

# Expresión geomorfológica de la actividad reciente de la falla de Amer (NE de la Península Ibérica)

## Geomorphological features of the Amer fault recent activity (NE Iberian Peninsula)

P. FERRER, E. MASANA y P. SANTANACH

Departament de Geodinàmica i Geofísica, Universitat de Barcelona. Facultat de Geologia, Zona Universitària de Pedralbes, 08028 Barcelona. eula@natura.geo.ub.es

### RESUMEN

El catálogo histórico registra, durante el siglo XV en la comarca de Olot, una de las crisis sísmicas más destructivas acontecidas en Cataluña. En 1427 se registraron varios terremotos que alcanzaron intensidades epicentrales que oscilan entre VII-VIII y VIII. Estos terremotos han sido atribuidos a la falla de Amer, una falla normal de dirección NW-SE y una longitud de unos 30 km. Se han estudiado las características geomorfológicas relacionadas con la actividad reciente de dicha falla como análisis previo a su estudio paleosismológico. Los rasgos más sobresalientes son: 1) *Facetas triangulares*. Las pendientes de las facetas más recientes están comprendidas entre 17° y 31°. La comparación de estos valores con las pendientes de las facetas triangulares de la región de Basin and Ranges (EEUU) y de la cuenca de la Cerdanya (Pirineos catalanes) sugiere una edad pliocuaternaria para las facetas relacionadas con la falla de Amer. 2) *Cuencas de drenaje*. La organización de las cuencas de drenaje desarrolladas a lo largo del frente montañoso ocasionado por la actividad de la falla de Amer presenta la geometría característica de los sistemas de drenaje condicionados por frentes activos (índice de espaciado entre 0.28 y 0.5). 3) *Abanicos aluviales*. A lo largo del frente montañoso se han desarrollado pequeños abanicos aluviales, cuyos ápices se encuentran aguas arriba en el interior del frente montañoso, y que recubren la falla de Amer. 4) *Escarpes*. A pesar de estar fosilizando la falla, los abanicos aluviales presentan sutiles escarpes localizados a lo largo de la traza de la falla. Sólo un análisis paleosismológico a lo largo de toda la falla permitirá dilucidar si los mayores terremotos ocurridos en 1427 corresponden al terremoto máximo de la falla de Amer o si éste puede ser mayor, como sugieren los 30 km de longitud de la falla.

*Palabras clave:* Geomorfología. Neotectónica. NE Península Ibérica

### ABSTRACT

Triangular facets, related drainage basins, alluvial fans and subtle scarps reveal the recent activity of the normal Amer fault (NE Spain). The 1427 earthquakes which reached epicentral intensities ranging between VII and VIII have been attributed to the Amer fault. However, the geomorphologic and geologic characteristics of this fault (30 km length) suggest that it might be capable of producing larger earthquakes than those occurred during de 15th century.

*Keywords:* Geomorphology. Neotectonics. NE Iberian Peninsula

### EXTENDED ABSTRACT

During the 15th century one of the most destructive seismic crisis recorded in the Catalan catalogue occurred in the Olot area, NE Spain. In order to characterize the seismogenic source of these earthquakes we projected a paleoseismologic analysis of the area. We present the results of the first approach to the problem, the geomorphologic analysis.

The most noticeable earthquakes were those of March-April 1427, the earthquake of May 15th, 1427, and the one of February 2nd, 1428 which was the most destructive. Several of the earthquakes recorded in 1427 reached epicentral intensities ranging between VII-VIII and VIII and have been attributed to the Amer fault

(Olivera et al., in press). The largest earthquake of the Olot crisis occurred on February 2nd, 1428. The towns destroyed by this earthquake (maximum intensity IX-X) were located more to the NW than the epicentral areas of the previous earthquakes (Banda and Correig, 1984).

The Amer fault (Fig. 1) was surveyed to establish the geomorphologic features related to the recent activity of the fault. Special attention was paid to scarps cutting recent deposits, since those features are essential guides in order to dig trenches with paleoseismological purposes. The Amer fault is a Late Neogene NW-SE trending normal fault. It dips 60° to the NE and its maximum displacement reaches 1400 m. Several geomorphologic features show clear evidences of its recent activity:

*Triangular facets.* At least two generations of triangular facets exist. The slopes of the most recent facets range from 17° to 31°. The comparison of these values with the slopes of triangular facets in the Basin and Ranges, USA, (Wallace, 1978) and the Cerdanya basin, NE Spain, (Briais et al., 1990) suggests a Plio-Quaternary age for those of the Amer fault (Figs. 1 and 2).

