

ENSEÑANZA Y DIVULGACIÓN DE LAS CIENCIAS

GEODIVERSIDAD Y DIVULGACIÓN GEOLÓGICA

GEODIVERSIDAD

El término *geodiversidad*, impulsado por el de biodiversidad, es cada vez más común en el lenguaje popular y en el científico. Aunque en origen pudo plantear algunos problemas conceptuales, su uso se está generalizando en los últimos años.

Algunos autores definen el término geodiversidad como la variedad, o diversidad geológica, de elementos geológicos existentes como producto y registro de la evolución de la Tierra [1], mientras que otros lo hacen como el análisis de la variedad geológica de un territorio en concreto [2-11]. El Instituto Geológico y Minero de España, IGME, define la geodiversidad como la variedad de elementos geológicos (incluidos rocas, minerales, fósiles, suelos, formas del relieve, formaciones y unidades geológicas y paisajes) presentes en un territorio y que son el producto y registro de la evolución de la Tierra [12].

Aunque la geodiversidad guarda relación con el *patrimonio geológico*, se trata de conceptos diferentes; el patrimonio geológico se refiere al valor especialmente relevante, científico, cultural o educativo de los elementos geológicos. Así, el patrimonio geológico está formado por un conjunto de lugares con elementos geológicos de relevancia y valor especial, denominados *Lugares de Interés Geológico* (LIG).

En España, ya en los años 70, el IGME desarrolló el Inventario Nacional de Puntos de Interés Geológico, más conocidos desde entonces por sus siglas (PIG). Ligados a este proyecto se desarrollaron varios trabajos metodológicos y de inventario [13-15] realizándose proyectos concretos en Galicia, Asturias, Cordillera Cantábrica, Comunidad Valenciana, Teruel, Murcia, Albacete y Menorca, aunque con poco porcentaje de la superficie estudiado. Basado en estos trabajos iniciales, posteriormente se

marcaron las pautas básicas para el desarrollo metodológico del estudio del patrimonio geológico [8,9,15-17 y otros].

Actualmente, la Ley 33/2015, que modifica la Ley 42/2007, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, establece el régimen jurídico básico de la conservación, uso sostenible, mejora y restauración del patrimonio natural y de la biodiversidad española, como parte del deber de conservar y del objetivo de garantizar los derechos de las personas a un medio ambiente adecuado para su bienestar, salud y desarrollo.

Si las menciones expresas a la geología, al patrimonio geológico y a la geodiversidad, así como al inventario y conservación del mismo, ya eran muy relevantes en la Ley 42/2007, la nueva ley persigue, a este respecto, la simplificación y agilización de los instrumentos para el conocimiento y planificación del patrimonio natural y de la biodiversidad, tales como el Inventario Español del Patrimonio Natural y la Biodiversidad (debiendo formar parte del mismo, entre otros, la información relativa a un Inventario de Lugares de Interés Geológico representativo, de al menos, las principales unidades y contextos geológicos), los Informes anuales sobre el estado del patrimonio natural y de la biodiversidad y el Plan Estratégico Estatal del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

Así, en relación con la geodiversidad, las definiciones contenidas en la ley son las siguientes:

- Geodiversidad o diversidad geológica: variedad de elementos geológicos, incluidos rocas, minerales, fósiles, suelos, formas del relieve, formaciones y unidades geológicas y paisajes que son el producto y registro de la evolución de la Tierra.
- Geoparques o parques geológicos: territorios delimitados que presentan formas geológicas únicas, de especial importancia científica, singularidad o belleza y que son representativos de la historia evolutiva geológica y de los eventos y procesos que las han formado. También lugares que destacan por sus valores arqueológicos, ecológicos o culturales relacionados con la gea.



Figura 1. Vista general del parque geológico de Aliaga (Teruel). Fotografía de Loreto Antón. Más información en: http://www.parquegeologicoaliaga.com/index_spa.htm.

- Patrimonio Natural: conjunto de bienes y recursos de la naturaleza fuente de diversidad biológica y geológica, que tienen un valor relevante medioambiental, paisajístico, científico o cultural.
- Patrimonio Geológico: conjunto de recursos naturales geológicos de valor científico, cultural y/o educativo, ya sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, meteoritos, fósiles, suelos y otras manifestaciones geológicas que permiten conocer, estudiar e interpretar: a) el origen y evolución de la Tierra, b) los procesos que la han modelado, c) los climas y paisajes del pasado y presente y d) el origen y evolución de la vida.
- Recursos naturales: todo componente de la naturaleza, susceptible de ser aprovechado por el ser humano para la satisfacción de sus necesidades y que tenga un valor actual o potencial, tales como: el paisaje natural, las aguas, superficiales y subterráneas; el suelo, subsuelo y las tierras por su capacidad de uso mayor: agrícolas, pecuarias, forestales, cinegética y de protección; la biodiversidad; la geodiversidad; los recursos genéticos, y los ecosistemas que dan soporte a la vida; los hidrocarburos; los recursos hidroenergéticos, eólicos, solares, geotérmicos y similares; la atmósfera y el espectro radioeléctrico, los minerales, las rocas y otros recursos geológicos renovables y no renovables.
- En relación con los monumentos naturales, se permitirá la explotación de los recursos cuando sean plenamente coherentes con los valores que justificaron la declaración, considerándose también Monumentos Naturales los árboles singulares y monumentales, las formaciones geológicas, los yacimientos paleontológicos y mineralógicos, los

estratotipos y demás elementos de la gea que reúnan un interés especial por la singularidad o importancia de sus valores científicos, culturales o paisajísticos.

