IELIG)* [en línea] Madrid:

Instituto Geológico y Minero de España, 2014 <<http://www.igme.es/patrimonio/novedades/METODOLOGIA%20IELIG%20web.pdf>> [Consulta: 20/04/2018]

- GIFFORD, D. P. (1977) *Observations on modern human settlements as an aid to archaeological interpretation*. Ph. D. Thesis. California-Berkeley University, 1977
- GIFFORD, D. P. (1981) Taphonomy and paleoecology: a critical review of archaeology's sister discipline. *Advances in archaeological method and theory*, vol. 4, 1981 pp. 365-438
- GRAYSON, D. K. (1988) Danger Cave, Last Super Cave, and Hanging Rock Shelter: the faunas. *American Museum of Natural History Anthropological Papers*, 66(1), 1988, pp. 1-130
- HANSON, C. B. (1980) Fluvial taphonomic processes: models and experiments. En BEHRENSMEYER, A. K.; HILL, P. (ed.) *Fossils in the making*. Chicago: University of Chicago Press, 1980, pp. 156-181
- *INVENTARIO español de lugares de interés geológico (2017)* [en línea] Instituto Geológico y Minero de España, 2017 <<http://info.igme.es/ielig>> [Consulta: 20/04/2018]
- *DOCUMENTO metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG) (2017)* [en línea] Instituto Geológico y Minero de España, 2017 <<http://www.igme.es/patrimonio/novedades/METODOLOGIA%20IELIG%20web.pdf>> [Consulta: 25/04/2018]
- JOHNSON, E. (1985) Current Developments in Bone Technology. *Advances in Archaeological Method and Theory*, vol. 8, 1985, pp. 157-235
- KLEIN, R. G.; CRUZ-URIBE, K. (1984) *The Analysis of Animal Bones from Archaeological Sites*. Chicago: University of Chicago Press, 1984
- KORTH, W. W. (1979) Taphonomy of microvertebrate fossils assemblages. *Annals of the Carnegie Museum*, 48, 1979, pp. 235-285
- KUMAN, K.; CLARKE, R. J. (2000) Stratigraphy, artifact industries and hominid associations for Sterkfontein, Member 5. *Journal of Human Evolution*, 38, 2000, pp. 827-847
- LAM, Y. M. (1992) Variability in the behaviour of spotted hyaenas as taphonomic agents. *Journal of Archaeological Science*, 19, 1992, pp. 389-406
- LOCKWOOD, C. A.; TOBIAS, P. V. (2002) Morphology and affinities of new hominid cranial remains from Member 4 of the Sterkfontein Formation, Gauteng Province, South Africa. *Journal of Human Evolution*, 42, 2002, pp. 389-450
- LYMAN, R. L. (1988) Was there a last supper at Last Supper Cave? En GRAYSON, D. K. (ed.) *Danger cave, Last Supper Cave, and Hanging Rock Shelter: the faunas*. New

York: American Museum of Natural History, 1988, pp. 81-104 (American Museum of Natural History Anthropological Papers, vol. 66)

• LYMAN, R. L. (1994) *Vertebrate Taphonomy*. Cambridge: University Press, 1994

• LYMAN, R. L.; FOX, G. L. (1989) A critical evaluation of bone weathering as an indication of bone assemblage formation. *Journal of Archaeological Science*, 16, 1989, pp. 293-317

• MELÉNDEZ, B. (1977) *Paleontología*. Tomo I. Madrid: Paraninfo, 1977

• MORALES, J. (1996) El patrimonio paleontológico. Bases para su definición, estado actual y perspectivas futuras. En CENDRERO, A. (ed.) *El Patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1996, pp. 39-51

• MORALES, J.; GÓMEZ, E.; AZANZA, B. (2002) El patrimonio paleontológico español: marco legal, titularidad, gestión y conservación. En MELÉNDEZ HEVIA, G.; PEÑALVER MOLLÁ, E. (coord.) *El patrimonio paleontológico de Teruel. Jornadas sobre el Patrimonio de la provincia de Teruel, Paleontología: Rubielos de Mora, 24, 25 y 26 de septiembre de 1998*. Teruel: Instituto de Estudios Turolenses, 2002, pp. 53-62

• MORLAN, R. E. (1980) *Taphonomy and archaeology in the upper Pleistocene of the northern Yukon Territory: a glimpse of the peopling of the New World*. Ottawa: National Museum of Man (Mercury Series), Archaeological Survey of Canada n.º 94, 1980

