

Proyectos de investigación en parques nacionales: 2010-2013

GEODIVERSIDAD E ITINERARIOS GEOLÓGICOS EN EL PARQUE NACIONAL DE CABAÑEROS

JUAN CARLOS GUTIÉRREZ-MARCO¹, ISABEL RÁBANO², ARTUR A. SÁ³,
ELEUTERIO BAEZA CHICO⁴, GRACIELA N. SARMIENTO⁵,
PEDRO HERRANZ ARAÚJO⁶ Y MIGUEL ÁNGEL DE SAN JOSÉ LANCHA⁶

RESUMEN

Del análisis de los materiales geológicos que afloran en el territorio del Parque Nacional de Cabañeros, se proponen ocho Lugares de Interés Geológico (LIG) y tres geo-rutas que recopilan lo más importante de la geodiversidad paleozoica y del Patrimonio Geológico del Parque Nacional de Cabañeros. Parte de los LIG son accesibles a través de senderos pedestres, tanto guiados como de libre ingreso, así como por la ruta que asciende al pico Rocigalgo en vehículos todo-terreno. También hay LIG emplazados en fincas privadas dentro del Parque, restringidos al uso científico autorizado por el parque y los propietarios. El itinerario con mayores valores geoturísticos es la ruta pedestre del Boquerón del Estena, transitada cada año por decenas de miles de personas, que muestra una sección bastante completa de sedimentos cámbricos y ordovícicos, una discordancia angular, tectonismo varisco y prevarisco, así como yacimientos extraordinarios de icnofósiles, entre ellos un plano con huellas gigantes de gusanos marinos. Los LIG paleozoicos localizados en el parque nacional varían su interés desde el rango regional al internacional, y constituyen un valor añadido a este espacio natural. Tres de ellos ya han sido seleccionados oficialmente en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico a cargo del IGME. El potencial geoturístico y educativo comienza a ser explorado con la instalación de señalizaciones y paneles en algunas rutas, complementadas con la edición de folletos y la realización de visitas guiadas. Desde el punto de vista paleontológico, el territorio del Parque reúne interesantes yacimientos del Cámbrico inferior y del Ordovícico Inferior y Medio. Los de las dos primeras épocas son especialmente icnológicos, en tanto que las 13 localidades fosilíferas del Oretaniense inferior (Ordovícico Medio) aportan 61 formas distintas de trilobites, moluscos, braquiópodos, equinodermos, graptolitos, conuláridos, poríferos, briozoos y ostrácodos. De ellos, el LIG Los Medianiles-El Rolvedo (sinclinal de La Chorrera) ofrece un interés científico especial de cara a su geoconservación, por constituir la localidad tipo de nuevos taxones de esponjas, braquiópodos y bivalvos. El resto de los yaci-

¹ Instituto de Geociencias (CSIC, UCM), José Antonio Novais 12, 28040 Madrid; Tel. 913 944 874, Fax 913 944 849; e-mail: jcgrapto@ucm.es, jc.gutierrez.marco@csic.es.

² Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. Tel. 913 495 819; Fax 913 495 828; e-mail: i.rabano@igme.es.

³ Departamento de Geologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados, 5000-801 Vila Real (Portugal) y Centro de Geociências da Universidade de Coimbra. Tel. +351 259 350 218; Fax +351 259 350 480; e-mail: asa@utad.pt.

⁴ Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. Tel. 913 495 897; Fax 913 495 828; e-mail: e.baeza@igme.es.

⁵ Departamento de Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. Tel. 913 944 846; Fax 913 944 849; e-mail: gsarmien@ucm.es.

⁶ Investigadores jubilados. Departamento de Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. Tel. 913 944 799; Fax 913 944 808; e-mail: desanjose.moreno@gmail.com.

mientos no requieren una protección específica, más allá de la restricción a un uso exclusivamente científico, garantizado suficientemente por la figura de Parque Nacional. Adicionalmente, se presentan los detalles técnicos que condujeron a la realización de dos grandes réplicas con icnofósiles de elevado interés científico, localizados en las cuarcitas y areniscas del Ordovícico Inferior del Parque Nacional de Cabañeros. La réplica de *Cruziana* (13,4 m²) es la segunda más grande del mundo, hecha en una sola pieza, en el campo de la paleoicnología de invertebrados. Nuestro estudio se complementa con la primera referencia histórica a la geología del área, el análisis de la minería antigua y su paragénesis, y el hallazgo de un nuevo meteorito metálico cerca de la linde septentrional del Parque Nacional, correspondiente a una octaedrita gruesa del complejo principal del grupo IAB, de cerca de 100 kg de peso.

Palabras clave: Geología, Paleontología, Geodiversidad, Geoconservación, Geoturismo, Patrimonio geológico, Parques Nacionales, España.

SUMMARY

The Cabañeros National Park is located within the Palaeozoic basement areas belonging to the southern part of the Central Iberian Zone of the Iberian Massif. It is mainly composed of Lower Cambrian to Middle Ordovician marine rocks, affected by Variscan folding and faulting and by differential erosion processes of the Palaeozoic formations leading to an Appalachian-like relief. Eight geosites and three geological itineraries are proposed as representative of the most important places for geodiversity and geological heritage of the Cabañeros National Park. Some of the geosites can be visited through several walking trails (free-access or guided) and one 4WD-vehicle guided route which climbs to the Rocigalgo peak, whereas others are in private land, making them only accessible with the consent of both their owners and the Park authorities. The key itinerary due to its significant value for nature tourism is the Bquerón del Estena Geoturistic trail, visited by tens of thousands of people every year. It presents considerable attraction because of its rather complete Cambrian to Ordovician sedimentary record, the outcrop of a major angular unconformity, a stunning example of Variscan tectonism, and by its outstanding trace fossils, including a bedding plane with astonishing giant burrows made by marine worms. Palaeozoic geosites of regional, national or international interest located in the Cabañeros National Park constitute an additional value to this natural area, and their potential as a geotouristic and educational resource is being implemented in the form of fixed information-signs, geotouristic trails, guided visits, and tourist information-guides and leaflets. From a palaeontological point of view, Cabañeros comprises interesting fossil localities from early Cambrian, and Early and Middle Ordovician epochs. A total of 13 sites of late Darriwilian age provide 61 different trilobites, molluscs, brachiopods, echinoderms, graptolites, conularids, poriferans, bryozoans and ostracods, some of them belonging to new taxa. A geosite is proposed within the La Chorrera syncline to contain the Los Medianiles–El Robledo fossil localities. This is essential to ensure their adequate geoconservation, because its exceptional paleontological record –comprising new taxa of sponges, brachiopods and bivalves– is yet to be described and published. Fossil collecting in the remaining localities is strictly limited for research purposes and, as such, is effectively protected under the regulation laws in effect within the boundaries of the National Park. Additionally, we are presenting the technical details that have led to the completion of two large casts of ichnofossils of great scientific interest, located in the Lower Ordovician sequence. The replica with abundant traces of *Cruziana* (13.4 m²) is the second largest single-piece cast in the world in the field of invertebrate palaeoichnology. Our studies are complemented with the oldest geological reference for the area, some data related with ancient mining and a Pb–Zn paragenesis, and the finding of a new iron meteorite near the northern boundary of the National Park: a coarse octaedrite from the IAB complex (main group), of about 100 kg in weight.

Key words: Geology, Palaeontology, Geodiversity, Geoconservation, Geotourism, Geological heritage, National Parks, Spain.

INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional de Cabañeros se ubica, desde el punto de vista geológico, en un pequeño sector de la Zona Centroibérica del Macizo Hespérico, pero que resulta muy representativo de la sedimentación marina del Paleozoico, de su plegamiento y fracturación posterior durante las orogénias Varisca y Alpina, así como de los prolongados periodos de levantamiento y erosión experimentados por la Meseta a lo largo del Neógeno y Cuaternario (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2010, con referencias previas).

Las nuevas investigaciones se han orientado a la demarcación, valoración y estudio detallado de una serie de lugares singulares para establecer el patrimonio geológico de Cabañeros, tipificadores de su geodiversidad estratigráfica, tectónica, paleontológica y geomorfológica. Como primer antecedente cabe citar la catalogación provisional del patrimonio paleozoico (*sensu lato*) del Parque Nacional entre los contextos geológicos españoles de relevancia internacional (proyecto *Global Geosites* de la IUGS-UNESCO: GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2008b, punto PZ004; CARCAVILLA y PALACIO 2010, LIG 8), que a su vez fueron integrados como anexos a desarrollar por la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Un proyecto precursor del actual (OAPN 56/2005, 2006-2009) inició la actualización de la cartografía geológica y exploró la potencialidad de diversos afloramientos y yacimientos paleontológicos en Cabañeros. En esta segunda fase se ha tratado de completar el conocimiento de la diversidad geológica del Parque Nacional, con énfasis en la identificación y clasificación de los posibles Lugares de Interés Geológico (LIG), en sus distintas categorías. También en la implementación de informaciones geocientíficas a las rutas acondicionadas para los visitantes, con el fin de promocionar su patrimonio geológico a través de los lugares con mayor potencialidad geoturística de Cabañeros. En este sentido conviene señalar que la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) ha equiparado recientemente los valores naturales de la biodiversidad/bioconservación y los de la geodiversidad/geoconservación, si bien

los conceptos que rodean a la parte geológica del medio natural permanecen aún confusos para muchos ambientalistas. Es por ello que nos remitimos a CARCAVILLA *et al.* (2012) para aclarar términos básicos como geodiversidad, geoconservación, patrimonio geológico, Lugar de Interés Geológico (LIG) o geoturismo, en una publicación descargable gratuitamente por internet. Desde nuestro punto de vista, el patrimonio natural geológico y la geodiversidad de Cabañeros conciernen a elementos naturales accesibles en cualquier época del año, sin la componente estacional o diurna que afecta a la contemplación de su biodiversidad, mucho más conocida y explotada. Se trata, en definitiva, de descubrir y crear valores añadidos al Parque Nacional para ponerlo a la disposición de sus entes gestores, y posibilitar un régimen de visitas ligado a actuaciones de geoconservación concretas. Una prueba de la sensibilidad por parte del OAPN hacia estos recursos fue resumida recientemente por GUTIÉRREZ-MARCO (2013).

MATERIAL Y MÉTODOS

En los trabajos geológicos y paleontológicos, desarrollados tanto en la fase de campo como de laboratorio, se ha seguido una metodología general de corte clásico, suficientemente contrastada por la experiencia previa del equipo en las temáticas geológicas y de geoconservación implicadas.

La mayor parte de los recursos se han invertido en la exploración especializada del territorio, además de en actuaciones técnicas relacionadas con la conservación del patrimonio geológico-paleontológico. Estas últimas incluyeron la excavación sistemática y limpieza de yacimientos, la obtención de moldes de silicona *in situ* y replicado en resinas de elementos singulares, el ensayo a la intemperie de productos fijadores y colorantes durante años, y la consolidación final de una gran superficie icnológica.

La preparación en laboratorio de las muestras petrológicas, mineralógicas y del material paleontológico se ha hecho con arreglo a los estándares habituales para la confección de láminas delgadas, la preparación mecánica de microfósiles, la

separación química de microfósiles, el moldeado en látex y siliconas, la tinción con vapores de óxido de magnesio, la microscopía óptica polarizada o estereoscópica, la microscopía electrónica de barrido y los microanálisis por energía dispersiva de rayos X o microsonda electrónica. Los laboratorios y bibliotecas implicados en la investigación han sido los del Instituto de Geociencias, Departamento de Paleontología de la Universidad Complutense e Instituto Geológico y Minero de España, así como el Centro Nacional de Microscopía Electrónica, una gran instalación científica del MINECO, CAM y UE, ubicada en la Ciudad Universitaria de Madrid.

Para el estudio de determinados grupos fósiles y la mineralogía se ha contado con el asesoramiento de especialistas externos. La metodología relacionada con la investigación y gestión del Patrimonio Geológico, ha seguido los procedimientos establecidos inicialmente por CARCAVILLA *et al.* (2007), y más tarde mejorados y estandarizados por el Instituto Geológico y Minero de España (GARCÍA-CORTÉS y CARCAVILLA, 2013), en desarrollo de la Ley 42/2007 y Real Decreto 556/2011.

RESULTADOS

El desarrollo de la Acción estratégica 052/2009 de la Red de Parques Nacionales (2010-2012, prorrogada en 2013), permitió sustanciar diversos aspectos de la geodiversidad y patrimonio geológico de Cabañeros, alguno de ellos nuevos, además de brindar un primer inventario de los Lugares de Interés Geológico, ejecutar actuaciones concretas de geoconservación, y proponer diversas iniciativas geoturísticas en los itinerarios abiertos a los visitantes.

Geodiversidad de Cabañeros

Los rasgos geológicos generales del Parque Nacional ya fueron precisados por GUTIÉRREZ-MARCO *et al.* (2010), junto con el primer mapa de conjunto de Cabañeros y la nomenclatura de las diferentes unidades estratigráficas y estructurales.

SAN JOSÉ *et al.* (2011) aportaron una visión complementaria sobre las formaciones continentales y los rasgos paisajísticos de los Montes de Toledo. En el presente estudio se ha proseguido la investigación de diversas unidades estratigráficas paleozoicas, y sus resultados se desglosan en epígrafes aparte, precedidos por el siguiente resumen geológico general.

La geodiversidad en el área de sierras del Parque Nacional abarca dos unidades con predominio cuarcítico, muy resistentes a la erosión y responsables por tanto de importantes relieves en la región: por un lado la Cuarcita Armoricana (Ordovícico inferior) y por otro la Formación Areniscas del Azorejo (Cámbrico inferior). Flanqueando a la primera se hallan otras dos unidades que afloran en gran extensión y brindan relieves subordinados a aquella: las llamadas «Capas Intermedias» (la unidad más antigua de la sucesión ordovícica) y las «Capas de Marjaliza», del límite Ordovícico Medio-Superior.

Las depresiones intramontañosas se formaron a partir de las unidades de predominio pizarroso que constituyen el núcleo de los grandes pliegues variscos, en virtud de su denudación diferencial desde tiempos antiguos y al encajamiento hidrográfico a lo largo del Neógeno-Cuaternario: la Formación Pizarras del Pusa (esencialmente del Cámbrico inferior), aflorante en los núcleos anticlinales de Garbanzuelo, Cabañeros, La Tejona y Miraflores; y la Formación Navas de Estena (Ordovícico Medio), exhumada en los núcleos sinclinales de Navas de Estena, Las Viñuelas y La Chorrera.

Todas las unidades paleozoicas, sedimentadas en la plataforma marina que circundaba al desaparecido continente de Gondwana, se vieron afectadas por la Orogenia Varisca, iniciada en el Carbonífero inferior (Misisípico tardío). Ésta condujo a la formación de grandes pliegues erguidos de fase 3, de orientación noroeste-sureste, con desarrollo de una foliación de plano axial (especialmente penetrativa en las unidades pizarrosas), y un metamorfismo regional de grado bajo. La fracturación tardivarisca se manifiesta por la existencia de grandes fallas, de rumbo suroeste-noreste y claro componente sinistral, con saltos

verticales de varios cientos de metros y desgarres horizontales de hasta 1600 m. Con anterioridad al diastrofismo varisco, la plataforma marina del Cámbrico inferior había sufrido deformaciones por basculamiento distensivo y compresión de bloques corticales, que condujeron al desarrollo de una gran discordancia angular (Discordancia Toledánica) al reanudarse la sedimentación en el Ordovícico Inferior.

Tras la emersión de la Cadena Varisca, generada por el choque de los paleocontinentes de Gondwana y Laurasia, ocurrido hace más de 300 millones de años, el supercontinente Pangea recién formado se vio sometido a una prolongada e intensa erosión. El territorio correspondiente a Cabañeros permaneció emergido y no fue alcanzado por las transgresiones marinas de las eras Mesozoica y Terciaria. Fiel testigo del arrasamiento erosivo de Pangea nos queda una penplanicie muy antigua, que enrasa el relieve medio de las montañas del Parque Nacional en torno a los 1000 m de altitud. Esta superficie se conserva «colgada» en uno de los *rasos* principales del Parque (macizo del Chorito), pero durante la Orogenia Alpina se produjo una importante dislocación que elevó el macizo del Rocigalgo hasta los 1.400 m de altura. La diferencia de cota (al menos 400 m) corresponde al salto vertical de la falla del Gualí, por la que se prolonga el sistema de fallas que sobreelevó el macizo de las Villuercas hasta una altitud considerable (1.400-1.600 m). El influjo de los movimientos alpinos no añade deformación a los materiales paleozoicos a la escala de Cabañeros, donde probablemente reactivaron algunas fallas variscas, incrementando su desgarramiento horizontal, pero sí produjo el desnivelado de la penplanicie erosiva de Pangea, generando el ascenso del macizo del Rocigalgo sobre los sectores centro-orientales del Parque.

La submeseta meridional experimentó, esencialmente en tiempos post-alpinos, varios ciclos de intensa erosión, que condujeron a la formación de un relieve de estilo «apalachiano» en los materiales plegados del ciclo varisco, en virtud del cual alternan hoy en día las líneas de cumbres, formadas por las unidades cuarcíticas más resistentes a la erosión, con los valles encajados en las

unidades blandas y de predominio pizarroso. A finales del Neógeno se inicia la sedimentación de varias generaciones de abanicos aluviales, que produjeron suaves rampas pedregosas de coloración rojiza (rañas), cuya cabecera nace de los montes cuarcíticos (Fig. 1A-B). Estos abanicos aplanados llegan a recubrir paulatinamente el fondo de las depresiones con depósitos de raña de poco espesor (< 5-10 m), ocultando las pizarras subyacentes de origen marino. La sedimentación aluvial continúa hasta el Pleistoceno inferior, cuando tiene lugar una inflexión en la evolución geológica regional, y los abanicos comienzan a ser disectados por el encajamiento de la red de drenaje actual. Entre otros efectos, al norte del Parque Nacional se producen las capturas fluviales de los ríos Bullaque y Estena, cuyas cabeceras pertenecieron a antiguos ríos que discurrían hacia el este y desde su captura pasaron a fluir hacia el sur (MARTÍN SERRANO, 1991; MARTÍN SERRANO y NOZAL MARTÍN, 2006). Con todo, la disección fluvial en la cuenca del río Bullaque es bastante más débil que en la del Estena, y por ello las rañas tapizan de un modo prácticamente continuo la llanura meridional de Cabañeros, brindando una fisonomía muy característica de sabana arbolada, calificada informalmente como el «Serengueti español» por sus suelos de coloración rojiza, vegetación arbórea dispersa y abundancia de herbívoros.

El encajamiento de la red hidrográfica actual, en su interacción con las rocas paleozoicas, ha generado notables paisajes en el área montañosa de Cabañeros, entre ellos gargantas fluviales delimitadas por estrechos portillos (o «boquerones», como el del Estena), saltos de agua (cascadas del Chorro y Chorrera Chica) o relieves singulares (Peña Estena). En algunos sectores del cauce del río Estena, se ha observado también el desarrollo incipiente de formas erosivas del tipo «marmitas de gigante» (Fig. 1D), hasta ahora no citadas en el Parque Nacional.

