

L'ACTIVITAT NEOTECTÒNICA A LES CADENES COSTANERES CATALANES

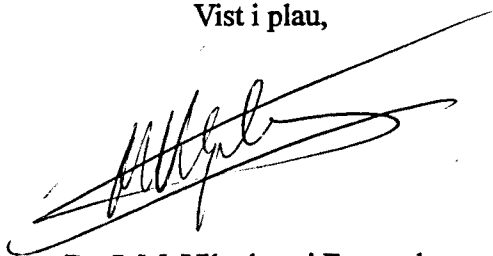
Eulàlia Masana

*Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia
Universitat de Barcelona*

1995

Tesi presentada per Eulàlia Masana Closa
per a optar al grau de doctor en geologia
Barcelona, Setembre de 1995

Vist i plau,



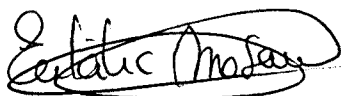
Dr. J. M. Vilaplana i Fernandez
Director de la tesi

Vist i plau,



043 MASANA CLOSA
Dr. J. Guimerà i Rosso
Director de la tesi

BIBLIOTECA DE GEOLOGIA
Universitat de Barcelona-CSIC



Eulàlia Masana Closa

PERFELS TOPOGRÀFICS DEL FRONT DEL MONTSENY

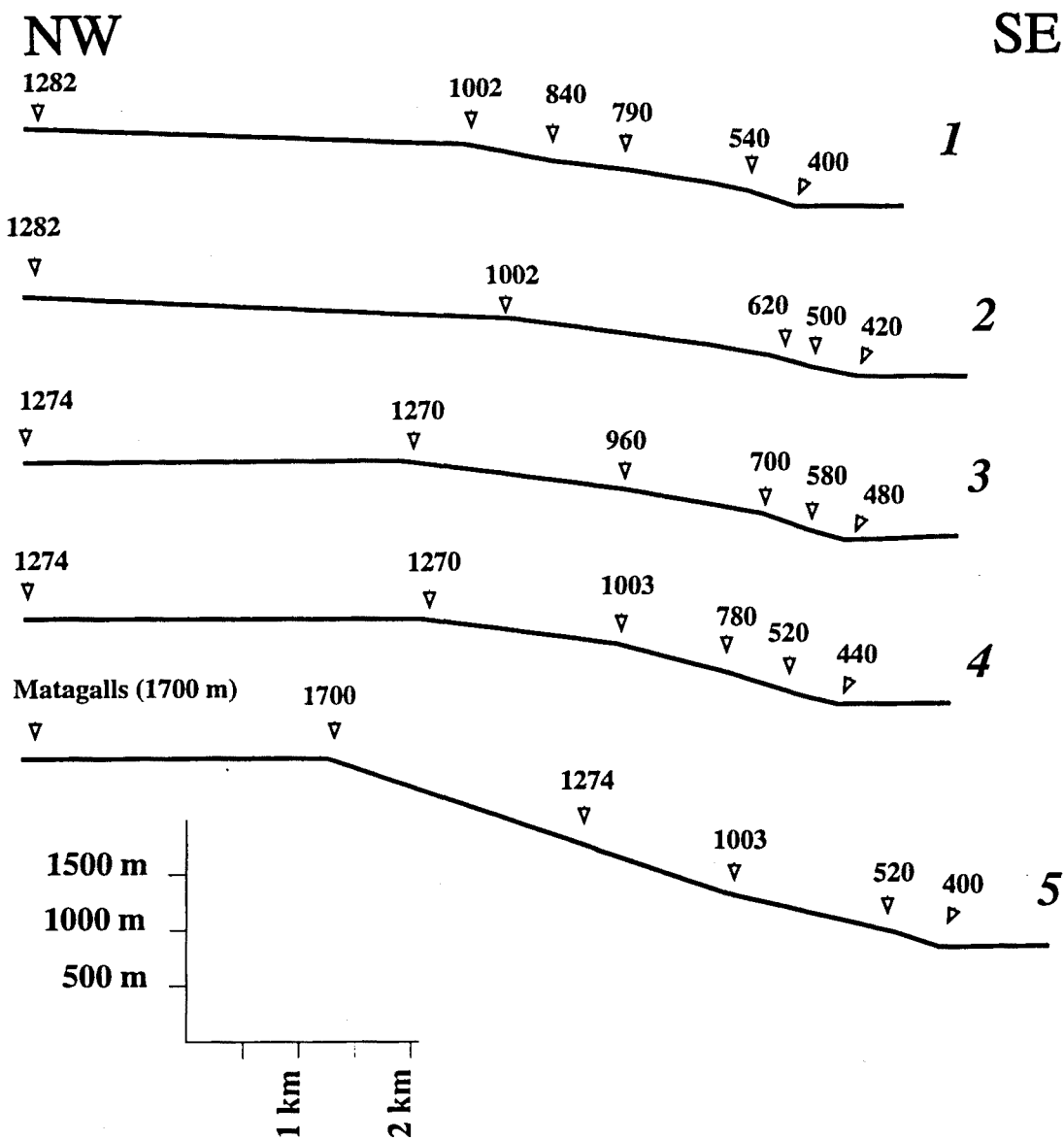


Fig. 2.32. Perfils topogràfics del front del Montseny. La convexitat cap a la base és clara en la majoria dels perfils. L'escala vertical està exagerada. Perfils situats en la Fig. 2.28.

Fig. 2.32. Topographical profiles of the Montseny front. The convexity up to the base is clear in the majority of profiles. The vertical scale is exaggerated. Profiles can be found in fig.2.28.

La disposició del drenatge en el front del Montseny (fig. 2.30) indica també un aixecament recent, ja que és clarament perpendicular al front i a la cresta -aquesta situada ja a la conca de l'Ebre en les conques de drenatge dels rius més meridionals-. L'índex de l'espaiat de les conques és de 0.96, valor alt per a un front actiu.

No dispo de dades que em permetin detectar l'existència d'un pediment al peu d'aquest front muntanyós. En canvi, l'existència de l'escarpament de falla descrit més amunt indica que la falla és al peu del front en la zona on s'ha observat i per tant nega l'existència d'un pediment per a aquella zona. En algun cas he observat valls penjades que no estan relacionats amb la tectònica sinó amb canvis litològics, com en el cas de la riera de Gualba, on alguns canvis de pendent o la capçalera penjada són deguts a la presència del leucogranit, més resistent a l'erosió que la granodiorita.

Els perfils topogràfics realitzats al front del Montseny són clarament convexos cap a la base del front tal i com es veu a la figura 32. Això indica que l'aixecament ha estat suficientment ràpid i recent com per a què l'erosió no hagi pogut encara aconseguir un altre cop l'equilibri topogràfic.

