

# Drenaje fluvial y topografía ligados a extensión: NE de Iberia

*Fluvial drainage and topography related to extension: NE of Iberia*

J. Vergés, C. Lewis y M. Marzo

Grup de Geodinamica i Anàlisis de Conques, Dep. G.D.G.P., Fac. Geològic, Univ. de Barcelona, Martí i Franquès s/n, 08071 Barcelona. E-mail: jaumev@natura.geo.ub.es

## ABSTRACT

*Integrated analysis of fluvial drainage pattern, digital topography and regional tectonics allows to determine the lateral extent of high topography linked to the extensional system of faults that parallels the coastline of the northeastern Iberia. The development and rise of the present morphotectonic units of Sierra Prelitoral (upper Oligocene-Lower Miocene) and Sierras Transversales (upper Miocene to present) as rift flank processes, reorganized the previous fluvial drainage system and originated the present one. The Sierra Prelitoral bounds the NE-SW trend of faults that limit the El Camp and Vallès-Penedès grabens whereas the Sierras Transversals bound the NNW-SSE trend of faults related to the Empordà graben system. The different relative positions of external normal fault, maximum local relief and water divide in the Sierras Transversals support the idea of very young topography related to active normal faulting.*

**Key words:** *Topography, fluvial system, Neogene-Quaternary rift, rift shoulder uplift, drainage inversion*

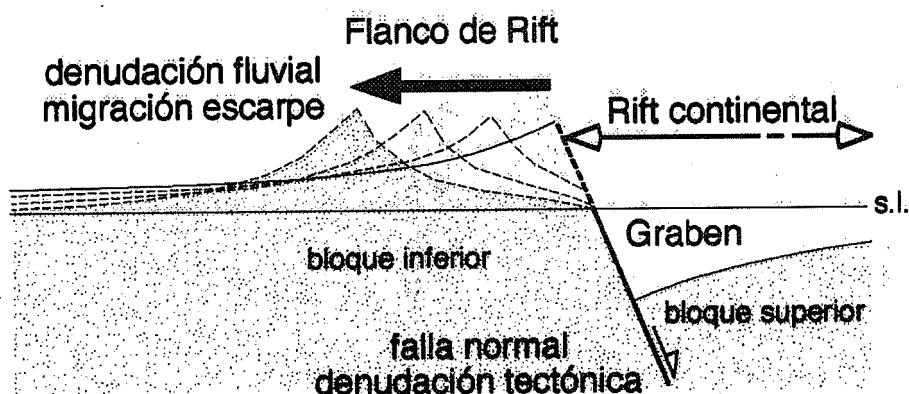
*Geogaceta, 20 (4) (1996), 850-852,  
ISSN: 0213683X*

## Usos de la topografía digital del terreno para estudios morfotectónicos

El análisis de la evolución morfotectónica de amplias regiones del planeta es un tema de creciente interés, especialmente debido a la disponibilidad de grandes bancos de datos topográficos (DEM o «Digital Elevation Model»), traducido por modelo digital del terreno). Estas bases de datos se han utilizado recientemente para producir mapas de grandes regiones o países como el mapa de EEUU de América a escala 1/3.500.000 (Pike, 1991) y el mapa de Italia a escala 1/1.200.000 (Reichenbach *et al.*, 1992). La posibilidad de exagerar el relieve y de sombrar el terreno de la forma más eficiente ensalza las líneas fisiográficas de regiones ligadas a diferentes contextos tectónicos. Estos mapas también están disponibles en España. El mapa hipsométrico de Catalunya, a escala 1/500.000 es un buen ejemplo (ICC, 1995).

La topografía digital se está utilizando también para analizar la distribución de la topografía (relieve local, relieve regional, elevación media y pendientes de regiones activas ligadas a diferentes contextos tectónicos, especialmente de regiones remotas y extensas (p.e., Nanga Parbat, Burbank *et al.*, 1996; y Tíbet, Fielding *et al.*, 1994).