Entre los depósitos cuaternarios más difundidos, y aparte de las llanuras de inundación y terrazas fluviales, destacan los canchales o pedrizas, que son coluviones de fragmentos sueltos de cuarcita formados por la acción combinada de la gelifración y la gravedad, bien visibles en las laderas de

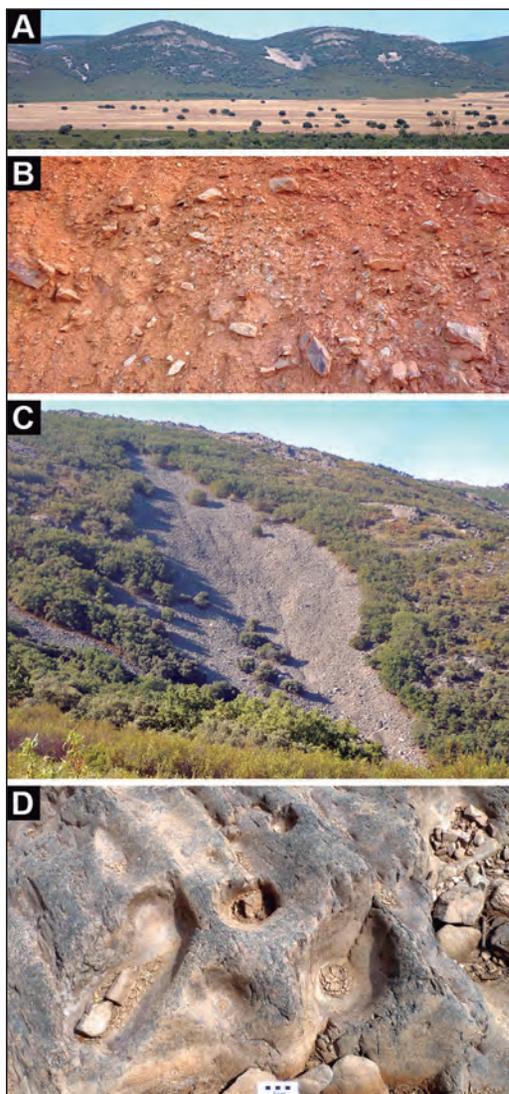


Figura 1. A, Paisaje del flanco norte del sinclinal de Las Viñuelas, con la Cuarcita Armoricana formando los montes y la planicie de raña al pie; B, sección de la raña cerca de Horcajo, mostrando la matriz rojiza con mezcla de cantos y bloques; C, canchal de cuarcita al norte del risco de Las Tejadillas; D, Marmitas de gigante en el cauce del río Estena en Valhondo.

Figure 1. Landscape on the northern flank of Las Viñuelas syncline, with reliefs of the Armoricana Quartzite in the background and the *raña* alluvial fans in front; B, section of the *raña* deposits near Horcajo, showing cobbles and pebbles of quartzite embedded in a strongly weathered reddish matrix; C, scree slope of quartzite blocks north of Las Tejadillas cliff; D, small potholes in the Estena river-bed, Valhondo area.

las alineaciones cuarcíticas (Fig. 1C). La mayoría de estos depósitos se iniciaron durante los ciclos de clima frío contemporáneos de las glaciaciones del Cuaternario, y desde entonces las pedrizas continúan activas y con desplazamiento debido a la incompleta regularización de las pendientes. Esto último ocurre por el descenso a impulsos de sus niveles de base, en sucesivos ciclos de encajamiento de la red fluvial.

Aspectos históricos

Como consecuencia de la investigación documental sobre Cabañeros, proseguida de un modo riguroso y exhaustivo a lo largo de muchos años, se ha logrado descubrir durante el proyecto la primera fuente histórica de tipo geológico acerca de este territorio, y logrado fechar con cierta aproximación la actividad minera en el mismo.

El primer caso corresponde al trabajo de LUJÁN (1850), quien aporta un mapa geológico donde la extensión del Parque Nacional queda cubierta por los «terrenos silurianos y cambrianos». En su estudio cita de forma expresa tanto a la cuarcita siluriana, como a los canchales más recientes derivados de ella, que forman el alto denominado «Espinazo del Can», representado también en el corte geológico acompañante (Fig. 2A-B). La mención de este paraje precede a la hecha por CORTÁZAR (1880), quien descubrió en el mismo lugar un prolífico yacimiento de *Cruziana* del Siluriano inferior, llegando a suponer que el propio topónimo podría derivar de la ornamentación tan particular de dicho icnofósil, cuando en realidad se refiere a la loma alargada de flancos empinados donde se ubica. Este primer yacimiento paleontológico descubierto en Cabañeros tardó más de un siglo en ser relocalizado (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2010), situándose en la traza de la antigua cañada que unía Horcajo de Los Montes y Retuerta del Bullaque, hoy virtualmente desaparecida (Fig. 2C). Aparte de la cartografía geológica aportada por estos trabajos pioneros, un tercer mapa del siglo XIX permaneció inédito por otros 135 años (SAN JOSÉ *et al.*, 2005).

En lo que se refiere a los vestigios de minería antigua en el Parque Nacional, se han observado gale-

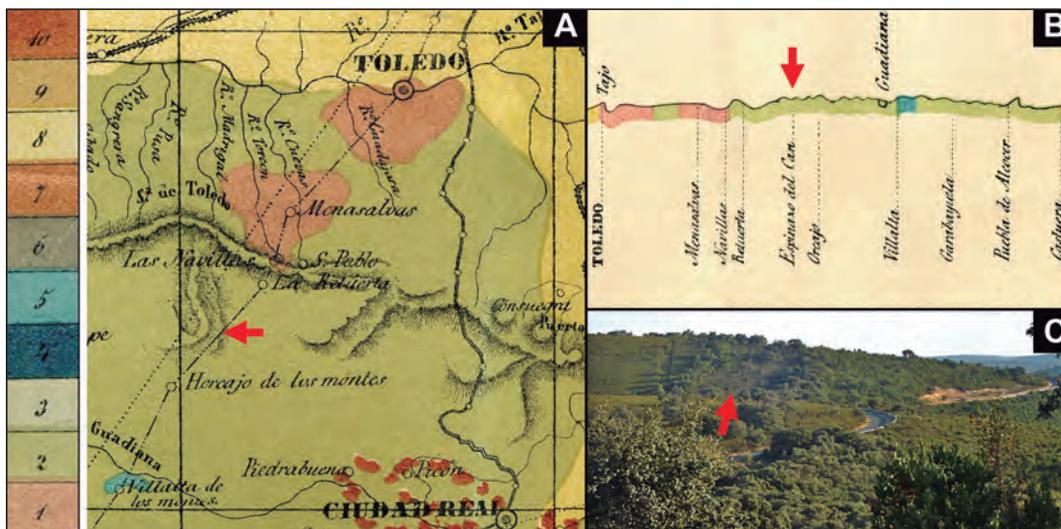


Figura 2. Detalle del mapa (A) y corte geológico (B) más antiguos del territorio de Cabañeros, obra de LUJÁN (1850). Los materiales geológicos intervinientes corresponden a los numerados a la izquierda como “Granito” (1), “Terrenos Silurianos y Cambrianos” (2), “Calizo de Montaña” -sic- (5), “Terrenos terciarios” (8) y “Volcanes apagados” (10). La cuadrícula vertical equivale a un grado de meridiano. La flecha roja en A y B señala la posición del puerto del Espinazo del Can (LIG 7), donde CORTÁZAR (1880) encontró los primeros fósiles del Parque Nacional. Este yacimiento tardó 130 años en ser redescubierto, por situarse en la traza de una cañada abandonada, con tramos enteramente ocultos por la vegetación (flecha roja en C).

Figure 2. Details of the oldest geological map (A) and cross-section (B) of the Cabañeros territory, by Luján (1850). The involved geological symbols on the left correspond to “granite” (1), “Cambrian and Silurian rocks” (2), “Calizo de Montaña” (Mountain limestone, 5), “Tertiary rocks” (8) and “extinct volcanoes” (10). Distance between vertical lines represents one meridian degree. Red arrows in A and B mark the position of the “Espinazo del Can” promontory (Geosite 7), where CORTÁZAR (1880) recorded the first fossils from the National Park. The precise location was only rediscovered 130 years later, because it was along an old cattle path (red arrow in C) now almost completely covered by vegetation.

rías de factura romana en filones de cuarzo encajados en las Areniscas del Azorejo (Fig. 3A), pronto abandonadas por su escaso espesor, continuidad y débil contenido aurífero. También se han detectado canalizaciones de agua, talladas en las pizarras del Ordovícico Medio del curso bajo del arroyo de La Calanchera, presumiblemente para el lavado de aluviones auríferos. En las Pizarras del Pusa del núcleo del anticlinal de Garbanzuelo, se conocen mineralizaciones hidrotermales de plomo-zinc, con esporádicos trabajos de explotación. Su mejor ejemplo lo tenemos en la mina de «Las Peralosas», que consta de una pequeña construcción de piedra, más restos de un pozo inundado y una trinchera, que benefician un filón subvertical poco definido, de orientación N120°, encajado en dichas pizarras (Fig. 3B-D). La datación relativa preliminar de la explotación (decenio de 1920) fue posible por el descubrimiento de una base hormigonada

con pernos de hierro y un dispositivo de concentración por flotación (Fig. 3E). No obstante en fechas recientes obtuvimos las primeras referencias documentales acerca de esta ignota mina, correspondientes a la *Estadística Minera* publicada por el Ministerio de Fomento en 1912 y 1923. La primera establece el nombre del propietario y el censo de siete obreros, que trabajaban bajo pedido o según precios y demanda de mineral.

Lugares de Interés Geológico

Los LIG son lugares con elementos geológicos de relevancia y valor especial, seleccionados con la metodología propia de estudio del patrimonio geológico, y que se ordenan en inventarios o catálogos a efectos de gestión, ordenación territorial y evaluación ambiental. El término «Lugar de Interés Geológico» (LIG) goza de prioridad



Figura 3. Vestigios mineros en los parajes de Valhondo (A, LIG 4) y Las Peralosas (B-E, LIG 6). A, galería de factura romana beneficiando un filón de cuarzo en las Areniscas del Azorejo; B, restos de instalación minera y escombrera; C, pozo inundado; D, calicata en un filón encajado en las Pizarras del Pusa; E, lavadero de mineral con cubetas de metro y medio de diámetro, ubicadas a diferente cota y unidas por un canal.

Figure 3. Mining evidence in the areas of Valhondo (A, geosite 4) and Las Peralosas (B-E, geosite 6). A, Roman-style drift following a quartz vein in the Azorejo sandstones; B, mine pile and construction; C, flooded vertical shaft; D, trench on an hydrothermal zinc-lead vein hosted by the Pusa shales; E, mineral washing was done by a series of stepwise circular basins (1–1.5 m in diameter) connected by a channel.



sobre otras denominaciones similares como «punto de interés geológico» (PIG) «geositio» o «geotopo», por haber sido el elegido por la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. De acuerdo con CARCAVILLA *et al.* (2012), la singularidad que brinda valor a los LIG suele ser de naturaleza científica, didáctica, histórica o paisajística y, al mismo tiempo, se requiere que ilustren procesos modélicos o representativos de la geodiversidad de una región, o

bien posean interés adicional por determinados aspectos culturales, sociales o del medio natural (presente o pretérito).

La relación de los LIG esenciales del Parque Nacional de Cabañeros (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2013a), junto con los campos de interés principal de cada uno, se expone brevemente siguiendo un orden geográfico, de noroeste a su-este, y su ubicación general consta en la Fig. 4:

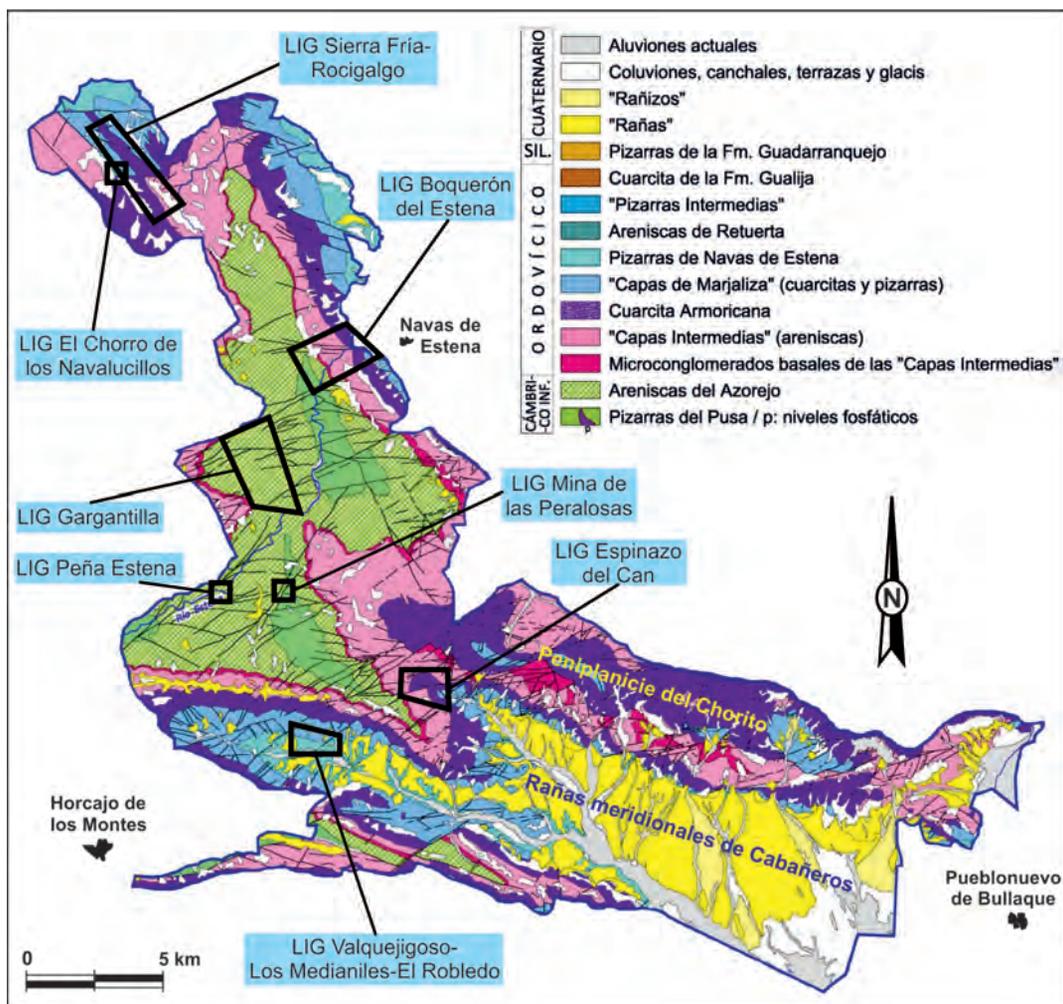


Figura 4. Esquema geológico del Parque Nacional de Cabañeros (adaptado de GUTIÉRREZ-MARCO *et al.* 2010), en el que se indica la posición de sus principales Lugares de Interés Geológico.

Figure 4. Geological sketch map of the Cabañeros National Park (adapted from GUTIÉRREZ-MARCO *et al.* 2010) showing the location of its main geosites.



LIG 1: Chorro de Los Navalucillos (Fig. 5F). Corresponde a una cascada desarrollada en la charnela cuarcítica del núcleo del sinclinal de Rocigalgo, aquí prácticamente horizontal, cuyo

desnivel se debe a la erosión diferencial de la Cuarcita Armoricana con respecto a las infra-yacentes «Capas Intermedias», unidades ambas del Ordovícico Inferior. Hasta mediados



Figura 5. Aspectos de campo de los LIG de Sierra Fría-Rocigalgo (A-D) y El Chorro de los Navalucillos (E-F). A, vista general del camino de ascenso a Sierra Fría; B-C, abrigo rocoso en la Cuarcita Armoricana (B) y detalle de areniscas con estratificación cruzada hummocky (C); D, pequeña falla con desgarre sinistral, afectando a una cresta de Cuarcita Armoricana, al noroeste del pico Rocigalgo (el todo-terreno de la izquierda sirve de escala); E, rizaduras de oscilación en un estrato vertical de las “Capas Intermedias”, al borde del camino que se dirige al Chorro; F, El Chorro de los Navalucillos, un salto de agua desarrollado en estratos casi horizontales de la Cuarcita Armoricana.

Figure 5. Field pictures of the Sierra Fría-Rocigalgo and El Chorro geosites. A, a general view of the track rising to Sierra Fría; B-C, rock shelter in the Armoric Quartzite, rich in *Cruziana* and showing hummocky cross stratification close by (B); D, small fault with sinistral movement in a crest of Armoric Quartzite northwest from Rocigalgo summit (notice 4WD on the left as scale); E, oscillation ripples in a vertical bed of the “Intermediate Beds”, western margin of the Chorro stream valley; F, El Chorro waterfall jumping the almost-horizontal strata of the Armoric Quartzite.



de 2013 se pensaba que el cantil que provoca el salto de agua se debía a una falla cartografiada en el mapa geológico oficial (IGME 1989), pero la revisión estratigráfica de los afloramientos correspondientes a su supuesto bloque levantado septentrional, reveló que éstos correspondían íntegramente a una sucesión normal con las «Capas Intermedias», y no a varios contactos tectónicos entre dicha unidad y las Capas de Marjaliza con la Cuarcita Armoricana. El LIG suma además a la llamada «Chorrera Chica», un salto escalonado que se sitúa en el mismo arroyo del Chorro, aguas arriba de la cascada principal. El interés esencial de este PIG no es solamente geomorfológico, por componer un paraje de gran belleza natural, sino también estratigráfico, dado que permite observar estructuras sedimentarias de gran escala en la parte basal de la Cuarcita Armoricana. Este tramo se presenta normalmente cubierto por derrubios de ladera en los flancos de los pliegues variscos, de ahí su rareza.

LIG 2: Sierra Fría-Rocigalgo (Fig. 5A-D y 6). Afloramientos de Cuarcita Armoricana (Ordovícico Inferior) afectados por pliegues y pequeñas fallas, donde se aprecian secuencias sedimentarias marino-someras con multitud de trazas fósiles, tanto paralelas como perpendiculares a la estratificación. El interés principal es estratigráfico, paleontológico, tectónico y geomorfológico, este último favorecido por las vistas panorámicas que permiten interpretar la evolución estructural y erosiva del paisaje y las formaciones superficiales. El yacimiento paleoicnológico del abrigo de Sierra Fría, que conserva pinturas rupestres, representa una secuencia típica estrato y granocreciente, sedimentada en un ambiente de plataforma marina somera progradante (Fig. 5B-C y 6). La parte inferior corresponde a las facies relativamente más profundas (submareal próximo al nivel de base del oleaje), evolucionando hacia techo a un ambiente más somero y energético (intermareal). Se aprecian estructuras sedimentarias de alta energía (estratificación cruzada hummocky y sigmoidal, amalgamación horizontal, geofomas de gran longitud de onda), integración de las icnofacies de *Cruziana* y *Skolithos* en su contexto ambiental, colonización oportu-

nista de organismos suspensívoros post-tormentas, remociones bruscas del sustrato, etc.

LIG 3: Boquerón del Estena. Registro estratigráfico completo de la sucesión del Ordovícico Inferior del flanco suroccidental del sinclinal de Navas de Estena, que descansa en discordancia angular (Discordancia Toledánica) sobre un basamento cámbrico (Areniscas del Azorejo y Pizarras del Pusa). Con numerosos elementos de interés estratigráfico, sedimentológico, paleontológico, tectónico y geomorfológico, tanto paleozoicos como post-paleozoicos, algunos de ellos de interés internacional (Discordancia Toledánica, yacimientos icnológicos de las «galerías de gusanos gigantes» + concentración excepcional de *Cruziana*), ver GUTIÉRREZ-MARCO *et al.* (2010, 2011c).

