

Fracturas y pliegues *in situ*

Deformaciones de interés didáctico en los límites madrileños del sistema Central

José Antonio Pascual Trillo

Catedrático de biología y geología de educación secundaria

El sistema Central es una zona idónea para la observación y estudio de estructuras de deformación de las rocas. Se han seleccionado algunos puntos en el contacto serrano madrileño con la cuenca cenozoica del Tajo para observar formas plegadas o fracturas ligadas a la formación alpina de esta cadena montañosa.

PALABRAS CLAVE

- GEOLOGÍA
- DEFORMACIONES DE LAS ROCAS
- SALIDAS DE CAMPO
- SISTEMA CENTRAL

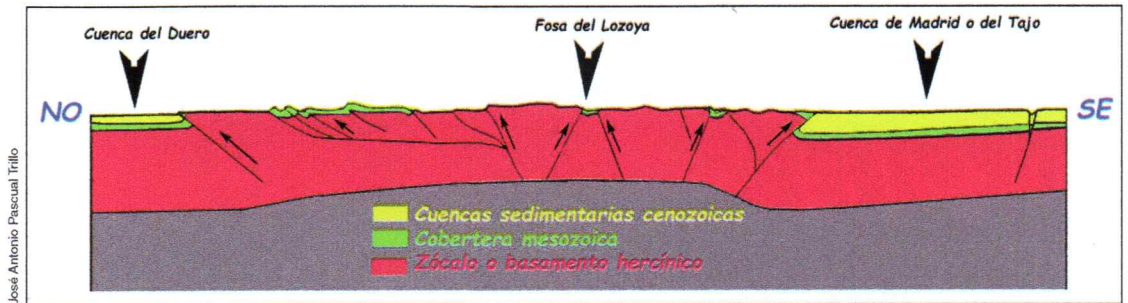


La región madrileña acoge tres grandes unidades geotectónicas y geocronológicas. El macizo Varisco o Ibérico (también Hespérico o Hercínico), de edad paleozoica (era primaria) o prepaleozoica, está bien representado en Madrid por el sistema Central («la sierra»). Los materiales mesozoicos (era secundaria) son, sin embargo, escasos en la región. Finalmente, las cuencas sedimentarias cenozoicas (del Terciario y Cuaternario) ocupan la mayor parte de la superficie madrileña, formando la cuenca del Tajo.

Dos orogenias han deformado las rocas madrileñas a lo largo de su historia geológica. La orogenia

hercínica o varisca fracturó e indujo metamorfismo en la segunda mitad del Paleozoico, provocó intrusiones magmáticas y dejó dos grandes líneas de fractura con cabalgamientos hercínicos que disectan el sistema Central en la región madrileña: la falla de Santa María de la Alameda y la falla en cizalla de la Berzosa. Ambas permiten organizar a esta zona del sistema Central en tres tramos o complejos tectónicos: Gredos, Guadarrama y Somosierra-Ayllón.

Más evidencia visible dejaron las deformaciones alpinas, tanto en las rocas ígneas (granitos y granitoides) y metamórficas (pizarras, esquistos, cuarcitas y gneises) de la «sierra» como en la



