



## FRACTURACIÓN Y CAMPOS DE ESFUERZOS EN EL CUATERNARIO DEL SECTOR CENTRAL DE LA CUENCA DEL EBRO (NE España)

*Quaternary fractures and stress fields in the central Ebro Basin (NE Spain).*

L. E. Arlegui<sup>(1,2)</sup> y J. L. Simón<sup>(1)</sup>

(1) *Departamento de Geología, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza, España,  
email: jsimon@posta.unizar.es*

(2) *Laboratory for Strain Analysis, Dpt. Earth Sciences, Cardiff University, CF1 3YE, UK*

**Resumen:** Los depósitos cuaternarios del sector central de la Cuenca del Ebro presentan a menudo deformaciones, en unos casos debidas a diapirismo o karstificación en niveles terciarios infrayacentes, en otros casos se trata de fracturas tectónicas de tipología y orientación variadas. El estudio detallado de estas fracturas y de sus relaciones cronológicas permite identificar dos familias regionales significativas por su relación con campos de esfuerzos. Ambas registran un régimen de esfuerzos extensional, en un caso con  $\sigma_3$  en dirección E-W y en el otro con  $\sigma_3$  en dirección NE-SW. El primero se relaciona con el campo compresivo N-S causado por la colisión Africa-Iberia-Europa y la distensión E a ESE en el *rifting* del surco de Valencia. El segundo campo se relaciona con el levantamiento isostático del Pirineo y los consiguientes movimientos verticales en la Cuenca del Ebro.

**Palabras clave:** *Cuaternario, fractura, falla, diaclasa, campo de esfuerzos, Cuenca del Ebro.*

**Abstract:** Deformation in the Quaternary deposits of the Central Ebro basin is commonly related to diapirism and karst processes in the underlying Tertiary gypsum. However, it is possible to identify tectonic fractures in Quaternary materials. They belong to two regional sets of extensional fractures. One of them is composed by NW-SE trending fractures, the second one by N-S fractures. The N-S trending fractures relate to the N-S compressional stress field created by the Africa-Iberia-Europe plates collision and the E to ESE extension linked to the Valencia rifting. The NE-SW extension relates to the isostatic rebound of the Pyrenees and resulting vertical displacements in the foreland basin.

**Keywords:** *Quaternary, fracture, fault, joint, stress field, Ebro Basin.*



Arlegui, L.E., y Simón, J.L., (2000). Fracturación y campos de esfuerzos en el Cuaternario del sector central de la Cuenca del Ebro. *Rev. C & G*, 14(1-2): 11-20  
© SEG. AEQUA. GEOFORMA Ediciones

### 1. Introducción. Marco tectónico

La Cuenca del Ebro es una depresión rellena de materiales terciarios que evolucionó como cuenca de antepaís del orógeno pirenaico y, en sus márgenes meridional y oriental, recibió asimismo la influencia tectónica y los aportes molásicos de la Cordillera

Ibérica y las Cordilleras Catalanas (Riba *et al.*, 1983). Su sector central está constituido esencialmente por materiales del Oligoceno superior y Mioceno inferior, recubiertos por sistemas de glaciares y terrazas del Ebro y sus afluentes. El Terciario aparece con una disposición casi tabular, aunque está afectado por fallas normales de escala métrica a kilométrica y una

densa y penetrativa red de diaclasas. Dos sistemas con direcciones dominantes N-S y NW-SE a WNW-ESE caracterizan el conjunto de esta fracturación, ambos reflejados tanto en fallas como en diaclasas (Arlegui, 1996).

Las diaclasas del sistema N-S afectan de una manera casi generalizada al sector central de la Cuenca del Ebro, mientras que las fallas se hallan restringidas a zonas muy concretas como las Bárdenas. Unas y otras han sido interpretadas (Hancock, 1991; Arlegui y Simón, 1993; Arlegui, 1996) dentro de un campo de esfuerzos con trayectorias N-S que evoluciona progresivamente desde una compresión en régimen de desgarre ( $\sigma_2$  vertical) hasta una distensión triaxial ( $\sigma_1$  vertical,  $\sigma_2$  N-S  $\neq$   $\sigma_3$  E-W) y, en estadios tardíos, a una distensión radial ( $\sigma_2 = \sigma_3$ ). El campo compresivo N-S es el campo básico intraplaca en la Península Ibérica, determinado por la convergencia entre Europa, Iberia y Africa. A él se superpone, en ocasiones con carácter casi coaxial, la extensión que afecta a la

porción oriental de Iberia, relacionada con el *rifting* del Surco de Valencia (Simón, 1986).