LIG 4: Gargantilla (Fig. 1D, 3A y 7A-G). Afloramientos de las Areniscas del Azorejo (Cámbrico Inferior) con concentración excepcional de trazas fósiles (yacimientos Gargantilla 1 y 2), venas de cuarzo asociadas a labores auríferas antiguas, pliegues, fenómenos de refracción de la foliación y un área con fenómenos erosivos en el cauce del río, que dan lugar a la formación de las estructuras conocidas como «marmitas de gigante», particularmente vistas de cara a las visitas guiadas. Interés paleontológico, estratigráfico y geomorfológico. Este LIG consta erróneamente como «Ciguiñuelas» en GUTIÉRREZ-MARCO *et al.* (2013a).

LIG 5: Peña Estena (Fig. 8 A-D). Materialización de una *columna estratigráfica* (3D) parcial en la Formación Azorejo (Cámbrico inferior), dispuesta en capas subhorizontales. Se yergue aislada entre el valle del río homónimo y la desembocadura de un arroyo, y contiene en su base ejemplos vistosos de pliegues de escala métrica y decamétrica, «ripples tectónicos» (*mullions*), así como fenómenos de refracción de la foliación en las alternancias de pizarras con bancos duros de areniscas. Interés estratigráfico y tectónico.

LIG 6: Mina de Las Peralosas (Fig. 2B-E, 22). Restos de minería de plomo-zinc de principios del siglo XX, en filones encajados en las Pizarras

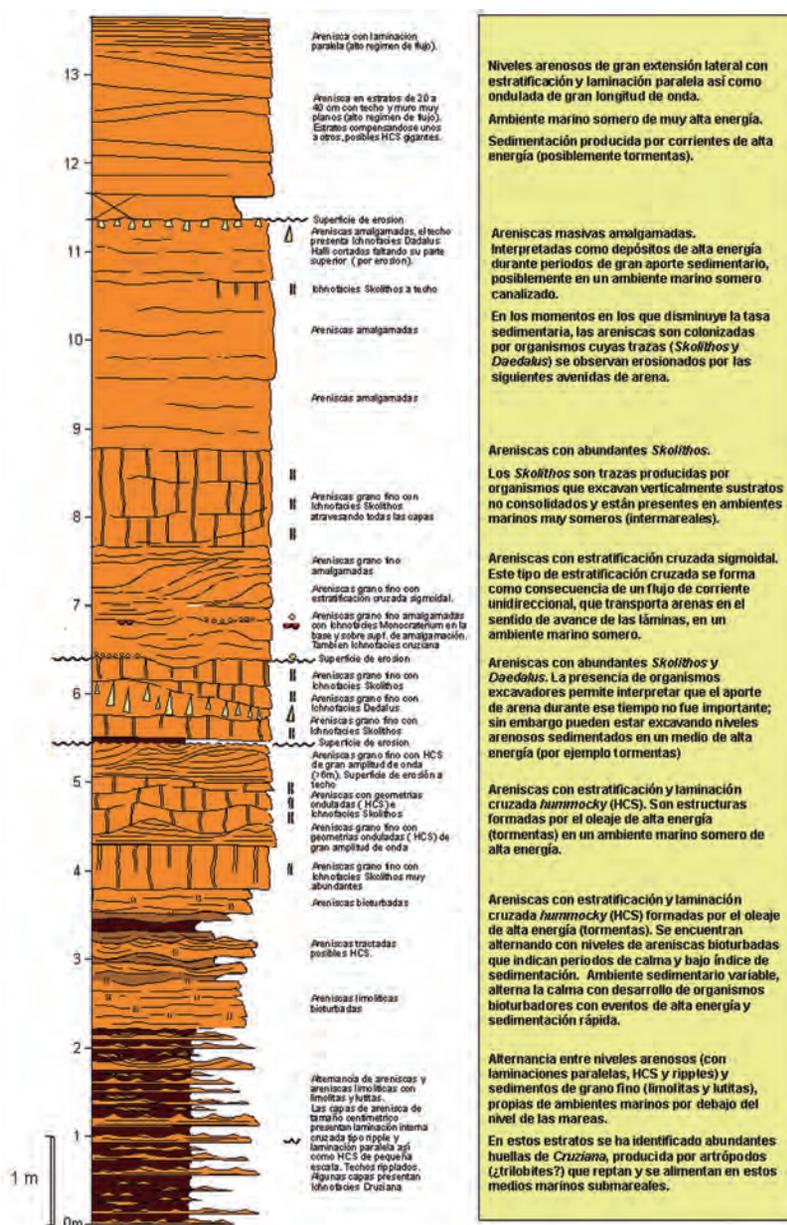


Figura 6. Columna estratigráfica del afloramiento de la Cuarzita Armórica de la Fig. 5B (Sierra Fría, LIG 2), como ejemplo de una sección visitable donde se muestra una secuencia marina completa de poca profundidad, que evoluciona (de base a techo) desde ambientes submareales ricos en trazas fósiles horizontales (*Cruziana* u otras) hasta medios más someros y de mayor energía, a los que corresponde el predominio de estratos duros de cuarzita con numerosas trazas fósiles verticales (*Skolithos* y otros). Esquema realizado por N. Pérez García.

Figure 6. Stratigraphic column from the outcrop of the Armoric Quartzite illustrated in Fig. 5B (Sierra Fría, geosite 2), made by N. Pérez García. This exemplifies an accessible section representative of a complete sequence developed in shallow-marine facies, that grades up from subtidal environments rich in horizontal trace fossils (*Cruziana* a.o.) to shallower and high-energy settings, in which hard-quartzite strata with many vertical trace fossils (*Skolithos* and others) dominate.

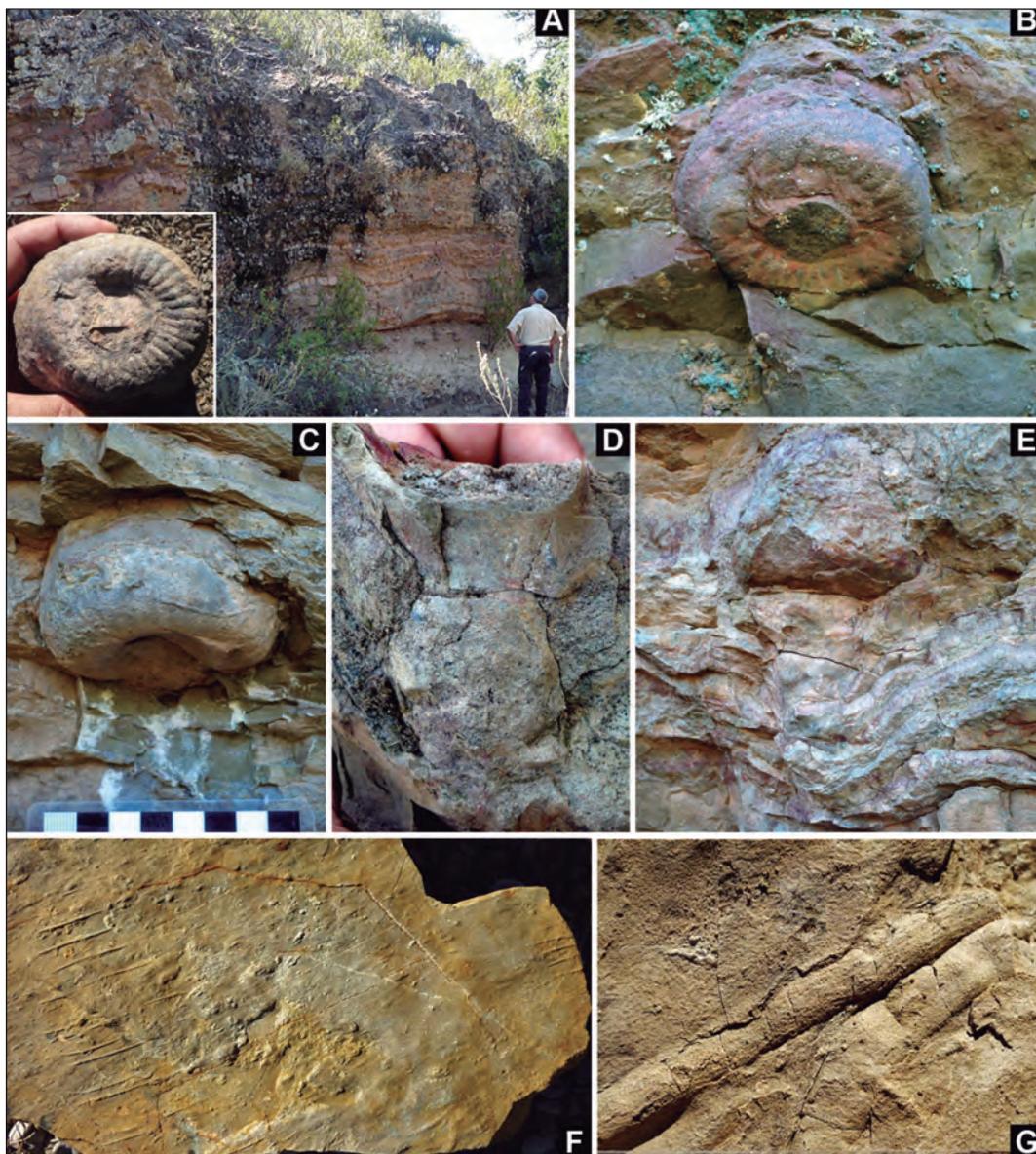


Figura 7. Detalles del LIG de Gargantilla, con icnofósiles del Cámbrico inferior en las Areniscas del Azorejo del valle del Alcornocal. A, vista del yacimiento Gargantilla 1 con abundantes ejemplares *in situ* de *Astropolichmus hispanicus* preservados como hiporrelietos. Se trata de una excavación hecha por anémonas que consta de una huella con marcas radiales (A-C) y una estructura central de anclaje vertical (D-E). F and G son trazas fósiles horizontales del yacimiento Gargantilla 2, que incluyen marcas de desplazamiento lateral de artrópodos (*Monomorphichmus lineatus*, D) y galerías con estrias longitudinales (*Planolites striatus*, E).

Figure 7. Aspects of the Gargantilla geosite, showing diverse lower Cambrian trace fossils in the Azorejo sandstones of the Alcornocal Creek. A, field photograph of the fossil locality Gargantilla 1 with abundant specimens of *Astropolichmus hispanicus* preserved in situ as hyporeliefs. They are actinian burrows with radial structures (A-C) and a central attachment structure (D-E). F and G are horizontal trace fossils from the locality Gargantilla 2, consisting (a.o.) in parallel dig marks which belong to lateral-moving arthropod trackways (*Monomorphichmus lineatus*, D) and burrows with a lateral striation (*Planolites striatus*, E).



Figura 8. Fotos de campo de la Peña Estena (A-E, LIG 5) y de afloramientos en la carretera septentrional que cruza el Parque (E-F). A, vista general de la Peña Estena desde el este, materializando una “columna estratigráfica” casi horizontal en las Areniscas del Azorejo; B, detalle de unos pliegues pequeños en la base de la sucesión; C, aproximación de la vista anterior, con foliación vertical de una capa de lutita intercalada entre bancos inclinados de areniscas; D, suave plegamiento en la orilla del río Estena; E, pliegue anticlinal en las Capas de Marjaliza, km 17,300 de la CM-4557; F, rizaduras de oscilación en el techo de un banco de arenisca de las “Capas Intermedias”, km. 26 de la misma carretera.

Figure 8. Field pictures of Peña Estena geosite 5 (A-E) and outcrops in the northern road section (E-F). A, view of Peña Estena from the east, resembling an almost horizontal “stratigraphic column” of the Azorejo sandstones; B, detail of small folds at the base of the section; C, close-up of previous image showing vertical foliation restricted to a lutitic bed intercalated between slightly dipping sandstone beds; D, gentle folds in the Estena River bank; E, small anticline in the Marjaliza Beds, km 17.3 of the road CM-4557; F, ripple marks in the “Intermediate Beds” at km 26 of the same road.



del Pusa (Cámbrico inferior) del núcleo del anticlinal de Garbanzuelo. Interés histórico-minero y mineralógico (ver apartado «Otros estudios»).

LIG 7: Espinazo del Can (Fig. 2). Yacimiento histórico de icnofósiles en la parte baja de la Cuarcita Armoricana (CORTÁZAR 1880), con huellas extraordinariamente variadas (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2010, fig. 16), algunas de ellas probablemente nuevas. Interés paleontológico, estratigráfico, histórico y geomorfológico (nivel de rasos).

LIG 8: Valquejigoso-Los Medianiles-El Robledo. Conjunto de yacimientos paleontológicos próximos, el primero en las Capas de Marjaliza del Ordovícico Inferior (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2008a) y los otros dos en las Pizarras de Navas de Estena del Ordovícico Medio (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2012, 2013b; RÁBANO *et al.*, 2014), con registro excepcional de invertebrados fósiles por obrución sedimentaria, y localidad tipo de varios taxones nuevos. Interés paleontológico, estratigráfico y petroológico.

De los ocho LIG considerados, el número 3 tiene rango internacional por sus valores estratigráficos, tectónicos y paleontológicos, el 8 nacional (yacimientos de fósiles excepcionales) y el resto destaca por su interés regional, aportando entre todos una visión precisa acerca de los principales valores naturales del parque en términos de geodiversidad y patrimonio geológico. La geoconservación y difusión de dos de los elementos más importantes del LIG 3, se ha visto facilitada por la realización de réplicas de grandes superficies icnológicas (BAEZA *et al.*, 2013), que brindan acceso a personas discapacitadas a través de las áreas de interpretación del parque o de exposiciones en establecimientos hosteleros.

Cinco de los ocho LIG propuestos corresponden a yacimientos paleontológicos singulares, que sin embargo no suman todos los descubiertos y estudiados en el Parque Nacional, cuya posición se indica en la Fig. 15. Aparte de los exponentes seleccionados como LIG, las formaciones superficiales merecen un tratamiento aparte por sus espléndi-

dos afloramientos, tanto los depósitos de vertiente (los espectaculares canchales o pedrizas distribuidos por todos los relieves montañosos del Parque) como los de fondo de valle (rañas, rañizos, terrazas fluviales y turberas). Otros lugares de interés son el nivel de rasos del macizo del Chorito, una peniplanicie antigua que abarca la parte oriental del anticlinal de Garbanzuelo, el sinclinal de Navalgallo y el anticlinal de La Sartén; y la llanura suroriental de Cabañeros. El primero es inaccesible y sólo puede ser contemplado a distancia, desde fuera del Parque Nacional (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2010, fig. 4). Por su parte la gran llanura meridional, con fisonomía de sabana arbolada, está formada por las rañas del Espino, de la Viñuela, de Valle Santiago, del Rostro, de los Pescados, de la Cruz de Ramírez, del Pocito y de la Toledana. Como ninguna de ellas ha sido incidida significativamente por la red de drenaje de la cuenca del río Bullaque, la contemplación de sus características geológicas apenas es perceptible a ras de suelo, dándose la paradoja de que la excepcional preservación de las rañas originales es precisamente lo que motiva aquí que la gran llanura suroriental de Cabañeros apenas posea valor geoturístico. Sobre todo por comparación con otras rañas tan renombradas en los Montes de Toledo como son por ejemplo las de Anchuras, las de La Nava de Ricomalillo y las de Los Navalmorales, que si son tan vistosas es por hallarse bien individualizadas merced a un drenaje periférico poderoso.

Desde el punto de vista administrativo, parte de los LIG propuestos constan desde hace escasos meses en el primer borrador del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG), cuya creación nace del Real Decreto 556/2011 (anexos I-5d y III.10) para el desarrollo del Inventario Español del Patrimonio Natural y la Biodiversidad, con arreglo a la Ley 42/2007. El organismo designado por el MAGRAMA para elaborar el IELIG es el Instituto Geológico y Minero de España. Los tres LIG emanados del presente proyecto, finalmente inventariados a nivel nacional por el citado organismo, figuran anotados en el dominio geológico del Macizo Ibérico, apartado Zona Centroibérica, y son los denominados «Boquerón de Estena: Cámbrico y Ordovícico del Parque Nacional de Cabañeros» (LIG 241), «Yacimiento pa-

leontológico de Gargantilla» (LIG 296) y «Yacimiento paleontológico del Ordovícico de Los Medianiles, El Robledo y Vallelobo» (LIG 311). En el entorno inmediato de Cabañeros se ubican los LIG llamados «Risco de las Paradas-Hontanar» (pedrizas y línea de cumbres de los Montes de Toledo), «Captura fluvial del río Estena» y «Estrecho de la Torre de Abraham». A lo largo de 2014 se completará para cada uno de ellos la cartografía detallada, los parámetros de interés y de la susceptibilidad de degradación, así como los cuadros de valoración del interés científico, didáctico, turístico o recreativo; de la fragilidad y vulnerabilidad por amenazas antrópicas; y de la prioridad de protección. El protocolo formal (GARCÍA-CORTÉS y CARCAVILLA, 2013) suma más de doscientas cuestiones e indicadores que deberán de sustanciarse para cada LIG.

Actuaciones de Geoconservación

La Geoconservación se define como el conjunto de acciones, técnicas y medidas encaminadas a asegurar la conservación del patrimonio geológico, basadas en el análisis de sus valores intrínsecos, su vulnerabilidad y el riesgo irreversible de degradación. Una vez identificado el valor de los lugares a conservar, no sólo se busca evitar la destrucción de sus elementos geológicos singulares, sino también prevenir, corregir y minimizar sus potenciales afecciones naturales o antrópicas, además de preservar los valores culturales, paisajísticos o estéticos relacionados con ellos y sus aplicaciones turísticas, recreativas y económicas (CARCAVILLA *et al.*, 2012).

El campo de la geoconservación lo iniciamos en abril de 2010 con la instalación de ocho testigos de fijadores coloreados con diferentes productos, en rocas sometidas a insolación, heladas, cambios de temperatura y humedad naturales en la sierra del Maíllo (Fig. 9). El test perseguía monitorizar su durabilidad en los 15 meses siguientes, y optar por su uso para la protección de los yacimientos de icnofósiles expuestos a la intemperie o al potencial vandalismo de algunos visitantes. Los resultados del ensayo (BAEZA *et al.*, 2013) demostraron que el producto mejor adaptado al clima local se compone de 5% (en peso) de goma-laca



Figura 9. Ensayo de pátinas protectoras coloreadas en un banco de cuarcita (A), y resultado del test al cabo de 15 meses (B). La prueba número 3 superó la prueba en mejores condiciones de estabilidad frente a los elementos y reversibilidad opcional.

Figure 9. A reversible surface patina test on rock (A), and the result after 15 months exposed to the elements (B). Trial number 3 is the best suited to local conditions in terms of durability and optional reversibility.

diluida en etanol al 90%, más un 3% (en peso) de pigmento siena sombra natural, 1% de siena sombra tostada y 1% de óxido de hierro amarillo. Esta mezcla provee un patinado superficial reversible, que actúa como consolidante y fijador, al tiempo que brinda un contraste duradero para resaltar los icnofósiles frente a su roca matriz. En caso de pretender protegerse tan sólo a esta última, basta con utilizar la simple solución de goma-laca en etanol.