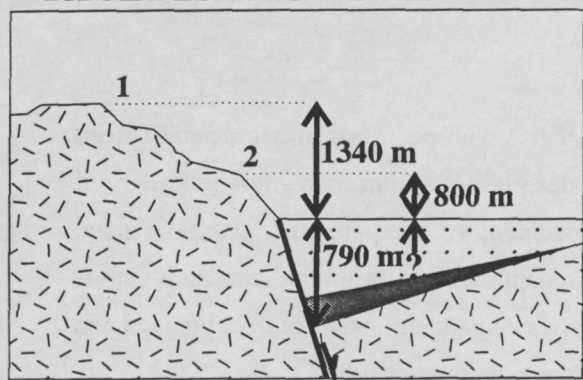
La potència del rebliment sedimentari neogen de la fossa del Vallès és de 790 m en un sondatge fet a Granollers, pocs kilòmetres al S del front (Solé 1964). Tot i així, cal suposar que la potència va disminuint cap al NE ja que el substrat arriba a aflorar al S de Breda. Amb aquestes dades s'ha realitzat l'estimació de l'edat de les facetes més altes. L'índex de lliscament de la falla, suposant, una edat d'inici del seu moviment normal a l'Aquitanià, és de 0.09 mm/a i, amb l'inici al Burdigalià, és de 0.11 (fig. 2.33). Així, en el primer cas l'edat de les facetes més altes s'estima en 14.12 Ma i en el segon en 11.55 Ma. Per a les facetes d'una generació més recent a les més altes l'edat estimada és de 9.4 i 7.7 Ma depenent de si s'usa una o altra taxa. Així, a l'igual que al front del Baix Ebre, s'estima una edat anterior a la crisi Messiniana per a les facetes més antigues, cosa que n'explicaria l'elevat grau de degradació, i una edat plio-aternària per a les més baixes.

2.2.3.4.EL FRONT DEL PLA DEL BURGAR

Aquest front mostra alguns indicis d'activitat tectònica recent tot i que ni la seva magnitud ni la significació dels criteris geomorfològics el fan comparable als descrits fins ara.

El Pla del Burgar és una depressió allargada en direcció N-S, de 20 km de llarg i 6 d'ample i reblerta de sediments quaternaris que formen una plana al·luvial. Pel N s'obre a la cubeta de Mora. Pel

ALINEACIÓ DEL MONTSENY. FACETES MÉS ALTES



Index de lliscament de la falla I:

$$I1 = \frac{2130 \text{ m}}{23.7 \text{ Ma}} = 0.09 \text{ mm/a}$$

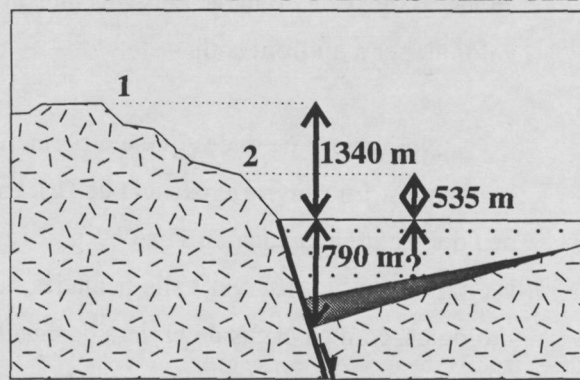
$$I2 = \frac{2130 \text{ m}}{19 \text{ Ma}} = 0.11 \text{ mm/a}$$

Si: $\frac{H_a}{H_s} = \frac{h_a}{h_s}$; llavors: $h_a + h_s = 1271 \text{ m}$

$$\text{Edat facetes} = \frac{h_a + h_s}{I1} = 14.12 \text{ Ma}$$

$$\text{Edat facetes} = \frac{h_a + h_s}{I2} = 11.55 \text{ Ma}$$

ALINEACIÓ DEL MONTSENY. FACETES SEGÜENTS MÉS ALTES



Index de lliscament de la falla I:

$$I1 = \frac{2130 \text{ m}}{23.7 \text{ Ma}} = 0.09 \text{ mm/a}$$

$$I2 = \frac{2130 \text{ m}}{19 \text{ Ma}} = 0.11 \text{ mm/a}$$

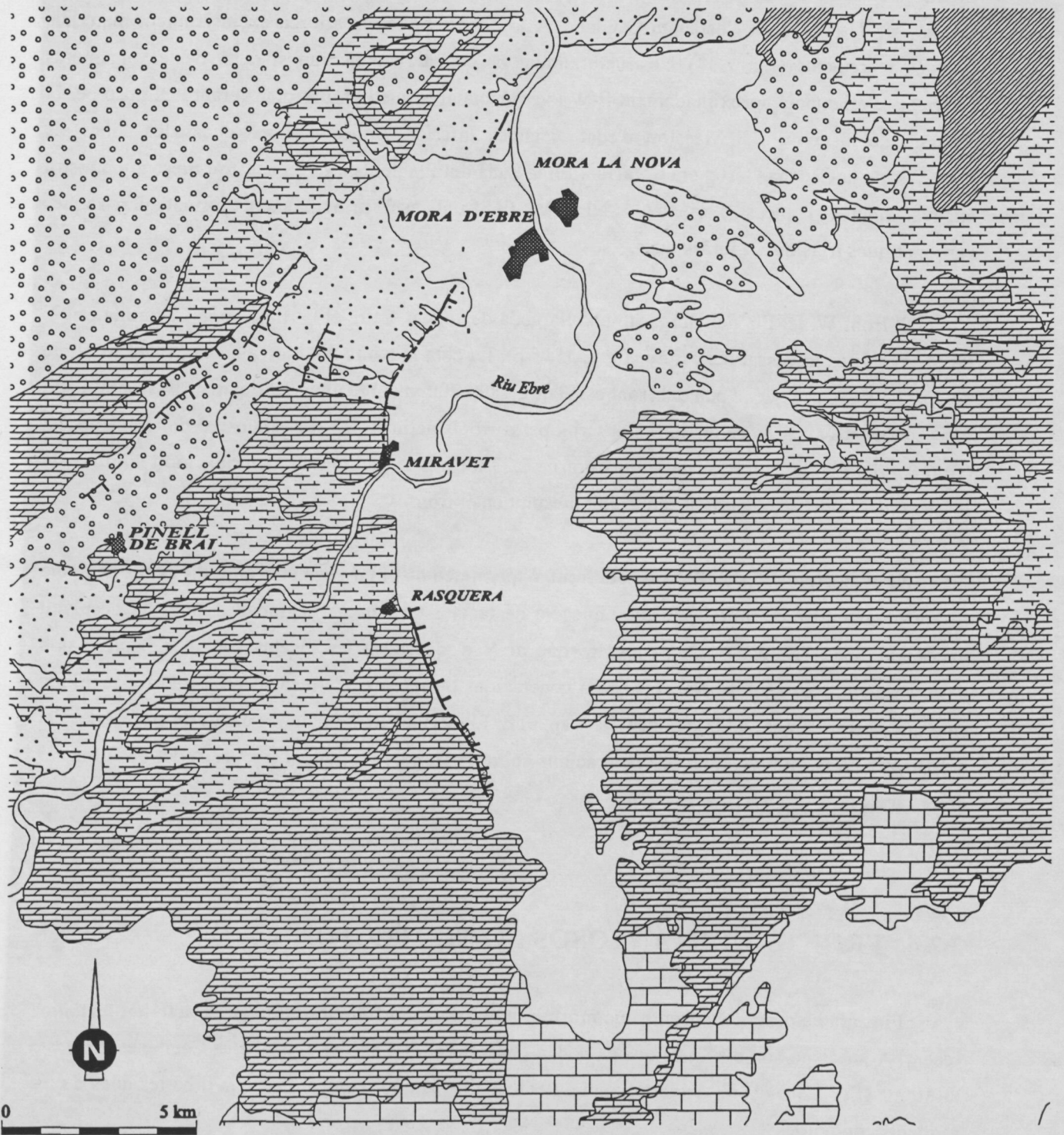
Si: $\frac{H_a}{H_s} = \frac{h_a}{h_s}$; llavors: $h_a + h_s = 850 \text{ m}$

