

SISTEMA DE INDICADORES PARA EL SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO EN LA RED DE PARQUES NACIONALES

LUIS CARCAVILLA¹, ANDRÉS DÍEZ-HERRERO¹, JUANA VEGAS¹,
ENRIQUE DÍAZ-MARTÍNEZ¹, ÁNGEL GARCÍA-CORTÉS¹, ELEUTERIO BAEZA¹,
ISABEL RÁBANO¹, ÁNGEL MARTÍN SERRANO¹, JUAN CARLOS GUTIÉRREZ MARCO²,
MIGUEL GÓMEZ-HERAS³

RESUMEN

Los sistemas habituales de geoindicadores no son adecuados para su aplicación en geconservación porque están diseñados para identificar cambios en los sistemas geológicos pero no para evaluar su significado en términos de protección ni las necesidades de gestión del lugar. A partir de esta conclusión, se reflexiona acerca de las características que debería tener un sistema de indicadores del estado de conservación del patrimonio geológico y de su uso público. Con estas ideas se han diseñado indicadores para ser aplicados al Boquerón del Estena y al Chorro de los Navalucillos, dos lugares de interés geológico del Parque Nacional de Cabañeros. Estas monitorizaciones han ido encaminadas a estimar el grado de dinamismo e intensidad de los procesos geológicos activos en ambos lugares para comprobar cómo afectan a su conservación y potencial uso público. Con los resultados obtenidos, en ambas localidades se han propuesto medidas concretas. El establecimiento de sistemas instrumentales para la monitorización de los procesos geomorfológicos activos se ha manifestado como una herramienta útil para la comprensión de ambos lugares. De manera más concreta, en el Boquerón del Estena se ha analizado la conservación del icnofósil gigante y se ha concluido que es necesario mantener el actual estado de insolación sobre el afloramiento rocoso, para garantizar que la inercia térmica diaria dificulte los ciclos de gelificación efectiva nocturnos. En lo referente al uso público de este lugar, se considera necesario establecer un protocolo de alerta temprana ante eventos de precipitación intensa en la cabecera del río Estena que puedan producir avenidas súbitas. En el caso del Chorro de los Navalucillos, las características hidrológicas de la zona demuestran que el nivel de descarga de la cascada no responde de manera inmediata al régimen de precipitaciones.

Palabras clave: Geoconservación, geoindicadores, patrimonio geológico, Parque Nacional de Cabañeros.

¹ Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, l.carcavilla@igme.es, andres.diez@igme.es, j.vegas@igme.es, e.diaz@igme.es, garcia.cortes@igme.es, e.baeza@igme.es, i.rabano@igme.es, a.martinserrano@igme.es

² Instituto de Geociencias (CSIC, UCM), Fac. CC. Geológicas, C/José Antonio Nováis 12, 28040 Madrid, jegrapt@geo.ucm.es;

³ Universidad Autónoma de Madrid. Carretera de Colmenar, km 15. Tres Cantos, 28049 Madrid, miguel.gomezheras@uam.es

GEOINDICATORS FOR THE EVALUATION OF THE STATE OF CONSERVATION AND PUBLIC USE OF GEOLOGICAL HERITAGE. APPLICATION TO THE CABAÑEROS NATIONAL PARK

ABSTRACT

Most of geoinicator systems are not suitable for geological conservation because they are designed to identify changes in geological systems but not to evaluate their meaning in terms of protection or the management. In this article we show the characteristics that would have a useful system of indicators of the state of conservation and public use of the geological heritage. These indicators have been designed to be applied to geosites of Cabañeros National Park: Boquerón del Estena and Chorro de los Navalucillos. Monitoring have estimated the degree of dynamism and intensity of active geological processes in both places to see how they affect their conservation and potential public use. Specific measures have been proposed in both locations. The establishment of instrumental systems for the monitoring of active geomorphological processes has been shown as a useful tool for the understanding of both geosites. In Boquerón del Estena has been analyzed the conservation of the giant ichnofossil and it has been concluded that it is necessary to maintain the current state of insolation on the rocky outcrop, in order to guarantee that the daily thermal inertia hinders the effective gelling cycles at night. Regarding the public use of this place, it is considered necessary to establish an early warning protocol for intense rainfall events at the head of the Estena River that can produce sudden floods. In the case of Chorro de los Navalucillos, the hydrological characteristics of the area show that the appearance of the waterfall does not respond immediately to the rainfall regime.

Keywords: Geoconservation, geoindicators, geological heritage, Cabañeros National Park.

INTRODUCCIÓN

La conservación del patrimonio geológico ha sido uno de los temas más recientemente incorporados al ámbito de la conservación de la naturaleza. Frente al enfoque tradicional de la Geología de tipo productivista y orientado a la explotación de recursos, actualmente esta Ciencia abarca muchos otros campos que incluyen el análisis de la relación entre los procesos geológicos y los seres humanos, así como el análisis del valor intrínseco y patrimonial de los elementos geológicos. La concepción holística de la conservación de la naturaleza que se ha impuesto en los últimos años ha llevado a considerar la geodiversidad como parte fundamental de la diversidad natural, y al patrimonio geológico como parte indisoluble del patrimonio natural (CARCAVILLA *et al.*, 2007).

La geología se basa en el estudio de elementos geológicos, por lo que es evidente la importancia de los afloramientos y formas del relieve con características singulares para el desarrollo científico, educación y divulgación. Por otro lado, algunos rasgos geomorfológicos tienen un gran protagonismo en muchos de los paisajes sobresalientes incluidos en las áreas protegidas españolas. Humedales, sistemas fluviales, glaciares, cárcavas, cañones, cascadas, cuevas, dunas, volcanes, etc., son rasgos geológicos cuyo conocimiento es clave para entender y poder gestionar adecuadamente dichos paisajes. El tipo de roca, su disposición tectónica y los procesos geológicos pasados y actuales condicionan también, en mayor o menor medida, el desarrollo de estos paisajes. Además, numerosos procesos geológicos y biológicos guardan una estrecha relación, condicionando los unos la actividad y dinamismo de los otros y a la inversa. Así que los elementos geológicos no sólo son soporte para la biodiversidad, sino que en muchos casos son parte esencial de los hábitats y ecosistemas. Si a esto sumamos que muchos elementos geológicos poseen un valor por sí mismos, se puede afirmar que el patrimonio geológico es un bien común que forma parte de la riqueza natural de nuestro planeta. Por eso, la conservación del patrimonio geológico constituye una responsabilidad y una obligación por parte de las administraciones públicas y de la sociedad en general, tal y como ya recoge la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (CARCAVILLA, 2014).

Determinados elementos geológicos pueden presentar un elevado valor, generalmente relacionado con su interés científico, divulgativo y didáctico. El objetivo final del estudio del patrimonio geológico es identificar estos elementos, para promover su conservación y facilitar su utilización y disfrute mediante el diseño de acciones de uso público. Para ello es necesario, siguiendo la metodología específica, identificar, valorar, conservar y divulgar aquellos lugares que posean un elevado interés en relación con las Ciencias de la Tierra (CENDRERO, 2000; CARCAVILLA *et al.*, 2007).

El término área protegida es muy extenso y abarca diferentes enfoques y designaciones (DUDLEY, 2008). Los parques nacionales son quizá las más conocidas de ellas, ya que suelen albergar las manifestaciones naturales más valiosas e importantes de cada país. El objetivo primario de los parques nacionales es proteger el patrimonio natural y promover la educación y el uso recreativo. El patrimonio geológico forma parte importante de dicho patrimonio natural y, por lo tanto, debe ser objeto de gestión por parte de la administración de los parques nacionales en dichos términos.

De hecho, la Red de Parques Nacionales españoles alberga un rico y variado patrimonio geológico que, en muchos casos, asociamos a lugares con paisajes sobresalientes (RODRÍGUEZ *et al.*, 2017). Sin embargo, también forman parte de este patrimonio geológico otros lugares poco espectaculares, nada atractivos visualmente o de escaso valor estético, pero que en cambio tienen gran valor científico o didáctico. Es el caso, por ejemplo, de algunos los yacimientos minerales, de las rocas y series estratigráficas que guardan información sobre procesos geológicos que tuvieron lugar hace millones de años, de las estructuras tectónicas complejas, o de los yacimientos de fósiles de pequeños invertebrados, a veces microscópicos. Por ello, y aunque los parques nacionales albergan espacios que dan lugar a paisajes sobresalientes, su gestión también es fundamental, puesto que aportan una información muy importante sobre la evolución e historia de la Tierra y la vida en ella.

El patrimonio geológico está sujeto a modificaciones derivadas de la acción del hombre. Estas trans-

formaciones son casi siempre de menor entidad en los espacios protegidos, ya que cuentan con una regulación de usos orientada a la conservación más o menos estricta. Sin embargo, en el caso del patrimonio geológico, el desconocimiento que hay de su existencia e importancia aumenta la amenaza, ya que posibles afecciones pueden pasar desapercibidas al no conocerse realmente la existencia de los Lugares de Interés Geológico (LIG) contenidos en el área protegida.

A pesar de los avances desarrollados en los últimos años en materia de geoconservación, no existe mucha información bibliográfica acerca del uso de geoindicadores. El concepto fue ya definido por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS) (BERGER & IAMS, 1996) pero tal y como ha sido formulado hasta ahora, no es práctico para la geoconservación, puesto que están diseñados para controlar la evolución de determinados procesos que evidencian un cambio a corto plazo en el 'sistema geológico Tierra', en lugar de cambios en el estado de conservación del patrimonio geológico de un territorio. Por el contrario, lo importante en geoconservación es buscar un sistema de indicadores que además permita conocer, controlar y mitigar los cambios que se producen por la participación antrópica, y no sólo los que correspondan a la evolución natural del sistema; además de cambios a corto plazo y a escalas espaciales más reducidas (CARCAVILLA *et al.*, 2007; GARCÍA-CORTÉS *et al.*, 2012).