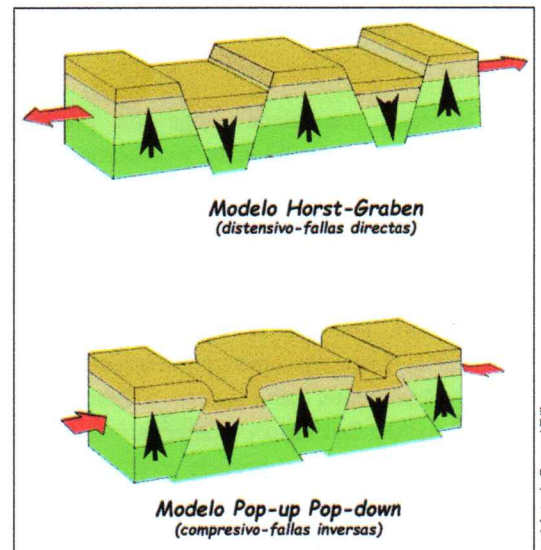
José Antonio Pascual Trillo

Imagen 1. Corte geológico interpretativo del sistema Central

cobertera mesozoica que recubría el zócalo de la misma, eliminado por erosión en gran parte tras la elevación del conjunto durante el Cenozoico. Esta orogenia se manifiesta aún en la península ibérica con carácter débil en la pequeña actividad sísmica que de vez en cuando aún se advierte. A este respecto es interesante reforzar la idea de la relación directa entre sismos y fracturas, tanto en el presente (un terremoto equivale a nuevas fallas) como en el pasado (las fallas pudieron provocar enormes terremotos durante su formación).

La estructura tectónica del sistema Central responde al modelo de «montañas en bloques»: alternancia de bloques elevados y piedemontes situados sobre bloques hundidos o fosas tectónicas, separados entre sí por fallas (imagen 1). Una interpretación clásica del sistema Central, de gran tradición didáctica, es la de asociaciones de *horst* (macizos tectónicos) y *graben* (fosas) separados

por fallas normales casi verticales, indicando un comportamiento distensivo (imagen 2 arriba). Más correcto es, sin embargo, interpretar un sistema de bloques elevados y hundidos separados por fracturas compresivas de tipo cabalgamiento con fallas inversas (también compresiones en cizalla, pero eso lo complica didácticamente), conocidos como *pop-up* y *pop-down* (en cierto modo equivalentes a los *horst* y *graben*, pero bajo esfuerzos compresivos) (imagen 2 abajo).



José Antonio Pascual Trillo

Imagen 2. Asociaciones de fallas de tipo *horst/graben* y *pop-up/pop-down*

Las zonas de contacto entre las tres grandes unidades geológicas son buenos lugares para observar las deformaciones de las rocas

Las zonas de contacto entre las tres grandes unidades geológicas constituyen buenos lugares para la observación de las deformaciones de las rocas y para relacionarlas con la estructura tectónica, la disposición de los materiales y los relieves.

El contacto sierra-cuenca, con o sin presencia de la cobertera mesozoica, dibuja una banda SO-NE paralela al eje de la sierra. Esta es la zona elegida para los puntos de interés didáctico. Al tratarse de un área de cambio litológico, climático, edáfico y ecológico, crece el interés de las posibles visitas didácticas.

PREPARACIÓN DE LAS VISITAS

Aunque no sea el motivo de este artículo, hay que recordar la importancia de la preparación de las salidas de campo. El reconocimiento previo de la zona por el profesorado, así como el trabajo en aula anterior y posterior a la salida, son indispensables, como han puesto de manifiesto numerosos trabajos. Deben haberse trabajado los conceptos de deformación de las rocas y las estructuras tectónicas resultantes con modelos sencillos, reales o virtuales. La familiarización con los lugares a visitar puede facilitarse con mapas topográficos y geológicos accesibles a través del IGME (<https://info.igme.es/cartografiadigital>), y con diversas herramientas como el visor cartográfico del IGME (<http://info.igme.es/visorweb/>) o los servidores y programas Google Earth (<https://www.google.com/intl/es/earth/>) y Google Maps (<https://www.google.es/maps>). Con posterioridad a la visita, será preciso hacer la evaluación de los aprendizajes obtenidos (conceptuales y procedimentales). Dado el valor, la dificultad y el trabajo añadidos que representan las salidas de campo en la enseñanza y aprendizaje de contenidos, es importante el apoyo desde

la organización escolar y las redes de formación o asociaciones de profesores como AEPECT (Asociación para la enseñanza de las ciencias de la Tierra: www.aepect.org).