En cuanto a financiación, la Ley prevé que la Administración General del Estado pueda ejecutar las acciones que se financien con cargo al Fondo para el Patrimonio Natural y la Biodiversidad, siendo objetivos específicos promover, a través de los incentivos adecuados, la inversión, gestión y ordenación del patrimonio natural, la biodiversidad y la geodiversidad; financiar acciones específicas de investigación aplicada, demostración y experimentación relacionadas con la conservación del patrimonio natural, la biodiversidad y la geodiversidad; financiar acciones específicas de prevención de la erosión y desertificación, preferentemente en los espacios naturales protegidos; incentivar los estudios y prospecciones que persigan el desarrollo y actualización del inventario español del patrimonio natural y la biodiversidad; e impulsar iniciativas de divulgación que favorezcan el conocimiento y la sensibilización social por la conservación y el uso sostenible del patrimonio natural español.

Esta percepción ha calado en la sociedad, que ya considera un derecho, una necesidad y un deber proteger el medio ambiente, promover un desarrollo sostenible y dejar para las generaciones futuras un entorno bien conservado, incluyendo los elementos geológicos de interés excepcional.

Por ello, tras el constante estudio de identificación y la valoración del patrimonio geológico, que desemboca en el desarrollo legislativo y de inventarios, el estudio del patrimonio geológico busca conservar y divulgar aquellos lugares que posean un elevado valor en relación con las Ciencias de la Tierra, considerando así como

objetivo final el de promover su conservación, *geoconservación* [18].

En este sentido, la Asamblea General de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) aprobó en 2008 la moción titulada “Conservación de la geodiversidad y del patrimonio geológico”, intentando evitar que la Tierra continúe perdiendo su memoria, y reconociendo el patrimonio geológico como “un patrimonio natural con valores culturales, estéticos, de paisaje, económicos y/o intrínsecos que es necesario preservar y transmitir a las futuras generaciones” (Resolución 4.040 de la UICN).

Así, el *Inventario Español de Lugares de Interés Geológico*, IELIG, (<http://info.igme.es/ielig/>) se incluye en el grupo de componentes del inventario llamado de Espacios Naturales Protegidos y/o de Interés, y se especifica que formarán parte del mismo los “lugares de interés, por su carácter único o representativo, para el estudio e interpretación del origen y evolución de los grandes dominios geológicos españoles, incluyendo los procesos que los han modelado, los climas del pasado y su evolu-



Figura 2. Cañón del río Duero, encajado varios cientos de metros en granitos, aguas arriba de la presa de Aldeadávila., en el parque natural Arribes del Duero (Salamanca-Zamora-Portugal). Fotografía de Loreto Antón. Más información en: http://www.patrimonionatural.org/ren.php?espacio_id=6.

ción paleobiológica”, incorporando también una valoración sobre la vulnerabilidad y la protección del lugar, base para el establecimiento de una red de lugares para uso científico y posible uso didáctico o recreativo.

Esta geoconservación se hace necesaria dada la fragilidad y el valor y potencial para la divulgación, la docencia y el desarrollo local del patrimonio geológico. La geoconservación debe permitir el ritmo natural de los procesos y su evolución; así como la preservación de los valores educativos, culturales, estéticos, paisajísticos, turísticos, recreativos y económicos relacionados con él, ya que a menudo el interés del patrimonio geológico supera el ámbito científico y se acerca a otros aspectos culturales, guardando estrecha relación con el patrimonio histórico-artístico y la identidad local.

PROYECTO GLOBAL GEOSITES

La Unión Internacional de las Ciencias Geológicas (IUGS), junto con la UNESCO, promovió a finales de los años 90 una iniciativa global de inventario mundial de patrimonio geológico: el proyecto Global Geosites.

En un paso previo del proyecto, cada país selecciona ciertos *contextos geológicos* significativos en el registro geológico mundial. En una fase posterior, se seleccionan los lugares de interés más representativos e ilustrativos de cada uno de estos contextos, llamados lugares de interés geológico del proyecto Geosites o “*geosites*”. De este modo, la selección de los puntos de interés geológico se ve orientada y facilitada por su representatividad dentro del contexto geológico abordado.

Por último, expertos internacionales compararán el interés y mérito de los lugares de interés geológico definidos en la fase anterior y seleccionarán definitivamente los que deben figurar en la lista final de lugares de interés geológico de relevancia internacional, asesorando a la IUGS y a la UNESCO sobre las prioridades para la conservación.

