

Educación ambiental y deporte. Cómo la geomorfología condiciona la escalada. El ejemplo de la Pedriza del Manzanares (Madrid)

Environmental education and sports. How geomorphology conditions climbing. The example of the Pedriza del Manzanares (Madrid)

MANUEL GARCÍA-RODRÍGUEZ

Dpto. Ciencias Analíticas, Fac. de Ciencias UNED. Paseo Senda del Rey, 9. 28040 Madrid. E-mail: manu.garo@ccia.uned.es

Resumen La Pedriza del Manzanares (Madrid) representa uno de los espacios naturales más emblemáticos de la Península Ibérica donde confluyen intereses científicos y deportivos. Desde principios del siglo XX su caprichosa geomorfología ha sido capaz de atraer, con el mismo entusiasmo, la atención de estudiosos, naturalistas y escaladores, estando actualmente incluida en el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama. Por otra parte, la Pedriza está considerada como la escuela de escalada en adherencia más importante de España y posiblemente de Europa. En este trabajo se explica el origen de algunos procesos geomorfológicos que modelan la superficie de estas rocas, y cómo las formas resultantes influyen en la práctica de la escalada. El artículo constituye un documento didáctico que suministra información suficiente para que cualquier visitante de este espacio natural pueda familiarizarse con el origen de las formas que se estudian.

Palabras clave: Agrietamientos poligonales, escalada, geomorfología granítica, micro-relieves, Parque Nacional de Guadarrama.

Abstract *The landscape of La Pedriza is one of the most emblematic natural areas of the Iberian Peninsula, where scientific and sporting usage converge. Since the early twentieth century its capricious geomorphology has attracted the attention of researchers, naturalists and climbers with the same enthusiasm, and it is currently included in the Sierra de Guadarrama National Park. Moreover, La Pedriza is considered the most important school for adherence climbing in Spain and possibly in Europe. This work explains the origin of some geomorphological processes that shape the surface of rocks, and how the resulting forms influence the practice of climbing there. This article constitutes a didactic document that provides enough information for any visitor to this natural space to get acquainted with the origin of the shapes which are studied here.*

Keywords: *Climbing, granitic geomorphology, Guadarrama National Park, polygonal cracking, micro-reliefs.*

INTRODUCCIÓN

Un espacio natural singular

La Pedriza del Manzanares, también conocida como La Pedriza, representa un paisaje granítico de tipo berrocal. La singularidad y belleza del paisaje hizo que esta zona quedara incluida como uno de los primeros espacios protegidos españoles, declarada Sitio Natural de Interés Nacional en 1930. Más tarde, en 1978 pasó a formar parte del Parque Natural de la Cuenca Alta del Manzanares, y fue reclasificado como Parque Regional en 1985. En la década de los noventa se calificó como Reserva de la Biosfera de la

UNESCO y finalmente en 2013, se aprobó la creación del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama que incluía a La Pedriza (Casado, 2014, Salazar Rincón et al., 2015).

Desde mediados del siglo XIX, cuando Casiano de Prado realizara la primera descripción física del territorio en el año 1864 (de Prado, 1864, ref. 1975), La Pedriza ha sido objeto de estudio por parte de geólogos y naturalistas. Posteriormente, a principios del siglo XX, otros trabajos de interés geológico en la zona se debieron a Bernaldo de Quirós (1923) y Hernández Pacheco (1931). La singularidad y variedad de elementos geológicos de interés científico y didáctico

co (Maroto et al., 2008) presentes en La Pedriza, así como el interés turístico que suscita promoviendo el desarrollo local, han propiciado que sea considerada como una zona de interés geológico, ahora incluida en un Parque Nacional (Carcavilla, 2014).

La Pedriza se localiza en las laderas meridionales de la sierra de Guadarrama, en altitudes que oscilan entre unos 900 m, cerca de la población de Manzanares el Real, hasta algo más de 2.000 m junto a las cumbres de la sierra de Cuerda Larga. Está formada por granitoides de tipo adamellititas leucocráticas, con tamaños de grano que varían desde grueso a fino (Pérez-Soba y Villaseca, 2010). El paisaje ofrece un bello escenario donde alternan paredes graníticas con alturas que frecuentemente superan el centenar de metros, y bolos con formas y tamaños muy variados que se encuentran distribuidos, de forma desordenada (Centeno, 1989, Centeno y García-Rodríguez, 2005), por las laderas de este Parque Nacional (Fig. 1).

La topografía escalonada que presenta La Pedriza es característica de la Sierra de Guadarrama, definiendo cuatro superficies erosivas que fueron denominadas como S1, S2, S3 y S4 (de Pedraza, 1978, de Pedraza, 1989, Molina-Ballesteros et. al., 1997). Las superficies S1 y S2 corresponden con una penillanura de origen pre-Cenozoico, deformadas por la tectónica de bloques. La superficie S1 se localiza en las zonas de cumbre (2.000 - 2.300 m), y la superficie S2 a unos 1.900 m de altitud. En La Pedriza la superficie erosiva S3 está presente entre las cotas 1.500 - 1.700 m, indicando una etapa de explanación durante el Paleógeno-Mioceno. Dentro de esta etapa S3, las rocas permanecen bajo el manto de alteración (Molina-Ballesteros et. al., 1997) de dicho proceso de explanación, y será donde se desarrollen las principales formas de relieve (de Pedraza et al., 1989, de Pedraza et al., 2014, García-Rodríguez, 2015). Más tarde, durante el Plioceno-Pleistoceno se configura la actual superficie de piedemonte S4, localizada entre los 900 y 1.000 m.

El aspecto caprichoso que han adquirido muchas de estas rocas se debe a los procesos de meteorización, mecánicos y químicos, que han estado actuando durante miles de años. Así, la mayor parte de las paredes y grandes rocas presentes en la zona tienen nombre propio, que con frecuencia hacen referencia a la forma que tienen. Entre otros, algunos riscos característicos de la Pedriza son: el Hueso, el Pájaro, las Oseras, las Buitreras, el Elefante, Cinco Cestos, la Vela, el Yelmo, etc. El lector interesado en localizar y acceder a cualquiera de los diferentes riscos que se mencionan en este trabajo, puede

encontrar mapas así como indicaciones precisas en las principales guías editadas de La Pedriza (Luján y Zapata, 2005; Santamaría, 2008).

Una escuela de escalada con mucha tradición

El gran número de paredes de granito presentes en la Pedriza que, como se indicó anteriormente, superan con frecuencia el centenar de metros, han hecho de la zona una magnífica escuela de montañeros y escaladores. La tradición montañera de la zona 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, es a partir de la segunda década de siglo XX cuando se inicia con fuerza la actividad alpinística en Guadarrama, especialmente con la creación de la Sociedad de Alpinismo de Peñalara (Vías, 2011). En sus comienzos todas las agrupaciones alpinistas tenían, además de una intención aventurera, cierta curiosidad científica y cultural que permitieran mejorar el conocimiento de la montaña y colaborar a su conservación y protección (Ortega Cantero, 2014). Particularmente significativo es el año 1913, cuando los hermanos Kindelán junto con otros compañeros de cordada, abren las primeras vías en riscos tan característicos como el Cancho de los Muertos, Peña Sirio o el Yelmo. En estos momentos se inicia la verdadera trayectoria alpinística de La Pedriza (Castro, 2005). Tras un corto periodo de tiempo con menor actividad, el siguiente gran impulso de la escalada en la zona se produce a partir de los años 30, en 1935 cuando Teógenes Díaz, Ángel Trasaco y Juan Bautista escalan la cara sur del Pájaro. A partir de este momento se inicia una vertiginosa evolución de aperturas de vías que ha continuado hasta nuestros días.

