

Dirección de transporte de los cabalgamientos del sistema de Larra en la sección de Aragüés (Sierras Interiores, Pirineos centrales)

Thrust transport direction of the Larra system in the Aragüés section (Sierras Interiores, Central Pyrenees)

Pilar Muniesa y Carlos L. Liesa

Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, España.
pmuniesa@gmail.com, carluis@unizar.es

ABSTRACT

From the study of kinematic indicators (slickenside lineations, S-C structures, and minor thrust-related folds) recognised on the thrust surfaces of the WNW–ESE trending thrusts of the Larra System in the Aragüés section (Sierras Interiores, Central Pyrenees) two thrust transport directions have been inferred: a main direction towards the SSW to S and a minor one towards the SW to WSW. These results, and other regional evidence, allowed us to propose the hypothesis of an anticlockwise rotation of the transport direction during the emplacement of the Aragüés thrust system.

Key-words: Aragüés thrust system, kinematic indicators, thrust transport direction, thrust kinematics.

Geogaceta, 61 (2017), 91-94
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Introduction

Existen numerosos trabajos que estudian la estructura y evolución de las Sierras Interiores en la zona surpirenaica central (p.e., Labaume *et al.*, 1985; Teixell, 1992, 1996; Teixell y García-Sansegundo, 1995; Izquierdo *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2013). La mayor parte de estos trabajos analizan la estructura, fundamentalmente a escala macroestructural a partir de cartografías y cortes geológicos, caracterizando la geometría general de los distintos sistemas de cabalgamientos, como el de Larra (Teixell, 1990; Teixell y Koyi, 2003) y proponen una evolución de la estructura a partir de las relaciones de corte entre macroestructuras y de la relación de éstas con la foliación asociada al plegamiento. Sin embargo, y a pesar de la importancia de la tectónica de cabalgamientos en la región, el estudio de la cinemática (la dirección de transporte) de los cabalgamientos ha sido, por lo general, poco investigada. Así,

para el Sistema de Larra en las Sierras Interiores se admite una dirección de transporte general hacia el SSW, basada en la observación de estrías N017°E en uno de los planos de cabalgamiento de la sección de Aragüés o del valle del río Osia (Teixell y Koyi, 2003) y en líneas de *cutoff* de dirección N100°E en la sección del río Aurín (Rodríguez, 2011). En este trabajo se caracteriza, a escala de afloramiento, la dirección de transporte de los cabalgamientos del sistema de Larra en la sección de Aragüés (Fig. 1) y se discuten dichos resultados en el contexto de la evolución cinemática propuesta a escala macroestructural.

Metodología

La dirección de transporte de los cabalgamientos ha sido inferida a partir del análisis en proyección estereográfica (*software Stereonet*; versión 8.9.2; Allmendinger, 2011) de indicadores cinemáticos observados y medidos

RESUMEN

A partir del estudio de indicadores cinemáticos (estrías, estructuras S-C y pliegues menores asociados) reconocidos en los cabalgamientos WNW–ESE del Sistema de Larra en la sección de Aragüés (Sierras Interiores, Pirineos Centrales) se han inferido dos direcciones de transporte: una mayoritaria hacia el SSW a S y otra minoritaria hacia el SW a WSW. Estos resultados, y otras evidencias regionales, nos han permitido proponer la hipótesis de una rotación antihoraria de la dirección de transporte durante el emplazamiento del sistema de cabalgamientos de Aragüés.

Palabras clave: Sistema de cabalgamientos de Aragüés, indicadores cinemáticos, dirección de transporte, cinemática de cabalgamientos.

Recepción: 15 de julio de 2016
Revisión: 3 de noviembre de 2016
Aceptación: 25 de noviembre 2016

sobre el propio plano principal o en sus proximidades. En cada afloramiento estudiado (estaciones E1 a E6 en Fig. 2), además de la orientación de las capas en los bloques superior e inferior del cabalgamiento, se midieron, según los casos, la orientación del plano de cabalgamiento y cabeceo y sentido de movimiento de las estrías, los planos de cizalla (C) y foliación (S) en estructuras S-C, o pliegues menores aso-



Fig. 1.- Situación del sistema de cabalgamientos de Aragüés (recuadro discontinuo) en el orógeno Pirenaico.