*Drainage basins.* The drainage pattern developed along the mountain front built by the Amer fault has a typical geometry of a drainage system related to an active front (Fig. 1). The average spacing index of the drainage basins developed on this active mountain front varies between 0.28 and 0.56. Similar values have been found in the mountain fronts of the Basin and Ranges and in the Cerdanya basin.

*Alluvial fans.* Along the mountain front recent small alluvial fans have their apexes up-waters into the mountain front and cover the Amer fault (Fig. 1).

*Scarps.* In spite of sealing the fault, the alluvial fans show subtle scarps located along the fault line (Fig. 1).

According to the primary historical sources only open cracks were formed during the 1427 earthquakes. No scarps were registered. Thus, in agreement with the data of Wells and Coppersmith (1994), these earthquakes probably did not exceed magnitude 6. The length (around 15 km) of the two segments in which we divided the Amer fault permits to explain the 1427 earthquakes (March 1427 earthquakes due to the southern segment and May 15th earthquake produced by the northern one). However, because of the geomorphologic similarities of both segments, the possibility of the occurrence of larger

earthquakes (up to magnitude 7) due to the entire fault-length acting as an unique seismic source is not to be discarded. Only a paleoseismological analysis along the entire fault will allow us to decide whether the size of the largest 1427 earthquakes corresponds to the maximum earthquake that the Amer fault can produce or the maximum expectable earthquake may be larger than this size, as the 30 km long fault suggests.

## INTRODUCCIÓN

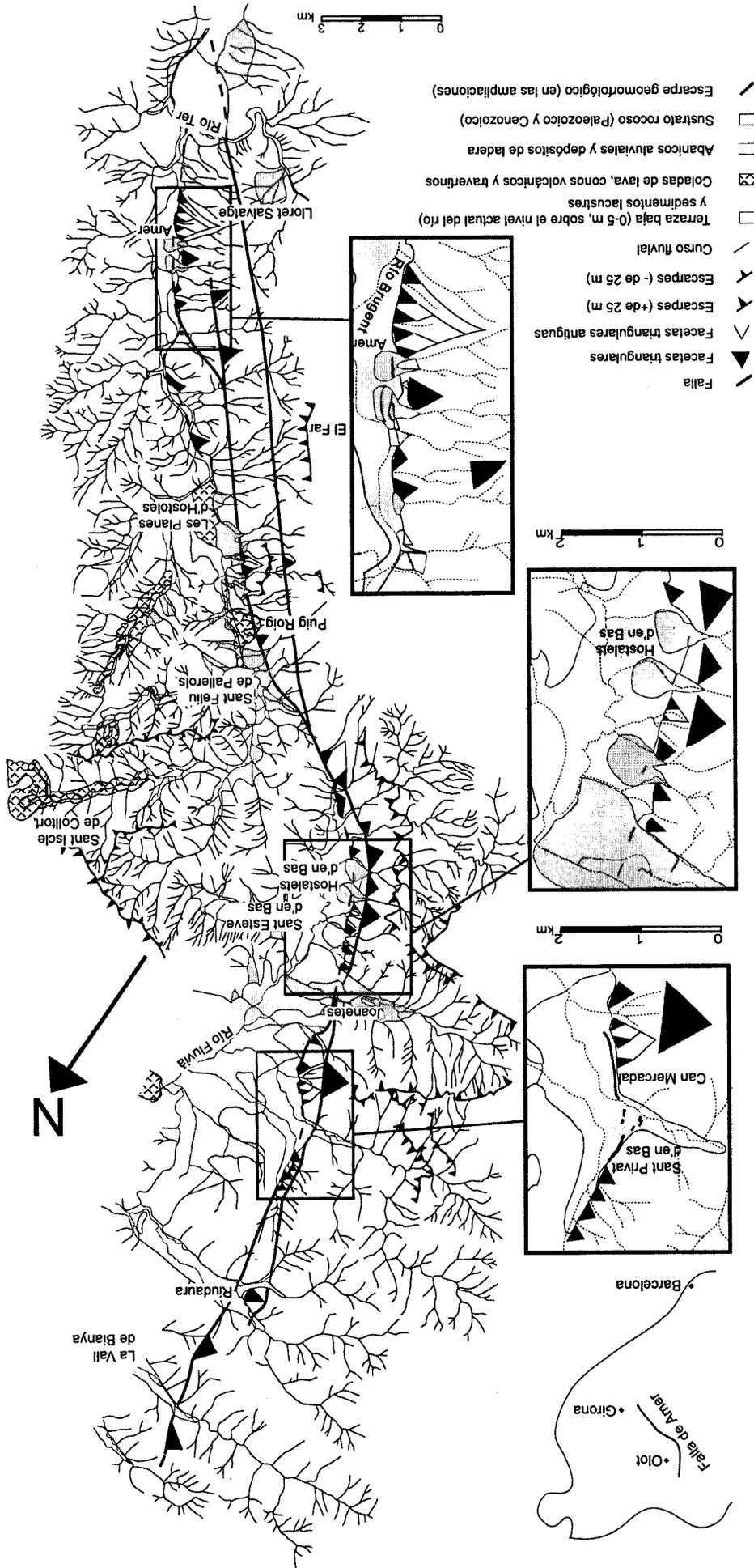
Durante el siglo XV tuvieron lugar una serie de terremotos destructivos en el NE de Catalunya conocidos como la serie olotina (Fontserè e Iglesias, 1971). Destacan los ocurridos en marzo del 1427, el de 15 de mayo del mismo año, y el de 2 de febrero de 1428 que fué el de mayor intensidad. En marzo de 1427 se ha catalogado (Olivera et al. en prensa) una serie sísmica formada por hasta 8 sismos con el área epicentral en Amer, entre los que destacan los de los días 13, 14, 15 y 19 a los que se han atribuido respectivamente intensidades epicentrales (EMS-92) de VII-VIII, VII-VIII, VII y VIII. En la misma área de Amer tuvo lugar otro sismo con intensidad VII-VIII el 22 de abril. El 15 de mayo ocurrió otro con intensidad epicentral de VIII-IX en la ciudad de Olot y que afectó de manera importante a la mayoría de pueblos de la Plana d'en Bas, al oeste de Olot, con una intensidad de VII-VIII (Olivera et al., en prensa). El terremoto del día de la Candelaria (2.2.1428), de mayor intensidad que todos los anteriores, afectó con la máxima intensidad a poblaciones situadas más al NW, Puigcerdà, Queralt y Camprodon (Banda y Correig, 1984).