En España, el IGME fue el organismo local encargado de desarrollar el proyecto Global Geosites, en colaboración con decenas de investigadores de numerosas universidades y centros de investigación. Mediante este proyecto, se han identificado en España 21 contextos geológicos de relevancia internacional y 144 LIG o *geosites*. Algunos de estos *geosites* constan de varios enclaves, alcanzando un total de 215 localidades de interés.

En principio, en el Anexo VIII de la Ley 42/2007, se recogieron 20 contextos geológicos de relevancia internacional:

1. Red fluvial, rañas y paisajes apalachianos del Macizo Ibérico.
2. Costas bajas de la Península Ibérica.
3. Sistemas kársticos en carbonatos y evaporitas de la Península Ibérica y Baleares.
4. Series estratigráficas del Paleozoico inferior y medio del Macizo Ibérico.
5. El Carbonífero de la Cordillera Cantábrica.
6. Series mesozoicas de las cordilleras Bética e Ibérica.
7. Fósiles e icnofósiles del Cretácico continental de la Península Ibérica.
8. Secciones estratigráficas del límite Cretácico-Terciario.
9. Cuencas sinorogénicas surpirenaicas.
10. Cuencas terciarias continentales y yacimientos de vertebrados asociados de Aragón y Cataluña.
11. Unidades olistostrómicas del antepaís bético.
12. Episodios evaporíticos messinienses (crisis de salinidad mediterránea).
13. Yacimientos de vertebrados del Plio-Pleistoceno español.
14. Asociaciones volcánicas ultrapotásicas neógenas del sureste de España.
15. Edificios y morfologías volcánicas de las Islas Canarias.
16. El Orógeno Varisco Ibérico.
17. Extensión miocena en el Dominio de Alborán.
18. Mineralizaciones de mercurio de la región de Almadén.
19. La Faja Pirítica Ibérica.
20. Las mineralizaciones de Pb-Zn y Fe del Urgoniano de la Cuenca Vasco-Cantábrica.

Más adelante, con el fin de mantener actualizada la lista del proyecto, se concedió un plazo a las instituciones y particulares interesados en proponer nuevos contextos geológicos españoles de relevancia internacional en el marco del proyecto Global Geosites, que finalizó en octubre de 2013. Tras recibir cinco nuevas propuestas que fueron evaluadas por un comité de expertos independientes, se realizaron cambios a algunos de los contextos existentes y se decidió crear uno más.

Según nota de prensa, IGME 2013 (<http://www.igme.es/patrimonio/GEOSITES/Resoluci%C3%B3n%20nuevos%20Contextos.pdf>), se recibieron un total de cinco propuestas, cuatro por parte de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía y una por parte del Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno Vasco. Estos cinco nuevos contextos eran los siguientes:

- El rifting permotriásico.
- Cuencas Cenozoicas de Andalucía.
- Ofiolitas Béticas.
- Vulcanismo neógeno del SE de la Península Ibérica.
- Materiales, formas y estructuras cuaternarias del litoral cantábrico.

El Área de Investigación en Patrimonio Geológico y Minero del IGME designó 9 evaluadores pertenecientes a diferentes universidades españolas e institutos de investigación del CSIC. El resultado de las evaluaciones de las mencionadas propuestas y el cambio de denominación de dos contextos ya existentes, es el siguiente:

- Para adaptar el nuevo contexto propuesto “El *rifting* permotriásico” al preexistente “Las sucesiones mesozoicas de las cordilleras Béticas e Ibérica”, se rebautiza este último como “El *rifting* de Pangea y las sucesiones mesozoicas de las cordilleras Béticas e Ibérica”.
- El nuevo contexto propuesto “Cuencas cenozoicas de Andalucía” se considera de interés por los aspectos que ya están recogidos en contextos existentes, concretamente en los contextos “Las Unidades Olistostrómicas del Antepaís Bético”, “Episodios Evaporíticos Messinienses”, “Yacimientos de Vertebrados del Plioceno-Pleistoceno Español”, en el de nueva denominación “Vulcanismo neógeno de la Península Ibérica” y en el nuevo contexto “Costas de la Península Ibérica. Por ello, se adopta la decisión de rechazar esta propuesta.
- Ante la propuesta de nuevo contexto “Ofiolitas béticas” se decide considerar un nuevo contexto con la denominación “Complejos ofiolíticos de la Península Ibérica”, en el que se integrarían, entre otros, los geosites correspondientes a los complejo ofiolíticos de cabo Ortegal, hasta ahora incluidos en el contexto “El Orógeno Varisco Ibérico”.
- Ante la propuesta del nuevo contexto “Vulcanismo neógeno del SE de la Península Ibérica” se acepta

integrar en él al ya existente del “Asociaciones volcánicas ultrapotásicas neógenas del sureste de España”, y considerarse un contexto mucho más amplio que abarque también todo el vulcanismo neógeno y cuaternario de Iberia, denominado “Vulcanismo neógeno y cuaternario de la Península Ibérica”.