El sistema de fracturas NW-SE incluye, por una parte, grandes lineamientos cartográficos de dirección dominante N120-130E (figura 1), que se concentran en una amplia franja al sur de la Sierra de Alcubierre y en los niveles medio-bajos de la serie terciaria, en general hasta la unidad Bujaraloz-Sariñena, del Aragoniense inferior (Arlegui *et al.*, 1994; Arlegui y Soriano, 1998). A escala de afloramiento se ha comprobado que la mayor parte de estos lineamientos corresponden a fallas normales de salto métrico, a veces con pliegues de *bending* o anticlinales de *roll-over* asociados. También en afloramiento se reconocen pequeñas fallas de la misma orientación y, sobre todo, una familia de diaclasas tensionales NW-SE, especialmente desarrollada en el sector más septentrional de la región estudiada. Este sistema de fracturación ha sido relacionado con un campo de esfuerzos distensivo tendente a radial, con  $\sigma_3$  orientado NE a NNE,

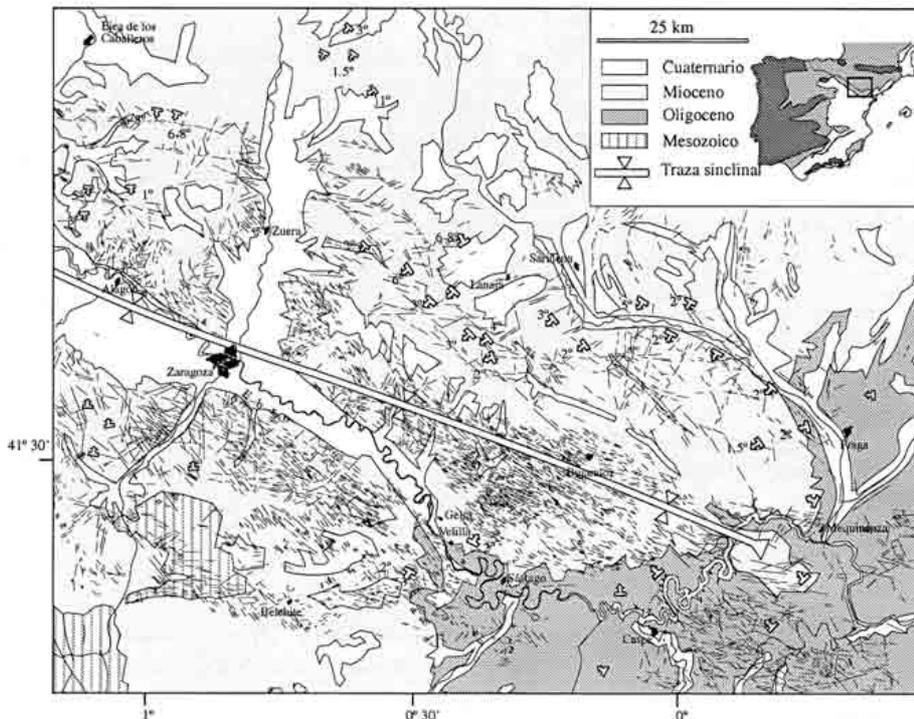


Figura 1. Esquema geológico-estructural del sector central de la Cuenca del Ebro. Los lineamientos han sido cartografiados a partir de imágenes Landsat y estudios de campo (Arlegui *et al.*, 1994; Arlegui y Soriano, 1998).  
 Geological and structural scheme of the central sector of the Ebro basin. Lineaments are mapped from satellite imagery (Landsat) and field studies (Arlegui *et al.*, 1994; Arlegui y Soriano, 1998).

aproximadamente perpendicular a la Cordillera Pirenaica (Arlegui, 1996; Arlegui y Simón, 1998). El origen del mismo podría estar en el rebote isostático sufrido por ésta a partir del Mioceno medio-superior, que conllevaría movimientos diferenciales en la vertical resueltos en parte mediante la reactivación de accidentes del zócalo.

## 2. Las deformaciones cuaternarias.

### Objetivos del trabajo

Las deformaciones que se registran en la Cuenca del Ebro en materiales de edad cuaternaria son de carácter mucho más puntual que las que afectan al Neógeno. Durante varias décadas existió una tendencia a atribuir tales deformaciones al efecto de los yesos terciarios infrayacentes. Estos son, ciertamente, muy abundantes en el sector central de la cuenca. Tanto su disolución en el subsuelo como los eventuales movimientos halocinéticos provocan frecuentes deformaciones en los rellenos cuaternarios, que en algunos casos llegan a estar considerablemente engrosados (Benito *et al.*, 1998). Los colapsos kársticos (disolución del yeso en profundidad y hundimiento de los materiales cuaternarios suprayacentes) dan lugar a contactos mecánicos que en ocasiones pueden ser confundidos con fallas. Los procesos diapíricos (no sólo halocinéticos *s.s.*, sino también inducidos por margas neógenas susceptibles de fluir al estar situadas bajo el nivel freático) producen estructuras domáticas o antifórmas cuyo núcleo se encuentra a menudo perforado por las margas o yesos intrusivos (Simón y Soriano, 1986; Benito y Casas, 1987).

Hay una serie de rasgos que caracterizan las deformaciones de origen diapírico o kárstico, y que permiten distinguirlas de las propiamente tectónicas. Estos criterios diagnósticos pueden resumirse como sigue:

- (1) Las deformaciones kársticas y diapíricas, en cuanto producto de simples movimientos verticales de masas, muestran ante todo un patrón geométrico cilíndrico o cónico acorde con el carácter puntual de la estructura (aspecto éste que no siempre es posible apreciar en secciones bidimensionales). Ello supone la existencia de planos mecánicos curvos y concéntricos alrededor de los centros de ascenso o hundimiento (Simón y Soriano, 1985; Benito *et al.*, 1996).
- (2) Las deformaciones kársticas y diapíricas afectan a veces a los niveles cuaternarios sin que el sustrato terciario se vea deformado (Benito *et al.*, 1996). Esto ocurre cuando los materiales margo-salinos que sufren el ascenso diapírico o las cavidades que colapsan para dar lugar a dolinas se sitúan justo bajo el contacto del Cuaternario.
- (3) Las deformaciones kársticas y diapíricas presentan con frecuencia una componente dúctil importante. Esto es especialmente claro en los diapiros de tipo perforante (Simón y Soriano, 1986). También lo es en muchos hundimientos kársticos en los que el material aluvial descendente ha perdido su estructura interna y cohesión para formar una masa homogénea (Simón y Soriano, 1985; Benito *et al.*, 1996).
- (4) Los contactos mecánicos en las estructuras diapíricas perforantes suelen ser de tipo inverso; las fallas normales (y en general todas las fracturas extensionales) están limitadas a las partes culminantes de estructuras domáticas y, por tanto, asociadas a abombamientos de las capas (Simón y Soriano, 1986). En las estructuras de hundimiento pueden aparecer contactos «normales» (dolinas en embudo), «inversos» (dolinas de colapso con estructura interna abovedada) o, menos frecuentemente, verticales (Soriano *et al.*, 1992; Soriano y Simón, 1995). No obstante, sólo los contactos inversos suelen asociarse a un comportamiento realmente frágil del material, que mantiene en tales casos su estructura original a ambos lados.

En contraste con toda esta tipología de deformaciones diapíricas y kársticas, las fracturas que recogemos en este trabajo son estructuras extensionales *grosso modo* planas (no curvas, no concéntricas), que no se ven acompañadas por deformación dúctil (sólo en el caso de una falla normal con desplazamiento apreciable se observa una flexura asociada y coherente con la misma), no coinciden espacialmente con abombamientos diapíricos o conos de colapso visibles, y muestran unos patro-

nes de orientación consistentes a escala regional. Todo ello permite atribuir las a causas tectónicas *s.s.* y justifica el intento de relacionarlas con los campos de esfuerzos recientes que afectan a la Cuenca del Ebro. Estas estructuras son, por un lado, sistemas de fallas normales y, por otro, diaclasas subverticales sin síntomas de movimiento, que pueden tener o no relleno. Ambos tipos de estructuras resultan comparativamente poco espectaculares frente a las deformaciones ligadas a fenómenos kársticos y halocinéticos. Esto sugiere que la actividad propiamente tectónica durante el Cuaternario ha sido ciertamente discreta en la Cuenca del Ebro. En este sentido, hay que señalar que a escala macroestructural no existen evidencias directas de fallas u otras estructuras.

El objeto de este trabajo es describir de forma sintética las estructuras cuaternarias de origen tectónico e interpretarlas en términos de campos de esfuerzos. En particular, se tratará de analizar la posible prolongación en el Cuaternario de los campos de esfuerzos interpretados a partir de las estructuras neógenas. Queremos partir, en cualquier caso, sólo de información de afloramiento directa e inequívoca sobre fracturas que afectan estrictamente a materiales cuaternarios. No trataremos, por consiguiente, los indicios geomorfológicos u otros datos de carácter indirecto acerca de deformaciones de mayor escala.

### 3. Fallas normales a escala de afloramiento

La mayor parte de las fallas con salto apreciable observadas en depósitos cuaternarios se concentran en los sectores de Zuera y Ejea de los Caballeros. A continuación describimos los ejemplos observados más destacables.

En la carretera que va de Zuera a Las Pedrosas (Km. 16) aparecen una serie de fallas normales conjugadas de dirección NNW-SSE, con predominio de las que buzanan al Este (figura 2.a; localización en figura 4, punto 1). Estas afectan a un depósito de glaciés (de 3-4 metros de espesor aflorante en ese punto), suavemente basculado hacia el Sur (entre 5 y 15°). Algunas de las fallas muestran saltos de orden decimétrico.

Cerca de Zuera, en el paraje denominado Cuesta Varillera (figura 4, punto 2), se observan varias

fallas normales de escala métrica y salto casi inapreciable (figura 2.b). Los planos son de buzamiento alto y componen un sistema conjugado de dirección N-S. Las fallas afectan principalmente a un nivel limo-arenoso horizontal de 1.5 m de espesor intercalado entre gravas de glaciés. Muchas de ellas desaparecen al entrar en las gravas, lo que sugiere que estas últimas acomodan a menudo la deformación sin dar lugar a planos discretos de rotura.

Junto al Km 6 de la misma carretera de Zuera a Las Pedrosas puede observarse otra falla normal aislada en el Cuaternario del Barranco del Salado (figura 3.a; punto 3 en figura 4). En este caso se trata de una falla de mayor desplazamiento (al menos 5 m). El plano se orienta 060, 75 N y pone en contacto un paquete de margocalizas miocenas, flexionadas hasta adquirir un buzamiento de 25-30°, con unas gravas de glaciés cuaternario que buzanan hasta 33° en el mismo sentido. Un nivel de gravas fluviales y otro nivel de glaciés superpuesto al anterior fosilizan la falla; su base erosiona los materiales terciarios y cuaternarios basculados en ambos labios del accidente.