Los eventos de 1427 se han asociado a la actividad de la falla de Amer. La zona epicentral de la serie del mes de marzo se sitúa sobre la traza de la falla en la zona de la población de Amer, mientras que la zona más afectada por el sismo del 15 de mayo se ubica más al norte, junto a la falla de Amer, en el bloque hundido, donde se concentra la población. (Olivera et al., 1990). La comparación de nivelaciones de alta precisión ha permitido detectar posibles anomalías en ambos extremos de la falla de Amer (Giménez et al., 1996). El terremoto del 2.2.1428 tuvo su epicentro todavía más al NW y no hay acuerdo sobre la falla que podría haberlo ocasionado (Briais et al., 1990; Philip et al., 1992).

---

Figura 1. Esquema geomorfológico de la falla de Amer.

Figure 1. Geomorphologic sketch of the Amer fault.



El objetivo de este trabajo es poner de manifiesto la expresión morfológica de la actividad reciente de la falla de Amer y discutirla a la luz de los eventos sísmicos que le han sido atribuidos.

## LA FALLA DE AMER

La falla de Amer forma parte del sistema de fallas NW-SE que en el NE de Cataluña hundieron, durante el Neógeno, los bloques nororientales y dan lugar a la fosa del Empordà y al sistema de semigrabens que estructuran las sierras Transversales. El momento de finalización de la actividad de estas fallas migra de NE a SW (Saula et al., 1996). La falla de Amer, la más occidental del sistema es todavía activa como muestran los eventos sísmicos mencionados.

De trazado cartográfico anastomosado, la falla de Amer (Fig. 1) presenta dos segmentos, el septentrional de dirección NNW-SSE que limita por el W la Plana d'en Bas (valle del río Fluvià) y se extiende hacia el norte hasta más allá del Valle de Bianya, y el segmento meridional de orientación NW-SE que sigue por el W el valle del río Brugent hasta pasada la confluencia de este río con el Ter hacia el sur (Barnolas et al., 1983 y 1994, Muñoz et al., 1994a y 1994b). La longitud de la falla supera los 30 km, de los que 15 corresponden al segmento septentrional (de la Plana d'en Bas) y 17 al meridional (del valle del río Brugent o Vall d'Hostoles). El plano de falla buza unos 60° hacia el E y el salto medio sobre el plano de falla oscila entre 1000 y 1400 m (Saula et al., 1996). El aparato volcánico de Puig Roig, inmediatamente al sur de Sant Feliu de Pallarols, se sitúa sobre la falla y ha sido datado en  $28900 \pm 3500$  años BP mediante la técnica de termoluminiscencia (Guérin et al., 1986).

