

## La deformación alpina en el sistema central español

G. de Vicente<sup>1</sup>, A. Muñoz-Martín<sup>1</sup>, A. Olaiiz<sup>2</sup>, R. Vegas<sup>1</sup>, L. Antón<sup>3</sup>, S. Martín-Velázquez<sup>4</sup>, J. Giner-Robles<sup>5</sup>, y M.A. Rodríguez-Pascua<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología. F.C.C. Geológicas. U. Complutense, Madrid. [gdv@geo.ucm.es](mailto:gdv@geo.ucm.es)

<sup>2</sup> Repsol Exploración S.A. Madrid. [antoniojose.olaiiz@repsol.com](mailto:antoniojose.olaiiz@repsol.com)

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias Analíticas. F. Ciencias. UNED. [lanton@ccia.uned.es](mailto:lanton@ccia.uned.es)

<sup>4</sup> Departamento de Biología y Geología, Física y Química inorgánica. U. Rey Juan Carlos, Madrid. [silvia.martin@urjc.es](mailto:silvia.martin@urjc.es)

<sup>5</sup> Departamento de Geología y Geoquímica. F. Ciencias. U. Autónoma. Madrid. [jorge.giner@uam.es](mailto:jorge.giner@uam.es)

<sup>6</sup> Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. [ma.rodriguez@igme.es](mailto:ma.rodriguez@igme.es)

### Introducción

La idea del origen compresivo del Sistema Central (SC) se debe a Birot y Solé Sabarís (1954) [1], antes del establecimiento del papel que la tectónica de placas juega en el desarrollo de las estructuras intraplaca. Sin embargo, sus observaciones de campo no fueron tenidas en cuenta y, durante mucho tiempo, el SC fue considerado como una estructura extensiva [2]. Los primeros modelos de estructura del SC, en un contexto compresivo intraplaca, fueron propuestos por Vegas y Suriñach (1987) [3], que calcularon un engrosamiento cortical de 5 km, mientras que Warburton y Álvarez (1989) [4] construyeron una sección transversal con el desarrollo de una tectónica de piel fina asociada a un *detachment* intracortical proveniente de las Béticas y con un acortamiento asociado de 50 km. Esta idea fue también propuesta con menos detalle para el sector portugués, pero en relación a un estilo tectónico de piel gruesa y un acortamiento menor [5]. No obstante, estos trabajos carecían de observaciones de campo. En concreto, la sección de Warburton y Álvarez adolece de numerosas inconsistencias. El estilo tectónico propuesto durante la celebración de la III reunión de la Comisión de Tectónica de la SGE, que es el que se tiene en cuenta hoy en día, fue el de una tectónica de piel gruesa, sin despegues en la cobertera, con la formación de cabalgamientos imbricados de piel fina con implicación del basamento y *pop ups* dentro del basamento varisco de direcciones NE-SO a E-O. El acortamiento asociado se calculó en un 14% (20 km) [6, 7].

### *Características estructurales del SC*

El análisis del relleno sedimentario de las cuencas de Madrid y del Duero y de las huellas de fisión en apatitos [8, 9] indica una evolución tectonosedimentaria muy similar a la de la Cadena Ibérica, con el momento de más intensa deformación durante el Oligoceno-Mioceno inferior. Por tanto, el SC y la Cadena Ibérica pueden considerarse, en conjunto, como un cinturón de deformación intraplaca en el antepaís del orógeno Cántabro-Pirenaico. Al contrario que la Cadena Ibérica, el SC no muestra inversión tectónica ni despegues en la cobertera mesozoica. La convergencia entre Eurasia y África se amortizó en el interior de Iberia mediante una deformación

intraplaca contractiva muy distribuida [10]. Esta convergencia muestra dos etapas bien diferenciadas por la dirección del vector del movimiento relativo entre las placas involucradas: N-S durante el Paleógeno, NO-SE desde el Mioceno superior [11]. Entre ambas etapas la convergencia se ralentiza definiendo un periodo impreciso. De este modo, los esfuerzos intraplaca relacionados con las Béticas fueron muy posteriores (Mioceno superior-Plioceno), y tan sólo retocaron estructuras previas pirenaicas. El SC constituye la mayor elevación topográfica del interior de Iberia (Almanzor, 2592 m.), pudiéndose continuar hasta el margen atlántico portugués. Dada su extensión, esta elevación debe corresponder a un pliegue a escala cortical en relación con pliegues de escala litosférica [12, 13, 14]. Otra característica distintiva del SC es la presencia de un desgarre puro lateral izquierdo paralelo a los cabalgamientos NE-SO, la Falla de Messejana-Plasencia, que parece haber actuado simultáneamente a las estructuras de acortamiento. Se interpreta como un proceso de partición de la deformación mediante el cual, la suma del acortamiento NO-SE en los