Este trabajo presenta una primera aproximación al análisis morfotectónico de una región amplia de la península Ibérica utilizando la distribución de la red fluvial actual, la topografía actual mediante una base de datos de elevación digital del terreno con una malla de 100m (Servicio Geográfico del Ejército, 1995), y la integración



**Fig. 1.-** Esquema de evolución morfotectónica relacionado con una falla extensional (basado en Gilchrist y Summerfield, 1990). Durante la etapa de rift, la denudación tectónica ligada a la falla normal produce una compensación isostática flexural con formación de una elevación topográfica denominada flanco del rift. La geometría inicial del relieve es suave y concava en la parte trasera, e inclinada en la parte frontal del flanco del rift. El levantamiento del flanco del rift condiciona la organización regional y local de la red fluvial. Esta es más agresiva en la parte frontal del flanco, produciendo una mayor denudación fluvial y un retroceso del escarpe topográfico. La descarga por erosión produce un rebote isostático continuado que mantiene el escarpe topográfico formado durante la extensión.

**Fig. 1.-** Morphotectonic evolution related to rifting (based on Gilchrist and Summerfield, 1990). During the rifting period, the tectonic denudation associated to the normal fault produces a flexural compensation of the rift flank. The rift flank is characterized by an elevated topography with a concave and gentle hindward face and a more pronounced forward face. The formation of a rift flank reorganizes the regional and local fluvial network. Fluvial erosion is more intense in the forward face promoting a hindward migration of the topographic front. Erosional unload produces a continuous isostatic compensation that sustains the elevated topography.

de los resultados dentro del marco geodinámico del NE de Iberia.

### Topografía y sistemas de rift

La asociación espacial y temporal de grandes escarpes topográficos con sistemas de rift continentales ha sido interpretado mediante el mecanismo de levantamiento flexural debido a la denudación tectónica durante la extensión (flanco del rift; p.e. Braun y Beaumont, 1989; y van der Beed *et al.*, 1995). Durante la formación de un rift, se produce un levantamiento del bloque inferior de la falla normal mas externa del sistema de igual magnitud que la subsidencia del bloque superior y con la misma duración (Beaumont *et al.*, 1982). Este levantamiento del flanco del rift ha sido denominado «rift shoulder uplift».

Sin embargo, la gran persistencia de estos escarpes topográficos después de finalizada la etapa de rift (decenas de millones de años) se ha interpretado como producto de los procesos erosivos fluviales (p.e. Gilchrist y Summerfield, 1990). El efecto combinado de la bajada del nivel de base junto con el levantamiento del flanco del rift incrementa la erosión sobre los relieves recién formados, especialmente en el escarpe que mira al graben produciendo un retroceso del escarpe topográfico, alejándose de la falla normal. El aumento de denudación fluvial condiciona las nuevas etapas de compensación isostáticas del conjunto del flanco del rift.

Así la formación y permanencia de escarpes topográficos ligados a un sistema rift se produce por la combinación de procesos internos de denudación tectónica y externos de denudación fluvial. Estos pueden ser sincrónicos en sistemas de rift de larga duración (Fig. 1).

### Análisis del NE peninsular: Distribución del sistema fluvial

La evolución morfotectónica de una región determinada condiciona la organización de la red fluvial. La distribución actual de la red fluvial del NE de la península ibérica se puede dividir en 4 grandes regiones de acuerdo con la dirección del flujo de los ríos. Estas regiones están separadas por divisorias de aguas (Líneas gruesas discontinuas, Fig. 2). La distribución de las divisorias de aguas presentada en este trabajo se ha realizado en base a los grandes ríos (Flechas de distinto tamaño dependiendo de la importancia de los ríos, Fig. 2). La región occidental (W) se caracteriza por grandes ríos, con dirección N-S, que drenan el Pirineo y por ríos de menor importancia que drenan la región de pliegues de la cuenca del Ebro y vierten aguas hacia el W, hacia el río Ebro. La región norte (N) se caracteriza por ríos rectilíneos de dirección N-S que drenan los relieves pirenaicos. La región sur (S) es paralela a la línea de costa y contiene ríos cortos que drenan el sistema Catalánide. Finalmente, la región oriental (E) se caracteriza por ríos de dirección E-W que