En julio de 2010 se llevó a cabo la excavación completa del yacimiento icnológico del Ordovícico Inferior del Boquerón del Estena, donde se



Proyectos de investigación en parques nacionales: 2010-2013

ubicar las ya célebres huellas de «gusanos gigantes» descubiertas por GUTIÉRREZ-MARCO *et al.* (2010). De manera paralela se realizó el desescombro a mano de todos los materiales que recubrían el panel icnológico principal, del que quedaron expuestos unos 15 m² adicionales con nuevas huellas. El material obtenido se apiló al pie del estrato fosilífero, construyéndose un

muro de contención para el relleno de los estériles de la excavación, que al tiempo brinda protección al yacimiento. En el mes de julio de 2013 se procedió a limpiar todo el conjunto (Fig. 10) y a la consolidación y patinado de algunos icnofósiles con el fijador coloreado más adecuado e inmutable, de los que habían superado el test descrito en el párrafo anterior.



Figura 10. Yacimiento icnológico singular en las “Capas Intermedias” (Ordovícico Inferior) del Boquerón del Estena (LIG 3). A-C, diferentes fases de limpieza en la superficie inclinada, con las huellas conservadas en epirrelieve; E, vista general del techo del estrato con las galerías de “gusanos gigantes”, una vez limpias y resaltadas con un producto protector (Fig. 9).

Figure 10. Exceptional ichnological site in the “Intermediate Beds” (Lower Ordovician) of the Estena River gorge (Boquerón del Estena, geosite 3). A-C, different phases of cleaning of an inclined bedding plane, with trace fossils preserved as epireliefs; E, a general view of the lined burrows made by “giant worms”, after treatment with a reversible surface patina which protects and highlights the ichnofossils against the rock.





Las tareas de geoconservación y difusión de alguno de los elementos más importantes del patrimonio geológico del Ordovícico Inferior, exigió la realización de réplicas de grandes superficies en sendos estratos cuarcíticos de dos yacimientos excepcionales del Boquerón del Estena, situados en las «Capas Intermedias» y en la Cuarcita Armoricana. El primer caso es el plano con las galerías excavadas por los antedichos «gusanos gigantes», hoy inclinado unos 45°, lo que obligó al uso de aditivos tixotrópicos tanto en las siliconas de moldeo (RTV-2) como en las carcasas de poliéster fraguadas «in situ», según el proceso descrito al detalle por BAEZA *et al.* (2013). La segunda réplica icnológica corres-

ponde a una superficie de 13,4 m² con una concentración excepcional de *Cruziana* de gran anchura, dispuesta en la base de un banco de cuarcita, que reveló imprescindibles los componentes tixotrópicos por hallarse en extraplomo. El negativo en silicona y carcasas plásticas de este panel de *Cruziana* habían sido confeccionados con anterioridad al proyecto (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2010), si bien fueron reutilizados para la presente investigación.

Las réplicas positivadas a partir de los dos moldes en negativo se fabricaron con resinas epoxídicas, coloreadas con pigmentos minerales y reforzadas tanto con fibra de vidrio (tejidas o no

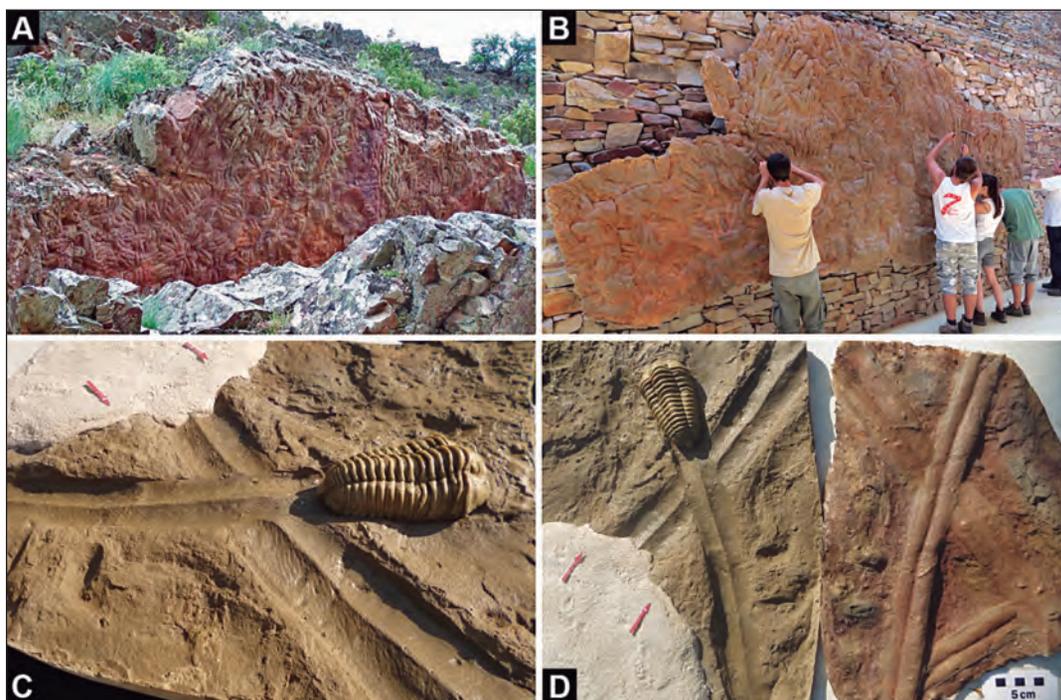


Figura 11. A, vista de campo de una superficie de concentración de grandes *Cruziana* en la base de un estrato de la Cuarcita Armoricana, sección del río Estena en el LIG 3. B, réplica de la superficie anterior, en una sola pieza de 13,4 m², durante su proceso de instalación en el Centro de Visitantes de Horcajo de los Montes. C-D, maqueta explicativa del proceso de formación de *Cruziana* con destino a la misma exhibición. En vista lateral (C) se aprecia el doble surco excavado por el artrópodo productor (un trilobites) y las marcas de sus apéndices en un fondo marino arcilloso. Tras ser recubiertas por avalanchas de arena (en blanco), las huellas se conservan moldeadas en relieve inverso en la base de los bancos de cuarcita (a la derecha en D).

Figure 11. A, field photograph of a large bedding plane with a huge concentration of *Cruziana*, from the upper part of the Armorican Quartzite of the Estena River section (geosite 3). B, large replica of the same surface (13.4 m²) is a single-piece cast, being installed in the Visitors Centre of Horcajo de los Montes. C-D, explanation of the process of formation of the *Cruziana* traces through an epoxy model for the same exhibition. In lateral view a double furrow with scratch marks is being made by an arthropod (normally a trilobite). Then the trace is buried by sand (white), that eventually preserve it as a mould with inverted relief in the base of the quartzite banks (right on D).



tejidas) como con varillas corrugadas de fibra de vidrio pigmentado-epoxy (BAEZA *et al.*, 2013). En el mes de marzo de 2011 se realizó la réplica (en dos partes) de las huellas de los antedichos «gusanos gigantes», que por su fragilidad y grandes dimensiones quedó depositada en Navas de Estena. Se eligió un patinado más oscuro que el natural, con el fin de resaltar la existencia de un revestimiento en la pared de las galerías formado por materiales más finos y foliados diferencialmente, casi imperceptibles a escala de afloramiento. En julio de 2012 se realizó la tercera y última réplica de la gran superficie con *Cruziana* del valle del río Estena, destinada a su exhibición permanente en el nuevo Centro de Interpretación y recepción de visitantes del Parque Nacional, ubicado en la localidad de Horcajo de los Montes (Fig. 11A-B). La réplica va acompañada por una recreación de la génesis de *Cruziana* por trilobites y del proceso de la fosilización de sus huellas de reptación-alimentación. Éstas se trazaron como un surco doble en fondos fangosos, enterrado episódicamente por avalanchas de arena, para conservarse en la mayor parte de los casos con un relieve inverso al original (Fig. 11B-C).

Las técnicas de replicado de grandes superficies rocosas permiten «capturar» los detalles paleontológicos en su estado actual, y archivarlos antes de que sufran daños antrópicos o se expongan a un mayor deterioro por la intemperie. Las réplicas de los originales permiten la conservación y exhibición de los elementos patrimoniales del Parque Nacional en sus centros de interpretación, y constituyen elementos auxiliares muy útiles para el estudio paleontológico. Por sus dimensiones de 5,6 x 2,4 m, la réplica de *Cruziana* es la segunda más grande del mundo, hecha en una sola pieza, en el campo de la paleoicnología de invertebrados (BAEZA *et al.*, 2013). Pero es más fidedigna que la de la huella de un euriptérico gigante del Carbonífero de Escocia (15 m²: EDWARDS y WILLIAMS, 2011), por cuanto incorpora carcasas de poliéster fabricadas «in situ», que mantienen la forma del negativo en silicona una vez desmoldeado.

Pese a las actuaciones de investigación y geoconservación desarrolladas en el Boquerón del Estena, en el transcurso del proyecto hemos cons-

tado el obvio deterioro de algunos icnofósiles y estructuras sedimentarias causado por visitantes minoritarios (Fig. 12). Unas veces porque éstos intentan llevarse algunas huellas a martillazos, no consiguiendo sino su desintegración por la extrema dureza y fragilidad de la cuarcita, y otras por puro vandalismo. Tal es así que la réplica del panel de *Cruziana*, pese al breve tiempo transcurrido desde la obtención del molde, ya retiene en su memoria ciertos elementos dañados o destruidos en el original.

Geo-rutas en Cabañeros

El territorio de Cabañeros abarca 40.856 hectáreas de las provincias de Ciudad Real y Toledo, que en gran parte corresponden a un área montuosa y de difícil acceso, a lo que contribuye la extensión alcanzada por las áreas calificadas como de Reserva Integral. El parque está cruzado por dos carreteras autonómicas (la CM-4157 en el noroeste, y la CM-4017 por el centro) que apenas brindan vistas panorámicas y son estrechas y peligrosas, careciendo de puntos habilitados como lugares de parada. La carretera más meridional, sin apenas taludes rocosos o geología sobresaliente, recorre una parte del extremo occidental del macizo achatado del Chorito y desciende hacia el suroeste por la parte más denudada por la erosión del cierre periclinal del anticlinal de Cabañeros, así como una de las transversales del sinclinal de La Chorrera. Por otro lado, la carretera del noroeste atraviesa oblicuamente el cierre del anticlinal de Garbanzuelo, y discurre en buena parte por afloramientos monótonos de areniscas cámbricas, así como del Ordovícico Inferior en el flanco suroriental del sinclinal de Navas de Estena. Allí existen varios puntos con interesantes icnofósiles y estructuras sedimentarias localizados en las «Capas Intermedias» y la Cuarcita Armoricana, y vistosos pliegues en las «Capas de Marjaliza» (Fig. 8E-F). Sin embargo, por la peligrosidad de su emplazamiento, ninguno de ellos puede ser publicitado o recomendado a potenciales interesados.

Debido al objetivo primordial de protección de la naturaleza y a las condiciones de accesibilidad, las autoridades del Parque Nacional han habili-

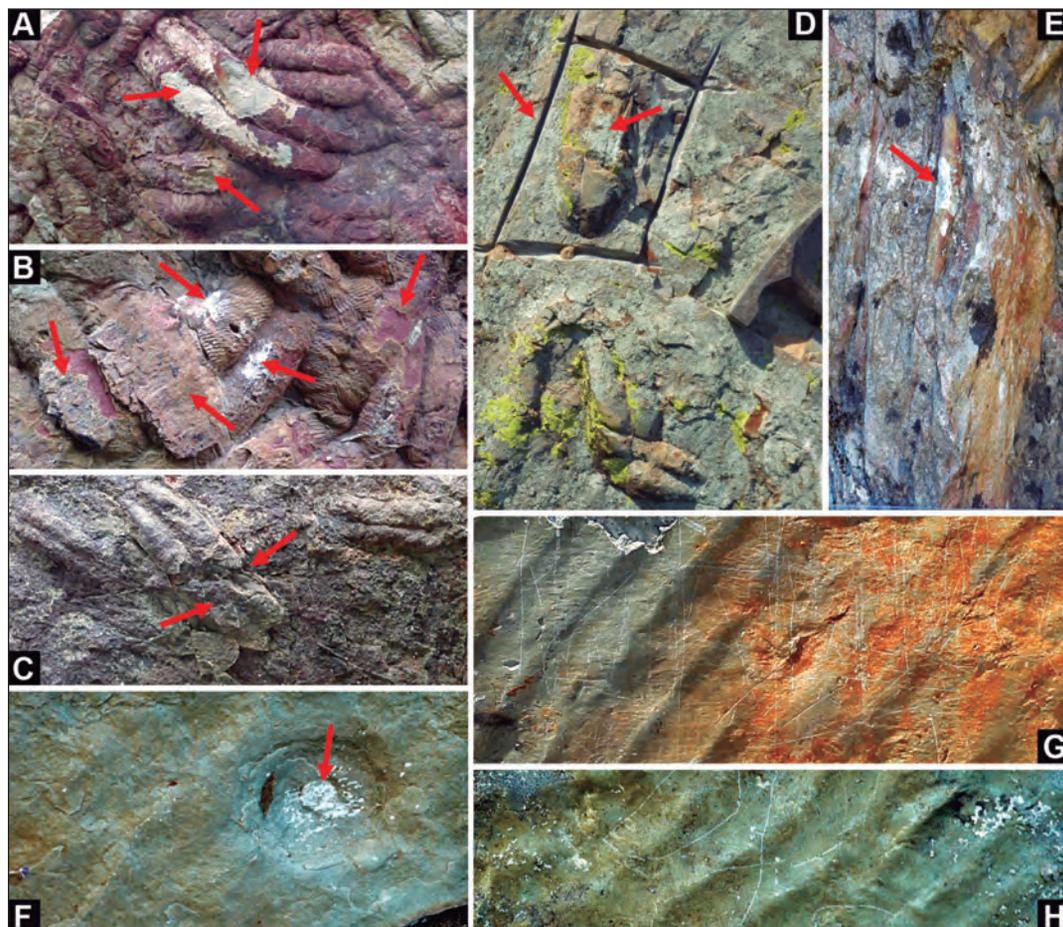


Figura 12. Daños causados por los visitantes en algunos icnofósiles y estructuras sedimentarias paleozoicas localizadas en la sección del Boquerón del Estena (A-C, E-H) y norte de Navalpino (D). Las flechas indican los lugares donde se ha percutido con un martillo, con rotura y pérdida de fragmentos, e incluso con una sierra radial (en D), que ha terminado en la destrucción del icnofósil al no poder sacarlo. Las afecciones ilustradas se dan entre huellas de tipo *Cruziana* (A-D) del Ordovícico Inferior, así como en un epirre-lieve de *Astropolichnus* del Cámbrico inferior (F) machacado en el centro. G y F son rizaduras (ripple marks) fuertemente rayados. A y B corresponden al gran panel de *Cruziana* de la Fig. 11A, y el resto (excepto D) a lugares normalmente mostrados en las visitas guiadas a la Geo-ruta del Boquerón del Estena.

Figure 12. Damage caused by visitors in some Lower Palaeozoic trace fossils and sedimentary structures at the Estena River gorge (geosite 3) and a locality north of Navalpino (D). Red arrows indicate hammer marks causing loss of original rock in various Lower Ordovician *Cruziana* (A-D) and *Skolithos* (E) specimens, as well as cutting-marks from a disk saw (D), strike on a lower Cambrian *Astropolithon* epirelief (F) and scratches on ripple marks (G-H). A-B affected the large bedding plane shown in Fig. 11A, and the remaining (except in D) were found in areas usually shown during the guided visits to the Boquerón del Estena Geotouristic trail.

tado un número reducido de rutas para visitantes, tanto pedestres como para vehículos todo-terreno (Fig. 13), alguna de las cuales podría incorporar informaciones geológicas, con el fin de ser complementadas como geo-rutas (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2011a, 2011c, 2013a). Otra parte

importante del parque, entre ella los LIG 5 a 8 de la relación anterior, pertenece a fincas privadas que suman una doble imposibilidad de acceso.

Con todo, la mayor parte de los visitantes de Cañaberos ingresa en rutas motorizadas por las lla-



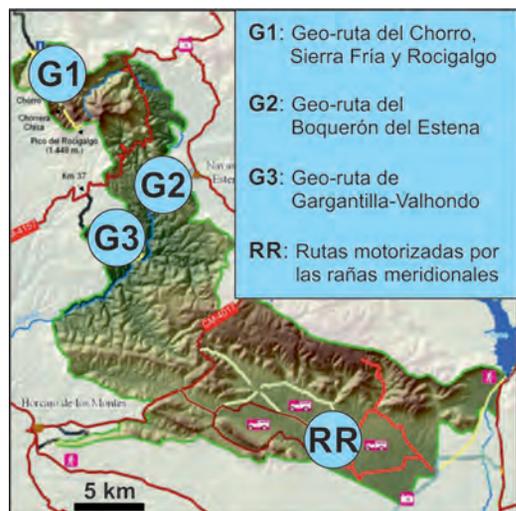


Figura 13. Situación aproximada de las tres Geo-rutas propuestas en el Parque Nacional de Cabañeros, guiadas o de acceso libre, basadas en los recorridos oficiales acondicionados para visitantes. Las rutas que discurren por la raña meridional (RR) carecen de atractivos geoturísticos relevantes.

Figure 13. Approximate position of the selected Geological itineraries (geotouristic trails G1-G3), based on some existing free-access or guided routes in Cabañeros National Park. The 4WD-vehicle tours (RR) in the southern *raña*-plains have little geotouristic significance.

nuras del suroeste, que discurren por la llanura pedregosa de las rañas (sin intersectarlas) y como mucho ofrecen vistas panorámicas de los canchales de cuarcitas o alcanzan un pequeño sector del núcleo del sinclinal de Navalgallo (entre el Chorito y Sierra Ventilla), en una zona densamente poblada por vegetación, resultando poco aptas para las observaciones geológicas.

El itinerario geológico más renombrado dentro del Parque es la Geo-ruta del Boquerón del Estena (Fig. 14), un carreterín pedestre de acceso libre o guiado, con numerosos atractivos geoturísticos. Partiendo de las pizarras del Ordovícico Medio, el camino atraviesa una sucesión monoclinial bastante completa del Ordovícico Inferior (Capas de Marjaliza, Cuarcita Armoricana, «Capas Intermedias»), hasta alcanzar el contacto basal (Discordancia Toledánica) con los materiales del Cámbrico inferior (Areniscas del Azorejo), que se recorren también durante un trecho hasta

el final del sendero. El itinerario ha sido equipado por el parque con mesas de interpretación y postes de señalización, a los que se refiere el Sendero Autoguiado 3 («Senda Geológica del Boquerón del Estena»), accesible en internet mediante códigos bidi. Los elementos geológicos con valor patrimonial son numerosos y variados a lo largo de la ruta: estructuras sedimentarias, brechas tectónicas, una discordancia angular, yacimientos paleoicnológicos del Cámbrico y Ordovícico, depósitos de vertiente, condicionantes geomorfológicos, etc. (Fig. 14), componiendo en su conjunto un LIG de rango internacional.

Un segundo itinerario geológico discurre exclusivamente por materiales del Ordovícico Inferior, en el área montañosa del parque, emplazada en torno al macizo del Rocigalgo. Las observaciones se realizan durante la ascensión al pico homónimo, que puede hacerse a través del sendero habilitado por el Parque, pasando por el LIG del Chorro de Los Navalucillos (Fig. 5E-F), como limitarse a la geo-ruta motorizada en todo-terreno que discurre por la Sierra Fría (LIG 2) hasta alcanzar el Rocigalgo (Fig. 5A-D). Los visitantes pueden combinar ambas alternativas por vía pedestre, y acceder de este modo a todos los elementos geológicos que se citan brevemente para los LIG respectivos.