LA FALLA DE TORRELODONES

En los taludes de la A-6 a la altura de Torreldones, así como en el relieve, se aprecia bien el cambio de materiales entre la sierra (modelada sobre granitos y gneises) y la campiña de arcosas o arenas gruesas, producto de su meteorización y arrastre, que se extiende hacia Madrid. El tránsito litológico y geomorfológico, con un acusado escarpe, indica la presencia de la gran falla de Torreldones que delimita aquí el borde sur del sistema Central en su contacto con la cuenca del Tajo (imagen 3). La falla se extiende desde Colmenar Viejo hasta Talavera de la Reina (Toledo) y es de tipo inverso con un ángulo bajo, es decir, casi vertical, enterrando al zócalo hespérico y a la cobertera mesozoica, donde aún exista, bajo kilómetros de sedimentos procedentes del desmantelamiento de la sierra.

En Torreldones, la falla no es visible en los taludes de la autopista al estar recubierta por una acumulación de cantos y bloques que se le han venido encima, pero en el margen oeste de la A-6 varios senderos permiten recorrer y comprobar el cambio de materiales (arenas-granitos) que indican la ubicación de la falla entre el centro comercial «Espacio de Torreldones» y la

■
Observar las diaclasas permite diferenciar entre los dos tipos de fracturación: con desplazamiento de bloques y sin desplazamiento



Imagen 3. Interpretación panorámica de la falla de Torrelozón

colina que se ubica a poniente, situada ya sobre el zócalo varisco y desde la que se puede llegar, bordeándola, hasta la atalaya de la torre de los Lodones. En esta zona granítica, además, pueden observarse numerosas deformaciones por fractura sin desplazamiento (diaclasas), típicas de los granitos.

La observación de diaclasas permite comprobar las diferencias entre los dos tipos de fracturación: con desplazamiento de bloques (fallas) y sin desplazamiento (diaclasas).



Imagen 4. Banda de calizas cretácicas (coloreada) en la M-600, entre Villanueva de la Calzada y Valdemorillo

COBERTERA CALIZA PLEGADA ENTRE VILLANUEVA DE LA CALZADA Y VALDEMORILLO

La carretera M-600 (Brunete-El Escorial) corta entre las localidades indicadas el punto más occidental en que afloran los materiales carbonatados de la cobertera cretácica al sur del sistema Central (imagen 4).

Estos estratos de arenas, margas y calizas básicamente del Cretácico muestran una acusada inclinación (buzamiento) de unos 30° en dirección SE, indicativa del plegamiento obligado por la orogenia alpina que los deformó plásticamente en una enorme antifórma (imagen 5).

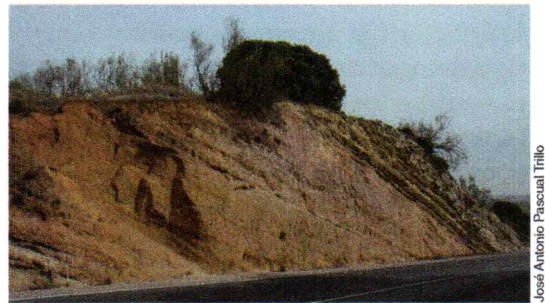


Imagen 5. Talud de la carretera de Valdemorillo con la secuencia de rocas cretácicas desde las arenas basales de la formación Utrillas (izquierda) hasta las calizas marinas (derecha)

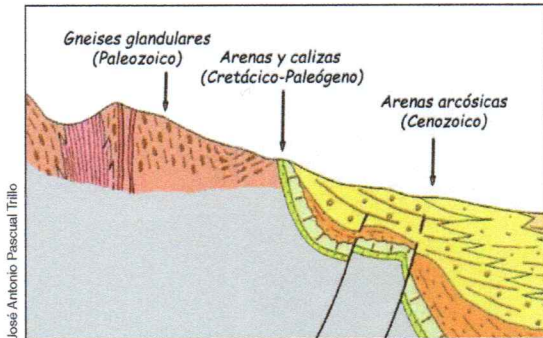


Imagen 6. Corte geológico de la zona (NO-SE) por el que discurre la M-600

Como en todas las estructuras con capas inclinadas, es un lugar adecuado para medir ángulos y direcciones de buzamiento con clinómetro y brújula.

La ubicación de la falla de Torrelodones, sepultada bajo los sedimentos cenozoicos (las arcosas), se puede deducir próxima a este afloramiento (imagen 6).