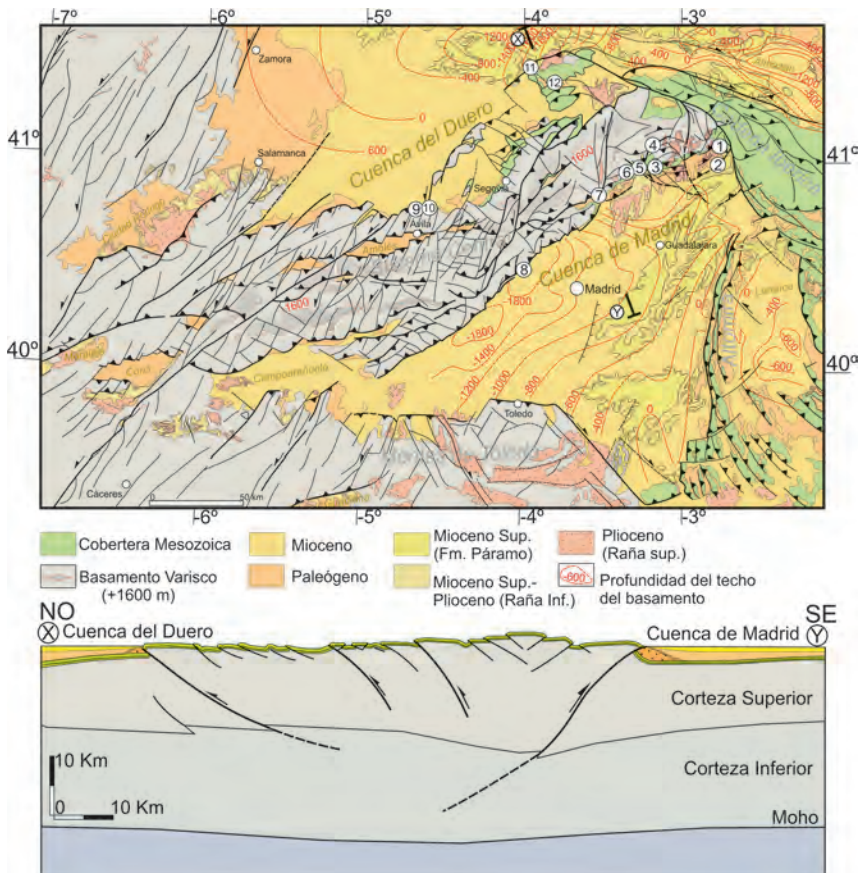


Figura 1.- Mapa tectónico, corte reflejando su asimetría y paradas del SC.

cabalgamientos y del movimiento en dirección NE-SO del desgarre resultan en un acortamiento N-S relacionado con el orógeno Cántabro-Pirenaico [15]. La estructura global de la cadena, en su sector más oriental, muestra una clara asimetría: en el borde sur la deformación se concentra en el cabalgamiento del SC sobre la Cuenca de Madrid, mientras que al norte se desarrollan una serie de cabalgamientos imbricados de piel fina, con el basamento implicado, con saltos verticales individuales menores. El engrosamiento de la corteza bajo el SC oscilaría entre 3 y 5 km [7, 14]. La localización de las paradas propuestas se presenta en la figura 1 y en [kmz](#).

## ITINERARIO GEOLÓGICO Y PARADAS

### ***Parada 1: Huérmeces del Cerro. Zona de enlace con la Cadena Ibérica***

*Localización:* Desde Huérmeces del Cerro hacia el Norte por la GU-148, primer camino a la derecha y subir al resalte que dan las calizas eocenas para tener una vista panorámica hacia el Oeste ( $41^{\circ}3'26.04''\text{N}$ ,  $2^{\circ}47'49.41''\text{O}$ ; [Huérmeces](#)).