• ORDIALES, A.; MARTÍNEZ-GARCÍA, B.; MURELAGA, X. (2016) Los fósiles de las rocas ornamentales de Bilbao (Bizkaia, N de España) como herramienta para la didáctica de la Paleontología. *Actas de las XXXII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología (Guadalajara)*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2016, pp. 251-256 (Cuadernos del Museo Geominero; 20)

• PALMQVIST, P.; DE RENZI, M.; ARRIBAS, A.; ÁLVAREZ-COTO, G. G.; TORREGROSA, V. (2002) Characterizing the sedimentary context and taphonomic mode of vertebrate assemblages: towards a multidimensional approach. En DE RIENZI, M.; PARDO ALONSO, M. V.; BELINCHÓN, M.; PEÑALVER E.; MONTOYA, P.; MÁRQUEZ-ALIAGA, A. (ed.) *Current Topics in Taphonomy and Fossilization*. Valencia: Ayuntamiento de Valencia, 2002, pp. 361-383

• PALMQVIST, P.; MARTÍNEZ-NAVARRO, B.; PÉREZ-CLAROS, J. A.; TORREGROSA, V.; FIGUEIRIDO, B.; JIMÉNEZ-ARENAS, J. M.; PATROCINIO-ESPIGARES, M.; ROS-MONTOYA, S.; DE RENZI, M. (2011) The giant hyena *Pachycrocuta brevirostris*: modelling the bone-cracking behavior of an extinct carnivore. *Quaternary International*, 243, 2011, pp. 61-79

• ROS-MONTOYA, S.; MARTÍNEZ-NAVARRO, B.; ESPIGARES, M. P.; GUERRA-MERCHÁN, A.; GARCÍA-AGUILAR, J. M.; PIÑERO, P.; RODRÍGUEZ-RUEDA, A.; AGUSTÍ, J.; OMS, O.; PALMQVIST, P. (2017) A new Ruscinian site in Europe: Baza-1 (Baza basin, Andalusia, Spain). *Comptes Rendus Palevol*, 16, 2017, pp. 746-761

• ROSAS, A.; AGUIRRE, E. (1999) Restos humanos neandertales de la cueva del Sidrón, Piñola, Asturias. Nota preliminar. *Estudios Geológicos*, 55, 1999, pp. 181-190

• SHIPMAN, P. (1981) *Life history of a fossil: an introduction to taphonomy and paleoecology*. Cambridge: Harvard University Press, 1981

• TAPPEN, M. (1994) Bone weathering in the tropical rain forest. *Journal of Archaeological Science*, 21, 1994, pp. 667-673

• TAPPEN, M. (1995) Savanna ecology and natural bone deposition: implications for early hominid site formation, hunting and scavenging. *Current Anthropology*, 36, 1995, pp. 223-260

• TODD, L. C. (1983) Taphonomy: fleshing out the dry bones of Plañís prehistory. *The Wyoming Archaeologist*, 26 (3-4), 1983, pp. 36-46

• TODD, L. C.; WITTER, R. V.; FRISON, G. C. (1987) Excavation and documentation of the Princeton and Smithsonian horner Site assemblages. En FRISON, G. C.; TODD, L. C. (ed.) *The Horner Site: the type site of the Cody Cultural Complex*. Orlando, Fla.: Academic Press, 1987, pp. 39-91

• TORO-MOYANO, I.; MARTÍNEZ-NAVARRO, B.; AGUSTÍ, J.; SOUDAY, C.; BERMÚDEZ DE CASTRO, J. M.; MARTINÓN-TORRES, M.; FAJARDO, B.; DUVAL, M.; FALGUERES, C.; OMS, O.; PARÉS, J. M.; ANADÓN, P.; JULIÁ, R.; GARCÍA-AGUILAR, J. M.; MOIGNE, A. M.; ESPIGARES, M. P.; ROS-MONTOYA, S.; PALMQVIST, P. (2013) The oldest human remain in Europe, from Orce (Spain). *Journal of Human Evolution*, 65, 2013, pp. 1-9

• TRUEMAN, C. N.; MARTILL, D. M. (2002) The long-term survival of bone: the role of bioerosion. *Archaeometry*, 44 (3), 2002, pp. 371-382

• VILLA, P.; MAHIEU, E. (1991) Breakage patterns of human long bones. *Journal of Human Evolution*, 21, 1991, pp. 27-48

• VOORHIES, M. (1969) *Taphonomy and population dynamics of an early Pliocene vertebrate fauna, Knox County, Nebraska*. Laramie: University of Wyoming, (Contributions to geology, Special paper, no. 1), 1969

• WOLFF, R. G. (1973) Hydrodynamic sorting and ecology of a Pleistocene Mammalian assemblage from California (U.S.A.) *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 13, 1973, pp. 91-101