Tradicionalmente, la escalada en La Pedriza ha representado una actividad crucial como estrategia de promoción turística, que ofrece a los visitantes un recurso natural y deportivo que de forma indirecta ha permitido conocer aspectos relacionados con la geología (Carcavilla, 2014). Desde un punto de vista educativo y científico, las vías de escalada que se han abierto, tanto en La Pedriza como en otros lugares del mundo, han resultado ser escenarios idóneos para estudiar la geomorfología de zonas en las resultaría muy complicado hacerlo si no existieran dichas rutas y actividad deportiva (Pozza, et al., 2009; Bollati et al., 2014). Algunos ejemplos de otros países con zonas graníticas y morfología dómica similares a La Pedriza, son el Parque Nacional de Yosemite (EEUU), el Parque Nacional Spitzkoppe (Namibia) o la Reserva Natural Val di Mello (Italia).

Objetivos

Este artículo trata de poner en valor, de manera conjunta, los aspectos geomorfológicos, turístico-deportivos y didácticos que nos ofrece La Pedriza, y que son igualmente extrapolables a otras zonas del mundo con características geomorfológicas similares. Para la consecución de los objetivos propuestos nos hemos basado en el ejemplo del risco del Hueso, que tiene una morfología muy rica en formas superficiales, además de una historia con una amplia tradición alpinística. El carácter descriptivo e interpretativo del artículo, referente a los procesos que han intervenido en el modelado de las superfi-



Fig. 1. Localización y paisaje La Pedriza con indicación de los nombres de algunos riscos emblemáticos.

cies rocosas, hacen del artículo un documento que ayudará al visitante a recorrer este espacio natural y comprender mejor su paisaje. Por otra parte, el trabajo pone en valor la importancia de la geomorfología sobre una actividad deportiva como es la escalada, explicando las causas geológicas que influyen en la facilidad o dificultad de ascender por las diferentes vías o rutas existentes.

EL HUESO O PEÑALARCO

Una pared emblemática

La pared del Hueso, también denominada Peñalarco, define un gran muro de dirección ENE-WSW localizado en las coordenadas $40^{\circ} 46' 08''$ N - $3^{\circ} 52' 17''$ W, a 1.550 m de altitud (Fig. 2). La pared del Hueso tiene una altura de unos 170 m y está situado al norte de una falla que se desarrolla desde el collado de la Dehesilla hasta el collado el Cabrón, que fue definida por Hernández Pacheco (1931). En la parte occidental de esta pared existe una estructura arqueada con forma de columna y morfología de hueso, que da nombre al risco. Esta columna tiene unos 90 m de altura y está separada de la pared principal en su parte central.

Desde las primeras escaladas en La Pedriza, allá por 1860, se tardó bastantes años en afrontar las dificultades que presentaba la pared del Hueso. La primera ascensión que recorre el lomo o arco del Hueso se debe a los alpinistas Fulgencio Casado y Laureano Esteras, en el año 1973, con la denominada "vía Fulgencio". Posteriormente y hasta la actualidad, se han ido abriendo algo más de una veintena de vías (Luján y Zapata, 2005), a las que los escaladores acuden con frecuencia para disfrutar del espectacular entorno que ofrece.

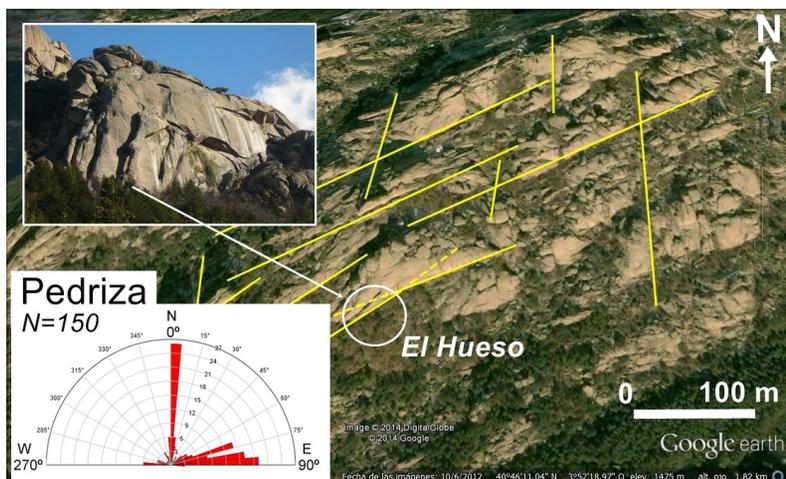


Fig. 2. Localización del Hueso con indicación esquemática de la red de fracturación principal de La Pedriza (Modificado de García-Rodríguez et al., 2014c).

Para abordar los objetivos propuestos y conocer la estructura de la pared así como la distribución de fuerzas que mantienen en equilibrio la columna del Hueso, primero se ha estudiado la red de fracturación local. Después, a una escala de más detalle, se han descrito los rasgos geomorfológicos responsables de su aspecto superficial, que además influyen y condicionan la accesibilidad para escalar esta y otras paredes graníticas de las mismas características.

Red de fracturación y estructura arquitectónica natural

La Pedriza presenta un complejo sistema de fracturas heredadas de las orogenias Varisca y Alpina que son las responsables de la formación de paredes con alturas que varían de unos pocos metros, hasta superar el centenar de metros (Fig.2). Las direcciones de las fracturas medidas en el entorno del Hueso han permitido agruparlas en tres familias:

Fracturas de direcciones predominantes E-W, ENE-WSW. Se trata de un diaclasado curvo con un buzamiento que se verticaliza hacia la base. Forman un conjunto de fracturas paralelas o subparalelas con un espaciado entre ellas que varía de centimétrico a decimétrico. Estas fracturas son las responsables de la orientación principal de la pared del Hueso.

Fracturas de direcciones N-S, NNE-SSW, NNW-SSE. Son fracturas subverticales, planas o curvas. Son perpendiculares a las fracturas E-W, ENE-WSW. Forman parte esencial del conjunto de fracturas que definen y configuran los laterales del arco que forma el Hueso.

Fracturas en su mayoría horizontales o subhorizontales, planas o curvas, con ligeros buzamientos hacia el N o S. Estas fracturas son las principales responsables de los desprendimientos y deslizamientos de lajas graníticas presentes en toda la pared.

La relación e intersección entre las diferentes direcciones de fracturas ha permitido definir un modelo conceptual que explica la actual forma del Hueso. En la Fig. 3 se representa, de forma simplificada, cómo un macizo rocoso con aspecto inicial de paralelepípedo, alcanzaría la morfología actual debido a sucesivos desprendimientos de lajas de roca donde intersectan fracturas ortogonales.