La importancia del seguimiento en la conservación de la naturaleza ha quedado plasmada en la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad y en el Real Decreto 556/2011 para el desarrollo del Inventario Español del Patrimonio Natural y la Biodiversidad. Establecen la necesidad de identificar una serie de indicadores que permitan evaluar los cambios en el estado de conservación de los diferentes componentes del patrimonio natural, entre los que se encuentra el patrimonio geológico y la geodiversidad; así como los resultados de las políticas desarrolladas para su conservación y uso sostenible. Para cada indicador se debe definir un valor inicial que fija el punto de partida de la evaluación y, de ser posibles, umbrales en cada caso concreto (GARCÍA-CORTÉS *et al.*, 2012).

Así, el proyecto INDICAGEOPAR, financiado por la convocatoria de Proyectos de Investigación del OAPN (MITECO), ha buscado cumplir varios objetivos de geoconservación mediante acciones concretas. Entre ellas se encuentra el establecimiento de un sistema de indicadores que permita realizar un diagnóstico del estado de conservación y uso público de determinados elementos geológicos amenazados, en especial aquellos sujetos a la dinámica de procesos activos. Para ello, se diseñó e implantó un sistema instrumental para el seguimiento y valoración de los procesos geológicos activos que influyen en varios elementos de dos lugares de interés geológico del Parque Nacional de Cabañeros. Con los datos resultantes se establecieron unos geoindicadores que permiten evaluar de forma cuantitativa el estado de conservación y la incidencia de los procesos geológicos activos sobre el uso público con la finalidad de ser una herramienta eficaz para la gestión de este patrimonio natural por las administraciones competentes.

MATERIAL Y MÉTODOS

Aplicación de geoindicadores para la conservación del patrimonio geológico

En los últimos años se ha extendido la utilización del término geoconservación para referirse al conjunto de acciones, técnicas y medidas encaminadas a asegurar la conservación (incluyendo la rehabilitación) y seguimiento del patrimonio geológico, basándose para ello en el análisis de sus valores intrínsecos, su vulnerabilidad y el riesgo de degradación (CARCAVILLA, 2011; HENRIQUES *et al.*, 2011) Este campo de investigación combina aspectos referidos al funcionamiento de ciertos procesos geológicos y aspectos relacionados con la gestión y ordenación territorial. Numerosos trabajos han profundizado en los últimos años este campo de investigación (WIMBLEDON *et al.*, 1995; BARETTINO *et al.*, 2000; SHARPLES, 2002; GRAY, 2004; BRILHA 2005; BROCX & SEMENIUK 2007; CARCAVILLA *et al.*, 2007 y 2010; MARTÍN-DUQUE *et al.*, 2012). Sin embargo, no existen antecedentes en el uso de geoindicadores enfocados a la geoconservación, ya que, aunque existen trabajos incipientes en esta línea de investigación (CARCAVILLA *et al.*,

2007), todavía no se ha diseñado un conjunto de indicadores con estas características que permita establecer un diagnóstico del estado del patrimonio geológico de un determinado territorio y su evolución en el tiempo, con un objetivo de enfocar medidas de gestión concretas de dicho territorio.

A finales del siglo XX se definieron los geoindicadores (GEI) como herramientas en la evaluación de cambios rápidos en sistemas geológicos, de manera que cuantificaran de una manera lo más simple posible, modificaciones en procesos que suelen ser complejos (BERGER & IAMS, 1996; (COGEOENVIRONMENT, 1995).

Estos geoindicadores son mediciones de procesos geológicos cuya actividad les haga susceptibles de sufrir modificaciones importantes en un periodo de tiempo inferior a los 100 años. Los cambios pueden ser repentinos o graduales, casi imperceptibles por el hombre o de consecuencias catastróficas. La relación entre procesos geológicos y geoindicadores se basa en que éstos son parámetros que pueden ser usados para medir y detectar cambios en los procesos geológicos (por ejemplo, el avance de un glaciar es objeto de seguimiento dentro de un proceso global que es una glaciación) (BERGER & IAMS, 1996). En general, estos indicadores muestran la existencia o no de cambios a diferentes escales espaciales y temporales, y el significado e importancia de los mismos (o de su ausencia), pero no qué medidas deben llevarse a cabo para su mitigación, atenuación o compensación. Algunos de estos indicadores hacen un seguimiento de manera continua, mientras que otros lo hacen en intervalos predefinidos. Los parámetros que miden estos geoindicadores sirven para calcular magnitudes, frecuencias, tasas y tendencias de procesos naturales que se desarrollan sin necesidad de actuación antrópica directa, como resultado de cambios a escala global, ya sea acelerando, retardando, acentuando, mitigando o desviando el proceso.

Es importante insistir en la diferencia entre los geoindicadores del estado de conservación respecto a los indicadores de cambio global. El seguimiento de los sistemas geológicos puede ser utilizado como herramienta para identificar cambios en dichos sistemas, analizar las consecuencias de esos cambios

(incluyendo las ecológicas) y ayudar a determinar medidas de gestión. Se entiende por cambio global «...el conjunto de cambios ambientales provocados por la actividad humana, con especial referencia a cambios en los procesos que determinan el funcionamiento del sistema Tierra. Se incluyen en este término aquellas actividades que, aunque ejercidas localmente, tienen efectos que trascienden el ámbito local o regional para afectar el funcionamiento global del sistema Tierra» (DUARTE, 2006). La mayoría de los sistemas geológicos evolucionan en un rango temporal largo, con poca capacidad para reflejar cambios experimentados en periodos inferiores a la década. Sin embargo, algunos de ellos responden de manera casi inmediata a modificaciones introducidas en el sistema. En cualquier caso, a nivel conceptual, es importante distinguir entre cambios inducidos por la acción humana directa (generalmente cambios locales que afectan al estado de conservación del elemento) y cambios debido a modificaciones en el ritmo de evolución del sistema (generalmente debidos a cambios de tipo global). Por ello, el concepto de indicadores geológicos o geoindicadores debe ser analizado desde ambas perspectivas.

A la hora de definir unos indicadores para el patrimonio geológico que sean útiles para la geoconservación, conviene reflexionar sobre una serie de problemas de partida derivados de la complejidad de adaptar el sistema al patrimonio geológico:

- No existe un convenio internacional, programa o directiva europea que promueva o coordine la geoconservación. La Comisión Mundial de Áreas Protegidas (WCPA) de la UICN está actualmente desarrollando una guía de buenas prácticas que considera este aspecto, pero todavía no ha sido formalmente aprobada.
- Al no basarse en un esquema ecosistémico, en el caso del patrimonio geológico puede ser difícil buscar interrelaciones entre algunos indicadores. Incluso algunos aspectos deben «reinventarse».
- Hay muy poca información de partida y es difícil obtener la complementaria, ya que el patrimonio geológico no suele estar entre las prioridades de gestión de los parques naciona-

les, por lo que hay pocos estudios e inventarios específicos. De hecho, ningún parque nacional español cuenta con un inventario sistemático de patrimonio geológico promovido por el propio Parque.

- En muchos casos es muy difícil separar tendencias de evolución global a escala humana, que es lo que necesita el gestor de un área protegida como es un parque nacional.
- Por lo general, los equipos gestores no incluyen técnicos familiarizados con los términos y procesos geológicos.

Partiendo de estos problemas, se debe asumir que el sistema de geoindicadores para estimar el estado de conservación del patrimonio geológico deberá:

- Poder aplicarse a varias escalas, partiendo del lugar de interés geológico como unidad elemental, hasta el conjunto de la Red de Parques Nacionales, en muchos casos expresados como sumatorio de lo que ocurre en los parques nacionales
- Proponer medidas de gestión concretas, de manera que el sistema de indicadores sea una herramienta en la que el gestor pueda apoyarse para gestionar el patrimonio geológico contenido en el Parque Nacional
- Identificar una serie de parámetros objetivos que permitan realizar un diagnóstico, y unos umbrales que permitan establecer variaciones o niveles en el grado de avance
- Encontrar unos parámetros objetivos que permitan realizar una revisión en el tiempo, pudiendo servir de herramienta para el control de la eficacia en el sistema de gestión
- Abordar algunos aspectos relacionados con el funcionamiento de determinados procesos activos

Partiendo de estas ideas como base, la metodología diseñada se basa en la definición de una serie de indicadores que aporten información sobre:

- 1) aspectos relacionados con la geoconservación (tales como estado de conservación, control de amenazas para la conservación, LIG intervenidos mediante acciones de protección, etc.),
- 2) de planificación (tales como LIG incluidos en las herramientas de gestión del parque, índices de representatividad, etc.);
- 3) de investigación (tales como número de LIG monitorizados en relación con aquellos cuyo estudio de su funcionamiento lo requiere);
- 4) de uso público (tales como número de LIG con infraestructuras de uso público con respecto a los que tienen potencial para albergar actividades de este tipo).