- Ante la propuesta del nuevo contexto “Materiales, formas y estructuras cuaternarias del litoral cantábrico”, se opta por integrarla con el preexistente “Costas bajas de la Península Ibérica” reformulando el contexto actual como “Costas de la Península Ibérica” que incorporaría los materiales, formas y estructuras sobresalientes de toda la Península Ibérica.
- Se acepta el cambio de denominación propuesto: “Fósiles e icnofósiles del Mesozoico continental” en lugar del de “Fósiles e Icnofósiles del Cretácico Continental”.
- Sobre la propuesta de cambio de denominación “Las cuencas terciarias continentales y los yacimientos asociados del Levante español” en lugar de “Las cuencas terciarias continentales y los yacimientos asociados de Aragón y Cataluña” se adapta la propuesta, aceptándose finalmente la denominación “Las cuencas cenozoicas continentales y los yacimientos asociados del Levante español”.

La nueva lista de contextos geológicos de relevancia internacional (contenida en el Anexo VIII de la Ley 33/2015) queda, por tanto, como sigue:

1. El Orógeno Varisco Ibérico.
2. Las sucesiones estratigráficas del Paleozoico inferior y medio.
3. El Carbonífero de la Zona Cantábrica.
4. La Faja Pirítica Ibérica.
5. Mineralizaciones de Mercurio en la Región de Almadén.
6. El rifting de Pangea y las sucesiones mesozoicas de las Cordilleras Bética e Ibérica.
7. Mineralizaciones de Plomo-Zinc y Hierro del Urgoniano de la Cuenca Vasco-Cantábrica.
8. Fósiles e Icnofósiles del Mesozoico continental.
9. El Límite Cretácico-Paleógeno (K/Pg).
10. Las Cuencas sinorogénicas surpirenaicas.
11. Las unidades olistostromicas del Antepaís Bético.

12. La extensión miocena en el Dominio de Alborán.
13. Vulcanismo neógeno y cuaternario de la Península Ibérica.
14. Edificios y morfologías volcánicas de las Islas Canarias.
15. Episodios evaporíticos messinienses.
16. Las cuencas cenozoicas continentales y los yacimientos asociados del Levante español.
17. Yacimientos de vertebrados del Plioceno y Pleistoceno español.
18. Red fluvial, rañas y relieves apalachianos del Macizo Ibérico.
19. Costas de la Península Ibérica.
20. Sistemas kársticos en carbonatos y evaporitas de la Península Ibérica y Baleares.
21. Complejos ofiolíticos de la Península Ibérica.

DIVULGACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD: RED EUROPEA Y GLOBAL DE GEOPARQUES. PARQUES NACIONALES. GEOTURISMO

Un *geoparque* es un territorio que posee un rico patrimonio geológico, que es utilizado como motor para el desarrollo local y que cuenta con el reconocimiento oficial por la Red Europea y global de Geoparques, con un programa de gestión para la geoconservación y el desarrollo socioeconómico local.

Los geoparques se rigen por tres principios: la existencia de patrimonio geológico singular, la puesta en marcha de iniciativas de geoconservación y divulgación, y el favorecimiento del desarrollo socioeconómico local. Además, se evalúan cada cuatro años, pudiendo perder la condición de miembro de la Red.

Los geoparques surgieron a principios de la década de los 90 en Europa, siendo Francia, Alemania, Grecia y España los socios fundadores de la Red de Geoparques Europeos (*European Geoparks Network*, EGN). En 2004, la UNESCO auspició el programa, extendiéndolo a todo el mundo para dar lugar a la Red Global de Geoparques (*Global Geoparks Network*). Desde el año 2013, la Red Europea de Geoparques exige a los territorios aspirantes contar con el apoyo expreso de la Comisión Nacional Española de Cooperación con la UNESCO.

En la actualidad hay en España once geoparques: Geoparque del Maestrazgo (Teruel), Sobrarbe (Huesca), Cabo de Gata-Níjar (Almería), Costa Vasca (Guipúzcoa),



Figura 3. Paisaje granítico de La Pedriza de Manzanares en el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama (Madrid). Fotografía de Manuel García Rodríguez. Más información en: <http://www.parquenacionalsierraguadarrama.es/>.

Villuercas-Ibores-Jara (Cáceres), Cataluña Central (Barcelona), Sierra Norte de Sevilla, Sierras Subbéticas (Córdoba), Comarca de Molina-Alto Tajo (Guadalajara), El Hierro (Canarias) y Lanzarote (Canarias); y los siguientes proyectos: Las Loras (Burgos-Palencia), Cabo Ortegal (Galicia), Arribes del Duero (Salamanca), Piedemonte de las Sierras de Ayllón y Guadarrama (Segovia), Isla de Menorca, La Demanda, Cuenca de Tremps y Montsec (Lleida).