Al SE de Ejea, en el paraje de la Vinagreta, se observa en la fotografía aérea la presencia de un lineamiento de dirección ENE y longitud algo menor de 1 Km (figura 4, punto 4). Al ser atravesado dicho lineamiento por la Acequia Principal de Sora, el afloramiento en el talud de la misma muestra una falla normal que pone en contacto el Mioceno con unos depósitos cuaternarios de tipo limoso (figura 3.b). Su orientación es 085, 60 S y el salto estimado es de unos 4 m. Los materiales cuaternarios presentan un ligero gancho de arrastre que indica que no se trata del relleno de un paleo-escarpe de falla, sino de un accidente que realmente ha desplazado el depósito.

### 4. Fracturas sin desplazamiento

Las fracturas sin desplazamiento en materiales cuaternarios son especialmente abundantes en las zonas de Ejea de los Caballeros, Lanaja-Sariñena y Fraga. Las discontinuidades son en su mayoría subverticales, algunas planas y otras de superficie irregular. Muchas de ellas aparecen ligeramente abiertas y rellenas de carbonato pulverulento de color blancuzco.

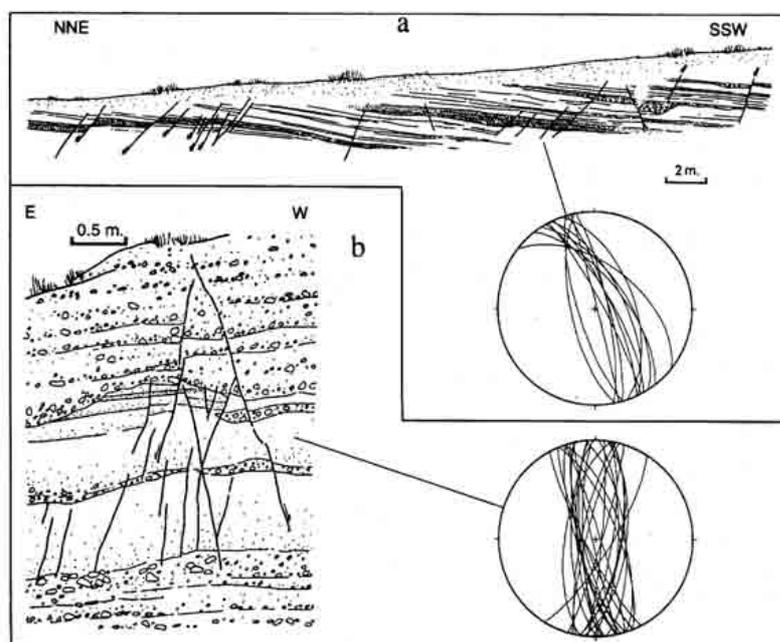


Figura 2. (a) Sistema de fallas normales conjugadas en la carretera de Zuera a Las Pedrosas, Km. 16. Esquema de afloramiento y representación estereográfica de los planos. (b) Idem. en el paraje de la Cuesta Varillera, 8 Km al NNW de Zuera. (a) A set of conjugate normal faults in the Zuera - Las Pedrosas road, Km. 16. Field drawing of the site and stereonet of fracture planes. (b) Idem in the Cuesta Varillera site (8 km to the NNW of Zuera).

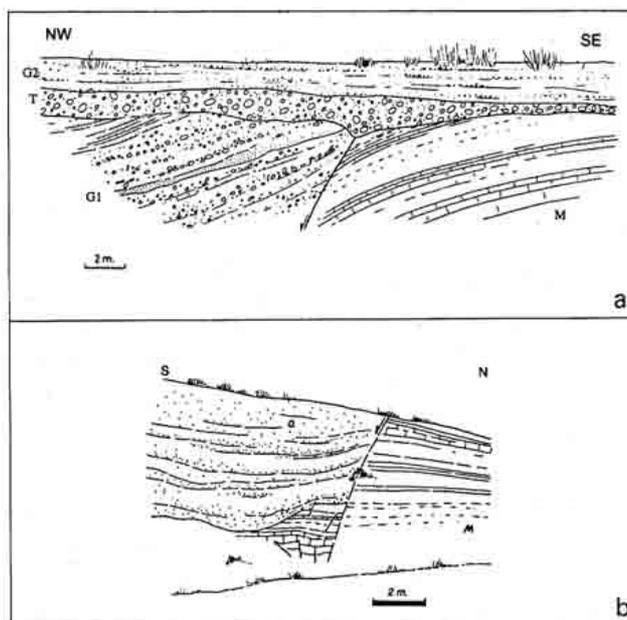


Figura 3. (a) Falla normal en el Barranco del Salado, junto al Km 6 de la carretera de Zuera a Las Pedrosas. M: Mioceno; G1: depósito de glaciés cuaternario antiguo; T: gravas fluviales (terrace T2 del Gállego); G2: glaciés reciente. (b) Falla E-W en el talud de la Acequia de Sora, 13 Km al SSE de Ejea de los Caballeros. (a) Normal fault in the Barranco del Salado, km 6 of the Zuera-Las Pedrosas road. M: Miocene; G1: ancient Quaternary glacial deposits; T: alluvial gravels (terrace T2 of the Gállego river); G2: recent glacial deposits. (b) E-W striking normal fault in the Acequia de Sora, 13 km to the SSE of Ejea de los Caballeros.