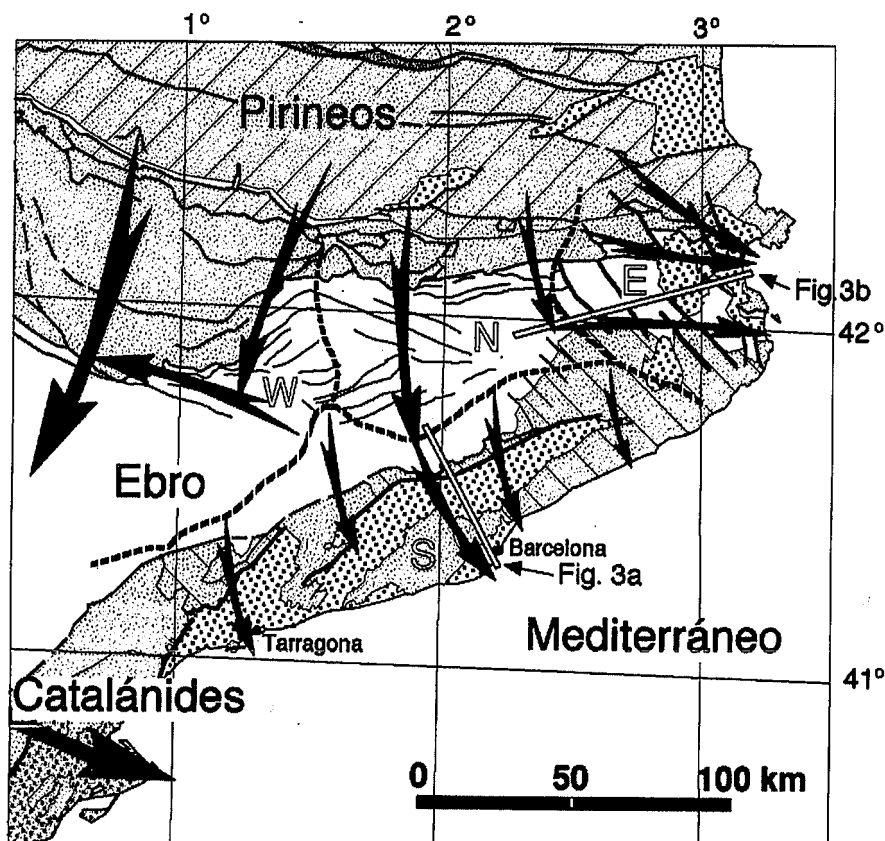


Fig. 2.- Mapa tectónico del NE de la península Ibérica con la situación del sistema fluvial actual (flechas grises) y divisorias de aguas (líneas gruesas discontinuas). Estas separan las 4 diferentes regiones caracterizadas por direcciones distintas del flujo de los ríos. Las regiones S y E están relacionadas con una tectónica extensiva. La región S está ligada a un periodo de rift de edad Oligoceno superior-Mioceno inferior. La región E muestra un relieve más vigoroso y está ligada a un sistema rift iniciado hace unos 10 Ma, asociado a vulcanismo astenosférico y claramente activo en la actualidad (en trazo grueso las fallas normales).

Fig. 2.- Tectonic map of northeastern Iberia with present-day fluvial system distribution (represented by gray arrows) and water-divide boundaries (thick and discontinuous line). The area is separated in 4 regions with different direction of flow. Southern (S) and Eastern (E) regions are associated to extensional tectonics. The S region is related to upper Oligocene-lower Miocene period of rift. The E region shows a more vigorous topography related to a different rifting period starting at 10 My, still active, and associated to asthenospheric volcanism (thick lines represent major normal faults).

vierten aguas al Mediterráneo. Dentro de este esquema tan simple se observan anomalías en algunas de las regiones. El río Segre en la región occidental, pasa de tener una dirección N-S a E-W, paralela a la de los ríos menores situados al sur de la región. En la región norte, el río Llobregat atraviesa la divisoria de aguas meridional y pasa a la región sur (S) y el río Ter gira hacia el este, atraviesa la divisoria oriental y pasa a la región oriental (E). El resto de ríos se mantienen dentro de sus respectivas cuencas hidrográficas (Fig. 2).

Es interesante observar que el límite de la región S es paralelo a la dirección de las principales fallas normales que limitan el sistema de grabens de el Camp y Vallès-Penedès, de edad Oligoceno superior-Mioceno inferior (30-25 Ma, Bartrina *et al.*, 1992), aunque se ha determinado actividad reciente en algunos segmentos de las fallas principales (Masana, 1994). Así mismo, la divisoria de aguas de la región E es también paralela al sistema de fallas que limitan el sistema de grabens del Empordà. Este sistema se ha datado