Por otro lado, también existen los parques geológicos. Sus objetivos son iguales a los de los geoparques, pero no pertenecen a la Red de Geoparques y, por tanto, su funcionamiento no está regulado por la UNESCO. En España existen dos: el de Chera (Valencia) y el de Aliaga (Teruel), aunque este último está integrado en el Geoparque de Maestrazgo.

Los *parques nacionales* establecen un régimen de protección al territorio que regula los usos que pueden llevarse a cabo, garantizando siempre la conservación de los valores naturales. Los parques nacionales, que están al servicio de la investigación y del aumento del conocimiento científico, son lugares ideales para ensayar nuevas metodologías y técnicas de geoconservación. La Red de Parques Nacionales está poniendo en los últimos años especial énfasis en la conservación y divulgación del patrimonio geológico, dado que cada uno de los parques nacionales posee lugares de interés geológico de gran relevancia.

Las comunidades autónomas tienen competencias en materia de protección del territorio, y han desarrollado figuras de distinta forma. Por eso, junto a los parques nacionales, en cuya creación interviene el gobierno de España, existen otras denominaciones, de ámbito autonómico, como las de parque natural, parque regional,

parque rural, reservas, monumentos y paisajes protegidos.

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el Organismo Autónomo Parques Nacionales (OAPN) están elaborando y editando desde el año 2002 una colección de Guías Geológicas de Parques Nacionales con el fin de divulgar el rico patrimonio geológico de estos espacios naturales protegidos y fomentar el conocimiento de su geodiversidad (<http://www.igme.es/LibrosE/GuiasGeo/libros.htm>). Esta colección tiene como objetivo fundamental poner a disposición de los visitantes y estudiosos de los Parques Nacionales unas guías donde, a través de diferentes itinerarios, se describan con rigor científico y amenidad divulgativa, los procesos geológicos observables y las formas geológicas singulares más representativas.

Por otra parte, en relación con la actividad turística, se define el *geoturismo* como un turismo que sustenta y mejora la identidad de un territorio, considerando su geología, medio ambiente, cultura, valores estéticos, patrimonio y bienestar de sus residentes [19]. Dentro del geoturismo, el turismo geológico trata de mostrar el patrimonio geológico como activo dinamizador del turismo sostenible (“el turismo que tiene plenamente en cuenta las repercusiones actuales y futuras, económicas, sociales y medioambientales para satisfacer las necesidades de los visitantes, de la industria, del entorno y de las comunidades anfitrionas”, según la Organización Mundial del Turismo, OMT).

En este sentido, la Carta Europea de Turismo Sostenible en Espacios Naturales Protegidos (CETS), iniciativa de la Federación EUROPARC, tiene como objetivo global promover el desarrollo del turismo en clave de sostenibilidad en los espacios naturales protegidos de Europa. La CETS plantea un método y un compromiso voluntario

para aplicar los principios de turismo sostenible, orientando a los gestores de los espacios naturales protegidos y a las empresas, para definir sus estrategias de forma participada.

El recién creado Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama representa un buen ejemplo de los valores que deben impulsarse en este tipo de espacios naturales. El atractivo paisaje de esta Sierra ha hecho que desde muy antiguo fuera fuente de admiración por parte de grandes personajes históricos, así como fuente de inspiración de artistas de gran renombre. En este sentido, un buen ejemplo queda representado por el retrato ecuestre del rey Felipe IV, que Velázquez pintó en el S XVII utilizando como fondo la Sierra de Guadarrama. Además del interés puramente contemplativo y artístico, a partir del último tercio del siglo XIX la Sierra de Guadarrama se convierte en un punto de encuentro entre científicos, naturalista e intelectuales, impulsando nuevos métodos de enseñanza e imprimiendo un carácter práctico y multidisciplinar, en sintonía con los avances internacionales de la época. Así, el año 1864 el geólogo y naturalista Casiano de Prado realizó la primera descripción física del territorio [20]. A principios del siglo XX otros trabajos de reconocimiento e interés geológico en la zona se debieron a Bernaldo de Quirós [21] y Hernández Pacheco [22], que entre otros, contribuyeron a que determinadas zonas de la Sierra de Guadarrama, como por ejemplo La Pedriza, se convirtieran en algunos de los primeros espacios protegidos españoles con la declaración de Sitio Natural de Interés Nacional en 1930. A partir de 1936 con el inicio de la guerra civil y postguerra después,



Figura 4. Lugar de Interés Geológico Los Mallos de Riglos y Río Gállego (Huesca). Peculiar relieve formado por conglomerados de origen aluvial, producto de la erosión de las sierras exteriores pirenaicas. Fotografía de Gerardo de Vicente. Más información en: <https://asociaciongeoambiente.wordpress.com/tag/mallos-de-riglos/>.

empezó una etapa de inactividad científica e intelectual en la Sierra de Guadarrama, que se extenderá hasta los años 70. En la década de los 70 se inicia una nueva etapa en la que se impulsa la protección de espacios naturales, y en 1978 se crea el Parque Natural de la Cuenca Alta del Manzanares, reclasificado como Parque Regional en 1985. Dentro de esta línea conservacionista, en los años noventa algunos espacios se incluyen como Reserva de la Biosfera de la UNESCO, y finalmente en 2013 se crea el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama.