*Descripción:* Cabalgamiento NE-SO de dolomías cretácicas sobre calizas lacustres eocenas invertidas en el muro (Fig. 2). El cabalgamiento se sitúa en el flanco norte del anticlinal de Baidés, cuyo flanco sur se describe en la siguiente parada.



Figura 2.- Cabalgamiento del borde sur del SC en Huérmeces del Cerro.

### ***Parada 2: Baidés. Zona de enlace con la Cadena Ibérica***

*Localización:* Desde Baidés, avanzar 3 km hacia el Sur por el camino paralelo a la vía del tren Madrid-Sigüenza en la margen izquierda del río Henares, hasta el Arroyo de Valdelagua. Subir al cerro por su margen izquierda para tener una vista panorámica de su margen derecha. ( $40^{\circ}58'30.29''\text{N}$ ,  $2^{\circ}48'3.76''\text{O}$ ; [Baidés](#)).

*Descripción:* En el núcleo del anticlinal de Baidés, de dirección NE-SO, aflora la unidad de yesos de Jadraque-Cogolludo de edad Campaniense-Eoceno medio. En la margen derecha del arroyo Valdelagua afloran margas y calizas lacustres invertidas del Headoniense-Eoceno Superior de la base de la Unidad de Beleña de Sorbe-Torremocha de Jadraque que pasan, a techo, a una serie más detrítica

(serie pre-tectónica). Por encima, hacia el SE, comienza una discordancia progresiva en materiales de abanicos aluviales de edad Arverniense-Ageniense (sub Unidad Superior) y del Ageniense-Aragoniense inferior (Unidad Neógena Inferior, serie sin-tectónica). La unidad Neógena Superior, post-tectónica, culmina en las calizas del Páramo, visibles en la distancia hacia el SE (Fig. 3).



Figura 3.- Discordancia progresiva en el flanco sur del anticlinal de Baidés.

### ***Parada 3: Beleña. Borde sur. Cabalgamientos imbricados***

**Localización:** Desde la CM-1004 tomar el desvío a La Mierla y Beleña de Sorbe por la GU-188. Pasado La Mierla, y después de una curva amplia a la derecha, se inicia una subida prolongada. En la zona más alta, tomar un camino forestal a la izquierda hacia la ermita de Peñamira. Antes de llegar a la ermita hay un arroyo. El afloramiento está en su margen derecha. (40°57'16.89"N, 3°12'46.97"O; [Beleña](#)).

**Descripción:** Cabalgamiento de pizarras del Ordovícico de la Fm. Rodada sobre la Fm. Utrillas del Cretácico con una dirección N30E y buzando 40° hacia el NO. La roca de falla es poco potente, 10-20 cm. La brecha, con cantos de cuarzo y pizarra tiene una matriz arcillosa rojiza muy característica. (Fig. 4).



Figura 4.- Cabalgamiento del borde sur del SC en Beleña.

### ***Parada 4: Almiruete. Borde sur. Cabalgamientos imbricados***

**Localización:** Tomar la GU-211 desde Tamajón hacia Almiruete y girar a la izquierda. Antes de llegar al arroyo que viene de Almiruete, subir por la cuesta de Cretácico para tener una panorámica (Fig. 5b). Continuar hacia el cementerio. Encima está el afloramiento de la figura 5d. Retornar a la carretera y continuar en dirección a Valverde de los Arroyos hasta el Mirador (Fig. 5a) para tener una buena perspectiva (Fig. 5c). (41°2'42.74"N, 3°13'53.98"O; [Almiruete](#)).

*Descripción:* El cabalgamiento corta perpendicularmente a un anticlinal varisco en las cuarcitas ordovícicas que dan lugar al pico del Ocejón (2053 m), por lo que el salto vertical de las estructuras alpinas supera los 1000 m. Son dos cabalgamientos paralelos, el superior de cuarcitas sobre pizarras muy tectonizadas, y el inferior de estas sobre el Bunt. El buzamiento de ambos es 20-30° y su traza tiene una dirección N50E. El plano del cabalgamiento inferior se aprecia muy bien desde la muela de materiales cretácicos al sur del pueblo, donde el basamento varisco se superpone al Keuper. En el Mirador, el cabalgamiento superior se prolonga dentro del basamento, superponiendo las cuarcitas sobre las pizarras y desarrollando una intensa brechificación. Aquí, en las proximidades del cabalgamiento, los pliegues variscos de eje subhorizontal aparecen verticalizados por la deformación alpina. Desde el Mirador, hacia el Sur, se aprecia una buena panorámica de los cabalgamientos. La ruptura se produce en el sinclinal, no apreciándose arrastra en el muro.