Fig. 1.- Location of the Aragüés thrust system (discontinuous square) in the Pyrenean orogen.

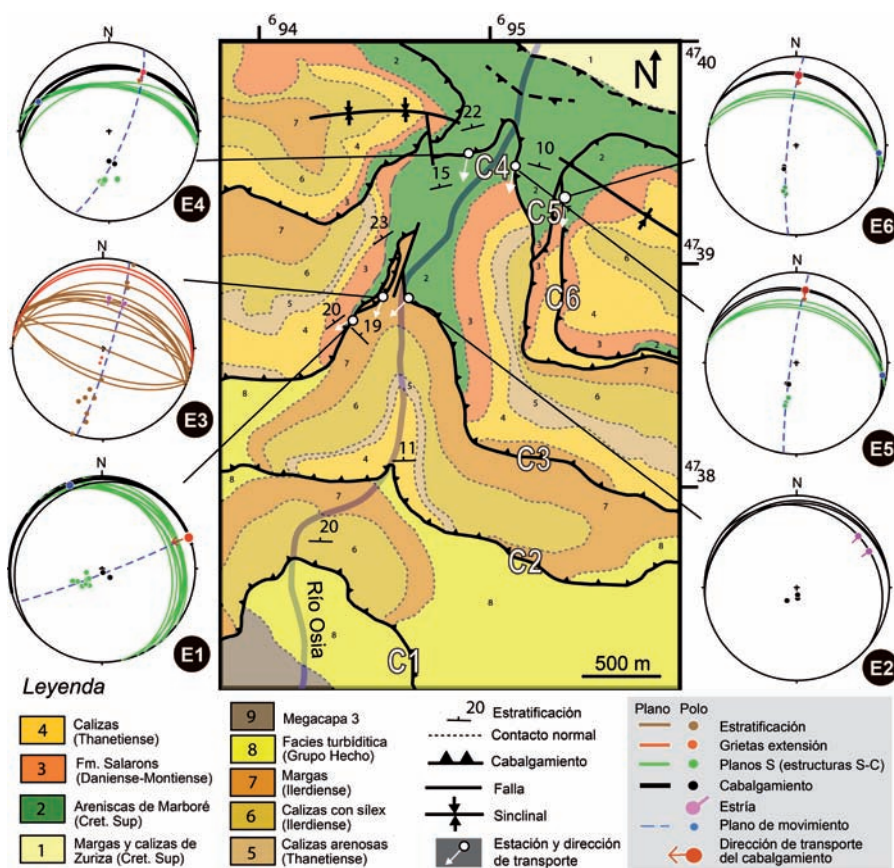


Fig. 2.- Mapa geológico del sistema de cabalgamientos de Aragüés (simplificada de Teixell y Koyi, 2003) con la localización de las estaciones estudiadas (E1–E6) y análisis en proyección estereográfica (hemisferio inferior) de los indicadores cinemáticos. Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Geological map of the Aragüés thrust system (modified from Teixell and Koyi, 2003) with the location of studied sites (E1–E6) and the analysis in stereographic projection (lower hemisphere) of the kinematic indicators. Colour figure in the Web. See color figure in the web.

ciados al movimiento. Las estrías sobre el plano de cabalgamiento proporcionan una evidencia directa de la dirección de transporte (p.e., Liesa, 1999; Simón y Liesa, 2011). En las estructuras S-C, el vector de transporte sobre el plano de cizalla es tomado como la normal a la línea de intersección con los planos de foliación (Marshak y Mitra, 1988, p. 235). En los pliegues menores, la dirección de transporte queda definida por el plano de movimiento del pliegue y su vergencia.