El *Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama*, además de cumplir con valores de tipo paisajístico, educacionales y científicos, representa un hito en el plano deportivo, con una tradición montañera que se remonta a la misma época de las exploraciones naturalistas, cuando Casiano de Prado subiera por vez primera el pico del Yelmo en 1860. No obstante fue a partir de 1900 cuando se inició con fuerza la actividad alpinística en Guadarrama, especialmente con la creación de la Sociedad de Alpinismo de Peñalara [23]. En este sentido, el gran número de paredes de granito que podemos encontrar en la Sierra de Guadarrama, y particularmente en La Pedriza, han hecho de la zona una magnífica escuela de montañeros y escaladores que además representa una innegable escuela para geólogos, biólogos y naturalistas en general [24].

LA GEODIVERSIDAD DE ESPAÑA Y SU DIVULGACIÓN

En España, la geodiversidad viene condicionada por la privilegiada situación de la Península Ibérica entre el continente europeo y África, conformándose así su rica historia geológica durante cientos de millones de años mediante acontecimientos geológicos muy diversos.

Desde la rotura del supercontinente Rodinia (episodio de rifting entre 825 Ma y 740 Ma) los diferentes fragmentos se fueron separando gradualmente hasta que a finales del Precámbrico muchos de ellos se volvieron a reunir formando un gran continente en el hemisferio sur denominado Gondwana. Es en el borde de Gondwana donde se puede comenzar a situar un primer germen de Iberia.

Desde el Devónico, los continentes comenzaron a aproximarse y Gondwana derivó hacia el norte, hasta colisionar con Laurussia, formándose los Apalaches en Norteamérica y la Orogenia Varisca en Europa (Laura-

sia). Como consecuencia de esta colisión se formó el último supercontinente: Pangea, que se ensambló entre el Devónico y el Carbonífero con dos eventos de alta presión, dos colisiones sucesivas, con excepcional representación en Iberia. Así, la colisión continental genera el cierre de los océanos situados entre los continentes de Laurentia, Báltica, Gondwana y varios microcontinentes (ej. Avalonia), que determinan la fabulosa historia geológica del NO y SO ibérico.

Desde el Pérmico, los procesos de rifting, iniciados a la vez en varios lugares (en Iberia, en la futura área pirenaica; en el área ocupada actualmente por el Sistema Bético, el Mar de Alborán y el estrecho de Gibraltar; y en el interior de la placa Ibérica) dividieron Pangea disgregándola y abriendo fisuras donde se localizarán nuevos océanos. En aquel momento, en la futura Península Ibérica destacaban dos macizos emergidos: el Macizo Ibérico (la futura Meseta) y el Macizo del Ebro, hoy desaparecido, el cual ocupaba las actuales zonas orientales de la Cuenca del Ebro, de la vertiente sur de los Pirineos y del Golfo del León. Con el transcurso del tiempo, durante el Triásico y especialmente durante el Jurásico, la extensión a lo largo de algunas de las fracturas que limitaban los valles de Rift progresó hasta que se generó corteza oceánica, quedando así individualizadas nuevas placas tectónicas.

A finales del Cretácico, Iberia es tectónicamente muy activa. Al doble movimiento de la placa Ibérica (rotación antihoraria por la apertura del Golfo de Vizcaya, que había comenzado en el Jurásico Superior, y la deriva hacia el este por la extensión del océano Atlántico), se suma un movimiento de la placa Africana que comienza una deriva hacia el norte. Esta última pone en movimiento el conjunto de microplacas desgajadas de Pangea (Iberia, Adria y Mesomediterránea, o de Alborán) que se encontraban en el entorno del Tethys: entre otras la placa Ibérica, que se incrusta contra Europa formando los Pirineos. La placa Mesomediterránea a su vez cambia su rumbo y se dirige hacia el oeste hasta chocar contra Iberia, deformando las rocas depositadas en la Cuenca Bética y dando lugar a la Cordillera Bética.

Como resultado de la convergencia mesozoica-cenozoica de Eurasia con África, Arabia, India y Australia, y la consecuente eliminación del Tethys, se formaron las cordilleras de colisión del sistema Alpino-Himalayo, a lo largo de la complicada zona que conecta los Alpes, el Himalaya e Indonesia. Los Pirineos y los Alpes son el resultado de la colisión de pequeñas placas (Ibérica y

Adriática) con Eurasia, cuya máxima compresión se produjo durante el Oligoceno y el Mioceno.