En la vertiente causada por el escarpe de falla se acumulan depósitos cuaternarios de piedemonte, y los barrancos que descienden de esta vertiente originan abanicos aluviales que, en algunos casos, recubren la traza de la falla. Es interesante señalar que las características geomorfológicas de los depósitos recientes en los valles de los ríos Brugent y Fluvià son distintas. En el valle del río Brugent las terrazas aluviales y los abanicos presentan una disposición aterrazada, encajados los recientes en los más antiguos. Por contra, en la parte alta del valle del río Fluvià, debido a la obstrucción del valle por la gran colada emitida por el volcán Croscat (datada por Guérin et al., 1986, en  $17100 \pm 1600$  años BP) la geomorfología está dominada por la superficie de colmatación lacustre de la Plana d'en Bas con la que enrasan los conos de los valles laterales. La superficie de

colmatación es subactual y el río Fluvià está empezando a encajarse en ella. No se observan disposiciones aterrazadas en la zona de la Plana d'en Bas.

Los rasgos geomorfológicos que expresan claramente la actividad reciente de la falla de Amer son las facetas triangulares a lo largo de la misma (Figs. 1 y 2), la morfología de las cuencas relacionadas con la falla (Fig. 3), los abanicos aluviales asociados al relieve creado por la falla y los escarpes métricos en algunos de los depósitos cuaternarios que recubren la falla (Fig. 1).

## LAS FACETAS TRIANGULARES

Para su análisis se consideran cuatro tramos (Fig. 2): en el segmento septentrional los tramos A y B, en el meridional los tramos C y D. En la Figura 2a se han indicado las inclinaciones de las facetas triangulares y en la 2b las diferencias de cota entre la base y el vértice de las facetas. En la Figura 2b, además, se han representado con distintos tonos grises las diferentes generaciones interpretadas teniendo en cuenta las relaciones entre ellas, el ángulo de inclinación y la diferencia de cotas base/ vértice.

En el segmento meridional y con centro en la población de Amer (tramo D), las facetas de la última generación (3ª generación en Fig. 2b) presentan inclinaciones entre 19 y 26° (mayoritariamente entre 22 y 25°), las inmediatamente anteriores (2ª generación), 17 y 18°. Entre ambas hay sólo una variación brusca de la inclinación, no están separadas por rellano alguno. En el tramo C hay un desarrollo menor de facetas triangulares. Dos generaciones sólo pueden observarse al W de Les Planes d'Hostoles: las más recientes (3ª generación) están inclinadas 18-20° y la anterior (2ª generación) 17°. En la parte meridional de este tramo hay dos facetas inclinadas de 14° y con una diferencia de cotas de unos 200 m, similar a la de la 2ª generación del W de Les Planes d'Hostoles. Se interpreta (Fig. 2b) que deben de corresponder a esta 2ª generación. De una 1ª generación, y quizás de edades más antiguas, sólo hay pocas trazas, por lo que no se utilizan en el análisis. Todo ello indicaría que la actividad más reciente del segmento meridional se habría concentrado en el tramo D.

Los tramos A y B del segmento septentrional presentan facetas triangulares de la 3ª generación inclinadas entre 17 y 27° (mayoritariamente entre 22 y 26) en el tramo B y entre 23 y 31 en el tramo A. Las diferencias de cotas base/vértice en las facetas del tramo A es superior a las del tramo B, lo que sugiere una mayor actividad reciente del tramo A.