$$\text{Edat facetes} = \frac{h_a + h_s}{I1} = 9.4 \text{ Ma}$$

$$\text{Edat facetes} = \frac{h_a + h_s}{I2} = 7.7 \text{ Ma}$$

Fig. 2.33. Esquemes d'explicació del càlcul de l'estimació, per al front del Montseny, de l'edat de les facetes més altes i les formades en el següent estadi d'aixecament d'aquest, considerant l'inici del lliscament de la falla a l'Aquitanià (I1) i al Burdigalià (I2). Vegeu explicació al text.

Fig. 2.33. Schematics explaining the calculation of the estimate of the age of the highest facets at the Montseny front and the facets formed in the next period of this lifting, when considering that the fault began to be active either during the Aquitania (I1) or Burdigalia (I2) periods. See text for explanation.



LLEGENDA









	Plio-quaternari		Cretaci		Paleozoic
	Miocè		Juràssic		Falles amb expressió morfològica
	Paleògen		Triassic		

Fig. 2.34. Mapa geològic del Pla del Burgar.

Fig. 2.34. Geological map of the Pla del Burgar.

S, E i W es troba encaixada en el substrat mesozoic de la Zona d'Enllaç i de la cubeta de Mora, que forma part de la Cadena Costanera Catalana. A la Zona d'Enllaç hi afloren exclusivament materials juràsics i cretàcics (fig. 2.34) i estructuralment es caracteritza per un sistema d'encavalcaments imbricats d'orientació aproximadament E-W i vergència al N que es va formar durant l'Oligocè per la inversió de la conca del Maestrat d'edat cretàcica inferior. Aquest sistema encavalca sobre els materials de la Cadena Costanera Catalana. En la zona del Pla del Burgar el substrat mesozoic mostra encavalcaments i plecs d'orientació NE-SW. El front està principalment format per roques carbonàtiques triàsiques i juràsiques.

El front W del Pla del Burgar té una llargada de 13 km, entre el barranc de la Caparella i el N de Miravet, i és travessat per l'Ebre (fig. 2.35a i b). La cota màxima del bloc aixecat és 944 m al pic de Xaquera, mentre que el peu del front està entre 180 i 200 m sobre el nivell del mar. El front mostra una sinuositat baixa, entre els límits descrits per a fronts actius, 1.23. La sinuositat del front oposat (front E) del Pla del Burgar, que té un valor de 2.23 tot i estar esculpit en materials molt similars, fa més significatiu el baix valor de sinuositat mesurat en el front W.

Ni la morfologia ni la llargada del front W permeten distingir segments amb diferent orientació o morfologia. Està delimitat per una alineació de facetes triangulars degradades, amb un desnivell màxim al S de l'Ebre de 300 m mentre que al N d'aquest riu les facetes són més baixes, amb desnivells entre 20 i 90 m. No s'observen generacions de facetes. L'alineació no és del tot rectilínia sinó que descriu un arc amb la concavitat cap a l'E. El desconeixement de les dades de subsòl del Pla del Burgar no permet efectuar les estimacions sobre l'índex de lliscament i sobre l'edat de formació de les facetes.

2.2.4. FRONTS MUNTANYOSOS NO NEOTECTÒNICS.

Fins ara he descrit els fronts que mostren indicadors morfològics més clars d'activitat tectònica recent. Aquests no són els únics que es poden observar a les Cadenes Costaneres Catalanes. La resta de fronts (fig. 2.36) els he descartat com a neotectònics ja que reunien o bé una o bé les dues de les següents condicions:

- Fronts que mostren alguns dels indicadors morfològics d'activitat neotectònica però que alhora contenen algunes condicions que poden haver afavorit l'aparició d'aquests indicadors