El sistema de cabalgamientos de Aragüés

La sección de Aragüés o del río Osia está ubicada al norte de Aragüés del Puerto, en el sector centro-occidental del Pirineo Aragonés (Fig. 1). Los materiales que afloran comprenden desde el Cretácico Superior hasta el Eoceno (Fig. 2) (p. ej., Teixell *et al.*, 1994; Teixell y Koyi, 2003). Las unidades cretácicas incluyen la Fm. Margas y Calizas de Zuriza y la Fm. Areniscas de Marboré. Los materiales cenozoicos

incluyen, en la parte inferior, un grupo carbonatado (unidades 3 a 7 en Fig. 2) y, en la parte superior, una potente serie de carácter turbidítico (Grupo Hecho o "flysch eoceno surpirenaico") de edad llerdiense–Luteciense (Puigdefàbregas *et al.*, 1975).

La tectónica de este sector ha sido caracterizada por dos etapas (Teixell, 1990; Teixell y García-Sansegundo, 1995; Rodríguez, 2011; Teixell y Koyi, 2003): la generación de un sistema imbricado de cabalgamientos (*Sistema de cabalgamientos de Aragüés*, Teixell y Koyi, 2003) asociado al cabalgamiento de Larra (Eoceno medio) y el desarrollo de grandes pliegues con foliación de plano axial que lo deforman y que se han relacionado con el emplazamiento de la lámina de Gavarnie (Eoceno Sup.– Oligoceno Inf.).

En la sección de Aragüés se reconocen seis cabalgamientos imbricados (C1 a C6 de Sur a Norte, Fig. 2) que, con orientación WNW-ESE, afectan a las areniscas cretácicas de Marboré y a materiales calcáreos y turbiditas cenozoicas

y cuyos planos convergen en el cabalgamiento basal de Larra situado en la Fm. Zuriza (Teixell, 1990, 1992). Los cabalgamientos, sobre todo los situados más al norte, están plegados (p.e., sinclinal de Bernera) y basculados hacia el sur durante la segunda etapa de deformación antes descrita (Teixell y García-Sansegundo, 1995; Teixell y Koyi, 2003).

En detalle, los cabalgamientos tienen una relación de rampa de bloque superior sobre rampa (C3, C4 y C5) o rellano (C1 y C2) de bloque inferior, con ángulos de rampa normalmente bajos (< 20°, Teixell y Koyi, 2003) en las areniscas cretácicas (Fig. 3A) y espectaculares pliegues de propagación en los materiales calcáreos terciarios (Alonso y Teixell, 1992). En los bloques inferiores aparecen apretados sinclinales vergentes al sur, con planos axiales subhorizontales (Fig. 4A).

Dirección de transporte de los cabalgamientos

Debido a lo escarpado del terreno o al recubrimiento por canchales o vegetación (cabalgamientos 1 y 2), se observaron datos cinemáticos en tres cabalgamientos. En el cabalgamiento C3 se tomaron tres estaciones de datos (E1–E3), en el C4 dos (E4–E5) y en el C6 una (E6) (Fig. 2). En los afloramientos estudiados afloraban bien los planos principales de cabalgamiento y/o estructuras asociadas.

Cabalgamiento C3

Las estaciones E1 y E2 se sitúan sobre el plano principal, una a cada lado del valle, y la tercera (E3) en un plano de cabalgamiento menor (C3.1) situado por debajo del principal (Figs. 2 y 3A).

En la *Estación E1* (Fig. 2) el plano de cabalgamiento tiene una dirección N075°E y suave buzamiento (5°) al norte, orientación que no se corresponde con la dirección general WNW-ESE del sistema de Larra. Pone en contacto las areniscas cretácicas de Marboré del bloque superior (orientadas 054/20 NW) con margas llerdienses del bloque inferior (130/19 N). Ambos bloques muestran una geometría de rampa de bajo ángulo con respecto al plano de cabalgamiento (Fig. 3A). A lo largo del plano principal se han reconocido en varios puntos estructuras S-C poco desarrolladas que dibujan cuerpos sigmoidales (Fig. 3B). Los planos de foliación (S) tienen direcciones en torno a N140°E, buzando 15–30° hacia el NE y están cortados por planos de cizalla (C) subhorizontales (este-