Aplicación de indicadores del estado de conservación en el Boquerón del Estena

El Parque Nacional de Cabañeros (Toledo y Ciudad Real) comprende dos grandes conjuntos de materiales geológicos. Por un lado están las formaciones marinas del Cámbrico y Ordovícico que conservan un importante registro de la evolución del entorno perigondwánico; y por otro están las formaciones continentales reciente en forma de rañas, depósitos de ladera y fluviales (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2011a). Lo singular del Parque Nacional es que, si bien estas características geológicas son comunes a una extensa área que se prolonga por la Zona Centroibérica del Macizo Ibérico, en Cabañeros se conservan yacimientos paleontológicos de relevancia internacional, a los que sumar la excepcional sucesión paleozoica del río Estena (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2011b, 2015). Precisamente por su relevancia, uno de los lugares elegidos para la monitorización instrumental fue el Boquerón del Estena. Este LIG está incluido dentro del «geosite» de relevancia internacional «PZ004-Cámbrico y Ordovícico del Parque Nacional de Cabañeros», para el contexto geológico «Series estratigráficas del Paleozoico Inferior y Medio del Macizo Ibérico» y forma parte de uno de los 144 «geosites» del patrimonio geológico español de relevancia mundial (GARCÍA-CORTÉS, 2008; CARCAVILLA & PALACIO, 2010). Ha sido profusamente estudiado,

inventariado y catalogado, valorado y empleado en actividades científicas, didácticas y divulgativas (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2015; y la bibliografía contenida).

Otra razón para elegir este lugar es que el Parque Nacional de Cabañeros dispone en su oferta de uso público de tan solo tres sectores con rutas de acceso libre: Boquerón del Estena, Colada de Navalrincón y Los Navalucillos. El resto son itinerarios que deben realizarse en compañía de un guía ya sea a pie o en todo terreno (Figura 1). De manera que, este lugar, reúne interés científico y potencial para el uso público.

El Boquerón del Estena se sitúa en el término municipal de Navas de Estena, en la provincia de Ciudad Real (Castilla-La Mancha). Durante tres años, el seguimiento instrumental ha permitido establecer y analizar la evolución temporal de varios geoindicadores, discutiendo su utilidad para la gestión de este patrimonio geológico en un espacio natural protegido.

Entre los diferentes elementos de interés patrimonial que caracterizan y dan valor a este Lugar de interés Geológico (LIG) se ha elegido uno que, por su singularidad (único a nivel mundial) y buena exposición, merece especiales esfuerzos para su

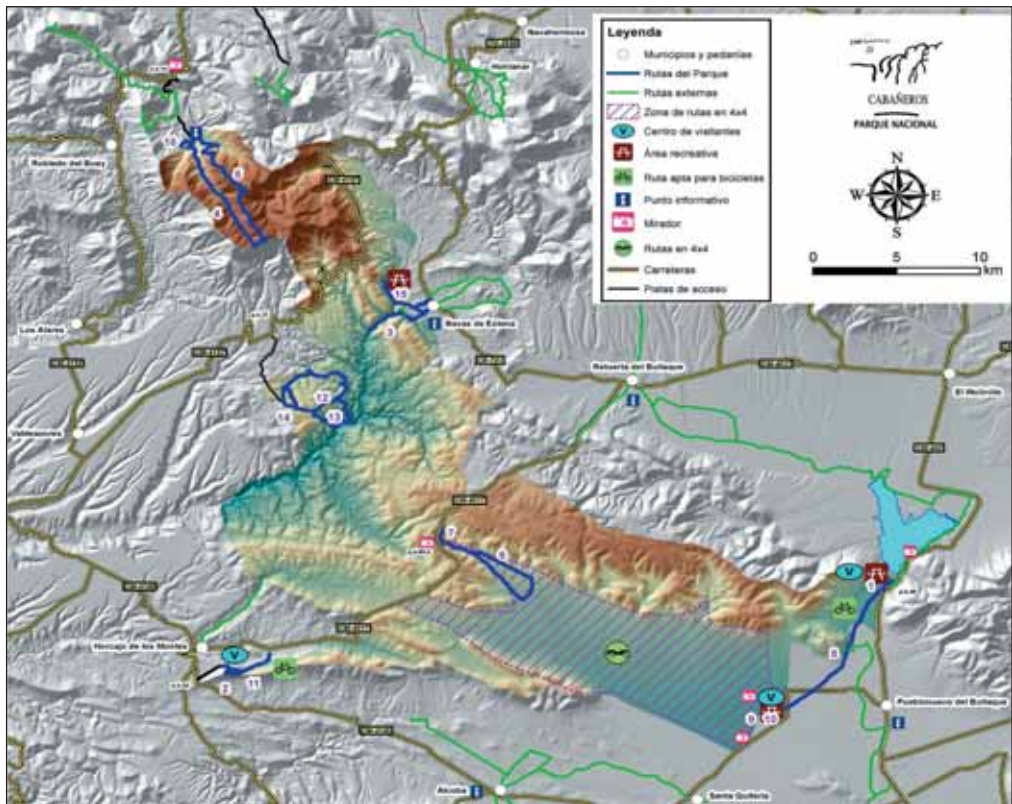


Figura 1. Mapa de uso público del Parque Nacional de Cabañeros. El cuadro verde marca el sector donde se sitúa la zona de estudio. Rojo: perímetro del parque nacional. Naranja: sectores con rutas de senderismo. Fuente: Parque Nacional de Cabañeros.

Figure 1. Map of public use of Cabañeros National Park. The green box marks the sector where the study area is located. Red: perimeter of the national park. Orange: sectors with hiking trails. Source: Cabañeros National Park.

conservación: el denominado «huellas de gusanos marinos gigantes». Se trata del techo de un banco de cuarcita perteneciente a la parte inferior de la sucesión ordovícica («Capas Intermedias» del Floiense temprano) que yace en posición subvertical (dirección=N150°E; buzamiento=42°NE). La superficie mide aproximadamente 15,45 m de altura por 7,70 m de ancho, y expone una gran concentración de icnofósiles horizontales, conservados como epi-relieves plenos o semirrelieves positivos, correspondientes a excavaciones alargadas de grandes dimensiones (hasta 11 m de largo y 30 cm de diámetro) con sección subelíptica por compactación y fino revestimiento lutítico. Las más grandes de ellas han sido interpretadas como galerías de morada y alimentación de animales con un cuerpo blando y vermiforme de gran tamaño, que podrían moverse dentro del sedimento en forma de lazo y llegan a producir tramos arrosariados por movimientos peristálticos potentes. La descripción formal de estos icnofósiles y su interpretación funcional se halla actualmente en curso, considerando diversos yacimientos ubicados en el Parque, pero no cabe duda de que se trata de un icnotaxón nuevo y único a nivel mundial (GUTIÉRREZ-MARCO *et al.*, 2015). Debido a la importancia científica de los icnofósiles y de cara a la conservación futura de sus detalles icnológicos, como primera medida se realizó una réplica en resinas *epoxy* de las huellas más grandes del afloramiento (BAEZA *et al.*, 2013).

La posición y el acceso a este elemento también es esencial para comprender las condiciones de conservación y uso público del mismo. Al ubicarse en la ladera de una estrecha garganta fluvial, el único acceso se realiza a través de una pista que sigue el antiguo trazado de una carretera abandonada por los frecuentes eventos de avenidas torrenciales que destruían las obras de paso (puentes) y por los desprendimientos e inestabilidad de los taludes. Por ello, para usar el elemento patrimonial con fines científicos, didácticos o divulgativos (geoturismo), es preciso realizar un trayecto andando de unos dos kilómetros desde el aparcamiento habilitado en las proximidades de Navas de Estena; y cruzar el arroyo del Chorrillo y el río Estena, a través de pasarelas peatonales. Tan estrecho es el fondo del valle y tan frecuentes y severos los eventos de riadas y avenidas súbitas, que existía la tradición de que, cuando las

personas que realizaban oficios tradicionales en la zona (corcheros, carboneros, pastores, etc.) y quedaban aislados en la orilla contraria al pueblo, sus familiares les arrojaban víveres desde la otra margen, desde el «Risco de Tirapanes», donde existe un panel explicativo de esta curiosa costumbre forzada.

Para el seguimiento de su estado de conservación, los procesos que podían alterar sus valores patrimoniales y los factores que podrían interferir con su uso público, se instaló en diciembre de 2013 un sistema de monitorización instrumental (DÍEZ-HERRERO *et al.*, 2015, 2016 y 2017). Este sistema estaba integrado por: un pluviómetro, un termómetro con dos sensores en roca y una estación meteorológica automática completa, que fue instalada posteriormente, a inicios de 2016 (Figura 2). Unos metros aguas arriba, se instaló un limnómetro en el cauce sobre el río Estena, en las proximidades de un paso del camino de acceso (ruta geológica del Boquerón del Estena) por una pasarela peatonal de madera.

En una primera fase de campo se identificaron los procesos geológicos que tenían influencia más directa en el estado de conservación del elemento «huellas de gusanos marinos gigantes» y en su entorno de acceso (LIG Boquerón del Estena). Para cada grupo, modalidad de proceso activo o zona de estudio, se diseñó un sistema de monitorización de la frecuencia y magnitud de los procesos, sus modalidades y acciones elementales. Estos son de dos tipos (DÍEZ-HERRERO *et al.*, 2015):

— Procesos de meteorización física de la roca con las huellas fósiles y la exposición a ciclos hielo-deshielo. El objetivo es estimar el número anual y en qué medida estos ciclos son efectivos desde el punto de vista de la crioclastia y pueden disgregar la roca, afectando a su integridad y la de los icnofósiles. Para ello, se instaló una estación meteorológica automática completa (*Vantage Vue Com*; Davis), un pluviómetro (*HOBO Rain Collector* de Davis) y dos termómetros (*HOBO* con lector óptico) sobre roca, con registro continuo. Además, para la termoclastia se complementó con tomas periódicas de imágenes seriadas, cada media hora, durante un ciclo diario completo, con cámara térmica de infrarrojos (*FLIR B-52*); y para comprobar su efectividad en la roca, mediciones por ultrasonidos (*Pundit CNS*)



Figura 2. Instrumental instalado en el afloramiento del icnofósil del gusano gigante, con la estación meteorológica completa automática (izquierda), el pluviómetro de cazoletas (derecha arriba) y los termómetros de superficie de roca (derecha abajo).