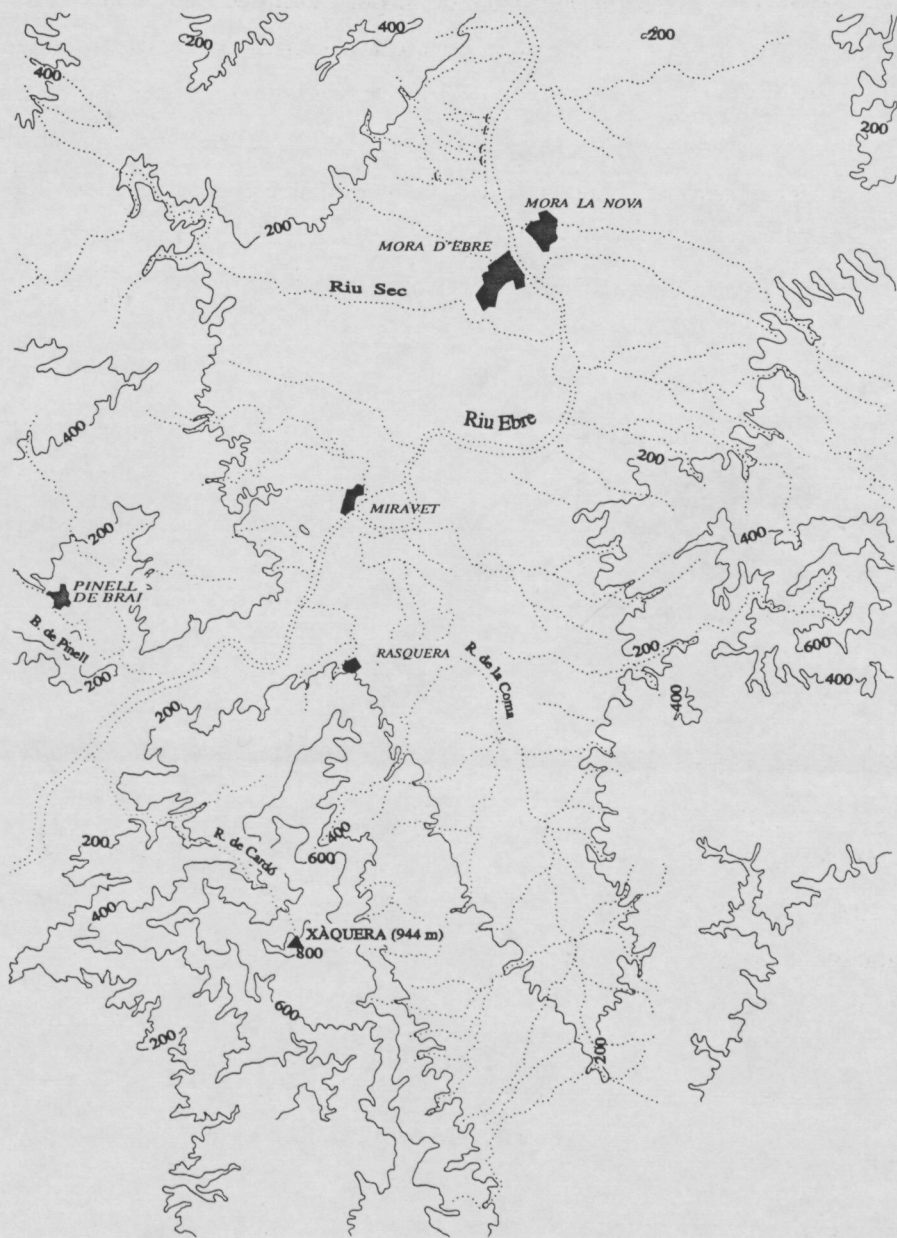
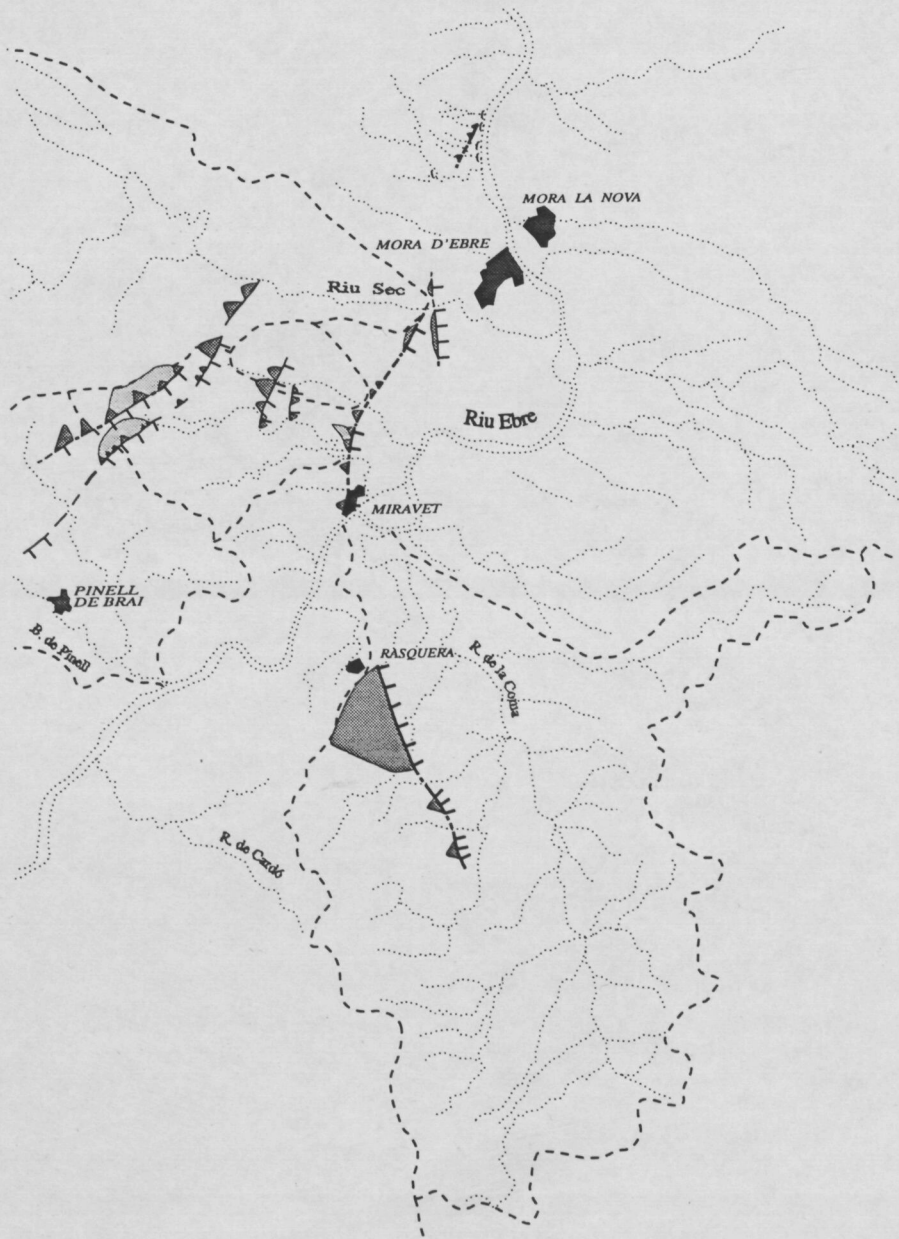


Fig. 2.35. Mapa geogràfic i mapa de situació de les alineacions i les facetes triangulars detectades a la zona del Pla del Burgar.

Fig. 2.35. Geographic map and map of the position of the situation of the alignments and the triangular facets detected in the area of the Burgar Plain.



	D	R ²
Montseny	1,077594675	0,948749
CampCW	1,135276601	0,94981397
EbreW	1,081997521	0,94985482
Burgar W	1,066263780	0,94917348
CampSW	1,187346459	0,94964191
PenedèsE	1,111843584	0,94973754
MontnegreWS	1,153632275	0,94981826
MontnegreWN	1,140744957	0,94973754
MontnegreE	1,116475902	0,94958
EbreE	1,123230933	0,94998937

Taula 1. Valors de la dimensió fractal (D) de la línia frontal dels fronts muntanyosos i coeficient de correlació (R^2) de l'ajust realitzat.

Table 1. Values of the fracture dimension (D) of the frontal line of the mountainous fronts and the co-efficient of correlation (R^2) for the adjustment carried out.

independentment de l'activitat tectònica recent. Algunes d'aquestes altres causes de morfologia semblant a la morfologia de front neotectònic poden ser:

1. Estructura alpina del bloc aixecat paral·lela al front. Això implicaria en alguns casos fractures paral·leles o bé contactes litològics paral·lels al front. En aquests casos el front pot tenir una sinuositat molt baixa i pot mostrar formes triangulars, *flat irons*, que es confonguin amb facetes triangulars, tot i que difícilment mostraran diverses generacions. Exemples de fronts que mostren aquesta problemàtica són el front de Miramar i el front NW del Penedès.

2. Casos en què hi ha un altre agent important de rejuveniment del front. En aquests casos l'edat de la formació tectònica del front, si n'hi ha hagut, no és directament proporcional a la baixa sinuositat ni a la baixa degradació d'aquest, ja que un altre agent no tectònic important hi ha anat actuant. A l'àrea estudiada s'han considerat dues situacions en les que aquest supòsit pot produir-se: que el front coincideixi amb la línia de costa, possiblement influenciat per variacions del nivell del mar, o que un riu important circuli subparal·lel al front. Exemples de fronts que es consideren afectats per aquestes condicions són el del Montnegre, paral·lel a la costa, el front del límit SE de la fossa del Vallès, amb els rius Mogent i Tordera subparal·lels i el segment entre Martorell i Sant Sadurní d'Anoia del front SW de la fossa del Penedès, amb el riu Anoia paral·lel al front.