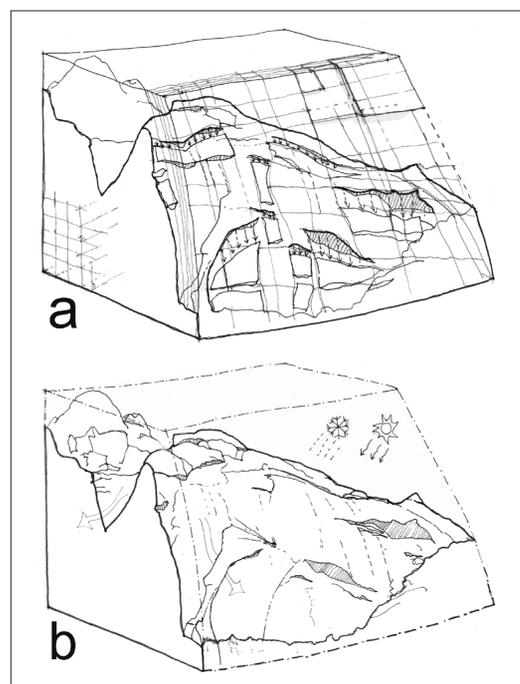


Fig. 3. Esquemas de formación del Hueso. a) deslizamiento de lajas a favor de planos de fractura, b) modelado actual por los agentes meteóricos externos (Modificado de García-Rodríguez et al., 2014c).

Sin duda el rasgo geomorfológico más interesante de esta pared está representado por el arco situado en la parte más occidental de la pared, que presenta forma de columna curvada e inclinada. Esta gran columna tiene una base y zona superior de anchuras que superan los cuatro metros, y una zona central más estrecha que no supera los dos metros.

En la Fig. 4 puede seguirse la explicación de la distribución de esfuerzos que mantiene el arco en equilibrio. La vista frontal del Hueso (Fig. 4a, 4c), con una parte superior muy ancha y pesada, y una zona central muy estrecha y fracturada (fracturas a. y b.), provoca la impresión de que toda la estructura debería volcarse hacia la derecha. Sin embargo es precisamente dicha geometría la que le proporciona su estabilidad. Las grandes masas de piedra en sus extremos, A (suelo) y B (superior), distribuyen las cargas hacia sus apoyos comprimiendo el arco y dotándole de estabilidad (García-Rodríguez et al., 2014c). Por otra parte, las fracturas, todas perpendiculares a la dirección del arco, indican que los esfuerzos se transmiten por compresión, que es exactamente como debe funcionar un arco de descarga. La vista lateral de las Figs. 4b y 4d muestra cómo la parte aparentemente frágil que configura el Hueso se comporta como un arco de descarga capaz de transmitir la componente horizontal de los esfuerzos (que son los que desestabilizan la estructura) hacia el suelo. El ensanchamiento de la base del arco resulta necesario para absorber la componente horizontal de los esfuerzos que llegan al terreno, proporcionando estabilidad. Por último, señalar que la fuerza de rozamiento que se produce en la parte superior de la columna ayuda a dar estabilidad al conjunto.

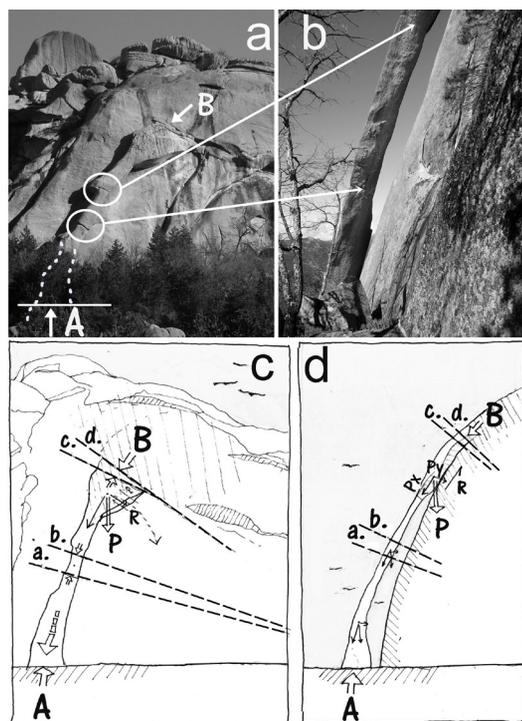


Fig. 4. a y b) Vistas frontal y lateral del Hueso. c y d) Esquemas con la distribución de esfuerzos sobre el arco del Hueso; $R = \mu P_y$; μ : coeficiente de rozamiento del granito; P_y : componente del peso perpendicular al plano de deslizamiento (Modificado de García-Rodríguez et al., 2014c).

Rasgos geomorfológicos superficiales

La superficie de la pared del Hueso presenta algunos rasgos geomorfológicos muy característicos del modelado granítico en general, que son además muy frecuentes en las rocas de La Pedriza (De Pedraza et al., 1989). Los principales elementos geomorfológicos que se han identificado, y que condicionan enormemente el tipo de escalada sobre este tipo de rocas, han sido: superficies endurecidas (SE), microrelieves (MR), descamación superficial mediante micro-lajas (ML), agrietamientos poligonales (AP) y deslizamientos de lajas con la formación de techos (T) (García-Rodríguez et al., 2013; 2014a, b). Además, en los bloques de la parte superior del muro del Hueso, se han reconocido otras formas características de modelado granítico tales como pilas, pilancones o acanaladuras, que no se han estudiado en este trabajo.

Los procesos de alteración superficial responsables del origen de los rasgos geomorfológicos que se estudian tienen relación con el régimen climático y pueden ser de tipo físico y/o químico. Entre los procesos físicos o mecánicos más comunes, estarían los ciclos de hielo y deshielo (Twidale, 1982), así como la desecación de las superficies rocosas debido a la insolación (Robinson y Williams, 1989). En rocas heterogéneas como el granito, los cristales que componen la roca, como por ejemplo el cuarzo y el feldespato, tienen diferentes coeficientes de dilatación térmica y, por tanto, distinta respuesta ante la meteorización por efecto de la temperatura (Gómez-Heras, 2006). Respecto a la meteorización química, las principales reacciones que contribuyen a desagregar la roca son la hidrólisis, la hidratación – deshidratación, y la oxidación. También se ha descrito la actividad de microorganismos como un agente importante que influye en la alteración de la superficie rocosa y desplazado de micro-lajas (Viles y Goudie, 2004).