Por último, la ruta pedestre de Gargantilla-Valhondo (LIG 4) ofrece, con tres variantes, la posibilidad de visitar afloramientos de areniscas del Cámbrico inferior plegadas, con trabajos mineros antiguos y distintas interacciones con la foliación tectónica, así como procesos erosivos recientes (Fig. 1D, 3A). En estas mismas areniscas se sitúan dos yacimientos paleoicnológicos contiguos (Fig. 7) y su acceso se realiza mediante el servicio de guía facilitado por el Parque.

Investigación paleontológica

Los yacimientos más antiguos de Cabañeros son de edad Cámbrico Inferior y se ubican en las Areniscas del Azorejo que afloran en el Boquerón del Estena y Gargantilla (Fig. 15). El material más novedoso procede del punto Gargantilla 1 (valle del Arcornocal), donde se hallaron anclajes anulados asociados al icnofósil *Astropolichmus hispanicus*

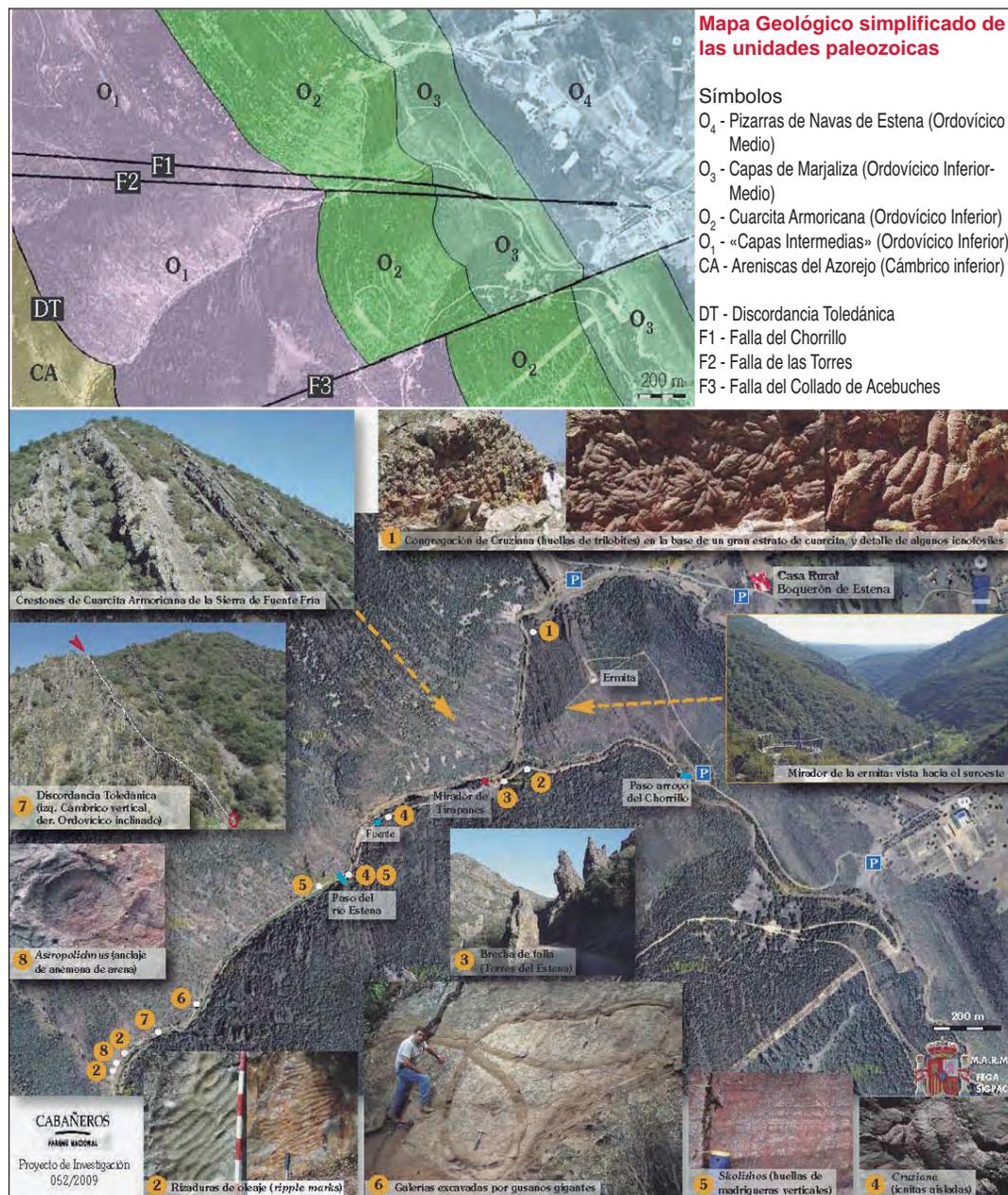


Figura 14. Esquema geológico (arriba) y atractivos geoturísticos (debajo) de la Geo-Ruta del Boquerón del Estena, contigua a Navas de Estena (Ciudad Real).

Figure 14. Boquerón del Estena Geotouristic trail: geological sketch map of the Paleozoic rocks (above) and aerial view (below) showing places with interesting geological heritage (all of them on geosite 3). Symbols: CA, Azorejo sandstones (lower Cambrian); O₁ "Intermediate Beds" (Lower Ordovician); O₂, Armoric Quartzite (Lower Ordovician); O₃, Marjaliza Beds (Lower-Middle Ordovician); O₄, Navas de Estena Shales (Middle Ordovician); DT, Toledanian Unconformity; F, faults.



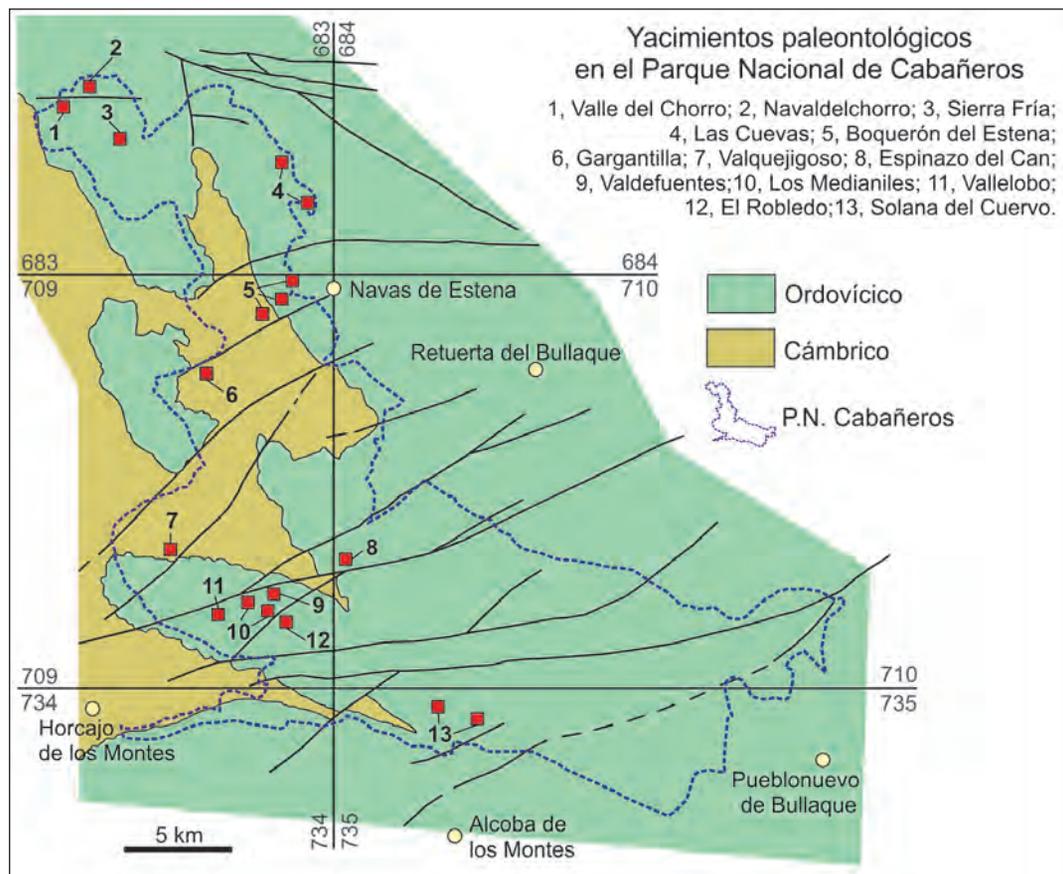


Figura 15. Yacimientos paleontológicos reconocidos en el Cámbrico y Ordovícico del Parque Nacional de Cabañeros.

Figure 15. Simplified map showing the placement of the main Cambrian (green) and Ordovician (ochre) fossil localities in the Cabañeros National Park.

(Fig. 7A-E), cuya inusual longitud no tiene parangón en el registro mundial (PILLOLA *et al.*, 1994). El yacimiento Gargantilla 2, próximo al anterior, corresponde a una localidad nueva con *Monomorphichnus lineatus* y *Planolites striatus*, entre otras huellas (Fig. 7F-G).

En la unidad más antigua del Ordovícico Inferior («Capas Intermedias»), se ha completado la columna estratigráfico-sedimentológica que enmarca las huellas de gusanos gigantes del Boquerón del Estena (Fig. 10), y que demuestran un ambiente marino circalitoral. La ampliación del área de investigación para intentar encontrar

otras localidades con estos mismos icnofósiles, condujo a su descubrimiento como hiporrelieves, en parecida posición estratigráfica, en una sección situada en el flanco sur del sinclinal de Guadarranque, dentro del término de Navalpino. Esto complementará decisivamente el estudio e interpretación del material de Cabañeros, toda vez que las «Capas Intermedias» contienen allí abundantes *Arenicolites* y *Diplocraterion*. Ello aclara y confirma la interpretación previa del palimpsesto icnológico representado en las capas con huellas de gusanos del Boquerón del Estena, donde los mismos icnogéneros se encuentran rara vez asociados a *Cruziana*.

Los yacimientos icnológicos del Boquerón del Estena, Sierra Fría y el Espinazo del Can se localizan en la Cuarcita Armoricana y han sido objeto de nuevas excavaciones y estudios, por el momento inéditos. El primero brinda argumentos para postular una concentración de los organismos productores para la muda y/o reproducción, y está siendo estudiado en colaboración con la especialista canadiense Stacey Gibb, quien participa también en el análisis de las evidencias de depredación de los productores de *Rusophycus* sobre los de *Skolithos*, encontradas en las proximidades del Espinazo del Can. En dicho yacimiento se ha descubierto *Cruziana imbricata*, un raro icnofósil de interés biocronológico, y en el de Sierra Fría las primeras evidencias de *Arthropycus* en los Montes de Toledo. Por otra parte, un nuevo punto en la Cuarcita Armoricana del km 22,7 de la carretera CM-4157 contiene *Catenichmus* isp., que suma su tercer registro ordovícico junto con los de Despeñaperros (Jaén) y Valongo (Portugal), para un icnogénero descrito inicialmente en el Pérmico.

Además de su importante y variado contenido icnológico, la Cuarcita Armoricana ha brindado en el yacimiento de Sierra Fría restos de braquiópodos quitinofosfáticos (*Lingulepis*), y en la Sierra de Fuentefría un yacimiento con fósiles esféricos enigmáticos, preservados en arenisca (Fig. 16). Por sus características estas esferas recuerdan a ciertas algas clorofitas parecidas a *Valonia ventricosa*, una ulvofícea unicelular actual de 1-4 cm de diámetro.

Las «Capas de Marjaliza» que suceden a la Cuarcita Armoricana incluyen la tsunamita que supuso la muerte y acumulación masiva de moluscos bivalvos (*Praenucula? oehlerti*, *Modiolopsis* sp.) y braquiópodos quitinofosfáticos (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2008a), tan ubicua en el suroeste de Europa a comienzos del Dapingiense (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2014). Una muestra adicional de 1 m³, derivada de esa capa y analizada al detalle, confirma las identificaciones precedentes y añade el primer registro incuestionable de *Ectenoglossa lesueurii*.

Las excavaciones llevadas a cabo en las pizarras del Ordovícico Medio han sido muy exitosas, con

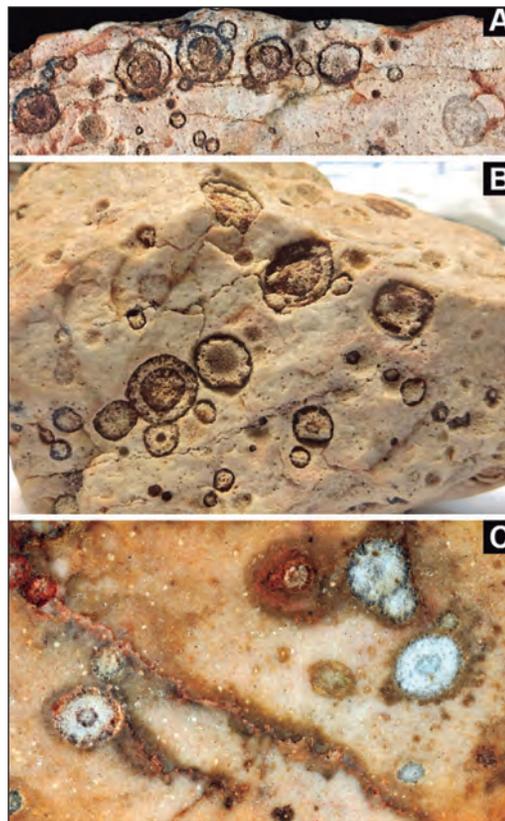


Figura 16. Fósiles esféricos enigmáticos (¿algas ulvofíceas?), encontrados en la parte alta de la Cuarcita Armoricana de la Sierra de Fuentefría. Se hallan orientados aleatoriamente en una arenisca homogénea (A, B), sin selección vertical o por tamaños; su relleno se diferencia por la mayor porosidad (sección en C). El diámetro máximo de los ejemplares fotografiados varía entre 9 y 11 mm.

Figure 16. Enigmatic spherical fossils (?ulvophyceae) from the upper part of the Armoric Quartzite at Sierra de Fuentefría. They occur randomly distributed in sandstones (A, B), without any size distribution or vertical sorting within a homogeneous sandstone matrix; the infilling is only differentiated by a greater porosity (section in C). The maximum diameter of the figured specimens varies between 9 and 11 mm.

el descubrimiento de diversos yacimientos nuevos y, sobre todo, de taxones previamente desconocidos a nivel peninsular o incluso mundial. Las asociaciones del Oretaniense inferior reconocidas en las Pizarras de Navas de Estena se hallan dominadas numéricamente por trilobites y moluscos, con menor proporción de otros grupos de invertebrados.



Proyectos de investigación en parques nacionales: 2010-2013

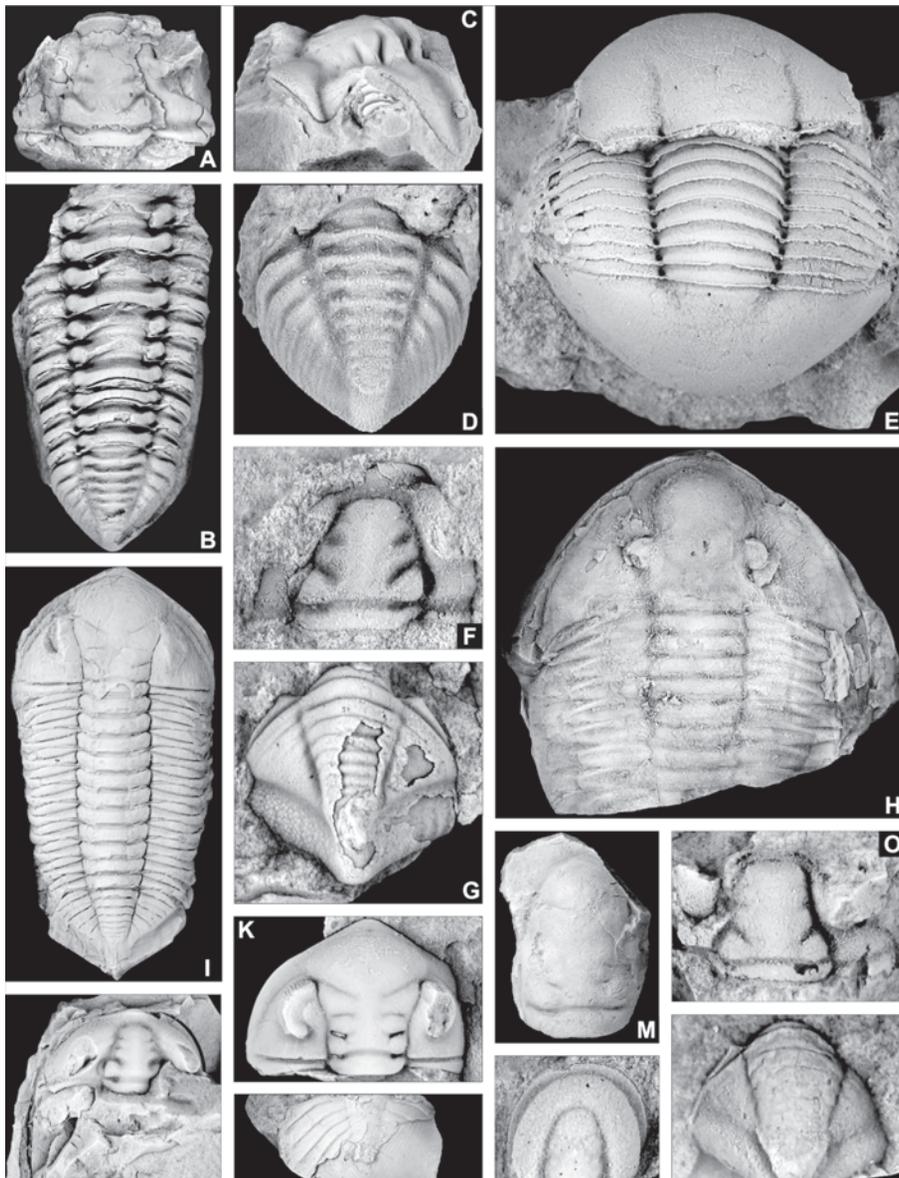


Figura 17. Algunos trilobites del Ordovícico medio encontrados en las Pizarras de Navas de Estena del sinclinal de La Chorrera (yacimientos de Vallelobo y El Robledo). Todos los ejemplares fueron blanqueados con óxido de magnesio y son moldes internos, a excepción de las figs. K y P, que corresponden a vaciados en látex del molde externo. A-D, *Neseuretus avus* HAMMANN (A, C, cranidios; B, tórax+pigidio; C, pigidio); E, *Ectillaenus giganteus* (BURMEISTER); F-G, cranidio y pigidio de *Salterocoryphe* n. sp. aff. *lusitanica* (THADEU), H, *Asaphellus toledanus* GIL CID; I, K, *Retamaspis melendezi* Hammann (I, ejemplar completo, K, cefalón); J, cefalón de *Bathycheilus castilianus* Hammann; L, pigidio de *Nobiltasaphus delessei* (DUFET); M, cranidio de *Hungiooides bohemicus* (NOVÁK in PERNER); N, cefalón de *Geragnostus gilcidae* (RÁBANO et al.), O-P, cranidio y pigidio de *Colpocoryphe thoralii conjugens* HAMMANN.

Figure 17. Some Middle Ordovician trilobites from the Navas de Estena shale of the Vallelobo and El Robledo fossil localities (La Chorrera syncline). All the specimens were whitened with MgO and are internal moulds, with exception of figures K and P that are latex casts from external moulds. For a key of the particular taxa, see above. Specimens A, C, F, and M-O are cranidia, D, F, L and P, pygidia, and J-K cephalons.