Tant en un cas com en l'altre, aquests condicionants en els fronts no impliquen necessàriament la inexistència de neotectònica al front, però aquesta es fa difícil de determinar.

• Fronts que no mostren indicis morfològics clars d'activitat recent. En aquest grup de fronts hi he considerat aquells que no mostren cap de les condicions morfològiques explicades al principi del capítol com a indicadores de neotectònica. També s'han inclòs aquí els fronts que només mostren un dels indicadors i encara poc clarament i a voltes contraposadament a d'altres indicadors com la sinuositat molt baixa o un índex de separació de conques molt alt. Exemples d'aquests fronts són els que limiten pel SE la fossa del Penedès, pel SE la fossa del Camp, pel SE la fossa del Baix Ebre i per l'E el Pla del Burgar.

	D (1er segment)	R2	D (2on segment)	R2	D (3er segment)	R2
Montseny	1,057	0,984	1,112	0,942		
CampCW	1,074	0,989	1,167			
EbreW	1,057	0,988	1,093	0,935		
Burgar W	1,048	0,954	1,082	0,900		
CampSW	1,062	0,996	1,171	0,958	1,260	0,925
PenedèsE	1,061	0,994	1,089	0,996	1,131	0,962
MontnegreWS	1,081	0,994	1,193	0,959		
MontnegreWN	1,063	0,989	1,109	0,974	1,204	0,975
MontnegreE	1,075	0,991	1,249	0,966		
EbreE	1,058	0,995	1,133	0,955		

Taula 2. Valors bimodals i trimodals de la dimensió fractal de la línia frontal dels fronts muntanyosos analitzats (D), i valors del coeficient de correlació (R^2) de l'ajust realitzat.

Table 2. Bimodal and trimodal values of the fractal dimension of the frontal line of the mountainous fronts analysed (D) and values of the co-efficient of correlation (R^2) for the adjustment carried out.

	PAS (m)
Montseny	526
CampCW	739
EbreW	686
Burgar W	769
CampSW I	507
CampSW II	1404
PenedèsE I	346
PenedèsE II	743
MontnegreWS	423
MontnegreWN I	423
MontnegreWN II	1005
MontnegreE	451
EbreE	523

Taula 3. Valors en metres del pas de mesura en què es produeix el canvi de pendent de la recta d'ajust, és a dir, els valors del pas en què varia la dimensió fractal de la línia frontal dels fronts muntanyosos analitzats. En els fronts on la dimensió fractal és trimodal es donen els valors del pas corresponents als dos canvis de dimensió fractal (I i II).

Table 3. Values in metres of the step measurement from which the change of gradient is adjusted to produce a straight line, that is to say, the values of the steps in which the variable fractal dimension of the frontal line of the mountainous fronts was analysed. In the fronts where the fractal dimension is trimodal they are given step values that correspond with the two changes in the fractal dimension.

2.2.5. ANÀLISI DE FRACTALS

Per tal de detectar possibles diferències en la degradació del front, també expressades anteriorment mitjançant el valor de la sinuositat, he realitzat una anàlisi de la dimensió fractal de la línia de front. Tot i que l'anàlisi de fractals ha estat utilitzat per d'altres autors per a realitzar anàlisis morfomètrics de formes geològiques com costes, vores de llacs, etc, aquest mètode no s'ha aplicat a l'estudi de la degradació de fronts muntanyosos.

L'anàlisi es basa en la comparació dels valors de la dimensió fractal obtinguts per a cada front. La dimensió fractal representa un índex de mesura del grau de convolució de la corba que s'està estudiant (Mandelbrot 1977). Aquesta dimensió ve determinada per la relació entre el perímetre mesurat i el pas utilitzat per a realitzar la mesura, és a dir entre la llargada de la corba i la unitat de mesura utilitzada en la realització de la mesura. Aquesta relació queda determinada per:

$$\text{Log(perímetre)}=b\text{Log(pas)}+a$$

on el pas és la unitat de mesura, el perímetre el valor de la mesura utilitzant el pas, i el valor b el pendent de la relació entre el perímetre i el pas. La dimensió fractal D queda determinada per:

$$D=1-b$$

Així, en cas de tractar-se d'una recta perfecta, la variació de la llargada de la recta en funció del pas utilitzat serà nul·la i tindrà una dimensió 1 (línea), en canvi, en una corba molt convolucionada el valor de la llargada de la corba s'incrementarà al disminuir el pas amb que és mesuri i la dimensió fractal tendirà a 2.

Els fronts muntanyosos que han estat molt de temps exposats a la degradació mostraran una línia convolucionada comparada amb la dels fronts formats recentment o amb els que són rejuvenits amb freqüència. Així, en els primers, la dimensió fractal serà més propera a 2 que en els segons.

Aquesta anàlisi s'ha realitzat sobre les línies de front a escala 1:250 000. La baixa qualitat d'algunes de les dades a aquesta escala ha fet desestimar l'anàlisi en algun front (fronts de l'E del pla del Burgar i de l'E de la fossa del Camp). L'estudi ha consistit, en primer lloc, en el càlcul de la dimensió fractal de cada front, càlcul que ha mostrat la dificultat d'ajustar una sola recta a