Figure 2. Instrumentation mounted on the trace fossil outcrop: complete automatic weather station (left), tipping bucket rain gauge (top right) and rock surface thermometers (bottom right).

y mini-martillo Schmidt (durómetro Leeb, Proceq, Equotip).

— Procesos fluviales de arroyada concentrada en el cauce del río Estena y su llanura de inundación. En este caso es necesario hacer un seguimiento continuo de los niveles y caudales circulantes, para que sirvan de calibración a un modelo hidrometeorológico precipitación-aportación de la cuenca, con el que estimar la frecuencia y magnitud de los eventos de avenida; y el cálculo de los tiempos característicos (t_c , t_{cc} , t_b) para reaccionar en protección civil. Para ello se instaló un limnómetro piezorresistivo de presión hidrostática (Water Level WL 15) en una sección transversal del río ubicada inmediatamente aguas arriba de la pasarela peatonal sobre el río Estena, con lecho fijo (sustrato rocoso), para facilitar la conversión de alturas en caudales (Figura 3).

Aplicación de indicadores del estado de conservación en El Chorro de Los Navalucillos

El Parque Nacional de Cabañeros incluye varios lugares de interés geológico con una alta potencialidad para el uso público. Entre ellos destacan varias

cascadas o «chorreras» que suponen algunos de los principales reclamos turísticos. Sin embargo, debido al clima mediterráneo que influencia el Parque Nacional, dichos saltos de agua tienen un régimen hídrico irregular, afectando a su atractivo estético y espectacularidad. Para poder recomendar medidas de gestión en relación con el uso público, se ha monitorizado durante tres años una de ellas, el Chorro de Los Navalucillos, con objeto de analizar su variación en relación con su belleza. Dicho salto de agua se sitúa en el sector de uso público y acceso libre de Los Navalucillos y es denominada «cascada grande del arroyo de El Chorro de Los Navalucillos», situado cerca de la población del mismo nombre, en la provincia de Toledo.

Se trata de un salto fluvial de alrededor de 18 metros de altura y perfil vertical que se sitúa en el tramo alto del arroyo y a favor de una estructura sinclinal que afecta a los potentes bancos de cuarcitas ordovícicas. La cabecera del arroyo se ubica en una zona de ladera cubierta de coluviones y, según va adquiriendo caudal, se encaja en las cuarcitas, dando lugar a un río en roca en el que se alternan tramos de incisión lineal (*innerchannel*), marmitas, pozas y

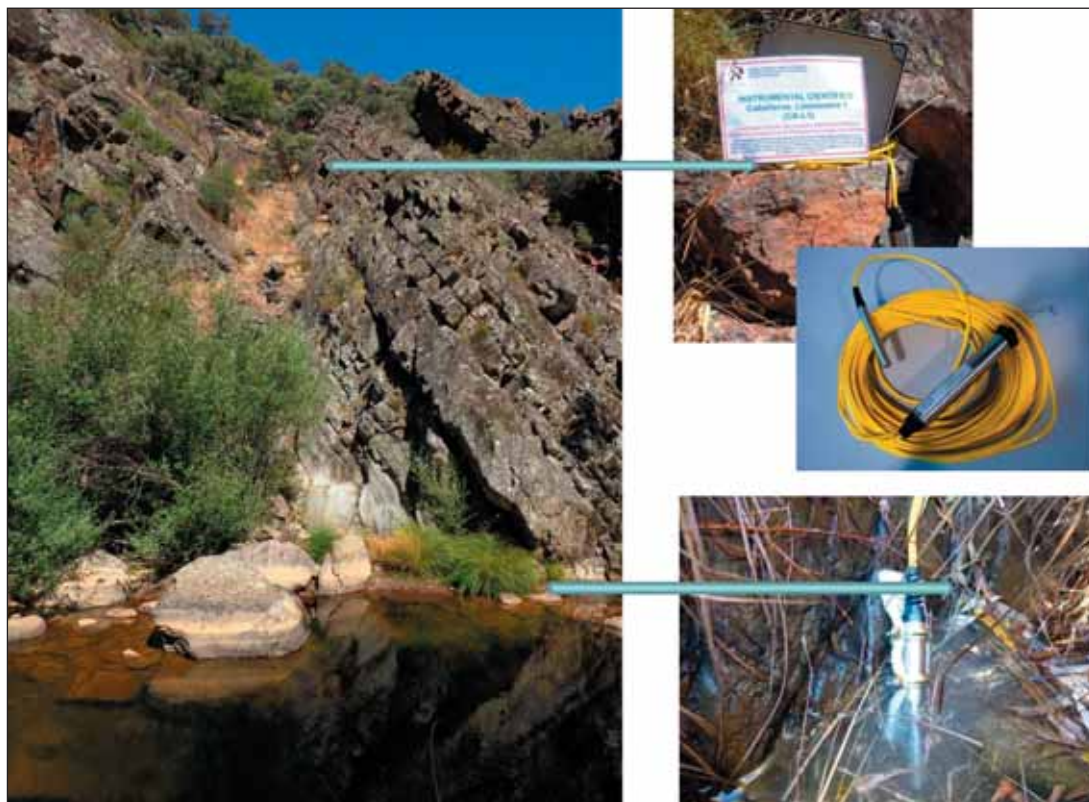


Figura 3. Instrumental instalado en las inmediaciones de la pasarela peatonal: limnómetro piezorresistivo con 30 m de cable desde el sensor hasta el almacenador de datos.

Figure 3. Instrumentation installed in the immediate vicinity of the footbridge: piezoresistive data logger with a 30-m cable from the sensor to the data logger.

pequeñas cascadas, hasta llegar al salto principal, a partir del cual el arroyo dibuja ya un valle más definido. En la cabecera del valle por donde discurre el arroyo se sitúa el pico Rocigalgo (1.448 m s.n.m.), máxima altitud del Parque Nacional y de los Montes de Toledo, y que sirve de divisoria hidrográfica para las cuencas de los ríos Estena y Pusa.

Los procesos geomorfológicos activos en este sector del territorio del Parque Nacional de Cabañeros son fundamentalmente los fluviales *s.l.* (desde arroyada difusa a concentrada), gravitacionales (movimientos de ladera), periglaciares (ciclos hielo-deshielo) y de meteorización físico-química. En el caso de la cascada de Los Navalucillos, es la actividad fluvial la que más afecta al desarrollo y evolución del LIG.

Desde el punto de vista del uso público, esta cascada supone un importante atractivo por situarse en uno de los pocos senderos balizados de acceso libre para los visitantes. El acceso a la cascada se realiza exclusivamente a pie, tras un paseo de 2 horas de duración que se inicia en la caseta de información (con un pequeño aparcamiento para vehículos a motor), situada a 2 km por pista forestal que sale del pk.16 de la carretera CM-4155. La cascada fue identificada como LIG y fue valorada con 6,37 puntos sobre 10 debido a lo espectacular del salto, siguiendo la metodología de GARCÍA-CORTÉS *et al.* (2012).

El clima mediterráneo templado, caracterizado por una precipitación irregularmente distribuida a lo largo del tiempo, provoca que el caudal de la cascada

da sufra variaciones estacionales. De esta manera, también varía su aspecto y la percepción visual de la misma, lo que puede provocar reacciones favorables o desfavorables en los excursionistas que, tras la caminata, se acerquen a observarla. Para conocer el funcionamiento y dinamismo de este LIG y para poder facilitar una información actualizada al visitante del estado de la cascada que incentive su visita (en el caso de caudal suficiente) o le prevenga (en el caso de encontrarse seca) se decidió realizar una monitorización de la evolución del caudal de la cascada en función con el régimen de precipitaciones en la cuenca de su cabecera (DÍEZ-HERRERO *et al.*, 2016).

En una primera fase de trabajo de reconocimiento de formas y depósitos en campo, se identificaron los procesos geomorfológicos activos que tenían influencia más directa en el estado de conservación y uso público en el LIG. A continuación, se diseñó un sistema de monitorización de la frecuencia y mag-

nitud de los procesos, sus modalidades y acciones elementales. En este caso, el objetivo era estimar los procesos torrenciales de arroyada concentrada en el cauce del arroyo de El Chorro de Los Navalucillos, para correlacionar los caudales del arroyo con la calidad estética de la cascada y las situaciones óptimas para su observación.

Para ello se instalaron: 1) una estación meteorológica automática completa (Vantage VueCom de Davis Instruments) en la cumbre del Rocigalgo, para correlacionar las precipitaciones con el régimen de caudales del arroyo de El Chorro en el salto de la cascada; 2) un tornillo de trípode y marcadores de posición fija para la realización de fotografías multitemporales desde una misma posición; y 3) un limnómetro piezorresistivo de presión hidrostática (WaterLevel WL 16), aguas arriba de la cascada, en una sección en lecho rocoso de geometría bastante regular (Figuras 4 y 5). Las estaciones meteorológicas completas automáticas tienen posibilidad de



Figura 4. Instrumental instalado en las inmediaciones de El Chorro de Los Navalucillos: A: estación meteorológica completa; B: rosca de trípode de posición fija para fotografía ubicada junto al panel informativo (C); D: parte alta del salto donde se ubicó el limnómetro piezorresistivo (E).

Figure 4. Instrumentation installed in the vicinity of El Chorro de los Navalucillos waterfall: complete weather station (top left), fixed position for photography (bottom left) and piezoresistive data logger (right).