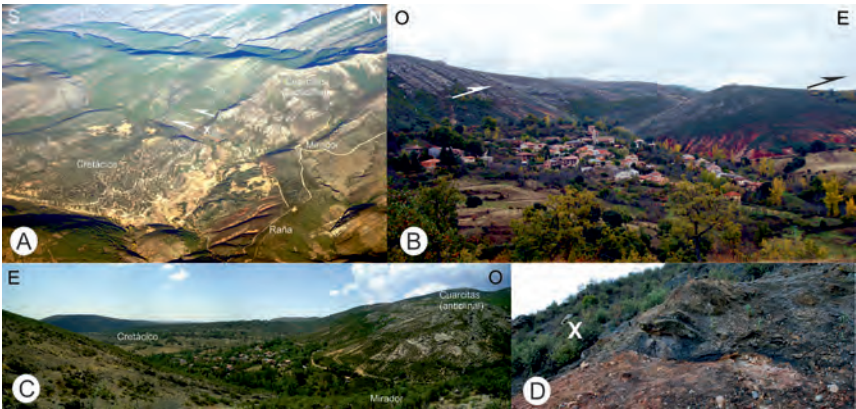


Figura 5.- Cabalgamiento del borde sur en Almiruete. (a) Vista aérea. (b) Vista desde el Oeste. (c) Vista desde el Mirador. (d) Fm. Rodada cabalgando al Bunt en el cementerio.

### ***Parada 5: Valdesotos. Borde sur. Falla de transferencia***

*Localización:* Desde la CM-1004 a Tamajón, tomar la GU-195 hacia Puebla de Valles y Valdesotos. Llegar hasta el final de la carretera. Desde Valdesotos, tomar el camino que sale hacia el NO hasta cruzar por un puente de piedra el arroyo Palancar. Bajar de nuevo hacia el pueblo por su margen izquierda. A la altura de Valdesotos, subir cruzando el sinclinal en materiales cretácicos hasta llegar al cabalgamiento. (40°57'33.01"N, 3°19'30.21"O; [Valdesotos](#)).

*Descripción:* A lo largo del arroyo Palancar aflora un sinclinal en materiales cretácicos y del Bunt de dirección NO-SE, limitado al este por un cabalgamiento y al oeste por un desgarre, ambos paralelos al eje del sinclinal (Fig. 6). La falla buza 40-60° hacia el NE. El material varisco cabalgante es la Fm. Rodada del Ordovícico. Desde el plano de falla y hasta unos 20 m por encima se desarrollan *kink bands*, cuyos ejes son subparalelos al del sinclinal. El desgarre del lado

opuesto no produce arrastre a lo largo de su traza. La dirección de las estructuras es perpendicular a la de los cabalgamientos generalizados en el borde sur del SC. Cabe señalar que la suma de los desplazamientos en el desgarre y en el cabalgamiento responden un acortamiento NO-SE (partición de la deformación). Para observar una panorámica de ambas estructuras, conviene subir por el camino que sale del pueblo hacia el NO hasta ganar cierta cota (Fig. 6b).

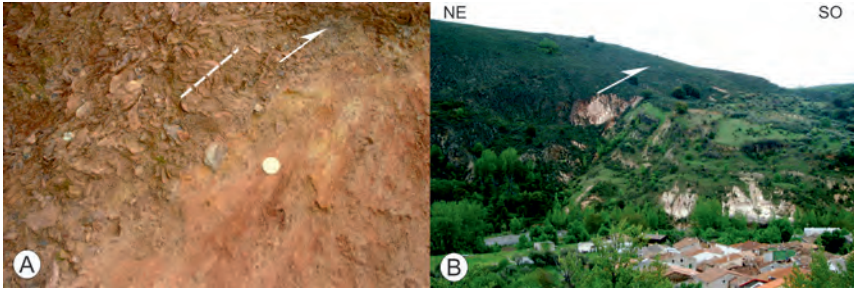


Figura 6.- Cabalgamiento de transferencia en Valdesotos. (a) Detalle. (b) Vista general.