Los trilobites comprenden 15 especies de cuatro órdenes distintos (Fig. 17), entre los que hay algunos asáfidos y dikelocefalínidos gigantes (Fig. 18), comparables a los del célebre yacimiento de Arouca (Portugal): GUTIÉRREZ-MARCO *et al.* (2009). Los moluscos más abundantes son los bivalvos filtradores, a los que se unen raros bivalvos sedimentívoros, rostroconchas infaunales, gasterópodos, un tergomiido (ex-monoplacóforo), cefalópodos longiconos de grandes dimensiones e hiolítidos. Hay braquiópodos de concha calcítica y organofosfática, así como algunos craniáceos epizooos, en conchas de cefalópodos y conuláridos. Los equinodermos se hallan representados por cistoideos diploporitos, crinoideos y anclajes de palmatozoos a conchas de bivalvos y conuláridos. El registro de cnidarios ordovícicos se limita a tres géneros de conuláridos, y los graptolitos son bastante escasos. Los grupos fósiles más raros son los briozoos, poríferos y ostrácodos.



Figura 18. *Ogyginus forteyi* RÁBANO, un trilobites gigante del Ordovícico Medio del yacimiento de El Robledo (sinclinal de la Chorrera). La pieza pequeña corresponde al fragmento de un hipostoma aislado de la misma especie, perteneciente a un ejemplar que alcanzaría unas dimensiones notablemente más grandes que las del ejemplar articulado de su izquierda.

Figure 18. *Ogyginus forteyi* RÁBANO, a giant trilobite from the Middle Ordovician fossil locality of El Robledo (La Chorrera syncline). The smaller piece is a fragment of a hypostome of the same species, belonging to a much bigger specimen than the articulated carapace seen to the left.

En total se han inventariado 61 taxones distintos de invertebrados del Oretaniense inferior (Fig. 19), entre los que destacan una esponja hexactinélida hasta ahora desconocida, de la que ha logrado reunirse una extensa colección en la localidad «Los Medianiles» (Fig. 20A). Se trata de un género y especie nueva, más relacionado con los dictiospóngidos del Silúrico y Devónico de Laurasia (género *Hydnoceras*), que con los del Ordovícico gondwánico (*Tiddalickia*), y que está siendo descrita en colaboración con el especialista británico en poríferos Joseph Botting. Los ejemplares de Cabañeros representan los únicos fósiles de esponjas articuladas conocidas en el Ordovícico del suroeste de Europa. La exploración del sinclinal de Rocigalgo permitió encontrar un yacimiento nuevo del Oretaniense Inferior (Navaldelchorro), que agrega una segunda localidad con dicha esponja, pero que por el momento ha brindado un solo fragmento perteneciente al mismo taxón.

Como novedades taxonómicas adicionales tenemos el descubrimiento de una especie nueva del braquiópodo *Eodalmanella* (plectortoideo), completamente caracterizada en la tesis doctoral del especialista Jaime Reyes pero aún pendiente de publicación; un nuevo género y especie de concha lisa y extremadamente inequilátera de un bivalvo pteriomorfo (Fig. 20B), sin parangón conocido entre el amplio espectro de bivalvos del Ordovícico Medio de la plataforma perigondwánica euroafricana (STEINOVÁ, 2011; POLECHOVÁ, 2013: ambos con referencias previas); y el hallazgo extraordinario de un graptolito bentónico (*Dictyonema* sp.: Fig. 20C) que constituye el segundo registro del grupo en el Ordovícico Medio del suroeste de Europa, tras un ejemplar peor conservado procedente del sinclinal de Guadarranque (GUTIÉRREZ-MARCO, 1996).

Otro estudio novedoso que se está llevando a cabo es el de los ojos de algunas especies de trilobites del yacimiento de Vallelobo, cuya buena conservación ha permitido su investigación detallada con microscopía electrónica de barrido (Fig. 21).

Los estudios paleontológicos de los materiales más antiguos del Parque se hallan en pleno pro-

Proyectos de investigación en parques nacionales: 2010-2013

	NV	LC	LM	VL	ER	SC
ARTROPODOS						
<i>Neseuretus avus</i> Hammann, 1977	+	+	+	+		+
<i>Colpocoryphe thoralis conjugens</i> Hammann, 1983			+			
<i>Salterocoryphe "lusitanica"</i> (Thadeu, 1949)			+			+
<i>Salterocoryphe</i> cf. <i>sampelayoi</i> Hammann, 1977			+			
<i>Bathycheilus castilianus</i> Hammann, 1983	+		+			
<i>Retanaspis melendezi</i> Hammann, 1972	+		+			
" <i>Pterygomotopus</i> " <i>guadalupensis</i> Hammann, 1972			+			
<i>Toletanaspis</i> cf. <i>trivignoi</i> Rábano, 1989				+		+
<i>Placoparia</i> (<i>Placoparia</i>) <i>cambriensis</i> Hicks, 1875				+		+
<i>Asaphellus toledanus</i> (Gil, 1976)				+		+
<i>Ogyginus forteyi</i> Rábano, 1989					+	
<i>Nobiliasaphus delessei</i> (Dufet, 1875)					+	
<i>Hungioides bohemicus</i> (Novák in Perner, 1918)	+				+	
<i>Ectillaenus giganteus</i> (Burmeister, 1843)					+	+
<i>Geragnostus gilcidae</i> (Rábano, Pek y Vanek, 1985)					+	
<i>Gracquina hispanica</i> (Born, 1918)	+			+		
<i>Primitiella?</i> sp.	+			+	+	
MOLUSCOS						
<i>Coxiconchia britannica</i> (Rouault, 1851)	+			+	+	+
<i>Babinka prima</i> Barrande, 1881				+	+	
<i>Redonia deshayesi</i> Rouault, 1851		+	+	+	+	+
<i>Hemiprionodonta lusitanica</i> (Sharpe, 1853)				+	+	
<i>Praenucula costae</i> (Sharpe, 1853)				+	+	
<i>Praenucula sharpei</i> Babin y Gutiérrez-Marco, 1991				+	+	
cf. <i>Ctenodonta excosurae</i> (Sharpe, 1853)	+			+	+	
<i>Bivalvia</i> indet. (gen. et sp. nov.)				+	+	
<i>Ribeiria pholadiformis</i> Sharpe, 1853				+	+	
<i>Tolmachovia babini</i> Gutiérrez-Marco, 1997	+			+	+	
<i>Technophorus sharpei?</i> (Barrande in Perner, 1903)				+	+	
<i>Simites</i> cf. <i>sowerbyi</i> Perner, 1903		+	+	+	+	+
<i>Tropidodiscus pusillus</i> (Barrande in Perner, 1903)				+	+	
<i>Ptychonema</i> sp.				+	+	
<i>Tachillanella?</i> cf. <i>tafilatensis</i> Horný, 1997				+	+	
<i>Cameroceeras</i> sp.				+	+	
<i>Orthocerida</i> indet.		+	+	+	+	+
<i>Gompholites</i> sp.				+	+	
BRAQUIPODOS						
<i>Sivorthis noctilio</i> (Sharpe, 1849)					+	+
<i>Paralenorthis lolae</i> Reyes-Abril y Villas, 2010			+	+	+	
<i>Orthambonites</i> sp.				+	+	
<i>Lipanorthis</i> sp.				+	+	
<i>Eodalmanella</i> sp. nov.				+	+	+
Cremnorphidae gen. et sp. indet.				+	+	
<i>Monobolina bowlesi</i> (Verneuil y Barrande, 1855)				+	+	
<i>Palaeoglossa?</i> sp.		+			+	+
<i>Craniacea</i> indet. ("Schizocrania" sp.)				+	+	
EQUINODERMOS						
<i>Calix?</i> cf. <i>segaudi</i> (Termier y Termier, 1950)					+	
<i>Calix?</i> sp. A de Colmenar, 2010					+	
<i>Ranunculocolumnus</i> (col.) sp. 1	+			+	+	
<i>Podolithus</i> sp.					+	
CNIDIARIOS						
<i>Exococonularia</i> cf. <i>exquisita</i> (Barrande, 1867)				+	+	
<i>Metacoconularia</i> cf. <i>imperialis</i> (Barrande, 1867)				+	+	
<i>Pseudoconularia</i> sp.				+		
GRAPTOLITOS						
<i>Didymograptus</i> (<i>D.</i>) <i>artus</i> Elles y Wood, 1901	+			+		
<i>Acrograptus</i> ó <i>Xiphograptus?</i> sp. (estipes aisladas)					+	
<i>Eoglyptograptus</i> sp.					+	
<i>Dictyonema</i> sp.					+	
OTROS						
Poríferos (Hexactinellida gen. et sp. nov.)	+		+			
Briozoos (Cryptostomata indet.)				+		
ICNOFOSILES						
<i>Arachnostega gastrochaenae</i> Bertling, 1992					+	+
<i>Tomaculum problematicum</i> Groom, 1902	+	+				
<i>Arenicolites</i> isp. (en variante preservacional " <i>Tisoo</i> ")				+		
<i>Planolites</i> isp.	+					

Figura 19. Lista de taxones identificados en los yacimientos paleontológicos del Ordovícico Medio de Cabañeros. NV, Navaldelchorro; LC, Las Cuevas; LM, Los Medianiles; VL, Vallelobo; ER, El Robledo; SC, Solana del Cuervo.

Figure 19. Comprehensive list of taxa identified from the Cabañeros Middle Ordovician fossil localities. For abbreviations see above.

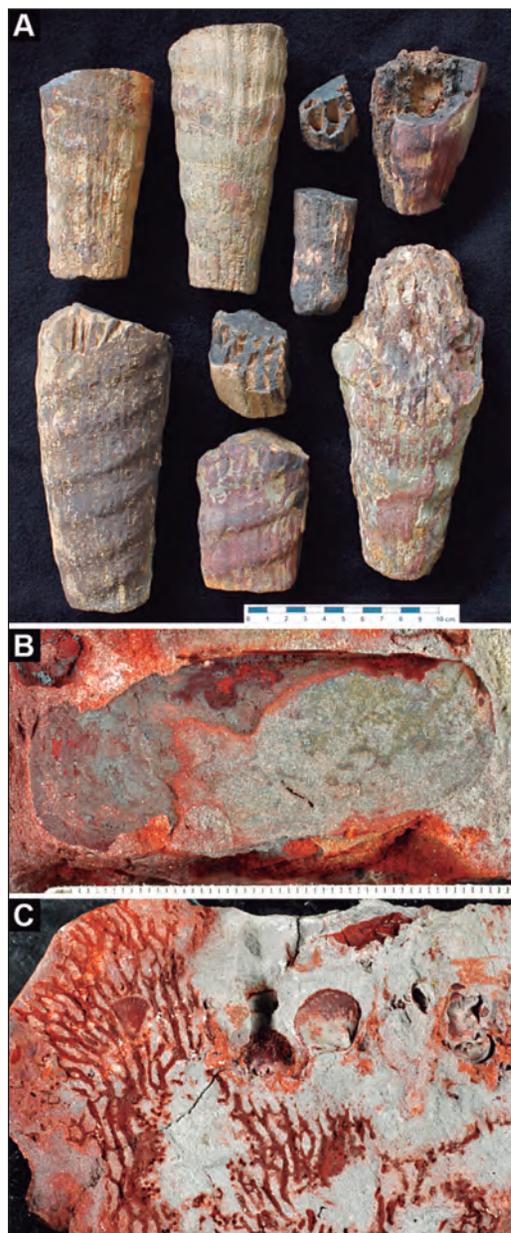


Figura 20. Ejemplares representativos de algunos taxones nuevos (y aún no descritos) de localidades del Ordovícico Medio (Pizarras de Navas de Estena) del sinclinal de La Chorrera. A, esponjas hexactinélidas mineralizadas en óxidos de hierro (escala en centímetros), procedentes de Los Medianiles. B, bivalvo pteriomorfo encontrado en El Robledo (ancho 26 mm); C, *Dictyonema* sp., un graptolito bentónico igualmente recogido en El Robledo (altura del original, 40 mm).

Figure 20. Representative specimens of some new, and yet to be described, taxa from two Middle Ordovician localities on the Navas de Estena shales from the La Chorrera syncline. A, Hexactinellid sponges, mineralized in iron, coming from Los Medianiles (graphic scale in cm). B, Pteriomorph bivalve from El Robledo (valve 26 mm wide); C, *Dictyonema* sp., a benthic graptolite also from El Robledo (the original is 40 mm high).

ceso de redacción de manuscritos, el primero de ellos correspondiente al icnofósil *Astropolichnus hispanicus*, con descripción de sus variantes tafonómicas y los anclajes centrales de excepcional longitud representados en el yacimiento de Gargantilla (Fig. 7A-D). Se encuentra en fase avanzada de redacción la descripción del nuevo icnogénero que provisionalmente designamos como *Estenaichnus cabanerensis* (*nomen nudum*) propuesto para las huellas «de gusanos gigantes», que consisten en galerías horizontales simples de diámetros comprendidos entre los 12-20 cm y longitudes métricas, de trazo recto o con curvatura variable, llegando a casos extremos a cortarse a sí mismas en forma de lazo. La estructura presenta un revestimiento fino arcilloso y aparece rellena de forma pasiva por un material de la misma naturaleza que la roca matriz. El diámetro puede variar longitudinalmente para dar una serie de hasta 8-10 expansiones y constricciones consecutivas en respuesta a estímulos fobotáxicos. Se trata de una galería de habitación somera de un animal desconocido de cuerpo blando (no hay *scratch marks* ni estructuras de relleno activo), que pueden conservarse como epirrelieves completos o, más raramente, como hiporrelieves convexos. El análisis sedimentológico pormenorizado revela su restricción a ambientes ya plenamente marinos, sin influjo continental.

Otras investigaciones

Para complementar el conocimiento del patrimonio geológico-minero, se ha llevado a cabo el estudio mineralógico preliminar de la mina de Las Peralosas (LIG 6), con la asistencia del especialista Ramón Jiménez Martínez. Los análisis químicos determinan una mineralización hidrotermal primaria de plomo-zinc (yacimiento tipo BPGC: blenda, pirita, galena, calcopirita), con

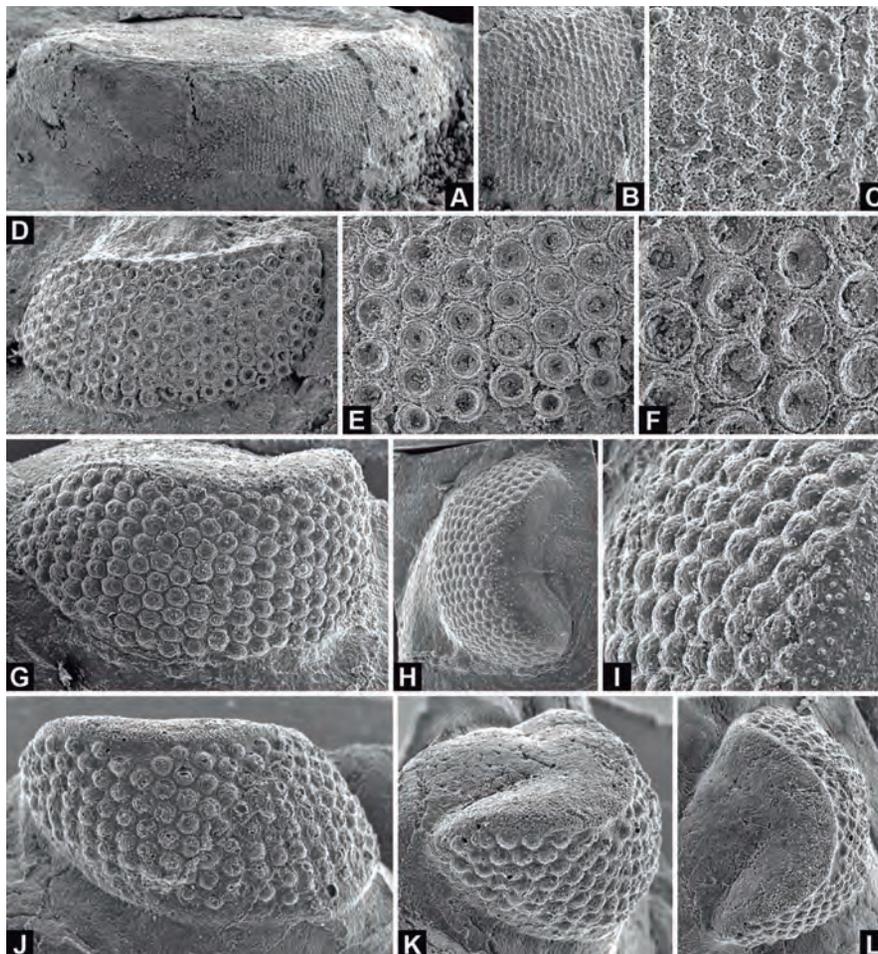


Figura 21. Ojos de algunos trilobites del Ordovícico Medio de Vallelobo, vistos al microscopio electrónico de barrido. A-C, molde interno del ojo derecho holochroal de *Asaphellus toledanus* GIL CID, integrado por más de 2.000 lentes poligonales densamente dispuestas (detalles en B-C). El ojo mide 9 mm de longitud y los ommatidios 60-70 μm . D-F, Ojo izquierdo esquizochroal de "*Perygometopus*" *guadalupensis* HAMMANN, con detalles de la disposición de los ommatidios después de haber perdido las lentes biconvexas en el molde interno. Se aprecia que en este tipo de ojo las lentes son más grandes (aprox. 140-200 μm) y se hallan separadas por un material intersticial (la esclera cuticular). G-I, Ojo izquierdo esquizochroal de *Retamaspis melendezi* HAMMANN, con réplica del molde externo en látex de la superficie visual con numerosas lentes convexas (G), una vista dorsal con el lóbulo palpebral y la rama posterior de la sutura facial (H) y un detalle de la ornamentación granular en el borde del lóbulo palpebral (I). El ojo mide 3,2 mm de longitud, y el diámetro de las lentes es 180-200 μm . J-L, Vaciado en látex del molde externo de un ojo derecho esquizochroal de "*Perygometopus*" *guadalupensis* HAMMANN, con detalles del lóbulo palpebral y la superficie visual convexa. En este caso se detecta la disposición irregular (patológica) de algunas lentes: longitud del ojo, 3 mm; diámetro lentes, 100-180 μm .

Figure 21. Eyes of some Middle Ordovician trilobites from Vallelobo, photographed with scanning electron microscope. A-C, internal mould of the holochroal right eye of *Asaphellus toledanus* GIL CID, showing > 2,000 polygonal lenses whose edges are all in contact (A), and magnifications of some parts (B-C). The eye is 9 mm long and the ommatidia about 60-70 μm in diameter. D-F, Schizochroal left eye of "*Perygometopus*" *guadalupensis* HAMMANN (D) and details of the general arrangement of ommatidia after loss of biconvex lenses as shown by the internal mould (E-F). In this type of eye, the lenses are large and separated from each other by cuticular sclera. G-I, Schizochroal left eye of *Retamaspis melendezi* HAMMANN, latex cast of the external mould with convex lens in the visual surface (G), a dorsal view with palpebral lobe and posterior branch of facial suture (H) and a detail of granular ornamentation at the outer edge of palpebral lobe (I). The eye is 3.2 mm in length, and diameter of lenses 180-200 μm . J-L, latex cast of the external mould of schizochroal right eye of "*P.*" *guadalupensis* HAMMANN, with details of the palpebral lobe and convexity of the visual surface. Some lenses are irregularly arranged, 100-180 μm in diameter (eye length, 3 mm).



predominio de galena y esfalerita. Aparte de esta paragénesis primaria, aparece otra de alteración, con formación de carbonatos, sulfatos, fosfatos y arseniatos de plomo, entre ellos cerusita, anglesita y probablemente piromorfita o mimetita; carbonatos (azurita) y geles silicatados de cobre (crisocola), así como óxidos de hierro y manganeso. La Fig. 22 ilustra algunos de los minerales más comunes.