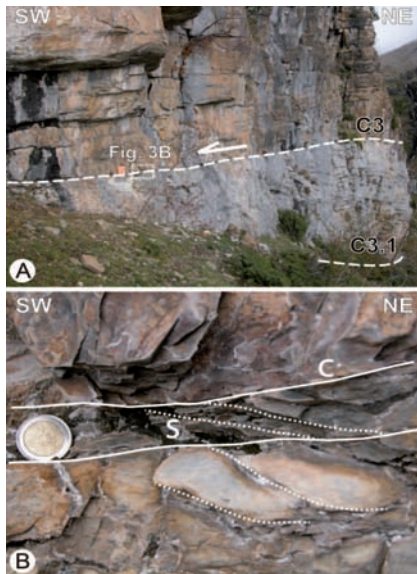


Fig. 3.- A) Cabalgamiento C3 en la estación E1. B) Detalle del plano de cabalgamiento con estructuras S-C asociadas al desplazamiento. Ver figura en color en la web.

Fig. 3.- A) Thrust 3 in the station E1. B) Detail of the thrust plane with S-C structures. See color figure in the web.

reograma E1 en Fig. 2). Estas fábricas S-C indican una dirección de transporte del bloque superior hacia el WSW (N250°E).

En la Estación E2, el plano principal de cabalgamiento, con una orientación 085/09 N, aflora unos metros más abajo que en E1 y pone en contacto los mismos materiales y con las mismas relaciones geométricas descritas en E1. En este caso, no se reconoció ningún criterio cinemático sobre su plano, pero sí se reconocieron en un plano de cabalgamiento menor, de escala métrica, situado unos pocos metros por encima de él, que cortaba en rampa las capas de areniscas de Marboré. La dirección y buzamiento de este plano (128/14 N) es más acorde con la orientación estructural general, y estrías bien desarrolladas, con cabeceos de 65–75°E y sentido de movimiento inverso, indican una dirección de transporte hacia el SW a WSW (N230–244°E) (E2, Fig. 2).

En la Estación E3, situada en el plano de cabalgamiento C3.1, no se reconoció el plano principal pero sí un pliegue de propagación en su bloque superior vergente al sur afectando a calizas grises ilardienses, y que tenía asociadas estrías capa sobre capa en los flancos y grietas de extensión (T) en la charnela externa. A partir de estas estructuras y de los planos de estratificación de las capas plegadas, se ha reconstruido el plano de movimiento del pliegue (E3, Fig. 2) y una dirección de transporte tectónico hacia el SSW (N200°E), que es asumida para el citado cabalgamiento.

Cabalgamiento C4

Las estaciones E4 y E5 se sitúan sobre el plano principal, cada una en un margen del valle (Fig. 2).

En la Estación E4, el cabalgamiento corta las areniscas cretácicas de Marboré (Fig. 2). El plano de cabalgamiento, fácilmente distinguible en el afloramiento, tiene una dirección N085°E y un buzamiento de 30° al N, y corta en rampa de bajo ángulo las capas de areniscas tanto del bloque superior (065/22 N) como del inferior (070/15 N). Este plano de cabalgamiento tiene asociada una fábrica S-C bien desarrollada (Fig. 4B), con planos de foliación S que buzaban moderadamente hacia el norte y planos de cizalla C de menor buzamiento (estereograma E4, Fig. 2), que indica una dirección de transporte hacia el SSW (N204°E).

En la Estación E5, el plano del cabalgamiento C4 es muy neto y también corta las areniscas de Marboré (Fig. 4A). El plano principal tiene una orientación 112/20 N y las capas del bloque superior (115/10 N) e inferior (102/05 N) tienen buzamientos menores. En este caso, también se reconocieron estructuras S-C bien desarrolladas (Fig. 4C), que permitieron deducir una dirección de transporte hacia el S a SSW (N187°E; estereograma E5 en Fig. 2).