### ***Parada 6: Tortuero. Borde sur. Retrocabalgamientos***

**Localización:** Saliendo de Valdesotos se toma a la izquierda la GU-1065 que termina en Tortuero. Se toma el desvío al polideportivo a la izquierda. El cabalgamiento se observa también, pasado el pueblo a la derecha subiendo por el Cretácico hasta el Paleozoico. ( $40^{\circ}56'2.59''N$ ,  $3^{\circ}21'16.82''O$ ; [Tortuero](#)).

**Descripción:** Se trata de un cabalgamiento de esquistos y pizarras variscos sobre materiales del Cretácico y del Bunt de dirección E-O buzando  $30-40^{\circ}$  hacia el Sur. Es un retrocabalgamiento respecto a la falla principal del borde sur (Fig. 7). Este tipo de estructuras es habitual a lo largo de la terminación hacia el NE del SC, dibujando estructuras en cuña respecto al cabalgamiento principal [13]. El retrocabalgamiento corta en el anticlinal de techo, desarrollándose un sinclinal en el muro, ambos vergentes hacia el Norte (Fig. 7b).



Figura 7.- Retrocabalgamiento en Tortuero. (a) Detalle. (b) Mapa de la zona.

### Parada 7: Arroyo de San Vicente. Borde sur. Retrocabalgamientos

**Localización:** Desde Torrelaguna hacia el Berrueco por la M-131, pasada la subida a la cuesta del Cretácico hasta 1 km hacia el Norte y en arroyo de San Vicente. (40°50'37.91"N, 3°33'31.11"O; [San Vicente](#)).

**Descripción:** Las “cuestas” de Torrelaguna terminan hacia el Oeste en un anticlinal vergente al Norte que cobija en su flanco norte, con más buzamiento, un retrocabalgamiento visible en la carretera, que superpone gneises variscos sobre la Fm. Utrillas (Fig. 8). La estructura es similar a la de la parada anterior, aunque en este caso la ruptura se produce en el flanco y, ambos, sinclinal y anticlinal son visibles en la cartografía.

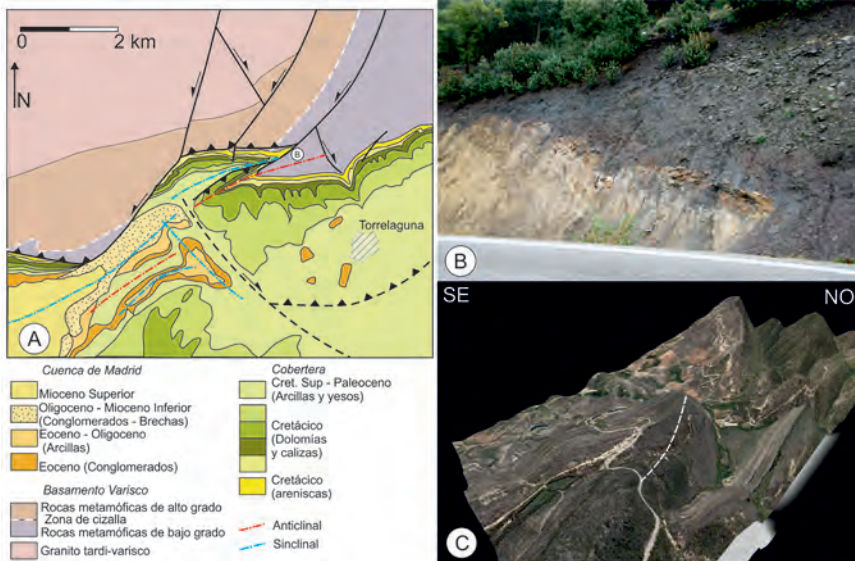


Figura 8.- (a) Mapa de la zona. (b) Cabalgamiento del basamento sobre la Fm. Utrillas. (c) Imagen 3D.