Los estudios mineralógicos también se han extendido al meteorito encontrado en el área del ante-parque justo al este del cementerio de Retuerta del Bullaque (Ciudad Real). Se trata de un siderito con textura de octaedrita gruesa, cercano a los 100 Kg de peso, que permanece en poder de su descubridor, un vecino de dicha localidad (Fig. 23). La composición química permite clasificarlo en el grupo principal del complejo IAB de

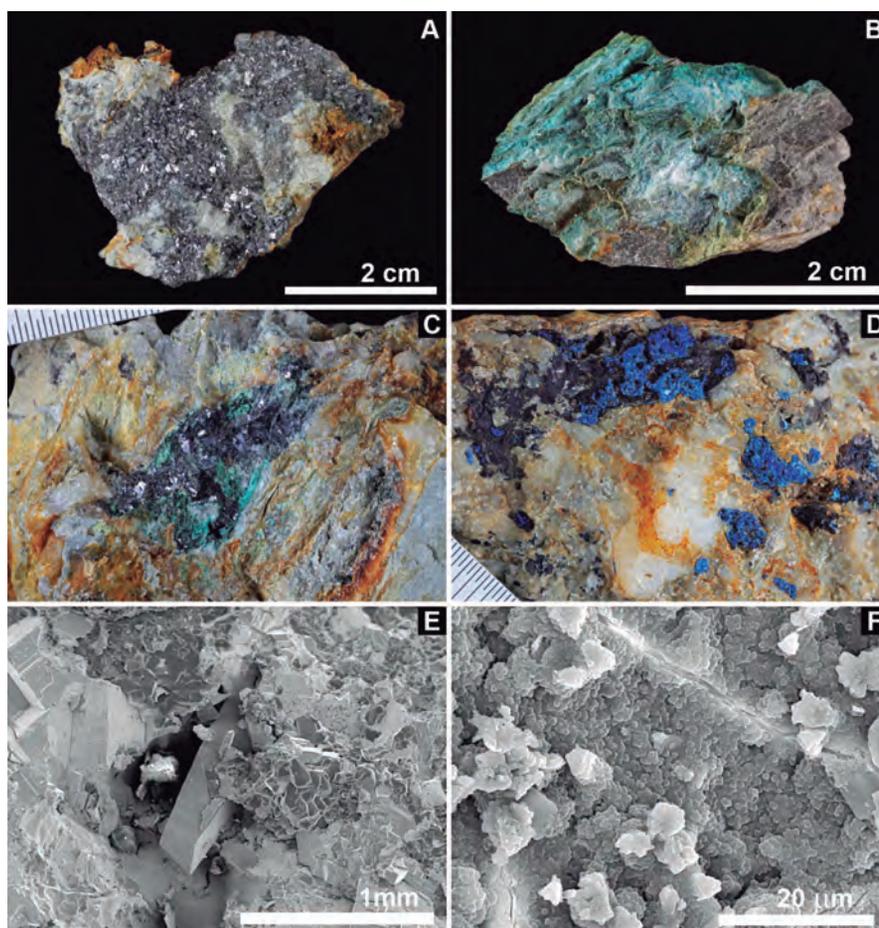


Figura 22. Fotografías de algunos minerales de Las Peralosas (LIG 6). A, galena procedente del filón principal; B, crisocola y calcantina; C, brecha filoniana con galena parcialmente alterada a cerusita y minerales secundarios de cobre. D, azurita y óxidos de hierro y manganeso presentes en la zona de alteración; E, microfotografía de un cristal de anglesita creciendo a expensas de la galena; F. *idem.*, detalle del recubrimiento de crisocola sobre la mena cuprífera.

Figure 22. Photographs of some minerals from Las Peralosas abandoned mine (geosite 6). A, galena; B, chrysocolla and chalcantite; C, brecciated vein filled with galena partially weathered into cerusite and secondary copper minerals; D, azurite and iron and manganese oxides in the alteration zone; E, micrograph of an anglesite-crystal growing from the galena; F, *ibid.* detail of the chrysocolla crust over the cupriferous ore.

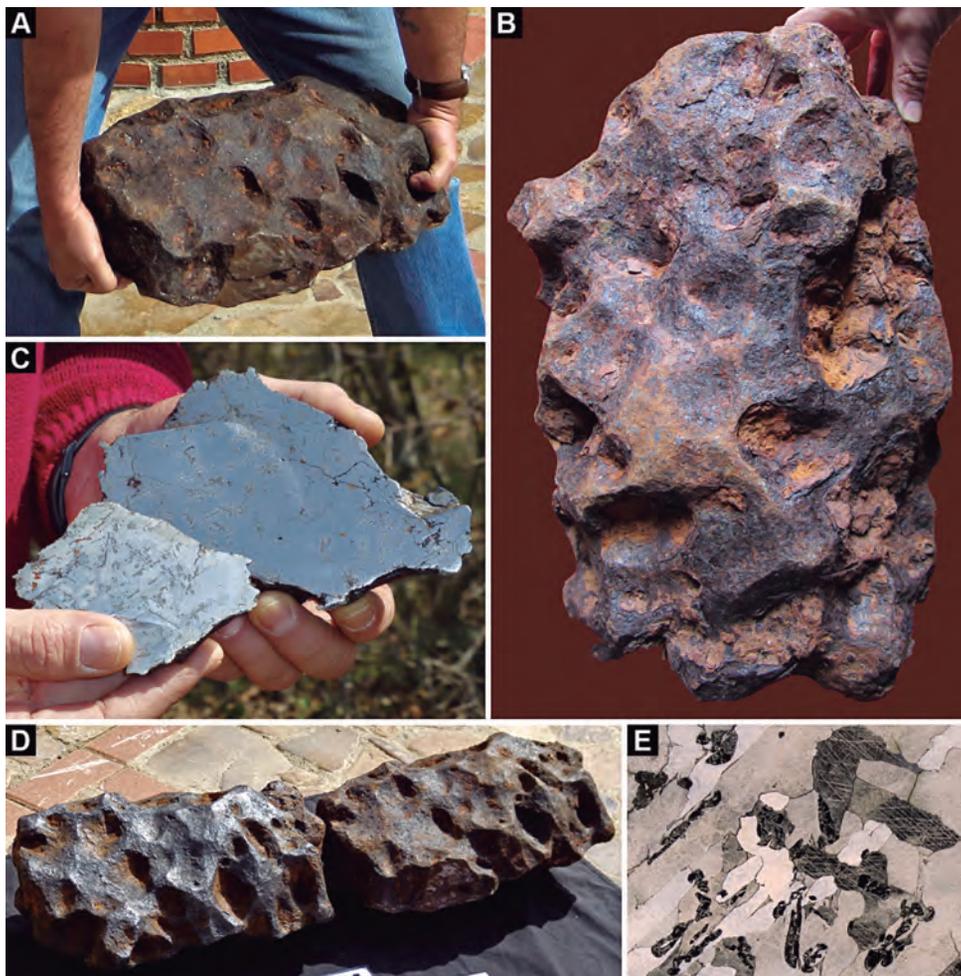


Figura 23. El nuevo meteorito metálico “Retuerta del Bullaque”, descrito en 2014 y encontrado cerca del límite septentrional del Parque Nacional de Cabañeros. A, masa actual del siderito, próxima a los 96 kg de peso; B, cara anversa del meteorito completo, con oquedades cóncavas (regmaglifos) y alteración terrestre moderada; C, piezas seccionadas que constituyen los ejemplares tipo oficiales sobre los que se basó su estudio científico; D, réplica patinada del meteorito completo (izquierda) y ejemplar original después del seccionado (derecha); E, detalle de una sección pulida donde se aprecian las figuras de Widmanstätten, formadas por bandas de kamacita (en blanco y gris) y grandes cristales de cohenita (más oscuros y con líneas de Neumann).

Figure 23. The new “Retuerta del Bullaque” iron meteorite, described in 2014 and recovered near the northern boundary of the Cabañeros National Park. A, photo of the actual bulk mass of about 96 kg in weight; B, the complete specimen with many concave regmaglyphs and moderate terrestrial weathering; C, large sections used as type specimens for the study; D, replica in modified plaster with patina (left) and actual specimen after sectioning (right); E, detail of transverse section showing the Widmanstätten bands of kamacite (in white and grey colours) and large crystals of cohenite (dark grey), the latter with abundant Neumann lines.

sideritos, en base a su contenido en aleaciones complejas de hierro-níquel (taenita-kamacita), carburos (cohenita) y fosfuros (schreibersita) de ambos metales, así como nódulos de troilita (sulfuro de hierro diamantífero). La *Meteoritical So-*

ciety aprobó la inclusión oficial del ejemplar en la lista mundial de meteoritos, asignándole el número 84 de los de su clase (IAB-MG) y el cuarto siderito español (LOZANO *et al.*, 2013). Aunque su nombre oficial es Retuerta del Bullaque, mu-





chos medios de comunicación lo han popularizado como «el meteorito de Cabañeros», adquiriendo cierta notoriedad (incluso internacional) tras haberse utilizado durante muchos años como peso para prensar jamones. Por el contexto

geológico del lugar de hallazgo (un abanico aluvial de tercera generación, previo al desarrollo de la red fluvial actual), la caída del meteorito debió de ocurrir en tiempos prehistóricos o protohistóricos indeterminados. Antes de proceder a su sec-

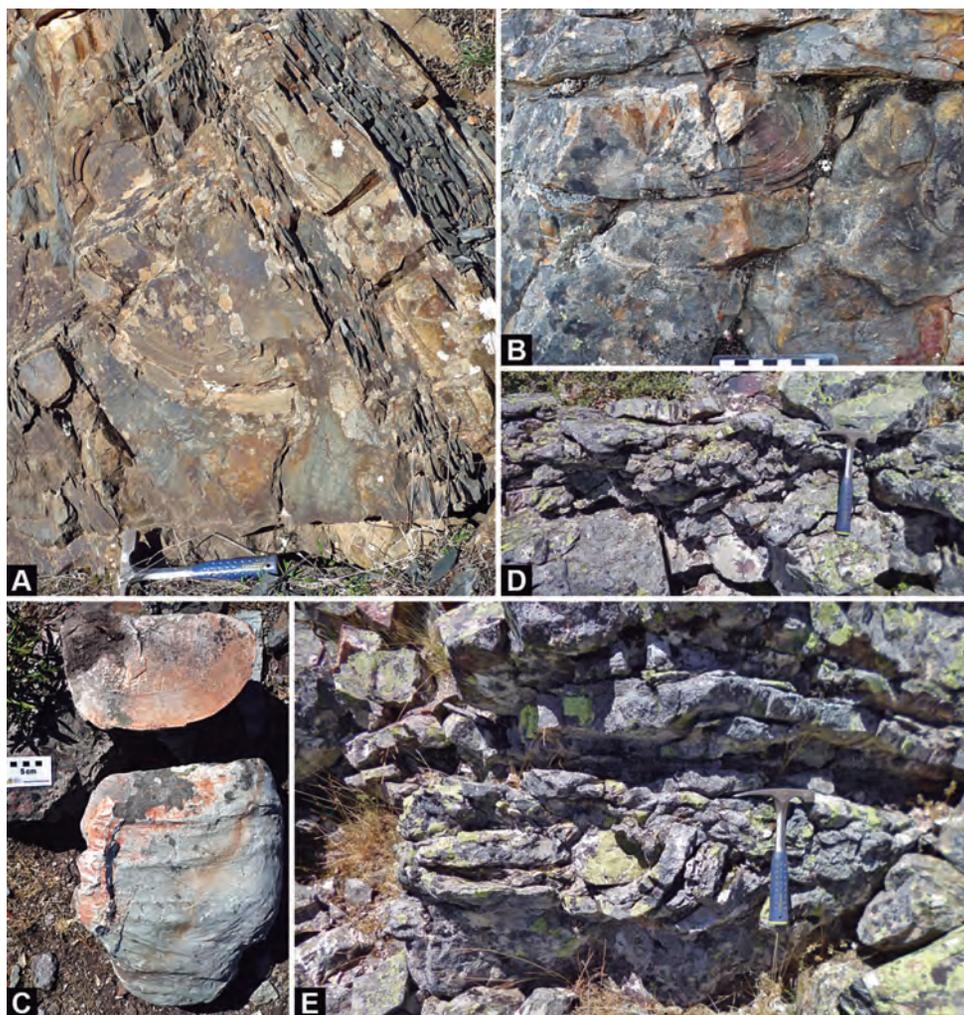


Figura 24. Paleosismitas en las Capas de Marjaliza (A), “Capas Intermedias” (B) y Cuarcita Armoricana (C-E) del Boquerón del Estena (A-B), Espinazo del Can (C) y Rocigalgo (D-E). Un primer tipo conduce a la formación de estructuras de carga (A-C), separadas y deformadas por el escape del sedimento infrayacente, sometido a sobrepresión de fluidos y licuefactado durante el movimiento sísmico. En el segundo tipo se registra la deformación completa de una capa delgada (D-E) intercalada entre otras gruesas con estratificación normal.

Figure 24. Palaeoseismites in the Marjaliza Beds (A), “Intermediate beds” (B) and Armoric Quartzite (C-E) from Boquerón del Estena (A-B), Espinazo del Can (C) and Rocigalgo (D-E). A first type involving rapid burial in shallow-marine setting, led to the formation of load structures (A-C), deformed and separated by the injection of the underlying pore fluid overpressured sediment, liquefacted and escaping upwards during seismic shaking. A second type shows a thin bed completely deformed and disrupted (D-E) intercalated between successive sandstone sheets with normal stratification.



cionado para estudio, se realizó un molde del ejemplar del que se obtuvieron tres réplicas: una para el Parque Nacional de Cabañeros, que previsiblemente se instalará en su nuevo Centro de Recepción de Visitantes en Horcajo de Los Montes, otra para el Museo Geominero de Madrid, donde se expone junto con el material tipo, y una tercera para el descubridor y propietario del original, que amablemente lo prestó para estudio.

El espectacular afloramiento de la Discordancia Toledánica dentro del Parque motivó una investigación estructural y paleogeográfica en las vecinas secciones del río Estena, casa de Cabañeros y anticlinal de Garbanzuelo, así como en afloramientos correlacionables pero ubicados fuera del parque (Las Guadalerzas, Los Navalucillos, La Nava de Rincomalillo), con el fin de obtener una representación de los procesos y fenómenos implicados a nivel regional. El análisis resultante se extendió a escala de la región surcentroibérica, vinculando su formación con una auténtica tectónica compresiva prevarisca. Los materiales del Ordovícico Inferior materializan dos discordancias diferentes, siendo la Toledánica la más extensiva, en relación con procesos tectónicos complejos, vinculados con la apertura del océano Reico (SÁ *et al.*, 2014).

Desde el punto de vista sedimentológico, se detectaron niveles singulares de paleosismitas en las «Capas Intermedias» y en las «Capas de Marjaliza» de la sección del Boquerón del Estena, así como en la Cuarcita Armoricana del perfil de Sierra Fría (Fig. 24). También se realizó un análisis de estratigrafía secuencial de alta resolución en las «Capas Intermedias» del corte del Boquerón del Estena, concretamente en los primeros 150 m sobre la discordancia basal, a fin de ubicar los paleoambientes de los yacimientos icnológicos y localizar nuevos niveles con huellas de invertebrados gigantes. Las «Capas Intermedias» y la Cuarcita Armoricana se investigaron igualmente en el área septentrional del Parque (sinclinal del Rocigalgo y anticlinal de Garbanzuelo), donde hemos corregido algunos aspectos de la cartografía del IGME y la generada por un proyecto previo para el OAPN.

DISCUSIÓN

La ejecución del proyecto de investigación 052/2009 ha revestido consecuencias positivas para el conocimiento de la geodiversidad y el inventario del patrimonio geológico en el Parque Nacional de Cabañeros. Sin embargo, para una mejor visibilidad y protección de *este otro* patrimonio natural, el parque debería implementar acciones concretas de geoconservación y difusión en algunas de las rutas más accesibles a visitantes, como el incremento de la vigilancia o guías especializados, la instalación de paneles informativos de temática geológica en todas sus rutas, la excavación de elementos geológicos (rizaduras de oleaje) en El Chorro y el Boquerón del Estena, la generación de un espacio de aparcamiento en la carretera CM-4157 que permita acceder con seguridad a rasgos vistosos en la sucesión del Ordovícico Inferior (con pliegues, fallas e icnofósiles), la demarcación junto a la Cruz de Correos de un acceso a las capas fosilíferas del Espinazo del Can, en su prolongación oriental a terreno público en el interior del Parque y, finalmente, la construcción de pasarelas y escaleras de madera que permitan contemplar mejor el yacimiento icnológico de los «gusanos gigantes» y los paneles con *Cruziana* del Boquerón del Estena. Sin duda, otro objetivo deseable sería mejorar el acceso a la ruta del Chorro con el asfaltado del camino principal desde la carretera, y poder crear una nueva ruta de ascenso restringido a Sierra Fría-El Rocigalgo que permita ascender en vehículos todo-terreno con condiciones viables, pues el actual camino es peligroso y está demasiado degradado.

La colaboración de los miembros del proyecto de investigación con las actividades del Parque Nacional, se ha plasmado en un asesoramiento científico hacia los textos e ilustraciones geológicas encargados a la empresa Verdos Interpretación para la Ruta del Boquerón del Estena y el camino del Área Recreativa del Acebo y Las Fuentes, que abarcaron cuatro mesas de interpretación y el folleto del Sendero Autoguiado nº 3. También se ha colaborado con las ponencias relativas al patrimonio geológico en sendos cursos de formación organizados por el CENEAM-OAPN en los años

2011 y 2012. La excavación completa del plano principal con las huellas de gusanos gigantes en la ruta del Estena, y el acondicionamiento de los escombros integrándolos en el entorno al pie del yacimiento (con escaso impacto visual), ha permitido engrandecer el valor expositivo de este Lugar de Interés Geológico, el más singular del Parque a nivel internacional. Al mismo tiempo, la excavación ha generado que las huellas más importantes queden «colgadas» entre los 3 y los 5 m de altura y, por lo tanto, disminuye el riesgo de la anterior exposición directa al vandalismo y la depredación.

La colaboración del proyecto con el Parque se ha plasmado también en la realización de sendas réplicas del gran panel de *Cruziana* del Boquerón y del meteorito de Retuerta del Bullaque, con destino al nuevo Centro de Visitantes de Horcajo de los Montes, así como una maqueta de la formación de *Cruziana* y diversos textos explicativos del *Muro Geológico* existente en dicho centro.