Endurecimientos superficiales, micro-relieves y micro-lajas

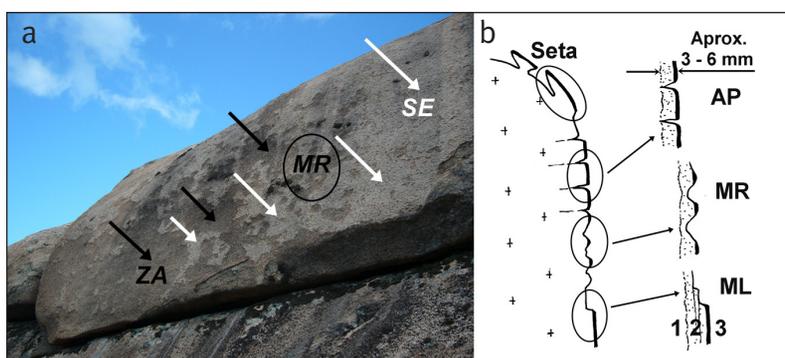
El endurecimiento superficial es un proceso común que crea una superficie externa de mayor dureza y más resistente a la erosión que la parte interior de la roca. El origen de estos endurecimientos es muy discutido y todavía se encuentra en fase de estudio (Dorn, 1998). Dependiendo de las características de la superficie endurecida, su origen puede atribuirse a procesos bien subsuperficiales o bien aéreos. Si el endurecimiento superficial se produce cuando la roca todavía está enterrada, suele estar formado por óxidos de hierro y sílice que precipitan sobre las superficies rocosas o sobre planos de fractura internos. La idea más generalizada sobre el origen de estas costras endurecidas en granitoides se atribuye a soluciones del material meteorizado, que se moviliza por evaporación y capilaridad desde el interior de la roca precipitando en la superficie (Twidale, 1982). La formación de estas costras ayuda a estabilizar la superficie de las rocas ante la erosión aunque, al mismo tiempo que endurecen la parte exterior, tienden a debilitar la zona inmediatamente interior en la que se ha producido pérdida de elementos por migración hacia la parte externa de la roca (Conca, 1985).

Este tipo de superficies endurecidas, ricas en sílice (García-Rodríguez et al., 2015) son muy frecuentes sobre los bloques y paredes de La Pedriza, y representan un rasgo muy característico responsable de la tonalidad clara, color blanquecino y textura lisa que presentan estas rocas.

Cuando se produce la rotura de dichos endurecimientos y la costra de sílice se va desprendiendo, la meteorización avanza hacia el interior de la roca por desagregación granular, creando una superficie más irregular donde alternan zonas con y sin costra, y formando lo que hemos definido como micro-relieves (MR). Las zonas externas de los MR suelen tener tonos claros y gran dureza, mientras que las zonas de valle, al estar más alteradas, son más deleznable y con frecuencia adquieren tonos rojizos, debido a la oxidación del hierro de las biotitas. Además, estas zonas más meteorizadas suelen estar colonizadas por líquenes y/o musgos.

Normalmente, la determinación e identificación de zonas con y sin costra superficial, resulta sencilla mediante la simple observación de visu debido a su color y textura característicos. A veces, cuando la costra apenas alcanza 1 o 2 mm de espesor y/o casi ha desaparecido por meteorización, el empleo del martillo Schmidt (o esclerómetro) puede aportar información adicional que nos ayuda a la determinación. En un trabajo previo (García-Rodríguez et al., 2014a) sobre caracterización de micro-relieves en La Pedriza, donde se utilizó esta instrumentación, se obtuvo que el índice de rebote sobre las zonas con costra tenía un valor de 35, y de 26 en partes más alteradas o de valle. Estos resultados señalaban una diferencia significativa de las características texturales relacionadas con la dureza de las partes internas y externas de los MR. En las zonas no afectadas por MR, el índice de esclerometría presenta los mismos valores que los obtenidos en las partes externas.

Fig. 5. a) Aspecto de un bloque granítico donde alternan superficies endurecidas (SE) de color claro, y zonas alteradas (ZA) sin costra con tonos más oscuros creando micro-relieves. b) Sección transversal esquemática idealizada de una pared rocosa con indicación de todos los rasgos que se estudian; agrietamiento poligonales (AP), micro-relieves (MR), descamación por micro-lajas (ML), roca fresca (1), roca alterada (2) y superficies endurecida (3).



Otro proceso muy común que afecta a las superficies graníticas es la descamación (Fig. 6b) con desprendimiento de micro-lajas (ML) de apenas 2-3 mm de espesor. En este proceso actúan dos mecanismos, la desagregación granular y/o la desagregación de placas, que se hacen activos por procesos de meteorización mecánicos (p.ej. hielo-deshielo), químicos (p.ej. hidrólisis y oxidación) o biológicos (p.ej. líquenes y musgos). Este mecanismo de alteración resulta especialmente efectivo cuando existen micro-fracturas preexistentes paralelas a la pared, que constituyen planos de debilidad sobre los que actúan los procesos antes

citados. En la zona del Hueso este proceso es muy común, en particular en el muro situado al oeste del arco del Hueso.

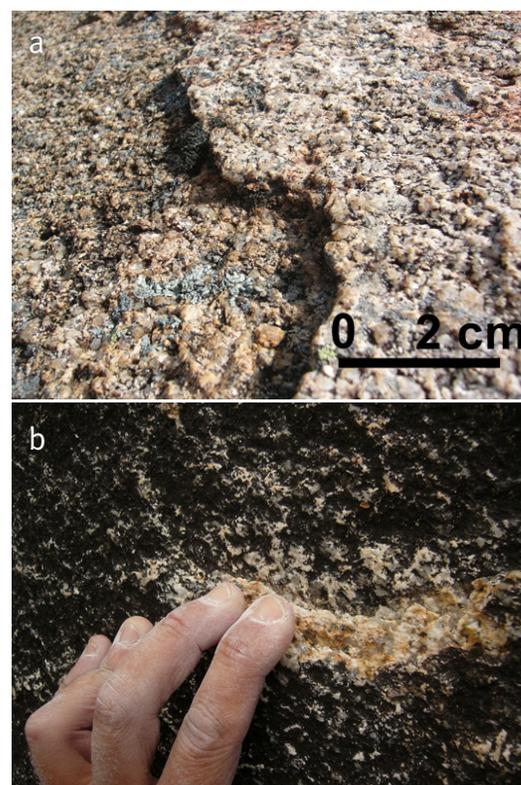


Fig. 6. a y b) Detalles de superficies graníticas en las que se ha producido rotura por descamación de micro-lajas.

Agrietamientos Poligonales

Los agrietamientos poligonales (AP) hacen referencia a un mosaico de placas separadas por fracturas o acanaladuras, con formas poligonales, romboidales, cuadrangulares o irregulares (Fig. 7). Estos agrietamientos pueden afectar a diversos tipos de rocas y son muy frecuentes en los granitoides de La Pedriza (De Pedraza et al., 2014; García-Rodríguez et al., 2014b).

Los AP presentan ciertas particularidades (Leonard, 1929) que pueden atribuirse a las características del granito en una etapa final de la consolidación magmática. Su origen puede relacionarse con movimientos diferenciales entre los planos de fractura producidos por cizalla, que pueden provocar estiramientos y/o acortamientos de la roca, creando una fábrica sobre la superficie de dichos planos que puede iniciar la aparición de las grietas. Vidal Román (1990) asocia el inicio de las grietas poligonales a una etapa rígido-dúctil sin migración de fluidos, que tendría lugar con el magma prácticamente consolidado.