LAS CUESTAS DE TORRELAGUNA Y PATONES

Al este y norte de Torrelaguna (imagen 7) se encuentra la mejor representación de la cobertera cretácica en la región. Son calizas marinas equivalentes a las que afloran cerca de Valdemorillo, pero con una potencia o grosor muy superior. Muestran el plegamiento alpino que levantó el zócalo inferior, constituido aquí por materiales metamórficos (pizarras, cuarcitas, esquistos y gneises).

Desde el pueblo de Patones de Abajo se asciende (mejor a pie) hasta el llamado Patones de Arriba por un camino bien habilitado que aprovecha la garganta que secciona las cuestras calizas. El

pueblo de arriba se sitúa ya sobre las pizarras ordovícicas del macizo Varisco. El contacto con las calizas (que es de tipo «inconformidad» o disconformidad litológica pues hay un hiato de unos trescientos millones de años entre las pizarras paleozoicas y las arenas, calizas y dolomías cretácicas) está indicado aproximadamente por el camino que se dirige desde la entrada al pueblo hacia el interesante barranco de las Cuevas, al noreste, siguiendo el pie de la vertiente erosionada de las cuestras (imagen 8). Las capas inclinadas permiten medir buzamientos y direcciones, así como interpretar la disposición general de los materiales de las tres grandes unidades geológicas (zócalo paleozoico, cobertera mesozoica y cuenca cenozoica). Sin embargo, la falla que entierra zócalo y cobertera bajo los sedimentos de la cuenca no resulta aquí visible, al estar ubicada bajo los materiales del valle del Jarama (imagen 9).

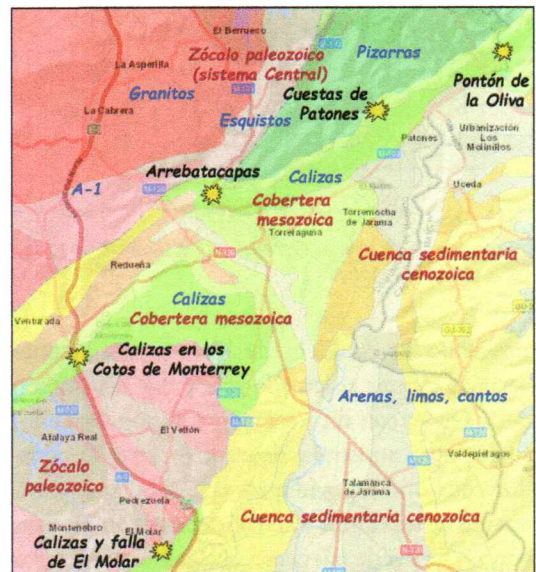
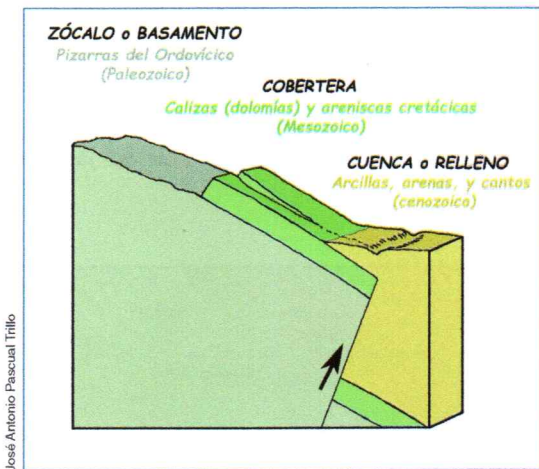