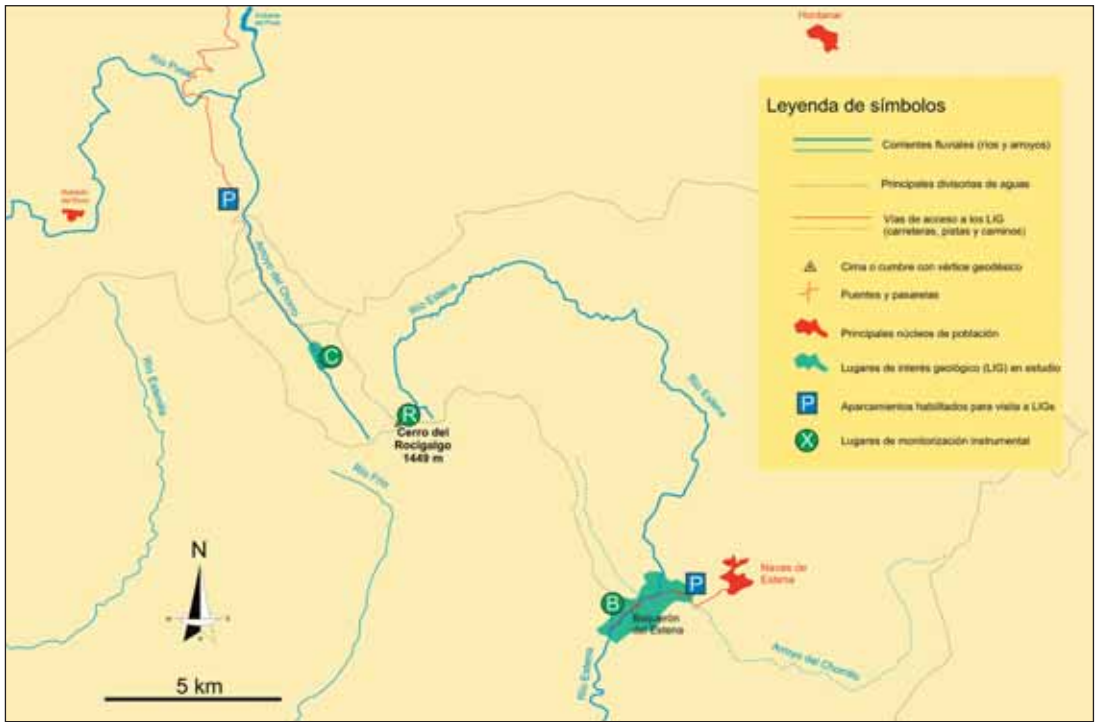


Figura 5. Mapa de situación de los lugares de monitorización instrumental.

Figure 5. Location map of instrumental monitoring sites.

acceso y descarga en línea a través de página web de difusión pública (Weatherlink), a disposición de los gestores del Parque; y de consulta de los datos diarios para el público a través de Internet.

RESULTADOS

Indicadores del Boquerón del Estena

Del análisis de estas series de datos en los dos primeros años (diciembre 2013-diciembre 2015) se pudieron extraer interesantes interpretaciones desde el punto de vista de su tipología y dinamismo (DÍEZ-HERRERO *et al.*, 2015, 2016, 2017):

— Procesos de meteorización física de la roca con icnofósiles: durante este periodo de dos años, no hubo ningún ciclo de helada-deshielo (la temperatura no descendió de 0,05°C; Fig. 6), por lo que

no se produjeron ciclos de gelifracción efectivos, a pesar de que, como es lógico, sí que se produjo precipitación. La posición del afloramiento, en una garganta con condiciones microclimáticas y la absorción de calor durante el día para irradiarlo durante la noche, ejercen una atenuación de las oscilaciones térmicas respecto al entorno, porque hay constancia de ciclos de helada en Navas de Estena. Sin embargo, al analizar los datos se observó que la meteorización física podría asociarse a termoclastia (rotura de la roca por oscilaciones térmicas), puesto que la amplitud térmica diaria puede alcanzar más de 15°C, con velocidades de cambio superiores a 0,2 °C por minuto (Figura 6).

— Procesos fluviales de arroyada concentrada en el cauce del río Estena: los valores limnimétricos de profundidades de los dos primeros años oscilaron entre calados relativos, respecto a la posición del sensor, de un mínimo de 0,00 m (incluso por debajo

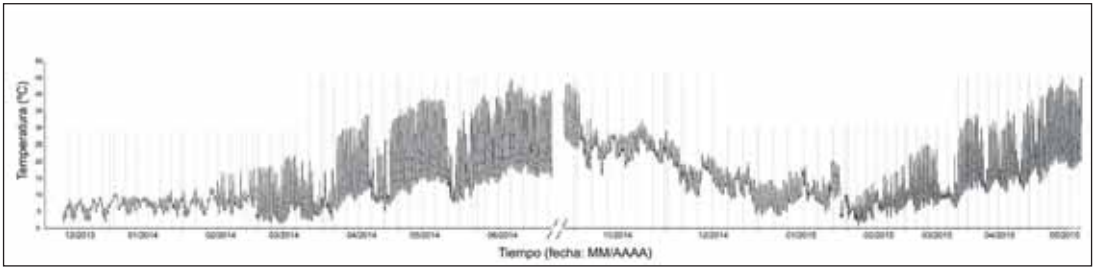


Figura 6. Gráfico de la variación de las temperaturas de los sensores sobre la roca del icnofósil del gusano gigante, entre diciembre de 2013 y junio de 2015, con un vacío de datos entre julio y octubre de 2014 por problemas en la descarga de datos. Se aprecia que las temperaturas de ambos sensores (con valores solapados) nunca descienden por debajo de 0 °C (eje de abscisas); igualmente se aprecia la fuerte oscilación térmica intradiaria en los meses de mayor calor (primavera y verano; parte central y derecha del gráfico).

Figure 6. Temperature variation detected by sensors on the rock surface with the trace fossil, from December 2013 to June 2015. The temperature recorded by both sensors (differences in values are so small that they look like a single curve) never fell below 0_C (x axis); similarly evident is the pronounced daily temperature variation during the hottest months (Summer 2014 and May 2015).

del sensor) a un máximo de 3,33 m de profundidad. Si el criterio para fijar el umbral es la altura a la que se ubica la actual pasarela peatonal respecto al nivel de referencia de los calados relativos (aproximadamente 77 cm), se pueden definir más de 15 eventos de avenida significativos en este periodo. Todos los eventos y los subeventos menores registrados tienen una característica forma de avenida súbita o relámpago (*flash flood*), dado que la curva de ascenso del limnigrama es muy verticalizada y de corta duración (menos de 6 horas), mientras que la curva de descenso es progresiva, prolongándose varios días hasta el agotamiento (Figura 7).

Indicadores de El Chorro de Los Navalucillos

Mediante la aplicación de la metodología descrita en el apartado anterior se ha analizado la relación entre el régimen de caudales y las dimensiones de la lámina de agua. Los resultados muestran la poca variación de la lámina de agua a pesar de estar sometido a un régimen pluviométrico muy irregular que sí condiciona importantes cambios de caudal en cursos fluviales cercanos. La descarga al río por parte de un acuífero fisurado y, en especial, de uno detrítico en la base de los coluviones proporciona un caudal base constante que garantiza su aspecto visual y, por tanto, su utilidad para actividades de uso público.

De manera más concreta, en el análisis de las series de datos en los dos primeros años (diciembre 2013-diciembre de 2016) se pueden observar que, como es lógico, existe una buena correlación entre los niveles de lámina de agua medidos aguas arriba y el tamaño de la lámina de agua de la cascada. Sin embargo, las fluctuaciones de nivel de lámina de agua fueron relativamente poco importantes, pese a tener algunos eventos de avenidas súbitas asociadas a precipitaciones intensas, como el ocurrido en febrero de 2016 (Figura 8), y otros periodos de sequías meteorológicas prolongadas en época estival y otoñal. Por el contrario, estas precipitaciones intensas sí provocaron importantes fluctuaciones de caudal en otros cursos fluviales del entorno (DÍEZ-HERRERO *et al.*, 2015 y 2017). Esto lleva a pensar en la importancia de las aportaciones de los acuíferos fisurales de las rocas pizarrosas y cuarcíticas, y de los acuíferos detríticos superficiales asociados a los canchales y pedreras, para el mantenimiento de un caudal base en la cascada de El Chorro de Los Navalucillos, garantizando casi permanentemente unas propiedades estéticas, sin fluctuaciones estacionales significativas. De esta manera, la cascada fluctúa en función del caudal con una anchura que oscila entre los cuatro metros (en su momento de máximo caudal) y un metro (en momentos de estiaje), pero es muy excepcional que pierda el caudal totalmente, algo que sería muy factible por su ubicación, tipo de cauce y condiciones

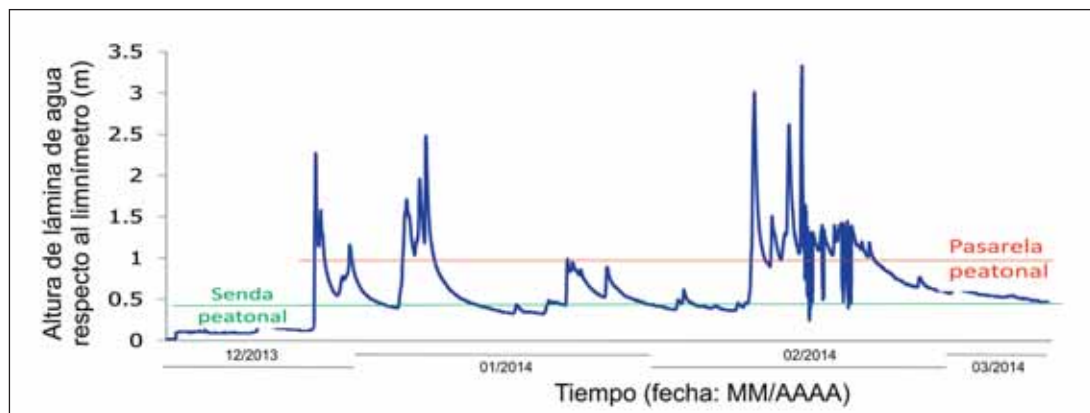


Figura 7. Gráfico del nivel del agua del río Estena (m sobre el sensor) en el limnómetro instalado en las inmediaciones de la pasarela peatonal durante los eventos de avenidas súbitas entre el 12 de diciembre de 2013 y el 5 de marzo de 2014, donde se aprecia la pendiente de la curva de ascenso de los hidrogramas de avenida (prácticamente verticales), y el tiempo que los caudales anegaron la senda peatonal (sobre la línea verde) y la pasarela peatonal (sobre la línea roja).