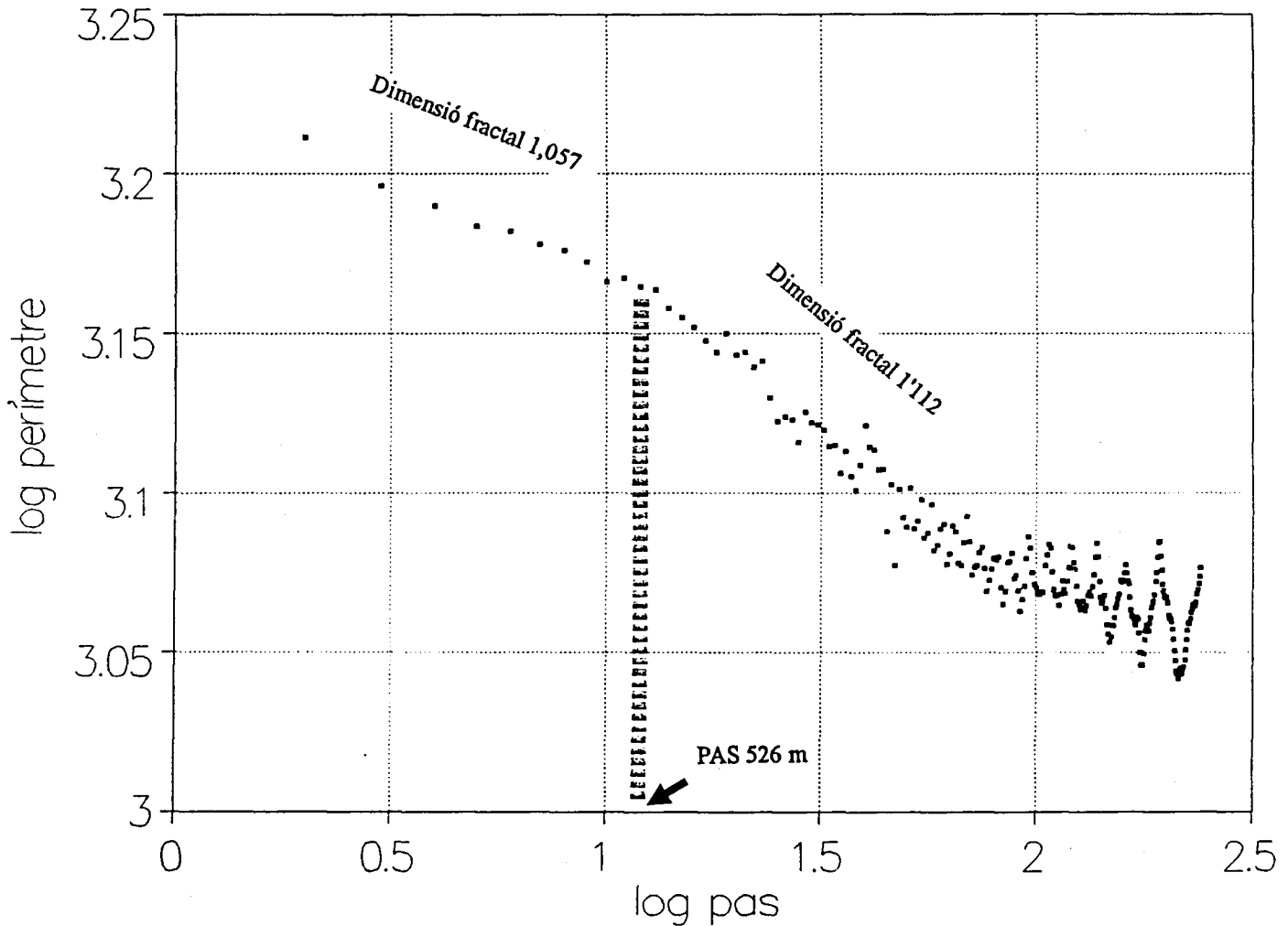


Fig. 2.37. Valors del pas respecte al perímetre obtinguts de l'anàlisi del front del Montseny. El pendent de la recta ajustada a aquest gràfic correspon a la dimensió fractal del trajecte analitzat. En aquest cas, però, el gràfic mostra dues zones amb pendent diferenciat, indicant que el front es pot qualificar de bimodal. El valor del pas en el que es produeix el canvi de pendent de la recta permet interpretar, per als fronts del Montseny, la part central del Camp, el front W del pla del Burgar i el front W del Baix Ebre, un major control estructural vers el textural, fet que s'atribueix a un major rejuveniment d'aquests fronts vers els altres analitzats (vegeu text).

Fig. 2.37. Values of the steps with regard to the perimeter obtained in the fractal analysis of the Montseny front. The gradient of the adjusted line for this graph corresponds to the fractal dimension of the analysed section. In this case, though, the graph shows two areas with different gradients, indicating that the front could qualify as bimodal. The value of the step from which is produced the change of the gradient line permits interpretation, for the fronts of Montseny, the central part of Camp, Pla del Burgar and the west Baix Ebre, a major structural control towards the textural, an event that is attributed to a major rejuvenation of these fronts towards the others analysed. (see text).

la relació calculada. En canvi, realitzant l'ajust per sectors s'aconsegueixen valors de R més adequats i per tant, es pot afirmar que el comportament dels fronts estudiats no és monofractal. Així, el segon pas de l'estudi ha consistit en el càlcul de la dimensió fractal per segments, i en la interpretació dels resultats.

La dimensió fractal calculada mitjançant el pendent de la recta ajustada a tots els punts del gràfic Log pas-Log perímetre (taula 1.), mostra, tot i no mostrar un quocient R elevat, que els valors són lleugerament més alts en els fronts que s'han descrit en aquesta memòria com a no neotectònics (SW del Camp, E del Baix Ebre, NW del Montnegre, SW del Montnegre, E del Penedès i W del Penedès) -entre 1'11 i 1'18- , mentre que en els fronts del W del Pla del Burgar, centre W del Camp i W del Baix Ebre els valors són globalment més baixos -entre 1'06 i 1'13- (fig. 2.37). Això indica, tot i la poca diferenciació entre uns valors i els altres, que els fronts neotectònics tendeixen més a una recta mentre que els no neotectònics tendeixen més a una superfície (dues dimensions). Tal com ja s'ha explicat en l'apartat de sinuositat, un escarpament de falla és molt rectilini quan és molt recent ja que és el resultat d'una deformació lineal; així, els fronts amb els valors de la dimensió fractal més alts estan més distanciats de la seva forma original, mentre que els de dimensió més baixa són més recents.

Pel que fa a l'ajustament, més adequat, per sectors (taula 2.), els resultats mostren que en els fronts del Montseny, del W del Baix Ebre i la zona central del Camp (W) la relació perímetre-pas està formada per dues rectes, amb valors de la dimensió fractal entre 1.082 i 1.171 per a les mesures del perímetre utilitzant un pas menor a 526-769 m i amb valors entre 1.048 i 1.074 per a les mesures amb un pas major. La resta de fronts mostren sovint tres valors de la dimensió fractal, amb valors en el primer tram entre 1.058 i 1.081, en el segon entre 1.089 i 1.249 i en el tercer entre 1.131 i 1.204; el primer límit entre valors de la dimensió fractal es produeix per a un valor de pas entre 346 i 523 m mentre que el segon es produeix entre 743 i 1404 m (fig. 2.37).

A nivell genèric, l'evolució d'una forma del relleu està controlada pels agents estructurals, que en general es poden considerar de dimensions relativament elevades i els agents texturals, que actuen a escala més reduïda. Entre els primers agents destaca l'existència de fractures actives, així com la presència de contactes litològics. Els segons estan principalment representats pels agents erosius -fluvials, eòlics, marins, de moviments de massa etc-. Així, un front exposat molt de temps a la degradació sense haver experimentat rejuveniment passarà poc a poc a ser controlat pels agents texturals. Els agents estructurals influïrien en un front muntanyós fent variar la dimensió fractal en els valors alts del pas (es tractaria de la influència de fractures majors), mentre que els agents texturals influïrien fent que la variació de la dimensió fractal tingués lloc en els valors baixos del pas.

A la zona estudiada, els valors del pas corresponents al punt on es produeix el canvi de la dimensió fractal són més alts en els fronts que mostren altres indicis morfològics d'aixecament recent -valors entre 526 i 769- que en la resta de fronts -valors entre 346 i 523- (la comparació, en els gràfics on s'observen dues inflexions, s'ha realitzat tan sols entre els valors de la primera inflexió ja que l'ajust és millor en la part del gràfic corresponent a valors baixos del pas)(taula 3). Atribueixo aquest fet a un domini dels agents estructurals en els fronts on el valor és alt i un domini dels agents erosius en els fronts on aquest valor és baix. Així, interpreto els primers (Fronts del Montseny, del SW del Camp, del W de l'Ebre i del W del pla del Burgar) com a més recents que els segons (fronts de l'E del Penedès, del SW del Montnegre, del NW del Montnegre, de l'E del Montnegre i de l'E de l'Ebre).