Los polígonos pueden iniciarse como resultado de esfuerzos (compresivos o distensivos) en la superficie de la roca, donde el desarrollo de las grietas incipientes de origen tectónico continúa en condiciones aéreas (Twidale, 2002). Twidale (1982) describe AP sobre superficies curvas relacionadas con esfuerzos compresivos y Riley et al., (2012) estudian este mismo tipo de agrietamientos en el Parque Na-

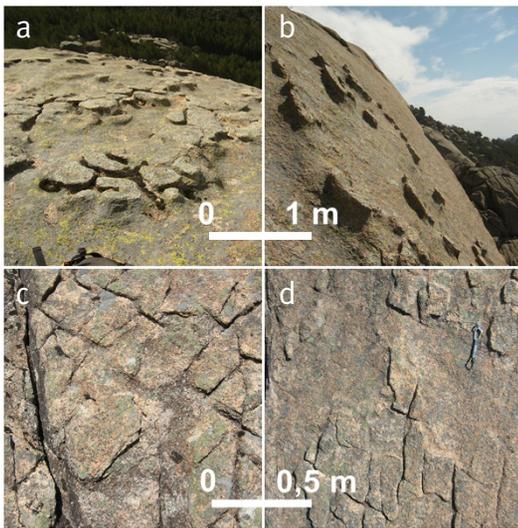


Fig. 7. a y b) Agrietamientos poligonales evolucionados a setas en la parte superior del Hueso, c y d) AP cuadrangulares y rectangulares en el muro de Snoopy (40º 44' 52'' N - 3º 52' 31'' O).

cional de Yosemite, una de las zonas de escalada en granito más importantes del mundo.

Cuando las grietas de las formas poligonales han estado expuestas a la meteorización química durante largos periodos de tiempo, pueden llegar a profundizar varios centímetros y formar placas separadas de la pared que localmente, en La Pedriza, se denominan “setas” (De Pedraza et al., 1989). En La Pedriza es frecuente que las superficies de las placas estén recubiertas de una costra endurecida, con las características descritas anteriormente, que las hace más resistentes a la meteorización y erosión.

De acuerdo con García-Rodríguez et al., (2013, 2014a, b), los AP de La Pedriza y del Hueso en particular (Fig.8) se asocian siempre a planos de fractura. La identificación de AP en diversas zonas y el estudio del grado de alteración que presentan, permiten establecer las edades relativas de su formación, proporcionando una herramienta que contribuye a explicar la secuencia de los desprendimientos de bloques y lajas, responsables de las superficies expuestas actuales. Así por ejemplo, los AP incluidos en la zona 1 de la Fig. 8 presentan un aspecto similar en cuanto a su desarrollo y grado de meteorización, indicando que su formación y posterior alteración responden a un plano de fractura común de la misma etapa temporal, el cual dejó toda esa zona expuesta a los agentes meteóricos en la misma época. Según lo expuesto, puede interpretarse que el lomo del arco del Hueso representa el único vestigio de la superficie original de fractura, que actualmente tiene continuidad con la zona superior. Por otra parte, los AP más desarrollados de todo el muro se localizan sobre planos de fractura curvos de gran radio y poca pendiente en la parte superior de la pared (zonas 2 y 3 de la Fig. 8). Los AP más modernos que presentan menor incisión en sus grietas se localizan en el lateral del arco (zona 4 de la Fig. 8), que se explica por encontrarse sobre un plano de fractura que ha quedado expuesto más recientemente, desde que se desprendió el bloque que ha originado su forma actual.

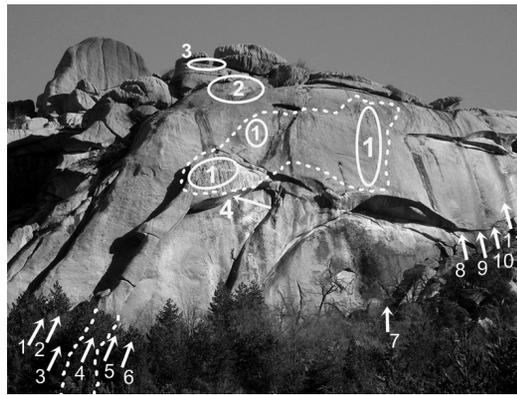


Fig. 8. Localización de las zonas con agrietamientos poligonales mejor desarrollados. Zona 1: Agrietamientos poligonales evolucionados a “setas” en la zona media-alta de la pared y asociados a una misma superficie. Zonas 2 y 3: Agrietamientos poligonales evolucionados a “setas” en la parte alta de menor pendiente. Zona 4: Agrietamientos poligonales asociados a un plano de fractura más actual. La numeración de la base de la pared indica el punto de inicio de vías de escalada (ver los nombres en la Tabla I). Modificado de García-Rodríguez et al., (2014c).

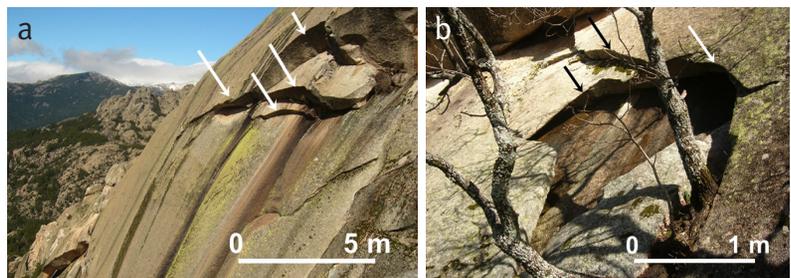
Deslizamiento de lajas y formación de extraplomos

El desprendimiento de lajas y bloques es un proceso común en de ambientes graníticos con sistemas de fracturas más o menos ortogonales entre sí. Es un proceso muy frecuente en La Pedriza y de fácil identificación, que puede observarse incluso en algunos bloques de granito distribuidos en las proximidades de los caminos más frecuentados. El tamaño de estos techos puede oscilar entre menos de un metro y algo más de 5 o 6 metros de anchura.

En el risco del Hueso, los techos representan un rasgo geomorfológico común que podemos encontrar en distintas zonas y a diferentes alturas de la pared. Se trata de un proceso muy habitual en toda la pared, que es en definitiva el responsable de su forma actual. Los techos del Hueso tienen un origen común, que puede explicarse por desprendimiento de grandes lajas o bloques cuando intersectan fracturas de direcciones más o menos perpendiculares entre sí. En particular, de trata de deslizamientos y/o desplomes a favor de planos de fractura, generalmente curvos, que incrementan su verticalidad hacia la base de pared (Fig. 9).

Algunos ejemplos de techos sobre otros riscos emblemáticos con nombre propio en La Pedriza, pueden ser encontrados en el Pájaro, la Cueva de la Mora o el Cancho de los Muertos, entre otros muchos lugares.

Fig. 9. a) Cicatrices de deslizamientos de lajas en la parte superior del Hueso. b) deslizamientos de lajas producidos durante las últimas décadas en la base de la pared.



IMPLICACIONES PRÁCTICAS DE LA GEOMORFOLOGÍA EN LA ESCALADA

Influencia del tipo de superficie rocosa

El tipo de escalada más común que se realiza en La Pedriza es la técnica de adherencia. Esta técnica consiste en progresar con pequeños pasos por superficies prácticamente lisas, aprovechando peque-

ñas protuberancias del terreno que faciliten el avance. Suelen ser paredes con una inclinación de entre unos 50° a 90°, y con dificultades muy variables que dependen, además de la inclinación de la pared, de la presencia o no de los rasgos geomorfológicos estudiados. La combinación entre verticalidad de la pared y la presencia o no de terminados rasgos geomorfológicos, proporciona un inmenso abanico de vías con dificultades de todo tipo. La dificultad de las vías está cuantificada por una escala de graduación. En España se utiliza el Sistema Francés, que va del IVº al 9º, y que para cada vía se asigna por consenso entre la comunidad de escaladores. A partir del Vº, los grados se expresan en números latinos, precisados y subdivididos con las letras a, b y c, que indican una dificultad creciente. Así, por ejemplo, es posible encontrar vías en paredes con inclinaciones de 90° con agrietamientos poligonales muy bien desarrollados con una dificultad de IVº, o bien paredes con inclinaciones de 60°-70° tapizadas por superficies endurecidas que pueden presentar dificultades superiores a 6c.