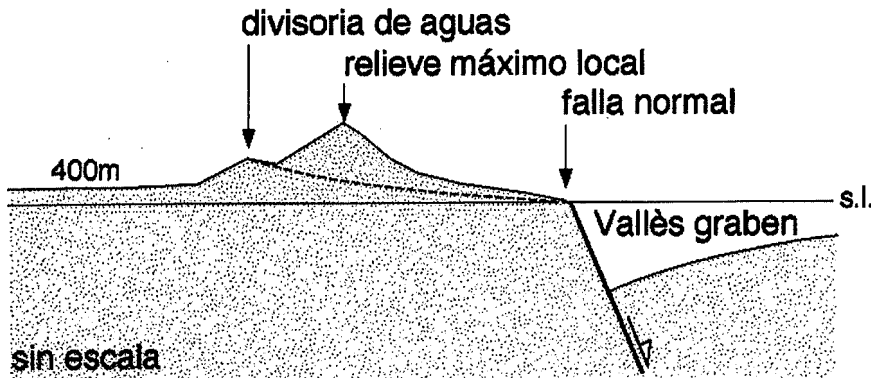
como Mioceno superior (8 Ma) a actual (Saula *et al.*, en prensa).

### Discusión: Análisis de la topografía ligada a los sistemas de fallas

Es muy interesante observar la distribución de las posiciones de tres elementos morfotectónicos principales en los distintos perfiles topográficos estudiados relacionados con las dos regiones con topografía relacionada con los sistemas de rift Neógeno y Cuaternario. Estos elementos son: la falla normal externa del sistema, el relieve máximo local (valor de incisión) y la divisoria de aguas. En la región S (Fig. 3a), la falla externa del sistema extensivo se sitúa a 25 Km de la línea de costa, el relieve máximo local (escarpe topográfico) se sitúa a 11.5 Km de la falla principal mientras que la divisoria de aguas se sitúa a 5 Km detrás del relieve local máximo. Es decir, la cabecera de los ríos ha atravesado claramente el escarpe topográfico. Los ríos pasan el relieve local

a) Sierra Prelitoral

NNW-SSE



b) Sierras Transversales

WSW-ENE

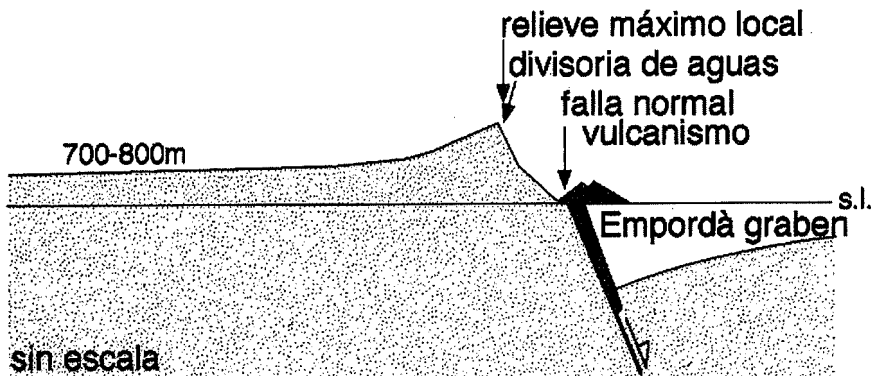


Fig. 3.- Vergés et al. Representación esquemática de la distribución de los elementos morfotectónicos mayores asociados a las regiones S y E (localización de los perfiles en la Fig. 2). a) La divisoria de aguas se encuentra por detrás del relieve local máximo asociado a la falla normal del Vallès-Penedès. b) La divisoria de aguas coincide con el relieve local máximo asociado a las fallas de Amer. La edad reciente de estas fallas y su relación con vulcanismo astenosférico producen una elevada topografía media de la parte trasera del flanco del rift (700-800m), comparada con la de la región S, sin vulcanismo y mas antigua (300-500m).

Fig. 3.- Vergés et al. Cartoons showing the distribution of major morphotectonic elements in S and E regions (Location of profiles in Fig. 2). a) The water divide is located hindwards of the maximum local relief associated to the Vallès-Penedès normal fault. b) The water divide coincides with the maximum local relief related to the Amer fault system. The recent activity of these faults and their relation with asthenospheric volcanism produce an elevated mean topography of the rift flank (700-800m) when compared with the older and without volcanism S region (300-500m).

máximo y se colocan, aguas arriba, paralelos a las estructuras compresivas situadas en la cuenca del Ebro. En este contexto, el río Llobregat presenta una captura de uno de estos ríos originados durante la etapa de rift oligocena superior-miocena inferior, al igual que ha sido interpretada la evolución del río Ebro (Serrat, 1992).