Una parte importante de la convergencia entre Eurasia, Iberia y África se amortiza en el interior peninsular. Los esfuerzos tectónicos originados en los procesos generadores de los Pirineos y la Cordillera Bética, junto con el empuje de la dorsal centroatlántica, han dado lugar a la distribución de cuencas y cadenas del Antepaís Ibérico, con deformaciones cenozoicas, que observamos hoy en día.

Hacia finales del Oligoceno y principios del Mioceno, el proceso de colisión entre las placas Ibérica y Euroasiática había acabado, aunque la dinámica convergente de la Península Ibérica prosigue. Al este, el antiguo golfo de Tethys había quedado prácticamente desconectado del resto del océano y se había formado un mar interior, el Paleomediterráneo, sometido a la distensión postalpina, que produjo fosas tectónicas (depresiones alargadas) en gran parte de Europa occidental y que tiene asociadas numerosas efusiones volcánicas (Olot, Murcia, Almería, etc.).

Al final del Mioceno superior el mar se retiró de las grandes cuencas intramontañosas, pasando a ser cuencas endorreicas. Además, el Arco que forman las Béticas y la Cordillera del Rift a través del Estrecho de Gibraltar llegó a cerrarse a finales del Mioceno, lo que unido a procesos glacio-eustáticos aisló al Mar Mediterráneo del Atlántico, provocando uno de los episodios más dramáticos para los ecosistemas marinos mediterráneos, la Crisis de Salinidad Messiniense.

Finalmente, durante el Cuaternario, en la Península Ibérica se instala definitivamente la red de drenaje actual, se generan terrazas fluviales debido al encajamiento de la red fluvial y a la sucesión de periodos glaciares e interglaciares (constituyendo el archivo más importante donde se registran las industrias líticas y restos de vertebrados fósiles más representativos del Cuaternario en la Península), se desarrollan peculiares relieves calizos y cavidades kársticas (donde se han conservado excepcionales restos fósiles del género Homo, y ejemplos del arte rupestre paleolítico), se desarrollan valles y circos glaciares en los sistemas montañosos más importantes de la Península (Pirineos, Cordillera Cantábrica, Sistema Central, Cordillera Bética) y se modela el litoral bajo la influencia de las diferentes subidas y bajadas del nivel del mar, consecuencia de variaciones estáticas y climáticas. Por otra parte la actividad tectónica sigue vigente, como consecuencia de la convergencia entre las



Figura 5. Guías geológicas de Parques Nacionales Españoles editadas por el Instituto Geológico y Minero. Más información en: <http://www.igme.es/LibrosE/GuiasGeo/libros.htm>.

placas ibérica y africana, resultado del desplazamiento de esta última hacia el norte. Prueba de ello es la actividad sísmica registrada en la Península Ibérica y su entorno más próximo, que aunque moderada, recientemente se ha puesto con terremotos de gran impacto social y económico, como el terremoto de Lorca de 2011 o los terremotos de Alhucemas de 2016. La actividad volcánica prosigue, diferenciándose por excelencia las siete islas del Archipiélago Canario. La actividad volcánica en estas islas es importante y muy reciente, como demuestra la actividad volcánica registrada en la isla de El Hierro en 2011. Como ejemplo más relevante, el volcán del Tenejúia (sur de La Palma) se formó durante una erupción en el año 1971.

Esta intensa y variada historia geológica ha abastecido de recursos a las culturas y civilizaciones que han vivido en ella. Recursos geológicos no solo entendidos como aprovechamientos mineros, con destacables ejemplos (Riotinto en la Faja Pirítica, el mercurio de Almadén, el oro de Las Médulas, etc.), sino como la gran variedad y riqueza de los elementos geológicos en sí mismos y, por ende, de la geodiversidad como propiedad característica del territorio, con enorme relación con la geografía, el paisaje, las características climáticas, y el desarrollo cultural y económico.

El gran esfuerzo realizado en la última década por acercar la geología a la sociedad (Instituto Geológico y Minero de España, IGME, Sociedad Geológica de España, SGE, Colegio Oficial de Geólogos, ICOG, Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, AEPECT, etc.), es una manera de sensibilizar a la población sobre la importancia y necesidad de proteger nuestro patrimonio geológico.

Para que el geoturismo en España, potencia turística mundial, sea una herramienta fundamental para la valoración, la conservación y la divulgación del pasado de la Tierra, se requiere que esa divulgación del patrimonio geológico sea de calidad.

La información sobre el patrimonio geológico no es directamente inteligible para el público en general, máxime vista la gran geodiversidad presente en España, por ello, la base esencial para facilitar la divulgación geológica es que sea gestionada y/o supervisada por personal con la formación adecuada para ello. La necesaria formación geológica de este personal determinará la verdadera puesta en valor del patrimonio geológico, y logrará acercar y atraer al gran público transmitiendo la información de una manera sencilla y clara.