El equipo científico del Proyecto colabora en aspectos concretos con la Guía Geológica del Parque Nacional de Cabañeros, programada en el desarrollo del convenio suscrito entre el Organismo Autónomo Parques Nacionales y el Instituto Geológico y Minero de España, y que se concluirá en 2014. Del mismo modo, los investigadores del proyecto se encargaron de proponer y cumplimentar las fichas de posibles Lugares de Interés Geológico en Cabañeros, de los que tres ya constan oficialmente en el inventario nacional que ejecuta el IGME por encargo del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

El primer ensayo para la puesta en marcha de una Geo-Ruta del Boquerón del Estena se emprendió con motivo del Geolodía 2010, una iniciativa de visita guiada por geólogos organizada a nivel nacional por la Sociedad Geológica de España, el Instituto Geológico y Minero de España la Asociación Española de Profesionales de la Enseñanza de Ciencias de la Tierra. La organización del Geolodía provincial de Ciudad Real tuvo lugar el domingo 25 de abril de 2010 y se repitió en mayo de 2014. A la convocatoria de internet concurrieron 300 personas venidas en coches particulares desde 5 provincias, y el recorrido geológico gozó de amplio seguimiento mediático en prensa y TV.

La Geo-Ruta del Boquerón del Estena se ha presentado científicamente ante varios congresos y colectivos, contando siempre con el apoyo del Parque Nacional. Entre ellos cabe citar las visitas celebradas en el marco del 11 Simposio Internacional sobre el Sistema Ordovícico (mayo de 2011: GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2011b; BRUTON *et al.*, 2011), la XIX Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural (septiembre de 2011: GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2011c) y el 15 Simposio Internacional sobre el Continente de Gondwana (julio de 2014), así como la divulgación efectuada durante la XII y XIII Semana de la Ciencia de la Unión Europea (noviembre de 2012 y 2013, respectivamente, orientada al público general), o la visita de los profesores y alumnos finalistas de la V Olimpiada Nacional de Geología (2014). En otro orden de cosas, el peso adquirido por la Geo-Ruta del Boquerón del Estena en términos geoturísticos, motivó que buena parte de un reportaje aparecido en el semanario alemán *Der Spiegel* (14 de octubre de 2012) estuviese focalizado a los fósiles marinos y a las huellas de gusanos gigantes, que desplazaron incluso en el título a la imagen más habitual del «Serengueti español», igualmente publicitada en el artículo.

El equipo científico del proyecto promovió activamente la difusión de los valores científicos y geoturísticos de Cabañeros en diversas reuniones, presentando comunicaciones al respecto en tres congresos internacionales y dos nacionales, así como conferencias invitadas en dos cursos universitarios de verano y otras puntuales en universidades y organizaciones de defensa de la Naturaleza.

Entre las informaciones de prensa generadas por el proyecto, destaca el interés suscitado por el «meteorito de Cabañeros» y sus circunstancias de hallazgo, con reflejo en telediarios y prensa nacional e internacional, así como en millones de páginas webs de todo el mundo (a los tres días de la nota de prensa, el buscador de google arrojaba 53.300 resultados como «meteorito Cabañeros», 12.300 como «meteorito Retuerta del Bullaque» y 2.290.000 como «meteorite ham press»).

Las colaboraciones científicas se enmarcaron en el Proyecto 591 del Programa Internacional de

Proyectos de investigación en parques nacionales: 2010-2013

Geociencias (IUGS-UNESCO), y a nivel nacional con el proyecto CGL2009-09583/BTE del Ministerio de Economía y Competitividad (2010-2013), para el estudio de los braquiópodos rhynchonelláceos y equinodermos diploporitos del Ordovícico Medio de Cabañeros.

Pese a todas las actividades realizadas, el grueso de las investigaciones paleontológicas, sedimentológicas y mineralógicas generadas por el proyecto permanece aún sin publicar, lo que se desarrollará sin duda en años venideros. Las colecciones geológicas resultantes de las excavaciones paleontológicas se hallan a disposición del Parque Nacional, si bien los ejemplares tipo o figurados en las publicaciones científicas se han depositado en una institución nacional especializada (el Museo Geominero de Madrid), a fin de garantizar su gestión científica y asegurar su conservación futura, a lo que obligan los protocolos internacionales. Con todo, hay material duplicado suficiente como para nutrir los eventuales requerimientos de depósito para exhibición en los distintos centros de interpretación del Parque.

CONCLUSIONES

El Parque Nacional de Cabañeros, junto a su reputado Patrimonio Natural Biológico, posee un nada desdeñable Patrimonio Natural Geológico que contribuye eficazmente a brindarle nuevas señas de identidad con respecto a los restantes parques integrantes de la Red Nacional. En el presente Proyecto se han trabajado todos los aspectos relacionados con la Geodiversidad, principalmente los derivados de su complejo basamento paleozoico. Ello permite agregar el marchamo de «un pasado marino remoto en el centro de la Península», de gran atractivo por cuanto puede ser apreciado por los visitantes a través de los antiguos sedimentos marinos y los organismos del pasado que allí vivieron, y seguido a lo largo de varias de las rutas dispuestas por el Parque.

La metodología empleada en el proyecto ha sido la clásica de cualquier exploración geológica y paleontológica, pero orientada a la delimitación de LIG formales para aquellas localidades o secciones con un reconocido potencial, o que acredite es-

peciales necesidades de protección y difusión. En ese sentido, se han propuesto ocho LIG y tres georutas que recopilan lo más importante del Patrimonio Geológico relacionado con el pasado marino del Parque Nacional de Cabañeros. Entre los LIG seleccionados figura uno de relevancia internacional (Boquerón del Estena), dos de nivel nacional (yacimientos paleontológicos de Gargantilla y Valquejigoso–Los Medianiles–El Robledo) y siendo el resto de interés regional. Los tres primeros ya han sido admitidos oficialmente para integrarse en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico, en desarrollo de la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

Las geo-rutas propuestas aprovechan tres de los recorridos oficiales del parque: la senda pedestre que recorre el LIG del Boquerón del Estena (Cámbrico inferior-Ordovícico Inferior); la pedestre de Gargantilla (Cámbrico Inferior) y la pedestre o motorizada 4x4 de Los Navalucillos-Rocigalgo (Ordovícico Inferior). Tanto los LIG individuales, como las geo-rutas que brindan acceso a parte de ellos, aportan visiones enteramente complementarias de los valores de biodiversidad que promueve el parque, y contribuyen al desarrollo cualitativo del turismo de naturaleza en Cabañeros. No obstante, el geoturismo en sí mismo ya constituye uno de los atractivos consolidados en la geo-ruta o senda geológica del Boquerón del Estena, que atrae anualmente a decenas de miles de visitantes, y figura con frecuencia en publicaciones de todo tipo, *posts* en redes sociales y páginas de internet.

Las tareas de geoconservación y difusión de algunos de los elementos más importantes del patrimonio icnológico del Ordovícico Inferior exigió la realización de réplicas en resinas epoxídicas de grandes superficies icnológicas en cuarcitas y areniscas. También el ensayo en condiciones climáticas reales de una serie de productos para la protección y patinado de las huellas originales.

En paralelo con el inventario de LIG y la implementación geológica de tres de las rutas oficiales del Parque Nacional, se realizaron diversas excavaciones paleontológicas tanto en yacimientos conocidos como en los descubiertos durante el trans-

curso del Proyecto. El inventario de invertebrados del Ordovícico medio identificados en el Parque asciende a 61 taxones, entre los que destacan al menos tres formas nuevas (un porífero, un braquiópodo, un bivalvo) que están siendo estudiadas en colaboración con especialistas internacionales, y un raro graptolito bentónico (el segundo hallazgo a nivel del suroeste de Europa para la época Ordovícico Medio). A ellos hay que sumar los trabajos en curso sobre icnofósiles del Cámbrico inferior (nuevos datos sobre *Astropolichnus hispanicus*), la diversidad de huellas del Ordovícico Inferior y, de manera muy especial, los relativos a la descripción de las huellas gigantes de gusanos (*Estenaichnus cabanerensis n.n.*), cuyo estudio se ha completado con un análisis sedimentológico de alta resolución.

Entre los elementos geológicos restantes, se ha caracterizado la paragénesis mineral de la mina de «Las Peralosas» y se ha descubierto un meteorito metálico en el área de pre-parque, el octogésimo cuarto del mundo en su clase y el cuarto siderito español, de acuerdo con la lista oficial de la *Meteoritical Society*.

AGRADECIMIENTOS

Al Organismo Autónomo Parques Nacionales, por la concesión del proyecto 052/2009 que ha posibilitado la investigación. A los sucesivos res-

ponsables del Parque Nacional de Cabañeros y de un modo especial a su director-conservador adjunto, D. Ángel Gómez Manzaneque, por su apoyo permanente a nuestras prospecciones y excavaciones. A D. Alejandro Aznar y Dña. Mónica de Oriol, por la siempre cálida acogida en su finca de Cabañeros, con el apoyo del guarda mayor D. José Ignacio García. A Dña. Dolores González Mosquera y D. Julio Cabo Tapia, propietarios del restaurante-casa rural Boquerón de Estena (Navas de Estena, Ciudad Real), transformada en nuestro «cuartel general» durante los trabajos de campo. A los guías del Parque D. Gil Fernando Giménez Velasco y D. Francisco Pérez Privado por su apoyo sobre el terreno. A los geólogos especialistas Dña. Nuntxi Pérez García (Repsol) y D. Ramón Jiménez Martínez (IGME), por su colaboración en los estudios sedimentológicos y mineralógicos, respectivamente. Al fotógrafo D. Carlos Alonso Recio (Universidad Complutense), por el trabajo paleontológico de estudio y la composición de las ilustraciones del presente capítulo. Por último, a D. Julio Martín Sánchez (Madrid), D. Adrián Heck Cabo (Valencia), D. Diego C. García-Bellido (Adelaida, Australia), D. Enrique Bernárdez Rodríguez (Copiapó, Chile), Dña. Pilar Navas-Parejo (Hermosillo, México) y a distintos grupos de estudiantes de geología de la Universidad Complutense de Madrid, por su ayuda en las campañas de excavación y realización de los grandes moldes paleoicnológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAEZA, E., GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. & RÁBANO, I. 2013. Obtención de grandes réplicas de elementos singulares del Patrimonio Geológico del Parque Nacional de Cabañeros (Castilla-La Mancha). En: J. Vegas, A. Salazar, E. Díaz-Martínez & C. Marchán (eds.) Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo. Cuadernos del Museo Geominero 15: 573-582. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- BRUTON, D.L., FINNEY, S.C. & PERCIVAL, I.G. 2011. Ordovician of Iberia - Report on the 11th International Symposium on the Ordovician System. Episodes 34: 270-273.
- CARCAVILLA, L. & PALACIO, J. 2010. Proyecto Geosites. Aportación española al patrimonio geológico mundial. 231 pp. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- CARCAVILLA, L., LÓPEZ MARTÍNEZ, J. & DURÁN VALSERO, J.J. 2007. Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Cuadernos del Museo Geominero 7: 1-360. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

Proyectos de investigación en parques nacionales: 2010-2013

- CARCAVILLA, L., DELVENE, G., DÍAZ-MARTÍNEZ, E., GARCÍA CORTÉS, A., LOZANO, G., RÁBANO, I., SÁNCHEZ, A. & VEGAS, J. 2012. Geodiversidad y patrimonio geológico. Segunda edición. 21 pp. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. Descargable gratuitamente en: www.igme.es/internet/patrimonio/default.htm
- CORTÁZAR, D. DE. 1880. Reseña física y geológica de la provincia de Ciudad Real. Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España 7: 289-330.
- EDWARDS, D. & WILLIAMS, D. 2011. Rescue palaeontology. *Geology Today* 27: 65-69.
- GARCÍA-CORTÉS, A. & CARCAVILLA, L. 2013. Documento metodológico para la elaboración del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG). 64 pp. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. www.igme.es/internet/patrimonio/novedades/METODOLOGIA%20IELIG%20web.pdf
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. 1986. Graptolitos del Ordovícico español. Tesis doctoral inédita. 701 pp. Universidad Complutense de Madrid.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. 2013. Geoconservación y geoturismo en sedimentos y fósiles marinos. En: B. Asensio Nistal (coord.) Cuadernillo Especial, Investigación en la Red de Parques Nacionales. *Quercus* 324: 9.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., PIEREN, A.P., RÁBANO, I. & REYES-ABRIL, J. 2008a. Novedades paleontológicas del Ordovícico en el Parque Nacional de Cabañeros (Castilla-La Mancha). *Geogaceta* 44: 91-94.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., RÁBANO, I., LIÑÁN, E., GOZALO, R., FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, E., ARBIZU, M., MÉNDEZ-BEDIA, I., PIEREN PIDAL, A. & SARMIENTO, G.N. 2008b. Las sucesiones estratigráficas del Paleozoico inferior y medio del Macizo Hespérico. En: A. García-Cortés (ed.) Contextos Geológicos españoles. Una aproximación al patrimonio geológico español de relevancia internacional. pp. 31-43. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., SÁ, A.A., GARCÍA-BELLIDO, D.C., RÁBANO, I. & VALÉRIO, M. 2009. Giant trilobites and trilobite clusters from the Ordovician of Portugal. *Geology* 37: 443-446.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., SAN JOSÉ LANCHA, M.A. DE, PIEREN PIDAL, A.P., RÁBANO, I., BAEZA CHICO, E., SÁ, A.A., PEREJÓN RINCÓN, A. & SARMIENTO, G.N. 2010. Geología y Paleontología del Parque Nacional de Cabañeros. En: L. Ramírez & B. Asensio (eds.) *Proyectos de investigación en parques nacionales*. pp. 29-54. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Serie investigación en la red, vol. 3. Madrid.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., GARCÍA-BELLIDO, D.C., RÁBANO, I., BAEZA CHICO, E., SÁ, A.A. & SARMIENTO, G.N. 2011a. Geotouristic trails in the Cabañeros National Park (central Spain). En: D. Rocha & A. Sá (eds.) *Geotourism in Action. Proceedings of the International Congress of Geotourism-Arouca 2011*. pp. 125-128. Arouca Geopark Association/Arouca Municipality. Arouca.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., MANSILLA PLAZA, L., RÁBANO, I., & GARCÍA-BELLIDO, D.C. 2011b. Ordovician stratigraphy and paleontology of the province of Ciudad Real. *Field Trip Guide 11th International Symposium on the Ordovician System, May 12th-13th, 2011*. pp. 1-18. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., RÁBANO, I. & BARRÓN, E. 2011c. Geodiversidad y Biodiversidad en el Parque Nacional de Cabañeros (Ciudad Real-Toledo): la Ruta del Boquerón del Estena. pp. 1-26. Real Sociedad Española de Historia Natural, Madrid.
- GUTIÉRREZ-MARCO J.C., SÁ, A.A. & RÁBANO, I. 2012. Ordovician trilobites and trilobite traces from the Cabañeros National Park (central Spain). En: P. Budil & O. Fatka (eds.) *The 5th Conference on Trilobites and their relatives*. p. 27. Czech Geological Survey & Charles University, Prague.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., RÁBANO, I., SÁ, A.A., SARMIENTO, G.N., SAN JOSÉ LANCHA, M.A. DE & HERRANZ ARAÚJO, P. 2013a. LIG e itinerarios geológicos en el Parque Nacional de Cabañeros. En: J. Vegas, A. Salazar, E. Díaz-Martínez & C. Marchán (eds.) *Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo*. Cuadernos del Museo Geominero 15: 67-74. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., RÁBANO, I., SÁ, A.A., GARCÍA-BELLIDO, D.C. & SARMIENTO, G.N. 2013b. Patrimonio paleontológico del Ordovícico Medio del Parque Nacional de Cabañeros (Castilla-La Mancha). En: J. Vegas, A. Salazar, E. Díaz-Martínez & C. Marchán (eds.) Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo. Cuadernos del Museo Geominero 15: 591-599. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., SÁ, A.A., GARCÍA-BELLIDO, D.C. & RÁBANO, I. 2014. The extent of the Middle Ordovician Dapingian Stage in peri-Gondwanan Europe and North Africa. Stratigraphic record, biostratigraphic tools, and regional chronostratigraphy. GFF 136: 90-94.
- IGME, 1989. Mapa y Memoria Explicativa (51 pp.) de la Hoja nº 683 (Espinoso del Rey) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (2ª Serie). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- LOZANO, R.P., REYES, J., BAEZA, E., GONZÁLEZ LAGUNA, R., GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. & JIMÉNEZ MARTÍNEZ, R. 2013. Un nuevo meteorito español: Retuerta del Bullaque (Ciudad Real). Clasificación, mineralogía y preservación de la morfología. Estudios Geológicos 69: 5-20.
- LUJÁN, F. DE 1850. Estudios y observaciones geológicas relativos a terrenos que comprenden parte de la provincia de Badajoz y de las de Sevilla, Toledo y Ciudad-Real; y cortes geológicos de estos terrenos. Parte Segunda. Memorias de la Real Academia de Ciencias de Madrid 1(2): 1-71.
- MARTÍN-SERRANO, A. 1991. La definición y el encajamiento de la red fluvial actual sobre el Macizo Hespérico en el marco de su geodinámica alpina. Revista de la Sociedad Geológica de España 4: 337-351.
- MARTÍN-SERRANO, A. & NOZAL MARTÍN, F. 2006. Red fluvial, rañas y relieves apalachianos del Macizo Ibérico. En: A. García-Cortés (ed.) Contextos Geológicos españoles. Una aproximación al patrimonio geológico español de relevancia internacional. pp. 184-191. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- PILLOLA, G.L., GÁMEZ-VINTANED, J.A., DABARD, M.-P., LEONE, F., LIÑÁN, E. & CHAUVEL, J.-J. 1994. The Lower Cambrian ichnospecies *Astropolichnus hispanicus*: palaeoenvironmental and palaeogeographic significance. Bolletino della Società Palaeontologica Italiana, spec. vol. 2: 253-267.
- POLECHOVÁ, M. 2013. Bivalves from the Middle Ordovician Šarká Formation (Prague Basin, Czech Republic). Bulletin of Geosciences 88: 427-461.
- RÁBANO, I., GUTIÉRREZ-MARCO, J.C. & SÁ, A.A. 2014. Yacimientos excepcionales de trilobites del Ordovícico ibérico. En: J.A. Gámez Vintaned (ed.) Yacimientos excepcionales de fósiles ibéricos. Libro Homenaje al Dr. Antonio Perejón Rincón. Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural 12: 51-62.
- SÁ, A.A., GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., MEIRELES, C.A., GARCÍA-BELLIDO, D.C. & RÁBANO, I. 2014. A revised correlation of Lower Ordovician sedimentary rocks in the Central Iberian Zone (Portugal and Spain). En: R.B. Rocha, J. Pais, C. Kulberg & S. Finney (eds.) Strati 2013, at the cutting edge of Stratigraphy. pp. 441-446. Springer Geology Series, New York.
- SAN JOSÉ, M.A. DE, GUTIÉRREZ-MARCO, J.C., TRUYOLS, J. & RÁBANO, I. 2005. Un mapa geológico inédito de los Montes de Toledo (Schulz, 1870). En: I. Rábano & J. Truyols (eds.) Miscelánea Guillermo Schulz (1805-1877). Cuadernos del Museo Geominero 5: 143-151. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- SAN JOSÉ, M.A. DE, MERTEN, R., PEREJÓN, A., MORENO-EIRIS, E. & MENÉNDEZ, S. 2011. Geología y paisaje de los Montes de Toledo centro-orientales. pp. 1-51. Real Sociedad Española de Historia Natural, Madrid.
- STEINOVÁ, M. 2011. Middle Ordovician bivalves from Bohemia, Spain and France. En: J.C. Gutiérrez-Marco, I. Rábano & D.C. García-Bellido (eds.) Ordovician of the World. Cuadernos del Museo Geominero 14: 575-580. Instituto Geológico y Minero de España.