Cabalgamiento C6

En este cabalgamiento, de peor acceso, sólo se ha estudiado una estación (E6), situada en la margen izquierda del valle (Figs. 2 y 4). Asociadas al plano de cabalgamiento principal, de dirección N120°E y buzamiento 22°N, se han observado estructuras S-C de deformación por cizalla, con orientaciones muy parecidas a las descritas en la estación E5 pero, en este caso, con geometrías muy sigmoidales. Estas estructuras (estereograma E6, Fig. 2) indican una dirección de transporte hacia el S (N182°E).

Discusión

El análisis de los indicadores cinemáticos (estrías, estructuras S-C) observados sobre el plano de cabalgamiento principal o en sus proximidades ha permitido inferir direcciones de transporte para los cabalgamientos del sistema de Aragüés hacia el SSW a S (direcciones N182–204°E; cabalgamientos C3.1, C4 y C6) y, en menor medida, hacia el SW a WSW (direcciones N230–250°E; cabalgamiento C3) (Tabla I).

Una dirección de transporte hacia el SSW ya había sido interpretada por Teixell y Koyi (2003) a partir de la observación de estrías

orientadas N017°E en la base del cabalgamiento 3 (nuestro C3, Tabla I) y de la orientación general WNW–ESE a E–W de las líneas de *cutoff* de contactos estratigráficos y de entroncamiento de los propios planos de cabalgamiento, dirección que fue asumida para el emplazamiento de todo el sistema de cabalgamientos de Aragüés. Nuestros datos apoyan esta dirección de transporte principal hacia el SSW a S, que también ha sido deducida para los cabalgamientos C3.1, C4 y C5.

La dirección de transporte hacia el SW a WSW (N230–250°E) inferida para el cabalgamiento C3 parece estar también justificada porque ha sido reconocida en dos estaciones (E1 y E2) y por existir estrías bien desarrolladas en la estación E2 sobre un plano de dirección N128°E. Además, otras direcciones de transporte hacia el SW (N225°E) han sido inferidas en rampas de cabalgamiento asociadas al cabalgamiento basal de Larra en las localidades de Pierre-Saint-Martin y Refugio de Belagua (Teixell *et al.*, 2000) situadas unos 10 km al norte, ya en la Zona Axial. Por otro lado, la orientación NW–SE (N138°E) de la línea de *cutoff* del cabalgamiento más septentrional

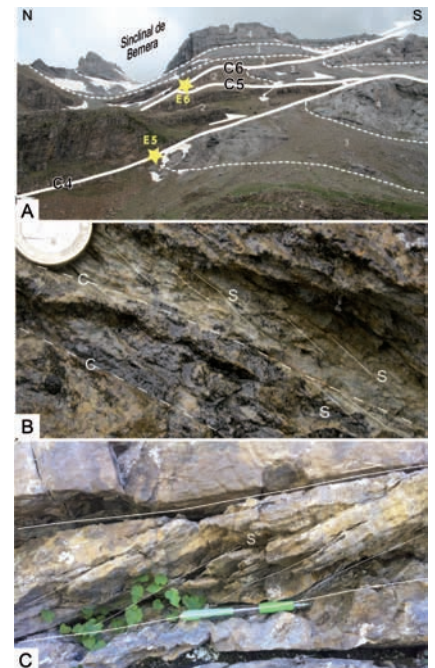


Fig. 4.- A) Geometría de los cabalgamientos C4, C5 y C6 y localización de las estaciones E5 y E6 (números 1–4 se refieren a las unidades estratigráficas de la figura 2). B) y C) Estructuras S-C desarrolladas en el plano de cabalgamiento C4 en las estaciones E4 y E5, respectivamente. Ver figura en color en la web.

Fig. 4.- A) Geometry of the thrusts C4, C5 and C6 and location of sites E5 and E6 (numbers 1–4 refers to stratigraphic units of figure 2). B) and C) S-C structures developed within the thrust C4 at sites E4 and E5, respectively. See color figure in the web.