L'existència de diversos punts d'inflexió en el gràfic de la dimensió fractal en alguns dels fronts que també mostren un valor de la dimensió fractal més alt (fronts del Sw del Camp, de l'E del Penedès i del NW del Montnegre), s'interpreta com una evidència de l'actuació de una major varietat d'agents erosius que fan notar la seva influència a diferents escales en el front. És per tant un nou indicador de la major degradació del front.

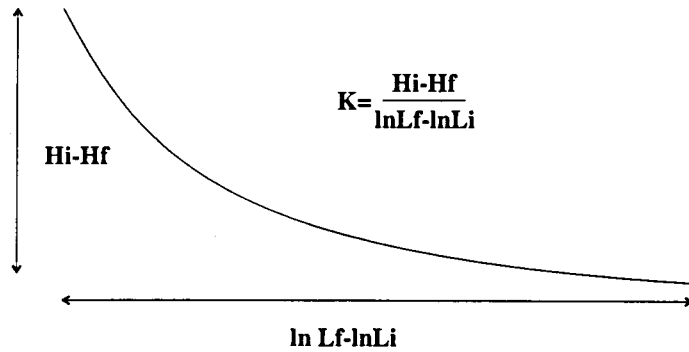
2.3. LA XARXA FLUVIAL

2.3.1. INTRODUCCIÓ

L'anàlisi de la xarxa fluvial aporta informació útil en l'estudi de la neotectònica d'una àrea. Diversos autors n'han aplicat diversos aspectes amb resultats satisfactoris (Sengör 1979, Keller et al. 1982, Seeber i Gornitz 1983, Allen et al. 1984, Sieh i Jahns 1984, Peltzer et al. 1985, Gaudemer et al. 1989, Silva et al. 1992b,d, Zuchiewicz i Oaks 1994). L'anàlisi de la xarxa fluvial presenta avantatges davant els altres mètodes morfològics: per una banda la seva extensió en l'espai fa que la zona estudiada pugui ser analitzada en tota la seva superfície amb el mateix mètode; per l'altra, l'anàlisi pot incloure tant els perfils longitudinals com la distribució en planta de la xarxa, obtenint així informació en 3D. També cal destacar que es té un bon coneixement de l'estat d'equilibri d'una xarxa fluvial en certes condicions, tant pel que fa als perfils com a la distribució en planta; així, variacions respecte a aquest equilibri, que per altra banda són fàcilment enregistrades per la xarxa, es poden detectar amb facilitat. En detriment d'aquests avantatges cal dir que la interpretació d'una anàlisi d'aquestes característiques és complicat, en molts casos, degut a què diversos factors, a més del tectònic, controlen la desviació respecte de l'equilibri.

La principal aportació de la xarxa fluvial en estudis de neotectònica ha estat clàssicament la detecció de l'existència de falles direccionals que es realitza amb facilitat a partir de la distribució en planta de la xarxa. Diversos autors han mostrat exemples d'aquest ús de l'anàlisi de la xarxa fluvial (Gaudemer et al. 1989, Peltzer et al. 1985, Allen et al. 1984, Keller et al. 1982, Sengör 1979, Sieh i Jahns 1984). Pel que fa a estudis neotectònics en zones amb moviments verticals (falles normals, inverses o abombaments i subsidències), les observacions a fer són més laborioses i diverses; en destaquen: l'anàlisi del perfil longitudinal dels rius -índex de gradient- (Seeber i Gornitz 1983, Zuchiewicz i Oaks (en premsa), Silva et al. 1992c); la localització d'asimetries en planta (Armijo et al. 1986, Gallart et al. 1984) i les anomalies en l'acumulació-degradació en el llit del riu (Ouchi 1985, Schumm 1986).

PER A TOT EL RIU



PER A UN SEGMENT

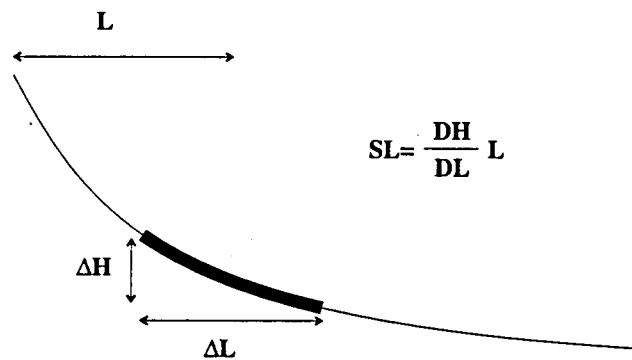


Fig. 2.38. Càlcul del valor de l'índex de gradient per a tot el curs (K) i de l'índex de gradient d'un segment de curs fluvial (SL). La relació SL/K permet detectar anomalies respecte al perfil d'equilibri del riu analitzat (vegeu text).

Fig. 2.38. Calculation of the value of the gradient index for the whole course (K) and the index of the gradient for a segment of the fluvial course (SL). The relationship SL/K permits the detection of anomalies with respect to the profile of the river analysed. (see text).

En la zona estudiada s'ha realitzat una anàlisi del perfil longitudinal dels rius, observacions sobre la incisió, revisió de la xarxa en planta i una anàlisi morfomètrica de les conques de drenatge.

A les Cadenes Costaneres Catalanes, el clima típicament mediterrani fa que la xarxa fluvial tingui, en general, un règim irregular. A la primavera i la tardor es produeixen dos pics de màxim cabal mentre que a l'estiu i a l'hivern es pateixen fortes sequeres. Les capçaleres dels rius que drenen la zona estudiada estan majoritàriament en les mateixes cadenes Litoral i Prelitoral tot i que en algun cas se situen a la conca de l'Ebre (Congost, Francolí, Anoia) i en el cas del Llobregat i l'Ebre, al Pirineu.

Els grans sistemes lacustres existents al centre de la Conca de l'Ebre durant el Paleògen superior i el Miocè, indiquen que la conca de l'Ebre era endorreica durant aquest període. La fi d'aquests sistemes determina l'inici del drenatge cap a la Mediterrània. Durant la distensió neògena, que s'inicià a la zona emergida a la base del Miocè, l'efecte "espatlla" possiblement provocà un aixecament de la Cadena Costanera Catalana que augmentà el poder erosiu dels rius que s'encaixaren en les cadenes litoral i prelitoral. El drenatge recollit a la fossa del Vallès-Penedès era evacuat per l'estret del Vendrell. La crisi messiniana incrementà molt el potencial erosiu dels rius fins a fer que l'erosió remuntant permetés que alguns rius travessessin la Cadena Litoral i s'establís l'estructuració actual de la xarxa fluvial (Llobregat, Anoia, Francolí, Congost) (Serrat 1992). Gallart (1981) proposa que el drenatge que travessa la Cadena Litoral és antecedent basant-se en la seva disposició obseqüent respecte al rebliment de la fossa neògena, basculada cap al NW, tot i que aquesta disposició es pot explicar també per la presència de ventalls al·luvials adossats al peu de la Cadena Prelitoral.