REFERENCIAS

- [1] Gray, M.: *Geodiversity. Valuing and conserving abiotic nature*. John Wiley & Sons, 2004.
- [2] Carcavilla, L., López-Martínez, J. y Durán, J.J.: *Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos*. Instituto Geológico y Minero de España. Serie Cuadernos del Museo Geominero, nº 7, 2007.
- [3] Carcavilla, L., Durán, J.J. y López-Martínez, J.: *Geo-Temas*, 10, 1299-1303 (2008).
- [4] Carcavilla, L. y Palacio, J.: *Proyecto Geosites: aportación española al patrimonio geológico mundial*. Instituto Geológico y Minero de España, 2010.
- [5] Carcavilla, L.: *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 22.1, 5-18 (2014).
- [6] Díaz-Martínez, E., Guillén-Mondéjar, F., Mata, J.M., Muñoz, P., Nieto, L.M., Pérez-Lorente, F. y Santies-teban, C. *Geo-Temas*, 10, 1307-1310 (2008).
- [7] Díaz-Martínez, E., Salazar, A. y García-Cortés, A.: *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 22.1, 25-34 (2014).
- [8] Durán, J.J., Brusi, D., Palli, Ll., López-Martínez, J., Palacio, J. y Vallejo, M.: *Comunicaciones de la IV Reunión de la Comisión de Patrimonio Geológico*, SGE 67-72 (1998).
- [9] Durán, J.J., Carcavilla, L. y López-Martínez, J. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)* 100 (1-4), 277-287 (2005).
- [10] Durán, J.J. y Carcavilla, L.: *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16.3, 256-261 (2008).
- [11] Nieto, L.M.: *Boletín Geológico y Minero*, 112 (2), 3-11 (2001).
- [12] Carcavilla, L., Delvene, G., Díaz-Martínez, E., García Cortés, A., Lozano, G., Rábano I., Sánchez, A. y Ve-

- gas, J: Technical Report: *Geodiversidad y patrimonio geológico*. IGME, 2014.
- [13] Elizaga, E.: Georrecursos culturales, Geología ambiental, 85-100, ITGE (1988).
- [14] Elizaga, E., Abril, J., Duque, L.C., García Salinas, F. y Murcia, V.: I Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. SEAGAOT (1980).
- [15] Elizaga, E. y Palacio, J. *El Patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización*. 61-79. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Madrid, 1996.
- [16] García-Cortés, A., Rábano, I., Locutura, J., Bellido, F., Fernández-Gianotti, J., Martín-Serrano, A., Quezada, C., Barnolas, A. y Duran, J.J.: *Boletín Geológico y Minero*. Vol. 111-6, 5-38. (2000)
- [17] García-Cortés, A. (Ed.): *Contextos geológicos españoles: una aproximación al patrimonio geológico español de relevancia internacional*. Instituto Geológico y Minero de España, 2008.
- [18] Carcavilla, L.: *Geoconservación*. Instituto Geológico y Minero de España, 2012.
- [19] Hernández Paredes R. y de Miguel C.J.: *Tierra y Tecnología*, 45 (2015).
- [20] De Prado, C. *Descripción física y geológica de la provincia de Madrid*. Publicaciones especiales Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 1864.
- [21] Bernaldo de Quirós C. *La Pedriza del Real Manzanares*. Comisaría Regia del Turismo y la Cultura artística. 2ª edición, Madrid, 1923.
- [22] Hernández Pacheco E. (Director). *Guía de los Sitios Naturales de interés Nacional*. Nº 1. *Sierra de Guadarrama*. Junta de Parques Nacionales y Patronato Nacional de Turismo. Madrid, 1931.
- [23] Vías J. *Memorias del Guadarrama. Historia del descubrimiento de unas montañas*. Ediciones la Librería, 2011.
- [24] García-Rodríguez, M. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23.3, 320-329 (2015)

REFERENCIAS EN INTERNET

- Asociación Europea para la Conservación del Patrimonio Geológico (ProGEO):
<http://www.progeo.se/>
- Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT):
<http://www.aepect.org/>
- Carta Europea de Turismo Sostenible (CETS):
<http://www.redeuroparc.org/cartaeuropeaturismosostenible.jsp>
- Comisión de Patrimonio Geológico de la Sociedad Geológica de España (SGE):
http://www.sociedadgeologica.es/comisiones_patrimonio.html
- Comité Español de Geoparques:
<http://geoparques.eu/>
- Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España (ICOG):
<http://icog.web.e-visado.net/Inicio.aspx>
- Instituto Geológico y Minero de España (IGME):
<http://www.igme.es/internet/default.asp>
- Organización Mundial del Turismo (OMT):
<http://www2.unwto.org/es>
- Red de Geoparques Europeos:
<http://www.europeangeoparks.org/>
- Red Mundial de Geoparques:
<http://www.globalgeopark.org/>
- Red de parques nacionales de España:
<http://www.magrama.gob.es/es/red-parques-nacionales/>
- Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero de España (SEDPGYM):
<http://www.sedpgym.org>
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN):
<http://www.iucn.org/es/>

María Dolores García del Amo
Manuel García Rodríguez
Loreto Antón López
Dpto. de Ciencias Analíticas