(C6 en Tabla I), fue interpretada por Teixell y Koyi (2003) como resultado de la reducción del desplazamiento del cabalgamiento hacia el oeste. Ahora bien, la diferencia de desplazamiento que se deduce de sus cortes (unos 150 m) sólo justifica una ligera rotación horaria (unos 10°) de la línea de *cutoff*, de modo que su orientación original (N128°E) seguiría próxima a NW–SE. Por tanto, una explicación alternativa sería que dicha orientación se debiera a que dicha rampa frontal se formara con una dirección de transporte distinta y próxima a SW. Por otro lado, la dirección N250°E inferida en la estación E1, algo girada con respecto a la dirección de transporte SW, puede ser interpretada probablemente como una dirección local resultado de un movimiento conducido en una rampa oblicua y/o de un giro horario de la dirección original debido a la deformación producida por el cabalgamiento menor C3.1 situado bajo este, como lo sugiere la orientación anómala (WSW–ENE) del plano de cabalgamiento en este punto.

Con todo, estos resultados sugieren que la historia de emplazamiento del sistema de cabalgamientos de Aragüés, y también del cabalgamiento de Larra, es más compleja de lo descrita hasta ahora, reconociéndose dos direcciones de transporte distintas (SSW a S y SW). La cronología entre dichas direcciones no se ha podido establecer en afloramiento, probablemente porque los últimos movimientos borraron los indicadores cinemáticos previos, impidiendo observar su relación de corte. Ahora bien, algunos argumentos permiten proponer la hipótesis de un giro antihorario de la dirección de transporte desde el SW hacia el SSW y S. En un sistema de cabalgamientos es habitual que éstos sigan una secuencia de emplazamiento de bloque inferior (Coward, 1994), de modo que los más jóvenes se sitúen hacia la cuenca de antepaís, secuencia que ha sido propuesta para el sistema de Larra (Labaume *et al.*, 1985; Teixell, 1992; Rodríguez, 2011; Rodríguez *et al.*, 2013). Si se acepta esa secuencia general para los cabalgamientos (C6 a C1) y se asume que la dirección de transporte es perpendicular a las líneas de *cutoff* reconocidas por Teixell y Koyi (2003), es decir eran rampas frontales, la orientación de estas líneas para los distintos cabalgamientos sugiere una progresiva rotación antihoraria en el tiempo de la dirección de transporte (Tabla I). Además, esta rotación antihoraria es compatible con la evolución del campo de esfuerzos transmitido desde el margen pirenaico al interior de la placa ibérica, desde una compresión (σ_1) NE–SW (campo ibérico) a otra NNE–SSW a N–S (campo pire-

naico) (Capote *et al.*, 2002; Liesa y Simón, 2009). Estos autores han relacionado dichos campos de esfuerzos con la evolución de las direcciones de convergencia e interacción de las placas litosféricas implicadas, por lo que es asumible que la formación de los cabalgamientos y su cinemática posterior estuviera controlada por dichas direcciones de convergencia.

Conclusión

Los resultados cinemáticos del sistema de cabalgamientos imbricados de Aragüés (Sierras Interiores), inferidos a partir de observaciones en afloramiento (estrías en planos de cabalgamiento y estructuras S-C) indican dos direcciones de transporte: SW a WSW y SSW a S. Varias evidencias sugieren que el inicio del emplazamiento del sistema tuvo lugar con una dirección de transporte hacia el SW y, posteriormente, giró hacia SSW a S.

Agradecimientos

Agradecemos a los revisores A. Teixell y L. Rodríguez y al editor M. Díaz Azpiroz los comentarios y sugerencias realizados, que han contribuido a mejorar la calidad del presente manuscrito. Este trabajo ha sido financiado por el grupo de investigación Geotransfer del Gobierno de Aragón.