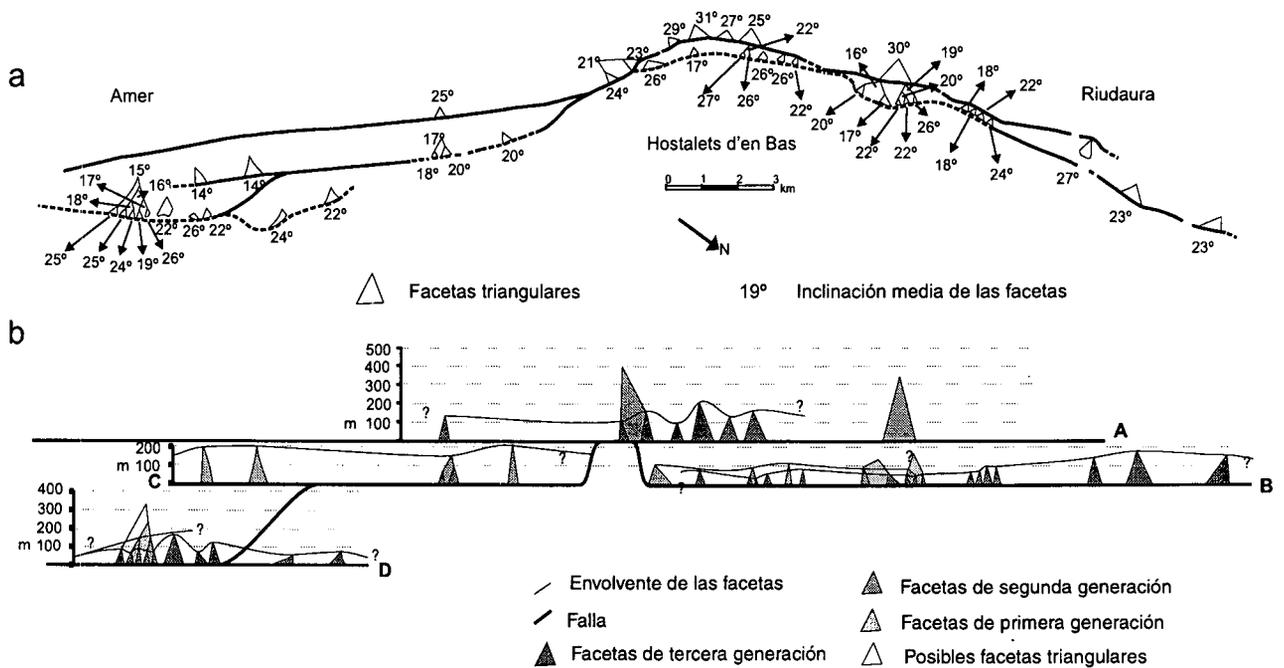


Figura 2. Facetas triangulares a lo largo de la falla de Amer. a) Inclinación de las facetas; b) Altura de las facetas

Figure 2. Triangular facets along the Amer fault. a) facet slopes; b) facet heights

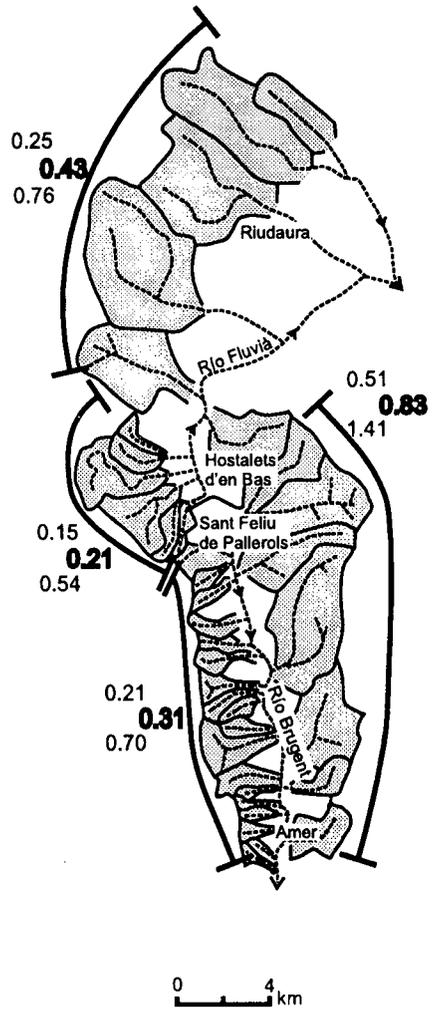
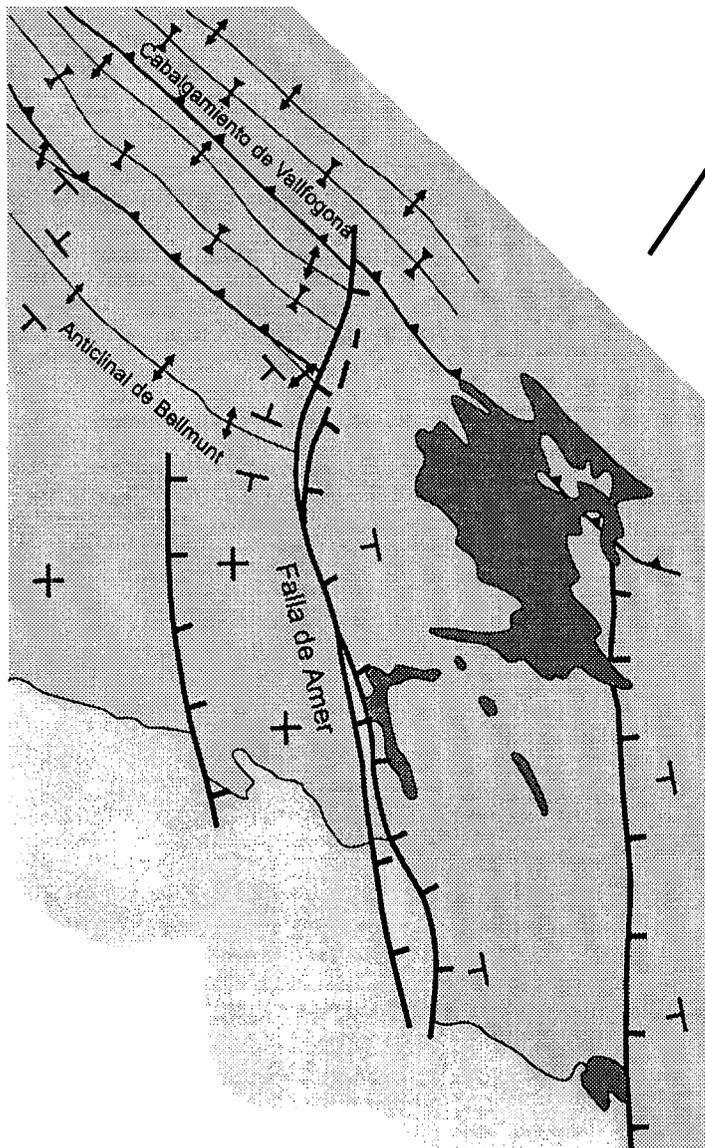
Wallace (1978), a partir de estudios en la región de Basin and Ranges, describe, para fallas normales activas con planos de falla de  $60^\circ$  de buzamiento, 3 generaciones de facetas con inclinaciones alrededor de los  $30$ ,  $20$  y  $12^\circ$ . Briaís et al. (1990) citan en la falla de la Cerdanya (Pirineo oriental) tres generaciones de facetas triangulares con inclinaciones comprendidas entre  $25$  y  $35^\circ$   $18$  y  $28^\circ$  y  $16$  y  $22^\circ$ . Estas facetas serían, como más antiguas, de edad pliocena puesto que, en el relleno sedimentario de la Cerdanya, sólo a partir de la deposición de la unidad Neogéna Superior aparecen clastos provenientes de los relieves situados al sur de la falla (Cabrera et al., 1988). Y la base de dicha unidad ha sido datada paleontológicamente como Turoliense superior (Agustí y Roca, 1987). Los valores observados en las facetas de la falla de Amer, en particular los de la última generación, coinciden en buena parte con éstos valores o son sólo ligeramente inferiores, lo que sugiere una edad pliocuaternaria para el desarrollo de las facetas triangulares de la falla de Amer.