Figure 7. Water level in the Estena River (meters over the sensor) recorded by the data logger (installed in the vicinity of the footbridge) between 12 December 2013 and 5 March 2014. The rising curves in the flood hydrographs are almost vertical and indicate flash flood events. Also shown is the length of time flood water has submerged the pedestrian path (green line) and footbridge (red line).

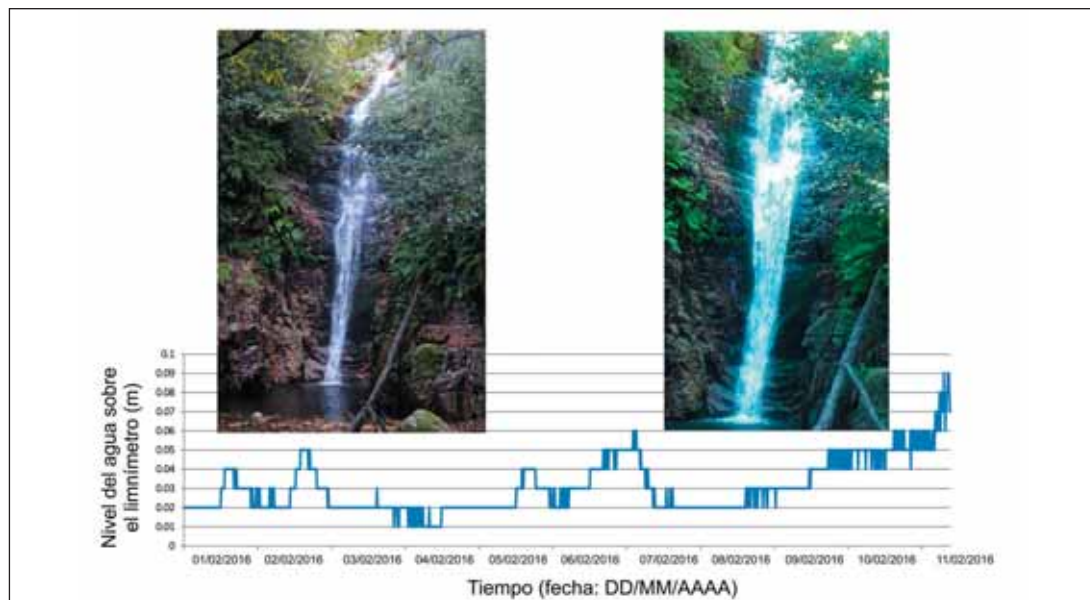


Figura 8. Aspecto de la cascada en dos momentos y gráfico del nivel del agua (limnigrama) del arroyo del Chorro (m sobre el sensor) en el limnómetro instalado en aguas arriba de la cascada de Los Navalucillos durante el evento de avenidas súbitas entre el 1 y el 11 de febrero de 2016; se aprecia la escasa variabilidad del nivel del agua (de rango centimétrico) en una sección estrecha, lo que implica poca oscilación del caudal, a pesar de las precipitaciones intensas asociadas.

Figure 8. Water level in the El Chorro stream (meters over the sensor) recorded by the data logger installed upstream of the waterfall, and photographs of the waterfall in two extreme moments during the same period, illustrating the correlation between scenic criterion and flow.

climáticas, pero que es evitado por las particulares condiciones de infiltración y acumulación de agua en el acuífero detrítico y fisural que lo alimenta. De esta manera, se ha podido informar al Parque Nacional de las condiciones generalmente favorables de observación de la cascada para que lo tenga en cuenta a la hora de recomendar excursiones en el interior del espacio protegido contando con una previsible satisfacción por parte del visitante que verá cumplidas sus expectativas sobre la calidad visual de un LIG cuyo acceso le ha llevado alrededor de dos horas a pie.

DISCUSIÓN

Indicadores del Boquerón del Estena

El análisis de la zona de estudio mostró que la huella fósil sufre degradación moderada por desescamación. Esta modificación es debida exclusivamente a factores naturales, ya que no mostraba ningún signo de vandalismo o expolio, y afecta por igual al conjunto, independiente de que sea en zonas accesibles o de acceso complejo.

Respecto a las condiciones naturales y como ya se ha comentado, durante el periodo de estudio no hubo ningún ciclo de helada-deshielo a pesar de que, como es lógico, sí que se produjo precipitación y la temperatura ambiente alcanzó hasta $-4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. La posición del afloramiento, en una garganta con condiciones microclimáticas y la inercia térmica de la roca en la que se encuentra el icnofósil, que absorbe calor durante el día para irradiarlo durante la noche, ejercen una atenuación de las oscilaciones térmicas respecto al entorno. Esto se produce a pesar de los numerosos ciclos de helada que se constatan en la cercana población de Navas de Estena.

Sin embargo, al analizar los datos se observó que la meteorización física podría asociarse a termoclastia (rotura de la roca por oscilaciones térmicas), puesto que la amplitud térmica diaria puede alcanzar más de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, con velocidades de cambio superiores a $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por minuto. Otra circunstancia es el efecto potencialmente termoclástico de la brusca disminución de temperatura en la superficie de la roca cuando ésta está caliente y se produce precipitación intensa, por ejemplo durante las tormentas estivales y otoñales (Figura 9).

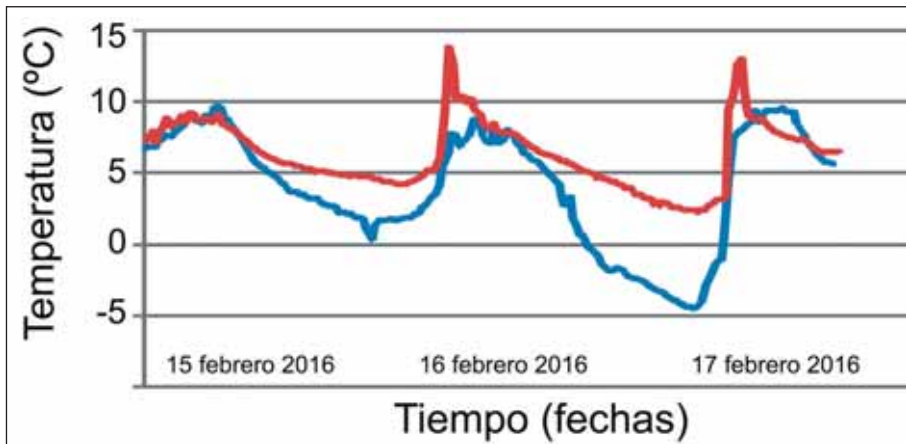


Figura 9. Gráfico de la variación de las temperaturas de los sensores sobre la roca del icnofósil del gusano gigante (línea roja) y temperatura ambiente del aire (línea azul), entre el 15 de febrero de 2016 10.30 AM y 17 de febrero de 2016 08:30 PM. Se observa que, a pesar de producirse una helada de $-4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ la noche del 16 al 17 de febrero, la roca conserva inercia térmica de la punta de calentamiento diario (hasta $13,8\text{ }^{\circ}\text{C}$), no descendiendo de $2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figure 9. Temperature variation of the sensors on the giant worm icnofossil rock (red line) and ambient air temperature (blue line), between February 15, 2016 10.30 AM and February 17, 2016 08:30 P.M. It is observed that, despite the occurrence of a freezing of $-4.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ on the night of February 16-17, the rock retains the thermal inertia of the daily heating tip (up to $13.8\text{ }^{\circ}\text{C}$), not falling below $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

De esta manera, se ha comprobado, gracias a la implementación de las medidas instrumentales, que el factor que más condiciona la conservación del afloramiento no es la crioclastia como se pensaba originalmente, sino la termoclastia.

Respecto a los procesos fluviales de arroyada concentrada en relación a la pasarela que da acceso al Boquerón del Estena, los eventos de avenida fluvial han impedido el acceso a parte de la ruta por el LIG y han tapado la pasarela durante un periodo estimado en más de un 3,4% del total de tiempo monitorizado; porcentaje que aumentaría hasta más del 14,5% si se considera la inundación de la senda en el tramo inmediatamente aguas arriba del acceso a la pasarela, que si bien no impide, dificulta el paso (Figura 10). Buena prueba de ello es que la barandilla que había instalado en la pasarela peatonal, fue arrancada nuevamente por uno de estos eventos en 2014 dañando esta infraestructura; y anegada por varios eventos en 2016.

Otro aspecto a tener en cuenta en este geoindicador es que, dado el carácter súbito de las avenidas registradas, con tiempos de ascenso del hidrograma de pocas horas o incluso minutos, podría ocurrir que los visitantes de la ruta se queden aislados o incommunicados aguas abajo de la pasarela. Para ello se estudiaron los tiempos de concentración y de desfase de la punta de los eventos de avenida súbita ocurridos en el periodo monitorizado (Figura 10 y tabla 1), desde la cabecera del nacimiento del río Estena (entorno del pico Rocigalgo, donde se ubicó una estación meteorológica automática) y el Boquerón del Estena (donde se situó el limnómetro); paralelamente también los tiempos entre el pico Rocigalgo (también cabecera del arroyo de El Chorro) y la cascada de El Chorro de Los Navalucillos (donde se sitúa otro limnómetro del sistema instrumental). Por ello, este indicador demostró ser muy útil para la gestión del uso público porque valores altos no solo suponen un deterioro de las condiciones de observación y aprovechamiento del LIG (estima el número de veces al año que no puede realizarse la ruta); sino que además pone de manifiesto en qué momentos del año se ponen en riesgo las vidas humanas y se podría requerir la intervención de equipos de emergencia para el rescate de los visitantes, como ya ha ocurrido en situaciones semejantes en el Parque Nacional de la Caldera de Taburiente, o

como ocurría históricamente con las personas que realizaban oficios tradicionales en este sector del Parque Nacional.