Imagen 7. Ubicación de los puntos seleccionados en Torrelaguna-Patones y A-1



José Antonio Pascual Trillo

Imagen 8. Interpretación panorámica de las cuevas de Patones



José Antonio Pascual Trillo

Imagen 9. Diagrama interpretativo (corte geológico) de las cuevas en Patones

CABALGAMIENTO DE ARREBATACAPAS Y PLEGAMIENTO ANTICLINAL DE LAS CUCHILLERAS EN TORRELAGUNA

La M-131 Torrelaguna-El Berrueco asciende la cuesta cretácica hasta Arrebatacapas (imagen 7), enclave icónico de la geología madrileña donde se ubica una atalaya de origen árabe similar a la de Torrelodones con una vista excelente de las crestas calizas verticalizadas de Las Cuchilleras (buzamiento invertido), cortadas por el arroyo de San Vicente. Las crestas responden al anticlinal cerrado que afecta aquí a la cobertera cretácica. También se puede acceder a la base de las crestas «en lomo de cerdo» (*hogback*) desde el área recreativa de Valgallego (entre los kilómetros 4 y 5 de la M-124 de Torrelaguna a La Cabrera).

Siguiendo la carretera de Torrelaguna-Patones hacia El Atazar se accede a la presa del Pontón de la Oliva, con fácil acceso (indicado desde un amplio aparcamiento señalado (imagen 7), constituyendo otro lugar idóneo para estudiar el buzamiento de las calizas y las estructuras compresivas que, en forma de pliegues, cabalgamientos y fallas inversas, resultan muy visibles y accesibles en las laderas situadas al este de la presa.

Al poco de pasar Arrebatacapas hacia El Berrueco aflora la falla inversa por la que el zócalo hespérico cabalga sobre la cobertera cretácica. Esta se cruza varias veces pues el trazado del cabalgamiento es prácticamente paralelo a la carretera y hay un pequeño retrocabalgamiento que resuelve el anticlinal apretado de Las Cuchilleras. En la curva siguiente a Arrebatacapas se observan ya los materiales metamórficos del Macizo



José Antonio Pascual Trillo

Imagen 10. Interpretación panorámica de la carretera Torrelaguna-El Berruero en torno al puerto de Arrebatacapas

Hespérico, pero al continuar hacia El Berruero pronto reaparecen las arenas y calizas cretácicas, para volver a dejar paso, más adelante y ya definitivamente, a los esquistos, pizarras y cuarcitas hercínicas, visibles en los taludes de la carretera. Las separaciones entre estos materiales corresponden a fallas inversas (imagen 10).

PLIEGUES Y FALLAS EN LA A-1 (MADRID-BURGOS)

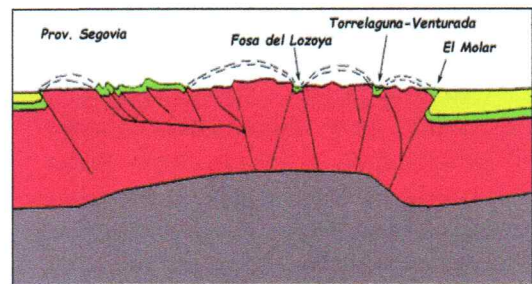
La autovía A-1 atraviesa la cobertera caliza cretácica en varios puntos mostrando en sus taludes espectaculares buzamiento en los estratos.

Los taludes calizos de la autovía a Burgos permiten interpretar la antifforma o gran anticlinal creado por la elevación del bloque tectónico que culmina en el cercano y solitario cerro de San Pedro. La cobertera mesozoica aflora en El Molar (con buzamiento hacia el NO) y reaparece en la urbanización de los Cotos de Monterrey, justo antes del desvío hacia Torrelaguna (buzamiento hacia el SE). Aunque algo más adelante, en Cabanillas de la Sierra, se cruza junto a un sinclinal con cabalgamiento, para interpretar didácti-

camente el comportamiento tectónico general de la cobertera resulta más fácil ignorar ese sinclinal e interpretar la secuencia atendiendo solo a las estructuras de Torrelaguna (imagen 11).