## LAS CUENCAS DE DRENAJE

El frente montañoso desarrollado como consecuencia de la actividad de la falla de Amer presenta una red de drenaje característica de frente activo. Por una parte, la

línea de las cotas máximas del relieve en el bloque levantado y la divisoria de aguas coinciden (Vergés et al., 1996). Por otra, los valores medios de los índices de espaciado (Wallace, 1978) de las cuencas desarrolladas en este frente montañoso (Fig. 3) se sitúan entre  $0.28$  y  $0.56$ , mientras que las cuencas de la vertiente opuesta tienen un índice de espaciado de  $0.89$ . En los frentes montañosos activos de Basin and Range los índices de espaciado de cuencas varían entre  $0.25$  y  $0.55$  en función, en gran parte, de la estructura del substrato (Wallace, 1978). En la falla Tet-Cerdanya (Pirineo oriental) los valores de este índice están comprendidos entre  $0.33$  y  $0.43$  (Briaís et al., 1990).

Las cuencas del tramo más septentrional del frente controlado por la falla de Amer son de dimensiones superiores al resto y son, también, las que presentan mayores índices de espaciado. Ello es debido a la estructura del substrato (Fig. 3): En los tramos más meridionales aflora el basamento hercínico (parte más meridional) o la cobertera terciaria tabular (desde el S de Les Planes d'Hostoles hasta la cuenca de Joanetes). Justamente, la cuenca de Joanetes se desarrolla a favor del núcleo del anticlinal de Bellmunt, el anticlinal frontal del Pirineo en esta región. Las dimensiones y forma de las cuencas más septentrionales (de Joanetes hasta el norte de la Vall de Bianya) están controladas por las dimensiones y disposición de los pliegues y



- Basamento hercínico
- Cobertera paleógena
- Rocas volcánicas cuaternarias

Valor más bajo del segmento  
 0.21  
**0.31** Índice de espaciado de cuencas  
 0.58  
 Valor más alto de segmento

Figura 3. Cuencas de drenaje relacionadas con la falla de Amer y esquema estructural de la misma área.