Indicadores de El Chorro de Los Navalucillos

Recomendaciones finales para la gestión y conclusiones

A la vista de los resultados finales de los dos geoindicadores establecidos a partir de los datos de la monitorización instrumental del LIG del Boquerón del Estena (elemento patrimonial del icnofósil del gusano gigante ordovícico) se pueden realizar una serie de recomendaciones técnicas para los gestores de este espacio natural protegido y sus bienes patrimoniales:

- Mantener el actual estado de insolación sobre el afloramiento rocoso que contiene el icnofósil, para garantizar que la inercia térmica diaria dificulte los ciclos de gelificación efectiva nocturnos. Para ello sería conveniente impedir el crecimiento de la vegetación arbórea y arbustiva que pueda generar sombras permanentes sobre la roca.
- Eliminar todos los elementos vegetales (árboles y arbustos) y artificiales (vallados), que puedan generar sombras sobre el afloramiento, produciendo contrastes térmicos que aceleren la degradación de la roca por termoclastia.
- Vigilar el estado de deterioro de la roca soporte del elemento patrimonial y su evolución en el tiempo, tanto periódicamente, como tras eventos singulares (precipitaciones sobre la roca caliente en tormentas estivales) para, en caso de observarse degradación acelerada (desescamado), proceder a actuar con técnicas de conservación y restauración.
- Establecer un protocolo de alerta temprana ante eventos de precipitación intensa en la cabecera del río Estena (sector del cerro del Rocigalgo) que puedan producir avenidas súbitas en el Boquerón del Estena que posibilite avisos automáticos a los gestores del parque nacional y las autoridades locales, y así controlar el flujo de visitantes en la ruta del Boquerón del Estena.

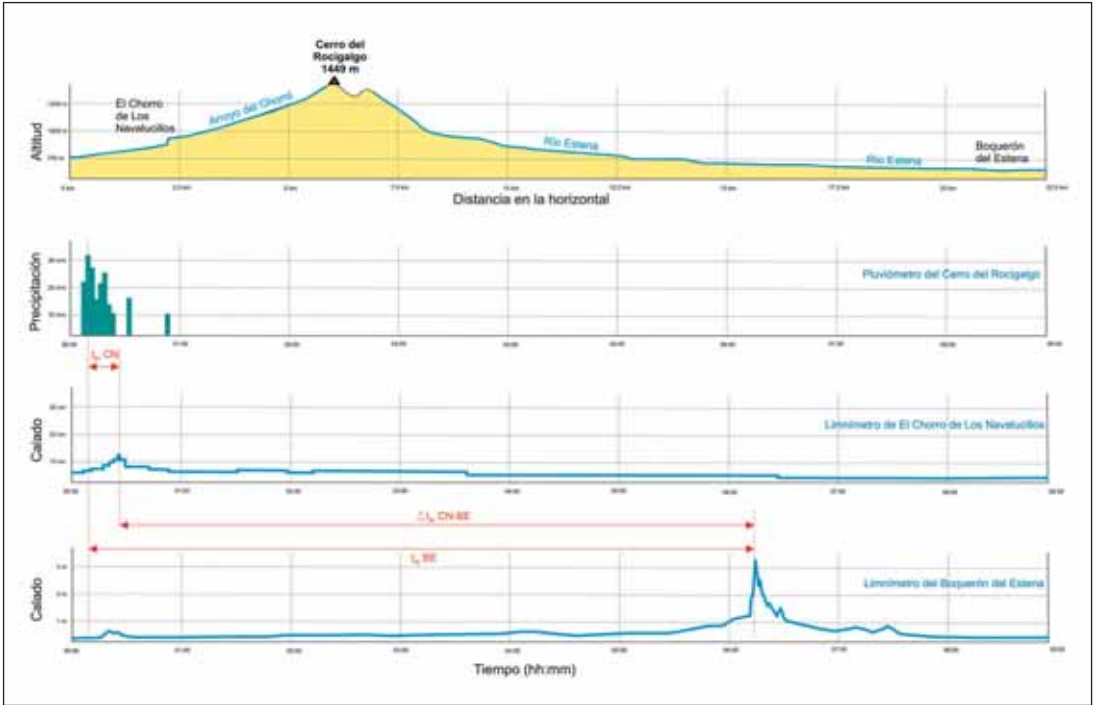


Figura 10. Perfil longitudinal de los cauces, hietograma y limnigramas, que permiten calcular los tiempos característicos de génesis y propagación de los eventos de avenida súbita en el río Estena y el arroyo de El Chorro, útiles para establecer geoindicadores de uso público.

Figure 10. Longitudinal profile of the channels, hietogram and limnigramas, that allow to calculate the characteristic times of genesis and propagation of the events of sudden avenue in the Estena River and the stream of El Chorro, useful to establish geoindicators of public use.

— Mantener o incluso ampliar el sistema de monitorización instrumental, coordinándolo con otras redes análogas, como el Sistema Automático de Información Hidrológica (Confederación Hidrográfica del Guadiana) y la red de alertas de la AEMET.

Por el momento se descarta la adopción de otras medidas de índole estructural, como la implantación de una cubierta que cubra el afloramiento del icnofósil o la elevación de la pasarela y la senda peatonal, por su elevado impacto paisajístico y ambiental, a la vez que no garantizan la geoconservación y el uso público de este lugar de interés geológico.

Por su parte, a la vista de los resultados finales de los geoindicadores establecidos en El Chorro de Los Navalucillos, una de las dos rutas existentes en el sector de Navalucillos es la que visita la cascada del arroyo

del mismo nombre. El principal aliciente de esta ruta es, evidentemente, visitar el salto de agua, tras un largo recorrido a pie, por lo que su aspecto es fundamental. La relativa menor importancia del régimen de precipitaciones en la fluctuación de la cascada, frente al caudal base procedente de los acuíferos de la cabecera hacen que se recomiende, de cara al futuro, mantener esta red instrumental y continuar con el estudio de geoindicadores en otros LIG del parque nacional.

Como conclusión final, el establecimiento de sistemas instrumentales para la monitorización de los procesos geomorfológicos activos se ha manifestado como una herramienta útil para la comprensión, conservación y uso público de dos LIG del Parque Nacional de Cabañeros. Así, el análisis e interpretación de los datos instrumentales obtenidos en el seguimiento de lugares de interés geológico y el

establecimiento de indicadores permiten extraer recomendaciones prácticas de geoconservación y utilidad geoturística como la relativa menor importancia de la gelifracción frente a la termoclastia; o la relevancia de las avenidas súbitas. Por ello se propone, de cara al futuro, mantener esta red instrumental, actualizar y perfeccionar los geoindicadores derivados, y mejorar la utilidad práctica para los gestores de este espacio.

AGRADECIMIENTOS

Trabajos realizados en el marco del proyecto IndicaGeoPar financiado por el Organismo Autónomo Parques Nacionales (OAPN 727/2012; MAGRAMA). Agradecimientos a los gestores, responsables, técnicos y guardería del P.N. de Cabañeros; y especialmente a Lola y Julio, de la casa rural «Boquerón del Estena».

FECHA EVENTO	P (l)	TIEMPOS DE DESFASE DE LAS PUNTAS (hh:mm)			ACCIONES DE GESTIÓN DE USO PÚBLICO
		t_{dp} BE	t_{dp} CN	Δt_{dp} CN-BE	
16-09-2015		04:00	00:25	03:35	Alerta meteo via <i>e-mail</i>
28-12-2015	20	09:27	-	-	Aviso P.N. vía telefónica
04-01-2016	31	06:07	-	-	Alerta meteo via <i>e-mail</i>
07-01-2016	25	04:02	02:49	05:01	Alerta meteo via <i>e-mail</i>
09-01-2016		-	-	06:22	Aviso P.N. vía telefónica
11-01-2016		-	-	01:23	Aviso P.N. vía telefónica
12-02-2016	30	04:18	05:26	¿-01:08?	Aviso P.N. vía telefónica
13-02-2016	38	06:08	00:56	05:12	Aviso P.N. vía telefónica
04-04-2016	35	13:28	13:36	00:52	Alerta meteo via <i>e-mail</i>
19-04-2016	30	02:38	-	-	Aviso P.N. vía telefónica
10-05-2016	15	03:08	04:26	¿-01:18?	Alerta meteo via <i>e-mail</i>
MEDIA pond.		05:55	02:48	03:44	

Tabla 1. Tiempos característicos de los eventos hidrometeorológicos más significativos registrados por el sistema instrumental en 2015 y 2016, útiles para el establecimiento del geoindicador de uso público (acciones con la Dirección del parque nacional); P, precipitación total (litros o mm/m²); t_{dp} BE, tiempo de desfase de la punta al Boquerón del Estena; t_{dp} CN, tiempo de desfase de la punta al Chorro de los Navalucillos; Δt_{dp} CN-BE, desviación entre los desfases de punta entre el Chorro de Los Navalucillos y el Boquerón del Estena.