En relación con la práctica de la escalada, son precisamente las zonas endurecidas ricas en sílice las que presentan superficies más lisas y de menor adherencia, y por tanto a igual pendiente, resultan más difíciles de superar que las que han sido meteorizadas. En estas últimas zonas se generan incisiones de aspecto cóncavo (MR) de pocos milímetros de profundidad, que forman pequeñas plataformas donde apoyar las punteras de los “pies de gato” (nombre que recibe el calzado que se utiliza para escalar) y poder progresar. Por otra parte, en las zonas en las que se ha eliminado la costra de sílice, la oxidación de las biotitas crea una superficie algo más porosa y rugosa que la superficie de la costra, incrementando igualmente la adherencia para la progresión en la escalada (Fig. 10). Cuando la meteorización ha eliminado toda la superficie endurecida, puede ocurrir que la superficie de la roca se haga deleznable. En este caso, los granos minerales pueden desprenderse con facilidad de la superficie rocosa generando inestabilidad y convirtiéndose en un peligro durante la práctica de la escalada.

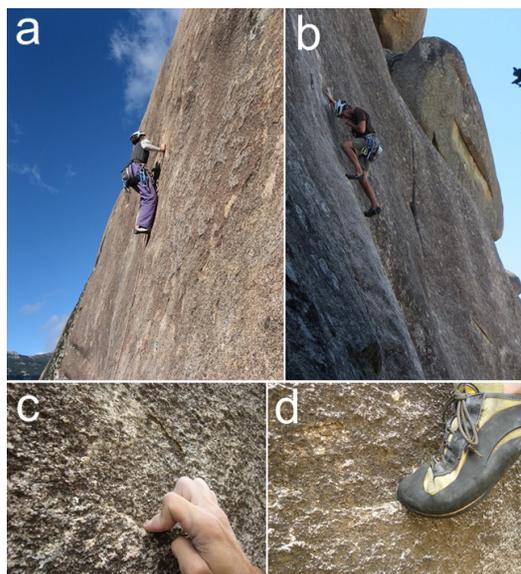


Fig. 10. a) Escalada sobre una superficie donde alternan repisas formadas por descamación de micro-lajas con micro-relieves. b) Escalada sobre una superficie lisa y compacta con endurecimiento exterior. c y d) Detalles de posicionamiento de manos y pie sobre las micro-lajas.

El proceso de descamación de la roca tiene igualmente sus implicaciones en la escalada. Este proceso puede iniciarse, bien sobre una superficie endurecida, o bien sobre una superficie ya alterada. En el primer caso, se forman pequeñas repisas de roca firme, de apenas 2 o 3 milímetros de anchura, que proporcionan firmeza a la roca y facilitan el progreso en la escalada extrema (Fig. 10). En paredes casi verticales y completamente lisas, estas repisas constituyen los únicos elementos que permiten progresar durante la escalada. En el caso de las repisas que se forman sobre superficies alteradas, y aún cuando presenten estructuras similares a las anteriormente descritas, el desplacado de la pared se produce con suma facilidad ya que no disponen del encostramiento superficial que proporciona dureza a la roca. Por este motivo, las repisas pasan a representar elementos que dificultan la escalada y, sobre todo, que crean condiciones de inseguridad durante la progresión.

Las zonas con AP y “setas” representan verdaderas escaleras naturales y magníficos puntos de reposo para los escaladores que se encuentran con estas formas durante su ascenso. De hecho desde los orígenes de la escalada en La Pedriza, la localización de AP ha representado un objetivo importante para el trazado de vías de escalada, que permitieran progresar y acceder a las cumbres sin empleo de medios artificiales. Actualmente todavía existen muchas vías de escalada en las que las “setas” representan un recurso natural donde se realizan reuniones entre largos contiguos. Ejemplos de grandes paredes de La Pedriza donde los AP han representado elementos esenciales para progresar son: el Pájaro, Peñas Cagás o la Pared de Santillana entre otras.

Por último y en relación con la superación de extraplomos formados por caída de bloques, las únicas líneas de debilidad que permiten abordar su escalada son las fracturas que delimitan la zona del bloque desprendido. Con frecuencia la superación de estos techos requiere el empleo de elementos artificiales como por ejemplo la instalación de parabolts.

Actividades formativas y didácticas

Los procesos geomorfológicos que han modelado las rocas de La Pedriza, al igual que las de otros muchos lugares del mundo, son los responsables del aspecto que presentan estos paisajes. Conocer y entender los mecanismos que intervienen en su formación representa un valor cultural y educativo que puede estudiarse desde diferentes niveles de conocimiento.

Actividades para colegios e institutos

Sin necesidad de desplazarse hasta La Pedriza, el estudio de procesos de meteorización y el reconocimiento de las características texturales de los granitos puede realizarse sobre fachadas de edificios, vallas o muros construidos con este tipo de rocas. Con frecuencia, los edificios de colegios e institutos tienen alguna parte construida con estos materiales que resultan zonas idóneas para estas actividades.

Requisitos:

- Una pared de granito localizada en las proximidades del centro educativo.
- Lupa de mano (opcional). Los objetivos geológicos de esta práctica pueden ser alcanzados en zonas con rocas pulidas como suelos, columnas o, en general, lugares recubiertos por placas de este tipo de rocas. Sin embargo, para cumplir los objetivos deportivos es preciso que la roca no haya sido sometida a procesos de acabado de la roca, como el pulido, serrado, apiconado, etc.

Objetivos geológicos:

- Identificar de visu los diferentes minerales que forman el granito.
- Intentar definir porcentajes aproximados de los minerales presentes.
- Identificar procesos de alteración tales como desagregación granular, descamaciones y oxidación de biotitas.
- Reconocer la rugosidad de la roca mediante el tacto y establecer relaciones entre esta rugosidad y el grado de alteración que presenta la roca.
- Reconocer procesos de alteración en las diferentes rocas que forman el muro a partir de su coloración.

Objetivos deportivos:

La actividad propuesta puede complementarse con la participación de un profesor de actividad física y deporte que suministraría unas pautas básicas de escalada en roca. Es importante advertir que la escalada es una actividad peligrosa y siempre debe hacerse acompañada de un adulto, pero esta actividad puede ser un buen inicio para mostrar este deporte y orientar a los alumnos interesados hacia algún rocódromo o club de escala próximos. Todas las prácticas que se proponen en esta actividad deben realizarse a pocos centímetros de altura desde el suelo y, muy importante, con al menos una colchoneta en el suelo. Estas pautas son:

- Identificar pequeñas repisas que puedan utilizarse para colocar las manos y puntas de los pies y poder moverse por la pared.
- Identificar zonas alteradas o endurecidas, que proporcionen seguridad al agarrarse a la roca.
- Identificar superficies lisas o rugosas que faciliten la adherencia al apoyar el pie sobre la pared.
- Explicar cómo son los movimientos básicos que deben realizarse durante la escalada, así como enseñar las normas de seguridad más importantes que deben seguirse en este deporte.