### Parada 8: Villanueva del Pardillo-Las Cuestas. Borde sur. Falla principal

**Localización:** Desde Villanueva del Pardillo, tomar la carretera a la urbanización “Las Cuestas”. Ir hasta el final de la calle del Olivar, hasta una plataforma para dar la vuelta (el cabalgamiento también puede verse en las calles Medianiles y Valle Prado) (40°31'21.13"N, 3°59'13.12"O; [Las Cuestas-Villanueva del Pardillo](#)).

**Descripción:** Hacia el Oeste, la deformación se concentra en un cabalgamiento principal. Aquí el plano de falla es visible con dirección NE-SO y buzamiento de 50° hacia el NO. La falla superpone ortogneises variscos sobre facies proximales de abanicos arcósicos. El tegumento cretácico aparece aquí obliterado. La roca de falla es algo más potente que en otros afloramientos (hasta 40 cm).

**Parada 9: Cardeñosa. Borde norte. Falla principal**

**Localización:** Desde Ávila, por la A-50 hacia Salamanca, tomar el desvío hacia Cardeñosa por la AV-804. Ir hacia el Barrio de Santa Paula, cruzar la vía del tren y llegar al borde de la A-50. El afloramiento se localiza en los márgenes de la autopista. (40°44'26.21"N, 4°45'30.04"O; [Cardeñosa](#)).

**Descripción:** Cabalgamiento de gneises variscos sobre areniscas miocenas de la Cuenca del Duero (alteritas). Su dirección es E-O con un buzamiento muy bajo (10-20°) al Sur (Fig. 9). Los sedimentos de la cuenca buzanan moderadamente al Norte. Se aprecia una discordancia progresiva. El cabalgamiento se ve a ambos lados de la autopista.

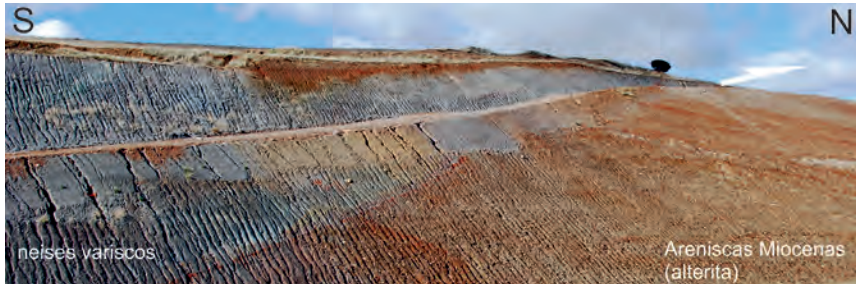


Figura 9.- Cabalgamiento del borde norte sobre la Cuenca del Duero.

**Parada 10: Zarzuela del Monte. Borde norte. Falla principal**

**Localización:** Desde Villacastín hacia Segovia por la N-110, 1 km antes de llegar a Zarzuela del Monte, en el corte de la carretera. (40°48'4.23"N, 4°21'13.97"O; [Zarzuela del Monte](#)).

**Descripción:** Cabalgamiento E-O buzando 20-30° al Sur de un granito varisco sobre arcosas de la Cuenca del Duero. A lo largo del plano de falla se desarrollan pequeños dúplex, tanto en el techo como en el muro (Fig. 10). Se trata de uno de los ejemplos más espectaculares de tectónica intraplaca de piel gruesa – con bajo buzamiento – de todo el SC.



Figura 10.- Cabalgamiento de granito varisco sobre la Cuenca del Duero (con dúplex).



**Parada 11: Fuentenebro. Borde norte. Sistema de cabalgamientos imbricados de Honrubia-Sepúlveda**

**Localización:** En el km 143 de la A1, tomar la BU-202 a Fuentenebro. Tomar uno de los dos caminos que salen hacia el Sur por el arroyo de la Vega de la Torre hasta llegar a una mina abandonada. (41°29'52.78"N, 3°45'20.89"O; [Fuentenebro](#)).

**Descripción:** Se trata del cabalgamiento más septentrional del SC y del sistema de cabalgamientos imbricados de piel fina con basamento implicado del Macizo de Honrubia-Sepúlveda. Se observa la superposición de gneises variscos sobre conglomerados triásicos. La orientación de la falla es N60E/40S (Fig. 11). Hay también fallas inversas conjugadas buzando hacia el Norte y cantos rotos por fallas secundarias en los que se aprecia el sentido de movimiento inverso.