Table 1. Characteristic times of the most significant hydrometeorological events recorded by the instrumental system in 2015 and 2016, useful for establishing the geoindicator for public use: P, total precipitation (litres or mm / m²); t_{dp} BE, lag time from the tip to Boquerón del Estena; t_{dp} CN, lag time of the point at Chorro de los Navalucillos; Δt_{dp} CN-BE, deviation between peak offsets between Chorro de Los Navalucillos and Boquerón del Estena.

FACTOR DETERMINANTE	PRESIÓN	ESTADO	IMPACTO	RESPUESTA
Precipitación (Boquerón del Estena)	Expolio de fósiles	Termoclastia: cambios >0,2 °C/minuto	Degradación del fósil	Vallado del afloramiento
Temperatura ambiental (Boquerón del Estena)	Vandalismo del afloramiento	Valor limnimétrico de profundidades río Estena	Imposibilidad de uso público	Instalación de panel interpretativo del origen y funcionamiento
Temperatura de la roca (termómetro 1)	Degradación del entorno (basura, pisoteo, etc.)	Valor limnimétrico de profundidades arroyo Chorro Navalucillos	Peligro por avenida torrencial (riada y aislamiento)	Acondicionamiento de un mirador o punto de observación
Temperatura de la roca (termómetro 2)	Incremento en el número de visitantes	Ciclos de crioclastia efectiva	Degradación del fósil	Confección de una réplica en epoxy del fósil
Precipitación (Rocigalgo)		Resistencia de la roca a ultrasonidos	Degradación del fósil	Mantenimiento de la vegetación
Temperatura ambiental (Rocigalgo)		Resistencia de la roca a «martillo smitd»	Degradación del fósil	Establecimiento de un protocolo de alerta temprana ante eventos de precipitación intensa y concentrada
		Tiempo en el que la lámina de agua está sobre el umbral del puente	Variación del valor estético	
		Tiempo en el que la lámina de agua inunda la senda de acceso al afloramiento	Pérdida de valor estético	
		Variación de aspecto de la cascada		
		Régimen de caudal del arroyo de la Chorrera		

Tabla 2. Indicadores utilizados en el proyecto para el seguimiento de procesos activos con influencia en la conservación de lugares de interés geológico, basados en la metodología DPSIR propuesta por el Ministerio de Transición Ecológica (https://servicio.mapama.gob.es/sia/indicadores/mapa_indic.jsp).

Table 2. Indicators for monitoring active processes with influence on the conservation of geosites, based on the DPSIR methodology proposed by the Ministry of Ecological Transition (https://servicio.mapama.gob.es/sia/indicadores/mapa_indic.jsp).

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, Á. Salazar, E. Díaz-Martínez y C. Marchán (eds) Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo. Cuadernos del Museo Geominero 15: 573-582.
- BARETTINO, D.; WIMBLEDON, WAP.; GALLEGO, E. (eds.). 2000. Patrimonio Geológico: conservación y gestión. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid.
- BERGER, A.R.; IAMS, W.J. (eds.). 1996. Geoinicators. Assessing rapid environmental changes in earth systems. Balkema. Rotterdam. 466 p.
- BRILHA, J. 2005. Património geológico e geoconservação. A conservação da natureza na sua vertente geológica. Universidade do Minho. Braga. 190 p.
- BROCX, M.; SEMENIUK, V. 2007. Geoheritage and geoconservation. History, definition, scope and scale. Journal of the Royal Society of Western Australia, 90: 53-87.
- CARCAVILLA, L. 2011. Geoconservación. Editorial La Catarata-Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 126 p.
- CARCAVILLA, L.; PALACIO, J. (2010). *Proyecto geosites: aportación española al patrimonio geológico mundial*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. 231 p.
- CARCAVILLA, L.; DÍEZ-HERRERO, A.; VEGAS, J. 2017. Monitorización en cascadas y saltos de agua para la valoración de su «espectacularidad o belleza» y sus implicaciones para su uso público. El caso de la chorrera de los Navalucillos. En: L. Carcavilla, J. Duque-Macías, J. Giménez, A. Hilario, M. Monge-Ganuzas, J. Vegas y A. Rodríguez (eds.) Patrimonio geológico, gestionando la parte abiótica del patrimonio natural, pp. 149-154. Cuadernos del Museo Geominero 21. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- CARCAVILLA, L.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; DURÁN, J.J. 2007. Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Cuadernos del Museo Geominero, n° 7. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 360 p.
- CENDRERO, A. 2000. Patrimonio geológico: diagnóstico, clasificación y valoración. En: J. Palacio (ed) Jornadas sobre Patrimonio Geológico y Desarrollo Sostenible. pp. 23-38. Ministerio de Medio Ambiente. Sociedad Española de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, Serie Monografías. Madrid.
- COGEOENVIRONMENT (IUGS) Working Group on Geoinicators. 1995. Nómima de Geoindicadores. 94 p.
- DÍEZ-HERRERO, A.; VEGAS, J.; CARCAVILLA, L.; GARCÍA CORTÉS, Á.; MARTÍN SERRANO, A.; GUTIÉRREZ-MARCO, J.C.; RÁBANO, I.; BAEZA, E.; GÓMEZ-HERAS, M. 2015. Geoindicadores para la evaluación de los procesos geológicos que afectan al estado de conservación y uso público del patrimonio geológico. LIG Boquerón del Estena (P.N. de Cabañeros, Ciudad Real). En: A. Hilario, M. Mendiá, M. Monge-Ganuzas, E. Fernández, J. Vegas & Á. Belmonte (eds). Patrimonio geológico y geoparques: avances de un camino para todos, pp. 227-232. Cuadernos del Museo Geominero 18. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- DÍEZ-HERRERO, A.; VEGAS, J.; CARCAVILLA, L.; GÓMEZ-HERAS, M.; GARCÍA-CORTÉS, Á. 2016. Monitorización de procesos geomorfológicos activos aplicada a la geoconservación y gestión del uso público en el Parque Nacional de Cabañeros (Ciudad Real-Toledo). En: J.J. Durán, M. Montes, A. Robador & Á. Salazar, Á. (eds.). Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro, pp. 73-80. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Geología y Geofísica n° 5. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

- DÍEZ-HERRERO, A.; VEGAS, J.; CARCAVILLA, L.; GÓMEZ-HERAS, M.; GARCÍA-CORTÉS, A. (2017). Techniques for the Monitoring of Geosites in Cabañeros National Park, Spain. En: E. Reynard & J. Brilha (eds) *Geoheritage*. pp. 417-430. Chennai: Elsevier.
- GARCÍA-CORTÉS, A. (ed.) (2008). *Contextos geológicos españoles: una aproximación al patrimonio geológico español de relevancia internacional*. Instituto Geológico y Minero de España, 235 p.
- DUDLEY, N. (ed.) 2008. Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas. Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza-UICN. Gland. 96p.
- GARCÍA-CORTÉS, Á. 2008. Contextos geológicos españoles. Una aproximación al patrimonio geológico nacional de relevancia internacional. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 233 p.
- GARCÍA-CORTÉS, A.; VEGAS, J.; CACAVILLA, L.; DÍAZ-MARTÍNEZ, E. 2012. Un sistema de indicadores para la evaluación y seguimiento del estado de conservación del patrimonio geológico. *Geotemas* 13: 4.
- GRAY, M. 2004. Geodiversity. Valuing and conserving abiotic nature. John Wiley & Sons. West Sussex. 434 p.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C.; MANSILLA PLAZA, L.; RÁBANO, I.; GARCÍA-BELLIDO, D.C. 2011a. Ordovician stratigraphy and paleontology of the province of Ciudad Real. ISOS Field Trip Guide. 11th International Symposium on the Ordovician System, Madrid.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C.; RÁBANO, I.; BARRÓN, E. 2011b. Geodiversidad y Biodiversidad en el Parque Nacional de Cabañeros (Ciudad Real-Toledo): la Ruta del Boquerón del Estena. Guía de la Excursión. Real Sociedad Española de Historia Natural. Madrid. 26 p.
- GUTIÉRREZ-MARCO, J.C.; RÁBANO, I.; SÁ, A.A.; BAEZA CHICO, E.; SARMIENTO, G.N.; HERRANZ ARAÚJO, P.; DE SAN JOSÉ LANCHAS, M.A. 2015. Geodiversidad e itinerarios geológicos en el Parque Nacional de Cabañeros. En: P. Amengual & B. Asensio, B. (eds.) *Proyectos de investigación en parques nacionales: 2010-2013*. pp 105-142. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Serie investigación en la red, 10. Madrid.
- HENRIQUES, M.H.; PENA DOS REIS, R.; BRILHA, J.; MOTA, T. 2011. Geoconservation as an Emerging Geoscience. *Geoheritage*, 3: 117-128.
- MARTÍN-DUQUE, J.F.; CABALLERO, J.; CARCAVILLA, L. 2012. Geoheritage information for geoconservation and geotourism through the categorization of landforms in a karstic landscape. A case study from Covalagua and Las Tuerces (Palencia, Spain). *Geoheritage* 4, 1-2: 93-108.
- RODRÍGUEZ, L.R.; MARTÍN-SERRANO, Á.; CARCAVILLA, L.; ROBADOR, A.; DURÁN, J.J. 2017. Los parques nacionales españoles, un muestrario de geodiversidad. En: J.J. Durán, Á. Martín-Serrano, Á. Robador & L.R. Rodríguez. *La geología de los parques nacionales españoles*, pp. 15-27. IGME y OAPN. Madrid.
- WIMBLEDON, W.A.P.; BENTON, M.J.; BEVINS, R.E.; BLACK G.P.; BRIDGLAND, D.R.; CLEAL C.J.; COOPER, R.G.; MAY, V.J. 1995. The development of a methodology for the selection of British sites for conservation. Part 1. *Modern Geology* 20, 159-2.