Actividades para cursos formativos de técnicos de escalada

Los títulos de “Técnico Deportivo” y “Técnico Deportivo superior en las especialidades de los Deportes de Montaña y Escalada” están regulados por el Real Decreto 318/2000, de 3 de marzo, donde se establecen los requisitos de acceso a estas enseñanzas. En ellas se imparte un bloque común compuesto por módulos transversales de carácter científico y técnico general, que son coincidentes y obligatorios para todas las especialidades de los deportes de montaña y escalada, donde se hace referencia al medio físico (Geología y Biología).

Este artículo representa, por sí sólo, un docu-

ORDEN	NOMBRE DE LA VÍA	GRADO	RASGO
1	Tito (L2)	V+	SE.
1	Tito (L4)	V	MR
1	Tito (L5)	III+	AP
2	De Madrid al cielo (L2)	6b+	ML
3	Fulgencio (L3)	V	AP (setas)
3	Fulgencio (L4)	V	MR
4	Espolón lunático (L1)	7a	SE
4	Espolón lunático (L3)	V	AP (setas)
5	Clavel rojo (L1)	Ae	T
6	MCD (L1)	7b	SE
7	Lucas (L2)	A2	T
7	Lucas (L4)	IV+	AP
8	Heliotrópica (L1)	7b+	SE
9	Alicantropía del desparramo (L1)	6c+	ML
10	Pabellón de verdetroncha (L1)	7a+	SE
11	Complejo de lagartija (L1)	7a+	SE

mento que los monitores de los cursos de formación en las titulaciones mencionadas pueden emplear con finalidad docente. En este sentido, cuanto mejor se conozcan las propiedades de las paredes y rocas en las que se practica la escalada, el nivel de seguridad será siempre mayor.

La actividad que se propone en este apartado consiste en reconocer las implicaciones geomorfológicas de las paredes de granito sobre las técnicas de escalada. Está destinada únicamente a escaladores con amplia experiencia, y por supuesto, con licencia de la Federación de Montaña o similar.

Como hemos visto, existen numerosos ejemplos de vías de escalada sobre las paredes de La Pedriza que servirían para ilustrar las implicaciones geomorfológicas sobre la práctica de la escalada. Además, estos rasgos no están sólo presentes en las más de 2000 vías de escalada que hay en La Pedriza, sino que son de fácil reconocimiento en los miles de bloques decimétricos que constituyen parte esencial del paisaje de este lugar emblemático. No obstante, ya que este artículo se ha basado en la pared del Hueso como modelo para explicar algunos rasgos geomorfológicos, en la Tabla I se incluye una selección de vías localizadas en dicho risco, con indicación de la dificultad de la ruta y el rasgo geomorfológico presente en ese tramo o largo de vía (p.e. L1, L2, etc.).

Para el lector interesado en reconocer, localizar y visualizar algunas de las formas estudiadas, se recomienda la consulta de las guías de escalada publicadas sobre La Pedriza (Luján y Zapata, 2005; Santamaría, 2008), que en su conjunto ofrecen más de 200 fotografías de paredes geográficamente referenciadas y con indicación de las vías de escalada, en las cuales no resulta muy difícil identificar estas formas.

CONSIDERACIONES FINALES

Este artículo trata de relacionar aspectos geomorfológicos y deportivos de un espacio natural integrado en la red de parques nacionales. En particular, el trabajo incide en cómo la geomorfología

Tabla I. Ejemplos de vías de escalada en el Hueso con indicación del rasgo geomorfológico que condiciona su dificultad. Leyenda: superficie endurecida (SE), micro-relieve (MR), agrietamiento poligonal (AP), micro-laja (ML) y techo (T). La localización de cada una de las vías puede seguirse en la figura 8.

condiciona la escalada deportiva en una escuela donde la práctica de esta actividad se viene realizando desde hace más de un siglo.

El trabajo aborda de forma didáctica el modelo conceptual que explica el aspecto superficial de algunas formas dómicas muy típicas de La Pedriza, basado en el estudio de la red de fracturación y de sucesivos deslizamientos.

La Pedriza representa un entorno muy adecuado para el estudio de procesos gravitacionales y distribución de los esfuerzos que definen la estabilidad de grandes masas de granito. También constituye un lugar excepcional para estudiar los mecanismos de meteorización y el modelado granítico. En particular, el trabajo estudia algunos procesos responsables del aspecto superficial de las rocas, con agrietamientos poligonales, endurecimientos superficiales, micro-relieves y/o desplazado de micro-lajas.

El estudio de la distribución y tipología de rasgos geomorfológicos, como por ejemplo los agrietamientos poligonales, ha permitido establecer relaciones temporales relativas de la secuencia de fracturación de las principales lajas desprendidas de la pared del Hueso. El establecimiento de este tipo de relaciones contribuye a la datación relativa de los deslizamientos y desprendimientos de rocas a favor de planos de fractura de una misma pared o forma dómica.

Debido a que La Pedriza es la escuela de escalada en adherencia más importante de España, se ha explicado la influencia de la geomorfología en las posibilidades de escalada de estas paredes, de aplicación igualmente a otras escuelas de escalada con características similares en otros lugares del mundo.

El trabajo puede ser utilizado por excursionistas, educadores, naturalistas y escaladores, como un documento didáctico que ayude a interpretar el paisaje de La Pedriza. Los rasgos geomorfológicos descritos en este trabajo están presentes en un gran número de rocas de La Pedriza y son de fácil reconocimiento, por lo que no resulta necesario recurrir a técnicas de escalada para su identificación.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al proyecto MINECO (CGL2013-40851-P) "Diversidad, bioindicación y biorremediación de protistas en ecosistemas protegidos de paisaje granítico. Hacia estrategias de conservación de especies" (Microepics). Igualmente agradece la colaboración de los escaladores Juan Luis Salcedo y Javier Aróztegui, con quienes ha compartido numerosas escaladas, y a los revisores Haday López Portillo y Raúl Pérez por sus correcciones y sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

Bernaldo de Quirós, C. (1923). *La Pedriza del Real Manzanares*. Comisaría Regia del Turismo y la Cultura artística. 2ª edición, Madrid, 174 p.

Bollati, I., Zucali, M., Giovenco, C. y Pelfini, M. (2014). Geoheritage and sport climbing activities: using the Montestrutto cliff (Austroalpine domain, Western Alps) as an example of scientific and educational representative-

ness". *Italian Journal of Geosciences*, 133.2. (doi:0.3301/IJG.2013.24).

Carcavilla, L. (2014). Guía práctica para entender el patrimonio geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 22.1, 5-17.

Casado, S. (2014). La geología en los orígenes históricos del conservacionismo español. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 22.1, 19-24.

Castro C. (2005). *Pedriza. Historia de 32 sendas de la vertical*. Ediciones Desnivel, 301 p.