Esta disposición de los elementos morfotectónicos es completamente distinta en la región E (Fig. 3b). En este perfil se observa que el punto de relieve local máximo se sitúa muy próximo a la posición de la falla principal (a 4 Km de la falla de Amer en este caso). La divisoria de aguas se sitúa entre la falla principal y el relieve local máximo (las cabeceras de los ríos están incididos en el escarpe topográfico del flanco del rift). En este caso el río Ter presenta la captura fluvial de un río de dirección N-S (región N) por un río, de dirección E-W, de la región E.

Possible edad del relieve asociado al sistema de fallas de la región NE

Saula et al., (en prensa) proporcionan un corte geológico de dirección E-W y una datación muy completa del sistema de fallas normales que conforman el sistema de grabens del Empordà. Estos autores determinan un desplazamiento acumulado total de 8.4 Km y un inicio de la actividad extensional de 8 Ma basado en la relación del sistema de fallas con el vulcanismo y los sedimentos sin-rift. Si esta velocidad de desplazamiento promedio de 1.05 mm/a se utiliza para la falla de Amer, en la zona del pueblo de Amer la falla podría ser activa desde hace 1 Ma (~1 Km de desplazamiento). Según este valor promedio (análisis de nivelación dan valores de 2.5 mm/a; Giménez et al., en prensa), la topografía resultante en el sector NE podría corresponder a una

topografía muy reciente (~1 Ma) por lo que el sistema fluvial se encuentra en fase inicial y degradando la cara inclinada del escarpe. La actividad actual de la falla de Amer se pone de manifiesto por la distribución de la elevación media de la parte trasera del flanco del rift. Esta es mucho mas importante en esta región (700-800m) que en la región S (300-500m), ligado a un sistema de rift mas antiguo y menos activo en la actualidad (Fig. 3).

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de J. Giménez y X. Berástegui al habernos facilitado sus artículos en prensa (Giménez et al., y Saula et al., respectivamente), importantes para la determinación de la actividad y datación del sistema de fallas extensionales. También agradecemos la discusión mantenida con los miembros del Departamento de Geología Dinámica de la Universidad de Barcelona.

La investigación ha sido parcialmente financiada por el Comissionat per Universitats i Recerca de la Generalitat de Catalunya. (GRQ94-1048).

Referencias

Bartrina, M.T., Cabrera, L., Jurado, M.J., Guimerà, J. y Roca, E. (1992) *Tectonophysics*, 203: 219-147.  
 Beaumont, C., Keen, C.E., y Boutilier, R. (1982) *Royal Soc. of London Philosophical Transactions*, ser. A., 305: 295-317.  
 Braun, J. y Beaumont, C. (1989) *Geology*, 17: 760-764.  
 Burbank, D.W., Leland, J., Fielding, E., Anderson, R.S., Brozovic, N., Ried, M.R. y Duncan, C. (1996) *Nature*, 379: 505-510.  
 Fielding, E., Isacks, B., Barazangi, M. y Duncan, C. (1994) *Geology*, 22: 163-167.  
 Gilchrist, A.R. y Summerfield, M.A. (1990) *Nature*, 346: 739-742.  
 Giménez, J., Suriñach, E., Fleta, J. y Goula, X. (prensa) *Tectonophysics*  
 Institut Cartogràfic de Catalunya (1995) *Mapa hipsomètric de Catalunya* (1/500.000)  
 Masana, E. (1994) En: Geomorfología en España (Arnaez, J., Garcia Ruiz, J. M. y Gomez Villar, A. Eds.). *Sociedad Española de Geomorfología, Logroño*: 29-41.  
 Pike, R.J. (1991) *GSA Today*, 1 (11)  
 Reichenbach, P., Acevedo, W., Mark, R.K., y Pike, R.J. (1992) *Landforms of Italy Map* (1/1.200.000)  
 Saula, E., Picart, J., Mató, E., Llenas, M., Loantos, M., Berástegui, X., y Agustí, J. (prensa) *Acta Geològica Hispànica*  
 Serrat, D. (1992) *Història Natural dels Països Catalans*, Geologia II, 375-389.  
 Servicio Geográfico del Ejército (1995) *Carta Digital de España*.  
 van der Beek, P., Andriessen, P. y Cloetingh, S. (1995) *Tectonics*, 14: 406-421.