Referencias

- Allmendinger, R.W. (2011). *Stereonet for Macintosh. Stereonet for Windows*. Available online at: <http://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/main-text.html>.
- Alonso, J.L. y Teixell, A. (1992). En: *Thrust Tectonics* (K.R. McClay, Ed.), Chapman and Hall, New York, 175–180.
- Capote, R., Muñoz, J.A., Simón, J.L., Liesa, C.L. y Arlegui, L.E. (2002). En: *Geology of Spain* (W. Gibbons y T. Moreno, Eds.), Geological Society, London, 367–400.
- Coward, M. (1994). En: *Continental Deformation* (P.L. Hancock, Ed.), Pergamon Press Ltd, Oxford, 264–288.
- Izquierdo, E., Casas, A. y Gil, I. (2013). *Geogaceta* 53, 57–60.
- Labaume, P., Seguret, M. y Seyve, C. (1985). *Tectonics* 4, 661–685.
- Liesa, C.L. (1999). *Revista Mas de las Matas* 18, 9–37.
- Liesa, C.L. y Simón, J.L. (2009). *Tectonophysics* 474, 144–159.
- Marshak, S. y Mitra, G. (1988). *Basic Methods of Structural Geology*. Prentice Hall, New Jersey, 446 p.

Cabalgamiento		Dirección de transporte	
Sigla (1)	Líneas de cutoff(2)	Desde líneas de cutoff(4)	Desde estaciones
C6 (5)	N138(3) – N128	N228°E	N182°E (E6)
C4 (4)	N114 – N109	N211°E	N187°E (E5) N204°E (E4)
C3 (3)	N112 – N112	N202°E	N230–240°E (E2) N250°E (E1) N197°E(4)
C3.1			N200°E (E3)
C2 (2)	N113 – N112	N202°E	
C1 (1)	N101 – N100	N190°E	

Tabla I.- Direcciones de transporte de los cabalgamientos del sistema de Aragüés. (1) Entre paréntesis, la nomenclatura de Teixell y Koyi (2003). (2) Dirección de las líneas de cutoff en los bloques superior e inferior inferidas por Teixell y Koyi (2003). (3) Dirección revisada en este trabajo. (4) Se asume una dirección de transporte normal a la línea de cutoff. (5) Dirección de transporte inferida para las estrías N017°E observadas por Teixell y Koyi (2003).

Table I.- Thrust transport directions of the Aragüés system. (1) Within the parenthesis, the key number of Teixell and Koyi (2003). (2) Strike of the cutoff lines for the hangingwall and footwall deduced by Teixell and Koyi (2003). (3) Strike revised in this work. (4) A transport direction normal to cutoff line is assumed. (5) Transport direction inferred from the N017°E striae observed by Teixell and Koyi (2003).

- Puigdefábregas, C., Rupke, N.A. y Solé, J. (1975). En: *Excursion Guide-book, 9th International Congress of Sedimentology*, 33 p.
- Rodríguez, L. (2011). *Análisis de la estructura varisca y alpina en la transversal Sallent-Biescas (Pirineos centrales, Huesca)*. Tesis Doctoral, Univ. del País Vasco UPV/EHU. Publicada por el Laboratorio Xeológico de Laxe, Serie Nova Terra 41, 186 p.
- Rodríguez, L., Cuevas, J. y Tubía, J.M. (2013). *Geogaceta* 53, 65–68.
- Simón, J.L. y Liesa, C.L. (2011). En: *Kinematic Evolution and Structural Styles of Fold-and-Thrust Belts* (J. Poblet y R.J. Lisle, Eds.), Geological Society, London, Special Publications 349, 77–97.
- Teixell, A. (1990). *Bulletin de la Société Géologique de France* 6, 241–249.
- Teixell, A. (1992). *Estructura alpina en la transversal de la terminación occidental de la zona axial pirenaica*. Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona, 252 p.
- Teixell, A. (1996). *Journal of the Geological Society, London* 153, 301–310.
- Teixell, A. y García-Sansegundo, J. (1995). *Revista Sociedad Geológica de España* 8, 215–228.
- Teixell, A. y Koyi, H.A. (2003). *Tectonics* 22(5), 1054, doi: 10.1029/2002TC001407.
- Teixell, A., García-Sansegundo, J. y Zamorano, M. (1994). *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, hoja nº 144 (Anso) y memoria*. IGME, Madrid, 62 p.
- Teixell, A., Durney, D.W. y Arboleya, M.L. (2000). *Journal of Structural Geology* 22, 349–371.