Figura 3. Drainage basins related to the Amer fault and structural sketch of the same area.

cabalgamientos pirenaicos de orientación E-W (el cabalgamiento de Vallfogona discurre por la vertiente norte de la cuenca de la Vall de Bianya). Por lo tanto las diferencias de índices de espaciado de las cuencas de distintos tramos de la falla no son significativas para establecer una segmentación de la falla desde el punto de vista de su actividad.

### ESCARPES EN LOS DEPÓSITOS RECIENTES

A lo largo del frente montañoso se extienden pequeños abanicos aluviales que fosilizan la traza de la falla (Fig. 1). También la fosilizan, en los valles más septentrionales considerados, las terrazas fluviales. Aunque

fosilicen la falla, en estos depósitos se han detectado mediante el análisis de la fotografía aérea convencional (escalas 1:33000 y 1:18000) anomalías topográficas. Se trata de escarpes morfológicos de pocos metros de desnivel con el labio oriental hundido, modificados por los agricultores y que coinciden actualmente con taludes que separan bancales cultivados, lo que, en algunos casos, podría inducir a confundir escarpes naturales con taludes artificiales. Se alinean, en su mayor parte, con las trazas de los distintos segmentos de la falla. Estas anomalías podrían corresponder a la deformación más reciente de los depósitos mencionados (Fig.1, ampliaciones). De todas maneras, dada la gran alteración antrópica de este área es imprescindible la realización de perfiles topográficos de precisión e investigaciones geofísicas para confirmar el significado de las anomalías detectadas.

## DISCUSIÓN

De las fuentes históricas primarias bien contrastadas no se han citado descripciones de rupturas del terreno con desnivelaciones de ambos labios, es decir, escarpes de falla, relacionados con los sismos de 1427. Únicamente grietas abiertas con emanaciones subvolcánicas entre Lloret Salvatge y Amer durante el terremoto del 22.04.1427 (Olivera et al., en prensa). De acuerdo con los datos de Wells y Coppersmith (1994), en fallas normales, se obtienen rupturas con desnivelaciones apreciables a partir de magnitudes del orden de 6. Si bien no es sencillo evaluar la magnitud a partir de las intensidades, los valores de las intensidades asignadas a los terremotos de 1427 permiten pensar que difícilmente corresponderían a valores de la magnitud superiores a 6.

Por otra parte la falla de Amer se ha dividido en dos segmentos de orientación ligeramente distinta, pero características geomorfológicas comparables. La zona epicentral de la serie de marzo de 1427 se sitúa sobre el segmento meridional, mientras que la zona fuertemente afectada por el sismo del 15 de mayo es adyacente al segmento septentrional. Estos segmentos tienen longitudes del orden de 15 km. Posibles rupturas en superficie a lo largo de unos 15 km podrían corresponder a terremotos de magnitudes cercanas a 6.5 y desplazamientos máximos del orden de 0.5 m (Wells y Coppersmith, 1994). Por lo tanto los segmentos de esta falla, por sus dimensiones, pudieran haber ocasionado sismos de magnitudes capaces de crear escarpes de falla y mediante su acumulación dar lugar al salto global de la falla de Amer. No obstante, no hay que descartar la posibilidad de que los dos segmentos definidos no tuvieran significación en

cuanto al sismo máximo esperable y toda la falla pudiera comportarse como una única fuente sísmica. En este caso la magnitud del mayor sismo esperable sería cercana a 7 y el desplazamiento máximo del orden de 1 m.

Las anomalías topográficas mencionadas en los depósitos cuaternarios que recubren la traza de la falla podrían interpretarse como el reflejo de los desplazamientos más recientes de la falla de Amer. Esta hipótesis habría que precisarla con estudios topográficos de detalle y, eventualmente, confirmarla con el análisis de cortes geológicos detallados a través de los escarpes mediante la excavación de zanjas. Sólo el estudio paleosismológico comparado de los escarpes desarrollados en los materiales más recientes del segmento meridional (zona de Amer) y del septentrional (Joanetes-San Privat d'en Bas) permitirá conocer si los dos segmentos en los que se ha dividido la falla de Amer en este trabajo son, o no, significativos desde el punto de vista sísmico. En otras palabras, permitirá intentar averiguar cual es la magnitud del mayor sismo esperable.