Cerca de Ejea de los Caballeros, una costra carbonatada que corona el Pan de Erla (probablemente plio-cuaternaria) está afectada por numerosas fracturas subverticales (figura 4, punto 5), algunas con relleno de carbonato. La dirección dominante es NNW-SSE, aunque existe también un máximo secundario E-W. En otros puntos situados al Sur de Ejea las terrazas cuaternarias también se presentan afectadas por fracturas similares. En las estaciones 6 a 9 (ver situación en figura 4) el esquema de direcciones es el mismo que en la estación 5, en tanto que en las estaciones 10, 11 y 12 dominan las direcciones NW-SE a WNW-ESE. En el sector de Zuera-Remolinos encontramos como direcciones dominantes las NNE-SSW y ESE-WNW a NW-SE (Simón, 1995a; Simón y Navarro, 1995).

En el área de Lanaja-Sariñena aparecen dos patrones de fracturación de diferente orientación. En algunas estaciones dominan las fracturas N-S y E-W, mientras en otros casos lo hacen la NW-SE y su perpendicular (Simón, 1995b).

En el sector oriental los afloramientos con fracturas en Cuaternario son muy numerosos. En la estación 13, situada en un nivel alto de glaciares, pudieron medirse hasta 40 fracturas (Arlegui y Liesa, 1991a). Las direcciones mejor representadas son N-S y NW-SE. En cinco estaciones estudiadas en la zona de Fraga, en glaciares y terrazas del Segre y Cinca, las familias dominantes son también N-S y NW-SE, coexistiendo ambas en algunos afloramientos (Arlegui y Liesa, 1991b).

En la zona de Mequinenza la situación varía, predominando las direcciones NE-SW y N-S. En la estación 14 se ha observado una falla normal de orientación 066, 53S que afecta al Terciario y es recubierta por un nivel cuaternario. En este último, no obstante, aparecen cantos partidos y una fractura abierta que constituyen la prolongación de la falla y sugieren un movimiento atenuado de la misma aún durante el Cuaternario (Liesa y Arlegui, 1992a).

En el área de Caspe se han observado fracturas verticales en tres estaciones (15, 16, 17, figura 4). Las direcciones dominantes son NNW-SSE y su

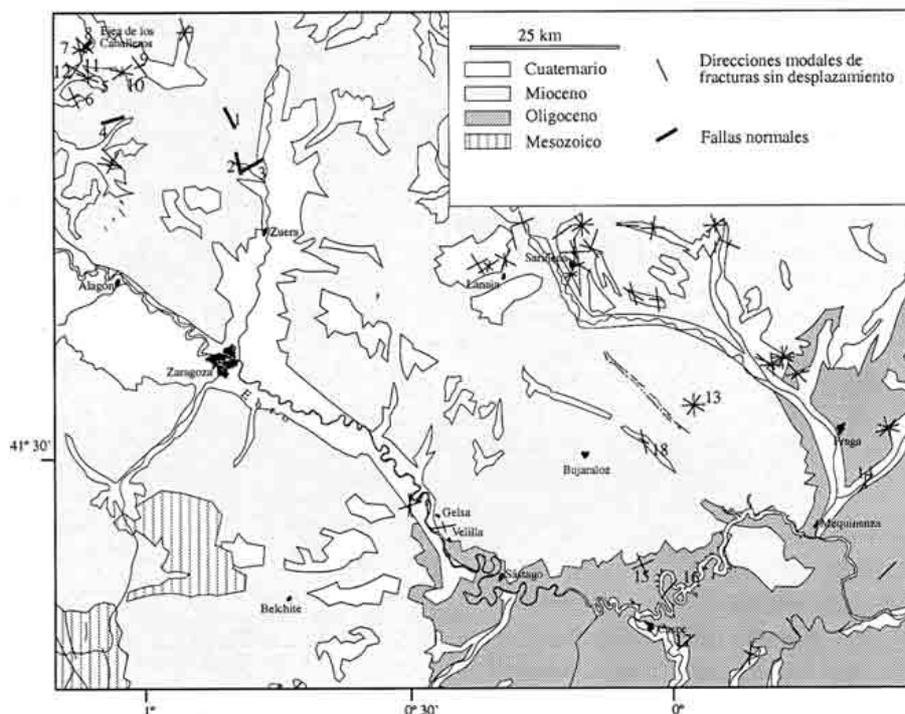


Figura 4. Familias de fracturas cuaternarias definidas a escala de afloramiento. 1: Fallas normales. 2: Diaclasas.  
Fracture sets. 1: Normal faults. 2: Joints.

perpendicular, así como NE-SW. En el área de Fabara (Liesa y Arlegui, 1992b) las familias que predominan en la mayoría de afloramientos son NNW-SSE y ENE-WSW; también aparecen algunas fracturas NW-SE. En el punto 18 se observa la presencia de una familia preferente N-S a NNW-SSE y otra peor representada NW-SE.