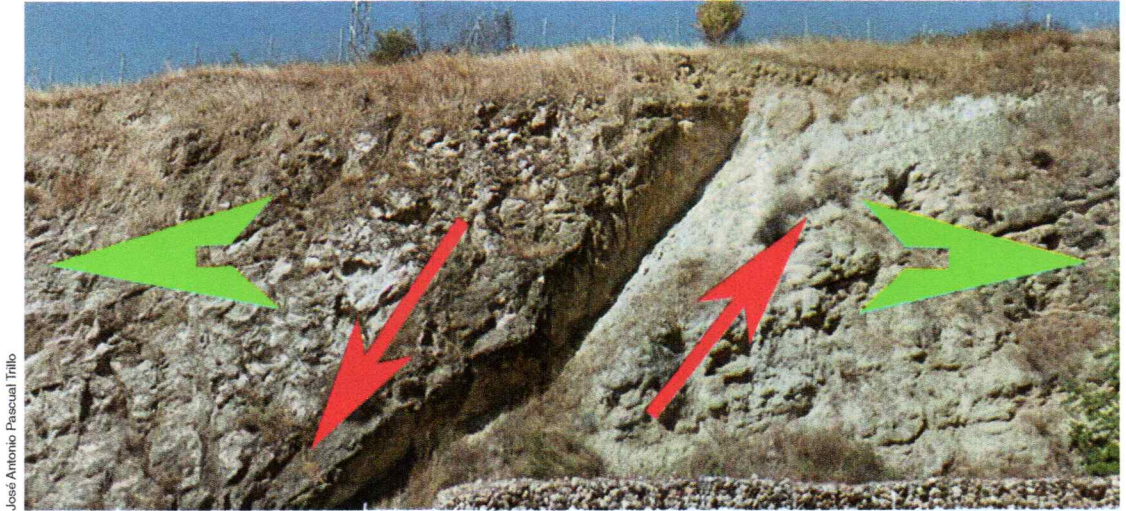
A la entrada de El Molar (tomar el desvío desde la actual A-1) hay una espectacular falla normal sobre dolomías que no forma parte de los cabalgamientos comentados (que son fallas inversas), pero tiene un gran interés didáctico (imagen 12).

Lugares como los referidos permiten observar y trabajar *in situ* lo que aparece en los libros, haciendo real lo que en el papel o en la panta-



José Antonio Pascual Trillo

Imagen 11. Interpretación del plegamiento de la cobertera cretácica (en verde) en un corte NO-SE. Se indican puntos de observación en la vertiente madrileña



José Antonio Pascual Trillo

Imagen 12. Falla del Molar (talud oeste de la carretera) con los movimientos de los bloques y esfuerzos causantes

lla son solo esquemas explicativos. Siempre es posible encontrarlos en algún lugar cercano que permita realizar una visita de campo.

Ver una falla o medir el buzamiento de un flanco en un pliegue real son experiencias educativas de alfabetización científica que ningún alumno o alumna deberían perderse. ◀

Bibliografía

- BRUSI, D.; ZAMORANO, M.; CASELLAS, R. M.; BACH, J. (2011): «Reflexiones sobre el diseño por competencias en el trabajo de campo en Geología». *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, vol. 19, núm. 1, pp. 4-14.
- DE VICENTE, G. (2009): «Guía ilustrada de los cabalgamientos alpinos en el Sistema Central». *Reduca (Geología)*, vol. 1, núm. 1, pp. 1-151. Disponible en línea en: <http://www.revistareduca.es/index.php/reduca-geologia/article/view/53> [Consulta: julio de 2021]
- DÍAZ-MARTÍNEZ, E.; RODRÍGUEZ-ARANDA, J. P. (2007): *Itinerarios geológicos en la Comunidad de Madrid*. Madrid. IGME.

- FERNÁNDEZ-FERRER, G.; GONZÁLEZ-GARCÍA, F. (2017): «Salidas de campo y desarrollo competencial». *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, vol. 25, núm. 3, pp. 295-301.

- PASCUAL TRILLO, J. A. (2010): *Guía práctica del paisaje natural de Madrid*. Madrid. Editorial La Librería.

Dirección de contacto

José Antonio Pascual Trillo

Catedrático de biología y geología de educación secundaria

jap.tierra@gmail.com

Este artículo fue solicitado por ALAMBIQUE. DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES, en febrero de 2021 y aceptado en julio de 2021 para su publicación.