## AGRADECIMIENTOS

Esta comunicación forma parte del proyecto PALEOSIS (ENV4-CT97-0578) financiado por la UE, a través del Institut Cartogràfic de Catalunya, contratante principal del proyecto para la zona del Pirineo oriental. Agradecemos a C. Olivera la comunicación de los últimos resultados de las investigaciones históricas sobre los sismos de la serie olotina, todavía en curso de publicación y a X. Goula y J. Fleta los intercambios de información y discusiones sobre la geología reciente de esta región.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agustí, J., Roca, E., 1987. Síntesis biostratigráfica de la fosa de la Cerdanya. *Estudios Geol.*, 43, 521-529.
- Banda, E., Correig, A.M. 1984. The Catalan earthquake of February 2, 1428. *Eng. Geol.*, 20: 89-97.
- Barnolas, A., Teixell, A., Escuer, J., Fleta, J., Durán, H., 1994. Mapa Geológico de España, escala 1:50000 segunda serie, nº 295 (Banyoles), mem. expl., 67 p., ITGE.
- Barnolas, A., García Vélez, A., Muelas Peña, A., Soubier González, J., Pallí Buxó, L., Carreras, J., Martínez, F., Quesada, C., Ruiz, C., 1983. Mapa Geológico de España, escala 1:50000 segunda serie, nº 333 (Santa Coloma de Farners), mem. expl., 38 p., ITGE.
- Briais, A., Armijo, R., Winter, T., Tapponnier, P., Herbecq, A., 1990. Morphological evidence for Quaternary normal faulting and seismic hazard in the Eastern Pyrenees. *Annales Tectonicae*, 4 (1), 19-42
- Cabrera, L., Roca, E., Santanach, P., 1988. Basin formation at the end of a strike-slip fault: the Cerdanya Basin (eastern Pyrenees). *J. Geol. Soc. London*, 145, 261-268.
- Fontseré, E., Iglésies, J., 1971. Recopilació de dades sísmiques de les Terres Catalanes entre 1100 i 1906, 547 p., Fundació Salvador Vives Casajuana, Barcelona.

- Giménez, J., Suriñach, E., Fleta, J., Goula, X., 1996. Recent vertical movements from high-precision leveling data in northeast Spain. *Tectonophysics*, 263, 149-161.
- Guérin, G., Benhamou, G., Mallarach, J.M., 1986. Un exemple de fusió parcial en medi continental. El vulcanisme quaternari de Catalunya. *Vitrina*, 1, 20-26, Olot.
- Muñoz, J. A., Vergés, J., Casas, J. M., Sàbat, F., Cirés, J., Fleta, J., Martínez-Rius, A., Pujadas, J., Tosquella, J., Samsó, J. M., Sanz, J., Saula, E., Mató, E., Barberá, M., Pascual, C., Puigdefàbregas, C., Clavell, E., 1994a. Mapa Geològic de Espanya, escala 1:50000 segunda serie, n° 256 (Ripoll), mem. expl., 103 p., ITGE.
- Muñoz, J.A., Barnolas, A., Saula, E., Mató, E., Escuer, J., Serra-Kiel, J., Gómez-Gras, D., 1994b. Mapa Geològic de Espanya, escala 1:50000 segunda serie, n° 294 (Manlleu), mem. expl., 51 p., ITGE.
- Olivera, C., Riera, A., Roca, A., 1990. Study of the 1427 earthquakes in Catalonia. Proc. and activity report 1988-1990. XXII General Assembly. European Seismological Commission., Vol.1, 327-331, Barcelona.
- Olivera, C., Redondo, E., Riera, A., Lambert, J., Roca, A., en prensa. Problems in assessing parameters to earthquakes from historical investigation: The 1427 Earthquake in Catalonia. I Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica- IX Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, Comunicaciones.
- Philip, H., Bousquet, J.-C., Escuer, J., Fleta, J., Goula, X., Grellet, B., 1992. Présence de failles inverses d'âge quaternaire dans l'Est des Pyrénées: implications sismotectoniques. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 314, Sér. II, 1239-1245.
- Saula, E., Picart, J., Mató, E., Llenas, M., Losantos, M., Berasategui, X., Agustí, J., 1996. Evolución geodinámica de la fosa del Empordà y las Sierras Transversales. *Acta Geol. Hispanica*, 29 (1994), 55-75.
- Vergés, J., Lewis, C., Marzo, M., 1996. Drenaje fluvial y topografía ligados a extensión: NE de Iberia. *Geogaceta*, 20 (4), 850-852.
- Wallace, R.E., 1978. Geometry and rates of change of fault generated range fronts, North-Central Nevada. *Jour. Research U. S. Geol. Surv.*, 6 (5), 637-649.
- Wells, D.L., Coppersmith, K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bull. Seismological Soc. America*, 84 (4), 974-1002.