Las observaciones correspondientes al sector centro-meridional son más escasas. Gutiérrez y Arauzo (1997) observan fracturas NW-SE muy sistemáticas afectando a materiales de relleno de la Val de Torrecilla, al Este de la Plana de Valmadrid. Simón y Soriano (1985) estudiaron la fracturación que aparece en el sector de Zaragoza (principalmente en las terrazas del Ebro entre Garrapinillos y El Burgo de Ebro). Al margen de abundantes deformaciones diapíricas, señalan la presencia de un cierto número de fallas normales, en ocasiones conjugadas, con planos de magnitud métrica a decamétrica y desplazamientos centimétricos a métricos. La orientación de las mismas es variable, pudiendo distinguirse, no obstante, varias familias que persisten en toda la zona. La más importante, y que agrupa a las fallas de mayores dimensiones, es la de orientación NNW-SSE. Con menor importancia aparecen las familias ENE-WSW y E-W.

## 5. Recapitulación y discusión

En los depósitos cuaternarios del sector central de la Cuenca del Ebro se observan con frecuencia deformaciones de diversos tipos y orígenes. Predominan las deformaciones locales causadas por ascenso diapírico de yesos y margas miocenos o por colapsos kársticos; en ambos casos, la geometría y distribución de las estructuras y el tipo de comportamiento reológico que éstas revelan suelen permitir su diagnóstico. Junto a ellas existen fracturas de tipología y orientación variables cuyo origen puede resultar más incierto. Hay que tener en cuenta que gran parte de los materiales en los que aparecen estas fracturas pertenecen a unidades morfológicas o morfosedimentarias, tales como terrazas y glaciares, que poseen una extensión lateral reducida y terminan en escarpes topográficos más o menos pronunciados. Esto ha podido favorecer determinados procesos de fracturación no tectónicos, como aquéllos debidos a movimientos gravita-

cionales en masa, descompresión lateral o acomodación de subsidencias diferenciales. No puede descartarse que alguno de ellos sea responsable de parte de la fracturación observada, lo que explicaría la variedad de direcciones encontrada.

No obstante, dentro del conjunto de fracturas se aprecia la existencia de direcciones preferentes a las que hay que atribuir un significado tectónico dada su constancia a nivel regional. Dichas familias de fracturas, aun sin ser importantes por la magnitud de la deformación asociada, sí son significativas en cuanto a su relación con el campo de esfuerzos. Incluyen fallas normales de escala micro y mesoestructural y fracturas sin desplazamiento. La mayoría de estas últimas presentan una ligera componente de apertura, con relleno generalmente de carbonato pulverulento, y en ninguna de ellas se han observado estrías de fricción, lo cual permite atribuirles un carácter tensional.

Las familias diferenciadas en cada estación se han representado esquemáticamente en la figura 4, distinguiendo si se trata de fallas normales o fracturas tensionales. Por otra parte, se han elaborado sendos diagramas en rosa sintéticos de las direcciones preferentes de las 40 fallas normales y de las 1238 fracturas sin desplazamiento medidas en el conjunto de estaciones estudiadas (figura 5), que permiten visualizar las tendencias regionales. En este diagrama destacan claramente una dirección N-S (con cierta desviación a NNW-SSE) y otra WNW-ESE a NW-SE. El mapa de la figura 4 muestra que en el sector occidental domina la

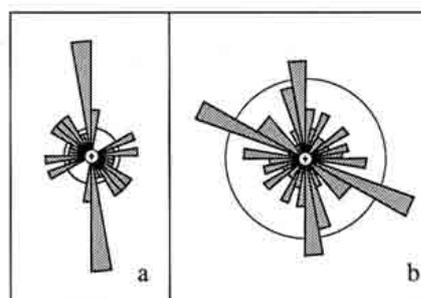


Figura 5. Rosas de direcciones de fracturas cuaternarias en el conjunto de la región. a) Fallas normales (40 fallas). b) Fracturas sin desplazamiento (1238 fracturas).  
Rose diagrams of Quaternary fractures in the study area. a) Normal faults (40 faults). b) Fractures without noticeable offset (1238 fractures).

familia de fracturas N-S a NNW-SSE, mientras que en los sectores central y oriental coexisten una dirección N-S (aquí más desviada a NNE) y la familia WNW-ESE a NW-SE.

Este patrón y sus variaciones espaciales son similares a los que se dan en las diaclasas y fallas que afectan a los materiales terciarios de la región (Arlegui y Simón, 1993; Arlegui, 1996), según hemos descrito en el primer apartado de este trabajo. Tenemos, en definitiva, dos sistemas de fracturas, NW-SE y N-S, que se mantienen activos durante todo el Neógeno y Cuaternario y constituyen el reflejo, respectivamente, de dos mecanismos geotectónicos superpuestos en la evolución y estructuración de la cuenca del Ebro. De un lado, su carácter de cuenca de antepaís del Pirineo la someten a movimientos verticales tanto negativos (durante la etapa propiamente de desarrollo de la cuenca) como positivos (influida por el levantamiento isostático tardío de la cordillera), siempre según la directriz del contacto entre cuenca y cordillera. De otro, su situación intraplaca dentro de la Península Ibérica hace que experimente la compresión N-S producto de la convergencia entre África, Iberia y Europa.