Centeno, J.D. (1989). Evolución cuaternaria de la vertiente sur del sistema central español. Las formas residuales como indicadoras morfológicas. *Cadernos Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 13, 79-88.

Centeno, J.D. y García-Rodríguez, M. (2005). El papel de los procesos gravitacionales en los relieves graníticos: el derrumbe de Peña Sirio (Pedriza de Manzanares, Madrid). *Tecnología@ y Desarrollo*, 3, 1-18.

Conca, J.L. (1985). *Differential weathering effects and mechanisms*. Dissertation Thesis, California Institute of Technology, Pasadena, 251 p.

De Pedraza, J. (1978). *Estudio geomorfológico de la Zona de Enlace entre las Sierras de Gredos y Guadarrama (Sistema Central Español)*. Universidad Complutense de Madrid, Tesis Doctoral, 432 pp.

De Pedraza, J. (1989). La morfogénesis del Sistema Central y su relación con la morfología granítica. Morphogenesis of the central range (Spain) and its relation with granite morphologies. *Cuaderno Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 13, 31-46.

De Pedraza, J., Sanz, M.A y Martín, A. (1989). *Formas graníticas de La Pedriza*. Agencia de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid, 205 p.

De Pedraza J., Carrasco M.R. y Domínguez-Villar, D. (In: Gutiérrez, F. and Gutiérrez, M., eds.) (2014). Geomorphology of La Pedriza Granitic Massif, Guadarrama Range. *Landscapes and landforms of Spain*, 71-80.

De Prado, C. (1975). *Descripción física y geológica de la provincia de Madrid*. Reedicción facsímil del original publicado en 1864. Publicaciones especiales Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 325 p.

Dorn, R.I. (1998). *Rock coatings*. Developments in Earth Surface Processes 6. Elsevier, 417 p.

García-Rodríguez, M., Álvarez de Buergo, M., Fort González, R., Gómez-Heras, M. y Centeno J.D. (2013). Thermal and structural controls on polygonal cracking in granite of La Pedriza de Manzanares (Madrid). *8th IAG International Conference on Geomorphology*, Paris. Poster presentation, Abstracts Volume, 303.

García-Rodríguez, M., Gómez-Heras, M., Fort González, R., Álvarez de Buergo, M. y Centeno, J.D. (2014a). Influencia de los endurecimientos superficiales en el micro-relieve de las superficies graníticas de La Pedriza de Manzanares. Parque Nacional de Guadarrama (España). *Tecnología@ y Desarrollo*, XII, 1-23.

García-Rodríguez, M., Gómez-Heras, M., Álvarez de Buergo, M., Fort González, R. y Centeno, J.D. (2014b). Caracterización de agrietamientos poligonales sobre granito en La Pedriza de Manzanares y en Cenicientos, Madrid (Sistema Central). *Revista electrónica de Medio Ambiente M+A*, 15.1, 22-36.

García-Rodríguez, M., García Rodríguez, M. y Salcedo Miranda, J.L. (2014c). El Hueso de La Pedriza: origen, estructura y rasgos geomorfológicos. *Tecnología@ y Desarrollo*, 12, 1-20.

García-Rodríguez M., Gómez-Heras M., Fort R., Álvarez de Buergo M. (2015). Control térmico de la meteorización

de superficies endurecidas en rocas graníticas (La Pedriza de Manzanares, España). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 67 (3), 533-544.

García-Rodríguez, M. (2015). Erosión y exhumación de bloques graníticos en La Pedriza del Manzanares (España). Evolución histórica a partir de dataciones relativas. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 32 (3), 492-500.

Gómez-Heras, M., Smith, B.J. y Fort, R. (2006). Surface temperature differences between minerals in crystalline rocks: Implications for granular disaggregation of granites through thermal fatigue. *Geomorphology* 78 (3-4), 236-249.

Hernández Pacheco, E. (1931). *Guía de los Sitios Naturales de interés Nacional. Nº 1. Sierra de Guadarrama*. Junta de Parques Nacionales y Patronato Nacional de Turismo. Madrid, 107 p, 4 mapas.

Leonard, R.J. (1929). Polygonal cracking in granite. *American Journal of Science* 18, 487-492.

Lujan, J.L. y Zapata D.A. (2005). *Guía de escalada. La Pedriza*. Editorial Barrabes, 632 p.

Maroto, R.M., Morcillo, J.G. y Villacorta J.A. (2008). Prácticas de campo y tic: una WebQuest como actividad preparatoria de un itinerario en La Pedriza (Madrid). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16.2, 178-184.

Molina-Ballesteros, E., García-Talegón, J. y Vicente-Hernández, M.A. (1997). *Paleoweathering profiles developed upon the Iberian Hercynian Basement: their relationship to the oldest Tertiary surface in Central and Western Spain*. In: Tertiary and pre-tertiary Palaeosurfaces: recognition, reconstruction and environmental implications (Ed.: M. Widdowson). Geological Society of London, Special Publication 120, 175-185.

Ortega Cantero, N. (2014). Montañismo y valoración del paisaje: la Real Sociedad Española de Alpinismo Peñalara (1913-1936). *Ería*, 95, 252 – 279.

Pérez-Soba, C. y Villaseca, C. (2010). Petrogenesis of highly fractionated I-type peraluminous granites: La Pedriza pluton (Spanish Central System). *Geologica Acta* 8, 131-149.

Pozza, P., Beltrando, M., Nardi, M., Luger, F., y Boschis, G. (2009). Geology and sport; the link between rock climbing and geomorphology. Abstracts - *International Geomorphology Conference*, 7.

Riley, P, Murray, A.B. y Tikoff, B. (2012). Geometric scale invariance, genesis, and self-organization of polygonal fracture networks in granitic rocks. *Journal of Structural Geology*, 42, 34-48.

Robinson, D.A. y Williams, R.B.G. (1989). Polygonal cracking of sandstone at Fontainebleu, France. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 33, 59-72.

Salazar Rincón, A, Carcavilla Urqui, L, Díaz-Martínez, E y Jiménez Martínez, R (2015). *Itinerario geológico por La Pedriza del Manzanares: Una experiencia de divulgación del patrimonio geológico*. En Patrimonio Geológico y Geoparques, avances de un camino para todos. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie: Cuadernos del Museo Geominero, 18, 371-376.

Santamaría Navarrete, L. (2008). *La Pedriza. Escalada deportiva*. Ediciones Desnivel, 416 p.

Twidale, C.R. (1982). *Granite Landforms*. Elsevier, Amsterdam, 312 p.

Twidale, C.R. (2002). The two-stage concept of landform and landscape development involving etching: origin, development and implications of an idea. *Earth-Science Reviews*, 57, 37-74.

Vías, J. (2011). *Memorias del Guadarrama. Historia del descubrimiento de unas montañas*. Ediciones la Librería, 319 p.

Vidal Romaní, J.R. (1990). Formas menores en rocas graníticas: un registro de su historia deformativa. *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 15, 317-328.

Viles, H.A. y Goudie, A.S. (2004). Biofilms and case hardening on sandstones from Al-Quwayra, Jordan. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29, 1473-1485. ■

Este artículo fue recibido el día 13 de septiembre y aceptado definitivamente para su publicación el 25 de octubre de 2015.