Figura 11.- Cabalgamiento en Fuentenebro (el más septentrional del SC).

**Parada 12: Sepúlveda. Borde norte. Sistema de cabalgamientos imbricados de Honrubia-Sepúlveda.**

**Localización:** En el km 109 de la A1, tomar la SG-234 a Sepúlveda y en El Olmo, la SG-232. Cruzar el pueblo bajo el puente y en la primera rotonda, tomar a la derecha la SG-V-2323 durante 1 km hasta una curva a la izquierda muy cerrada donde hay un mirador al río Duratón ([Sepúlveda](#)). Mirar hacia el Este.

**Descripción:** Se trata de un pliegue de propagación de falla en materiales cretácicos



Figura 12.- Pliegue de propagación en Sepúlveda. Piel fina con basamento implicado.

que dibuja un anticlinal y un sinclinal con trazas axiales N80E vergentes al Norte (Fig. 12). En el núcleo del anticlinal afloran gneises biotíticos cuya esquistosidad regional (E-O buzando 20-40° al Sur) aparece también plegada, no llegando a aflorar el cabalgamiento. Por tanto, el nivel de despegue ha de situarse dentro del basamento (piel fina con basamento implicado). Recientemente se ha publicado una síntesis de la evolución y de la estructura tectónica del Sistema Central Hispano-Portugués [16]. Su lectura resulta recomendable como complemento a todo lo mencionado en este capítulo.

### **Bibliografía**

- [1] Birot, P.; Solé Sabarís, L. (1954) *Investigaciones sobre morfología de la Cordillera Central Española*. CSIC, Inst. Juan Sebastián Elcano, Madrid, 87 p.
- [2] Alía Medina, M. (1976) *Estudios Geológicos* 32, 229-238.
- [3] Vegas, R.; Suriñach, E. (1987) *Geogaceta* 2, 40-42.
- [4] Warburton, J.; Álvarez, C. (1989) En: *Libro homenaje a Rafael Soler*, AGGEP, 147-155.
- [5] Ribeiro, A.; Kullberg, M.C.; Kullberg, J.C.; Manuppella, G.; Phipps, S. (1990) *Tectonophysics* 184, 357-366.
- [6] de Vicente, G.; González Casado, J.M. (eds.) (1991) *Deformación alpina en el Sistema Central Español*. III Reunión de la Comisión de Tectónica de la Sociedad Geológica de España, 140 p.
- [7] de Vicente, G.; Vegas, R.; Martín, A.M.; Silva, P.G.; Andriessen, P.; Cloetingh, S.A.P.L.; Olaiz, A. (2007) *Global Planet. Change* 58(1-4), 335-381.
- [8] De Bruijne, C.H.; Andriessen, P.A.M.; (2002) *Tectonophysics* 349, 161-184.
- [9] de Vicente, G.; Muñoz-Martín, A.; (2013) *Tectonophysics* 602, 259-285.
- [10] de Vicente, G.; Vegas, R.; (2009) *Tectonophysics* 474, 124-143.
- [11] Mazzoli, S.; Helman, M. (1994) *Geol. Rundsch.* 83, 464-468.
- [12] Cloetingh S.; Burov E.; Beekman F.; Andeweg B.; Andriessen P.A.M.; García-Castellanos D.; de Vicente G.; Vegas R. (2002) *Tectonics* 21, 1041-1067.
- [13] Muñoz-Martín, A.; de Vicente, G.; Fernández Lozano, J.; Cloetingh, S.; Willingshofer, E.; Sokoutis, D.; Beekman, F. (2010) *Tectonophysics* 495, 298-314.
- [14] Martín-Velázquez, S.; de Vicente, G. (2012) *Tectonics* 31, DOI: 10.1029/2011TC002954.
- [15] de Vicente, G. (2009) *Geogaceta* 46, 23-26.
- [16] de Vicente, G.; Cunha, P.P.; Muñoz-Martín, A.; Cloetingh, S.A.P.L.; Olaiz, A.; Vegas, R. (2018) *Tectonics* 37, <https://doi.org/10.1029/2018TC005204>