A la vista de ello, es obligado plantearse qué tipo de relación existe entre la fracturación global del Cuaternario y la del Mioceno. Cabe considerar que esa relación sea de índole *dinámica*, en el caso de que los campos de esfuerzos reconstruidos para el Neógeno se mantengan vigentes en el Cuaternario, o bien *cinemática*, si las fracturas en el Cuaternario vienen inducidas desde el sustrato por antiguas fallas de su misma dirección, manteniéndose, en todo caso, un campo débil de extensión tendente a radial. Sin descartar que este segundo mecanismo haya podido actuar en algunos casos, lo cierto es que el contexto regional mueve a pensar que ambos campos de esfuerzos han mantenido su vigencia durante el Plioceno y Cuaternario. La existencia de estados puntuales de esfuerzos compresivos N-S en el Plioceno de las fosas de Teruel, así como las directrices de la fracturación pliocena y cuaternaria en la Cordillera Ibérica, revelan que la compresión intraplaca se mantenía activa en esa época (Simón, 1989). Por otro lado, las evidencias de tectónica extensional regional relacionada con el *rifting* del surco de Valencia y de levantamiento isostático del Pirineo durante el Cuaternario son

abundantes (Simón, 1984; Bordonau y Vilaplana, 1986). Esto significa que desde aproximadamente el Mioceno superior hasta la actualidad se ha mantenido un campo de esfuerzos que es producto de la superposición de todos los campos y mecanismos geodinámicos señalados.

## 6. Conclusiones

El Cuaternario del sector central de la Cuenca del Ebro presenta una fracturación sistemática a escala regional, de origen tectónico e independiente de otros tipos de deformación (más abundantes y espectaculares) atribuibles a diapirismo, colapsos kársticos u otras causas. Dicha fracturación comprende dos sistemas de estructuras con direcciones preferentes N-S y NW-SE, en cada una de las cuales se incluyen fallas normales y diaclasas, tanto de escala macro- como microestructural. Ambos sistemas son los mismos que estuvieron activos durante el Neógeno, y se relacionan con sendos campos de esfuerzos y con sendos mecanismos geodinámicos a los que quedó sometida la Cuenca del Ebro como consecuencia de su situación en el contexto de la Península Ibérica.

Cuando al comienzo del Mioceno se bloquea la colisión en el Pirineo, la Cuenca del Ebro queda configurada como una zona de plataforma intraplaca, que participa a la vez del campo compresivo N-S causado por el acercamiento de África a Europa y de la distensión E a ESE vinculada al *rifting* del Surco de Valencia (Simón, 1989, 1990). El régimen compresivo domina en la primera mitad del Mioceno, mientras la distensión lo hace del Mioceno superior al Cuaternario. No obstante, ambos se solapan en el tiempo y se superponen para dar un campo de trayectorias aproximadas N-S que evoluciona progresivamente desde una compresión en régimen de desgarre ( $\sigma_2$  vertical) hasta una distensión triaxial ( $\sigma_1$  vertical,  $\sigma_2$  N-S  $\neq$   $\sigma_3$  E-W) y, en estadios tardíos, a una distensión radial ( $\sigma_1 \approx \sigma_2$ ). El campo compresivo N-S en ocasiones se manifiesta desdoblado en una compresión NNE, que refleja la convergencia latente aún en el margen pirenaico, y otra NNW, que corresponde al vector de convergencia en el margen bético (Cortés, 1999).

A partir del Mioceno medio-superior el levantamiento isostático del Pirineo produce desplaza-

mientos de componente vertical que se resuelven en parte en accidentes del basamento heredados de épocas anteriores, cuyo rumbo dominante ESE coincide con la propia directriz estructural de la cuenca. Estos movimientos generan un campo de extensión NE-SW e inducen en la cobertera terciaria el sistema de fracturas NW-SE.

Durante el Cuaternario ambos mecanismos y campos de esfuerzos permanecen activos (aunque probablemente mitigados, al menos el campo N-S, con respecto al Neógeno). Creemos que ésta es la causa fundamental de que ambos sistemas de fracturación afecten a los depósitos cuaternarios. Es posible, sin embargo, que una parte de la fracturación cuaternaria no sea reflejo directo de las direcciones de los campos regionales, sino producto de perturbaciones provocadas por la herencia estructural terciaria en el seno del campo tardío de extensión radial.

### Agradecimientos

Durante la elaboración de este trabajo L. Arlegui se benefició de una beca postdoctoral del programa FPI de la Secretaría de Estado de Educación, Universidades, Investigación y Desarrollo.

### Referencias bibliográficas

- Arlegui, L.E. (1996). Diaclasas, fallas y campos de esfuerzos en el sector central de la Cuenca del Ebro. Tesis Doct. Universidad de Zaragoza. 308 pp y anexos
- Arlegui, L.E. & Liesa, C.L. (1991a). Cartografía y Memoria Neotectónica, Hoja de Peñalba (386). Mapa Geológico Nacional a escala 1:50000, 2ª Serie (MAGNA). ITGE. Ser.Pub. Mº Industria, Madrid.
- Arlegui, L.E. & Liesa, C.L. (1991b). Cartografía y Memoria Neotectónica, Hoja Fraga(387). Mapa Geológico Nacional a escala 1:50000, 2ª Serie (MAGNA). ITGE. Ser.Pub. Mº Industria, Madrid.
- Arlegui, L.E. & Simón, J.L. (1993). El sistema de diaclasas N-S en el sector central de la Cuenca del Ebro. Relación con el campo de esfuerzos neógeno. *Rev. Soc. Geol. España*, 6(1-2), 115-122.
- Arlegui, L.E.; Simón, J.L. & Soriano, M.A. (1994). Un sistema regional de fracturas NW-SE en el centro de la Cuenca del Ebro. *II Congreso del Grupo Español del Terciario, Jaca, 19-21 sept.* Comunicaciones, 39-43.
- Arlegui, L.E. & Simón, J.L. (1998). Reliability of palaeostress analysis from fault striations in near multidirectional extension stress fields. Example from the Ebro basin, Spain. *J. Struct. Geol.*, 20(7), 827-840.
- Arlegui, L.E., & Soriano, M.A. (1998). Characterizing lineaments from satellite images and field studies in the central Ebro basin (NE Spain). *Int. J. Remote Sensing*, 19(16), 3169-3185.
- Benito, G.; Pérez-González, A.; Gutiérrez, F. & Machado, M.J. (1998). River response to Quaternary subsidence due to evaporite solution (Gállego river, Ebro Basin, Spain). *Geomorphology*, 22, 243-263.
- Benito, G. & Casas, A.M. (1987). Small-scale deformations in Quaternary deposits in the northeastern Iberian Peninsula. *Géol. Méditerran.*, 15, 233-243.
- Bordonau & Vilaplana, (1986). Géomorphologie et tectonique recente dans le val d'Aran (Zone axiale des Pyrenees centrales, Espagne). *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 5.
- Cortés, A. L. (1999). Evolución tectónica reciente de la Cordillera Ibérica, Cuenca del Ebro y Pirineo centro-occidental. Tesis Doct. Universidad de Zaragoza. 409 pp.
- Gutiérrez, F. & Arauzo, T. (1997). Subsistencia kárstica sinsedimentaria en un sistema aluvial efímero: El Barranco de Torrecilla (Depresión del Ebro, Zaragoza). *Cuad. Geol. Ibérica*, 22, 249-372.
- Gutiérrez, M.; Simón, J.L. & Soriano, M.A. (1983). Tectónica cuaternaria en el área de La Almunia (prov. de Zaragoza). *Cuad. Lab. Geol. Laxe*, 5, 421-428.
- Hancock, P. L. (1991). Determining contemporary stress directions from neotectonic joint systems. *Phil. Trans. Roy. Soc. London, A.*, 337, 29-40.
- Liesa, C. L. & Arlegui, L.E. (1992a). Cartografía y Memoria Neotectónica, Hoja de Mequinenza (415). Mapa Geológico Nacional a escala 1:50000, 2ª Serie (MAGNA). ITGE. Ser.Pub. Mº Industria, Madrid.
- Liesa, C. L. & Arlegui, L. E. (1992b). Cartografía y Memoria Neotectónica, Hoja de Fabara (443). Mapa Geológico Nacional a escala 1:50000, 2ª Serie (MAGNA). ITGE. Ser.Pub. Mº Industria, Madrid
- Riba, O.; Reguant, S. & Villena, J. (1983). Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca terciaria

- ria del Ebro. Libro Jubilar J.M. Ríos: *Geología de España*, IGME.
- Simón, J. L. (1984). Compresión y distensión alpinas en la Cadena Ibérica Oriental. Tesis Doct. Universidad de Zaragoza. Instituto de Estudios Turolenses. Teruel, 269 pp.
- Simón, J. L. (1986). Analysis of a gradual change in stress regime (example from the eastern Iberian Chain, Spain). *Tectonophysics*, 124, 37-53.
- Simón, J. L. (1989). Late Cenozoic stress field and fracturing in the Iberian Chain and Ebro Basin (Spain). *J. Struct. Geol.*, 11(3), 285-294.
- Simón, J. L. (1990). Algunas reflexiones sobre los modelos tectónicos aplicados a la Cordillera Ibérica. *Geogaceta*, 8, 123-129.
- Simón, J. L. (1995a). Neotectónica. In: *Mapa y Memoria explicativa de la Hoja 322 (Remolinos) del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50000*. ITGE, Madrid.
- Simón, J. L. (1995b). Neotectónica. In: *Mapa y Memoria explicativa de la Hoja 356 (Lanaja) del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50000*. ITGE, Madrid.
- Simón, J. L. & Soriano, M. A. (1985). Deformaciones cuaternarias en el área de Zaragoza. *I Reun. Cuaternario Ibérico*, Lisboa, 2, 329-343.
- Simón, J. L. & Soriano, M. A. (1986). Diapiric deformations in the Quaternary deposits of the central Ebro basin, Spain. *Geol. Mag.*, 123(1), 45-57.
- Simón, J. L. & Navarro, J. J. (1995). Neotectónica. In: *Mapa y Memoria explicativa de la Hoja 323 (Zuera) del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50000*. ITGE, Madrid.
- Soriano, M. A. & Simón, J. L. (1995). Alluvial dolines in the central Ebro basin, Spain: a spatial and developmental hazard analysis. *Geomorphology*, 11, 295-309.
- Soriano, M. A., Simón, J. L., & Salvador, T. (1992). Estructura interna y mecanismos de colapsos en yeso. Ejemplos del área de Calatayud (Zaragoza). *Estudios de Geomorfología en España*, Sociedad Española de Geomorfología, 619-629.

Recibido el 19 de julio de 1999

Aceptado el 14 de diciembre de 1999