2.3.2. ANÀLISI DELS PERFILS LONGITUDINALS DELS RIUS

Aquesta anàlisi ha consistit en la comparació, per a un segment concret del riu, del pendent mesurat i el pendent esperat segons un model d'equilibri. A continuació exposo com he estimat el model d'equilibri i com he calculat el pendent per a cada segment.

Considero que els rius analitzats tendeixen a ser rius gradats en el sentit de Mackin (1948). Aquest autor, després de Gilbert (1877) i Davis (1902), considera que un riu és gradat quan l'amplada, fondària i pendent del seu canal aporten la velocitat justa per a transportar el cabal i el sediment del riu. La modificació d'alguna d'aquestes característiques, provocaria un reajustament en les altres per a

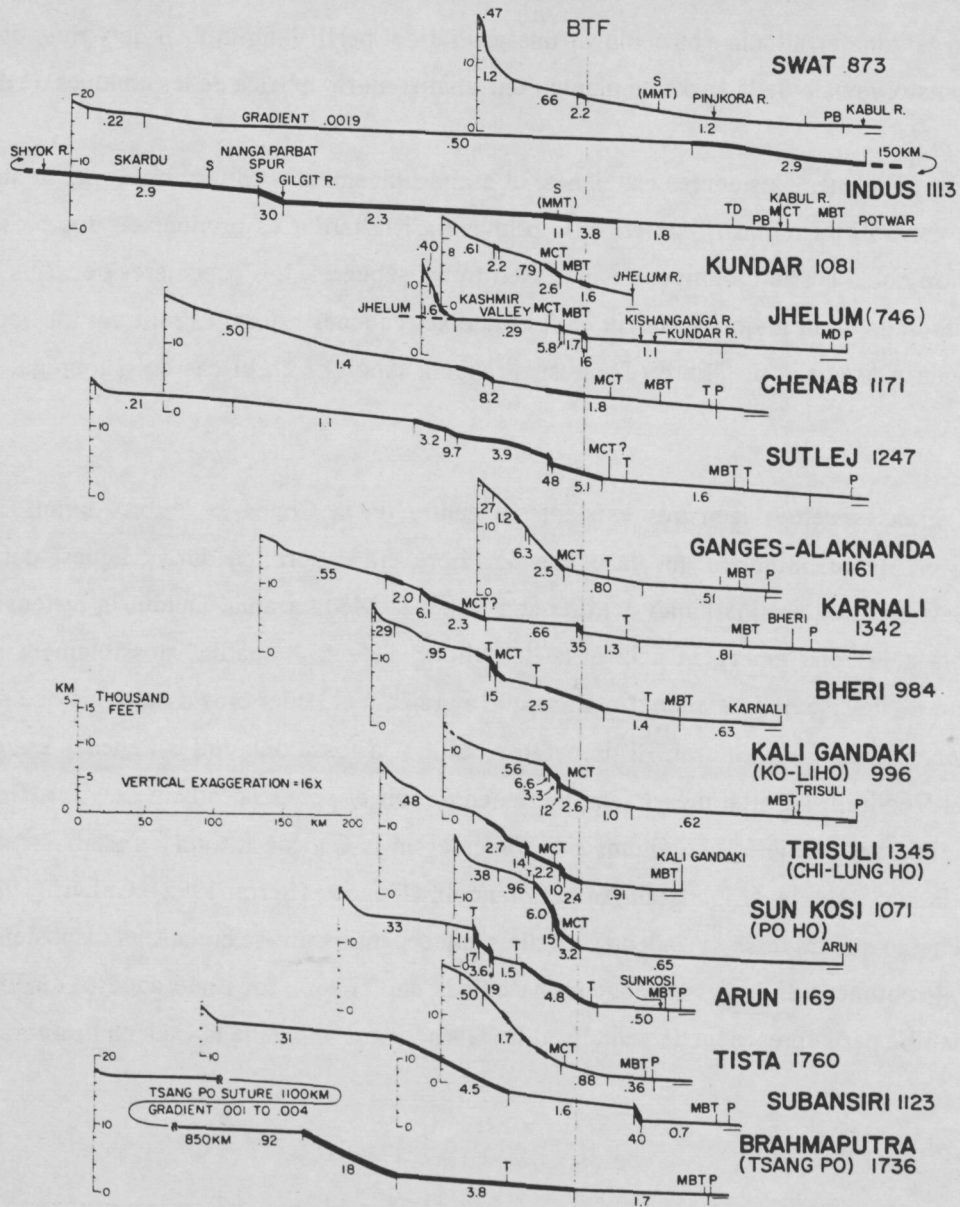


Fig. 2.39. Utilització de la relació SL/K per a la identificació d'activitat tectònica en perfils longitudinals de rius a l'Himàlaia. En traç més gruixut s'indiquen els segments dels rius que tenen una relació $SL/K > 10$, traç intermedi els segments amb $SL/K > 2$ i amb traç prim els segments amb $SL/K < 2$. Els segments amb més pendent de la que els pertoca en l'equilibri coincideixen amb fronts muntanyosos d'activitat provada, com BTF (Basement thrust front)(De Sebeer i Gornitz 1983).

Fig. 2.39. Utilisation of the relationship SL/K in order to identify the tectonic activity in longitudinal profiles of the Himalayan rivers. The thicker traces indicate segments of the river that have a relationship $SL/K > 10$, intermediate traces of segments with $SL/K > 2$ and the thin trace segments with $SL/K < 2$. The segments with greater slope are coincident with mountainous fronts of proven activity, like BTF (Basement thrust front)(from Sebeer and Gornitz 1983).

tornar a aconseguir l'equilibri. En els rius en què es manté aquest equilibri, el gradient del pendent decreix aigües avall i el perfil longitudinal del riu s'aproxima a una recta en un gràfic semilogarítmic:

$$H = C - K \ln L$$

on H és l'alçada -considerada aquí sobre el nivell del mar-, L la distància a la divisòria d'aigües i C i K són constants. A K se l'anomena índex de gradient (Hack 1973) i correspon al pendent de la recta. Així, l'índex de gradient de tot el riu es pot calcular mitjançant (fig. 2.38):

$$K = (H_i - H_f) / (\ln L_f - \ln L_i)$$

on H_i i H_f corresponen respectivament a les cotes inicial i final del perfil del riu i L_f i L_i a les distàncies inicial i final amb la divisòria d'aigües. El valor de K per a cada riu es considera el pendent d'equilibri per aquest riu.

En un segment suficientment petit del riu com per a què es pugui considerar recte es pot calcular l'índex de gradient per aquest segment (SL) mitjançant:

$$SL = \Delta H \times L / \Delta L$$

on ΔH és l'increment d'alçada del segment, ΔL la longitud del segment i L la distància des del centre del segment fins a la divisòria d'aigües del riu. Hack (1973) proposà l'índex de gradient (SL) com a eina per a comparar diferents segments de rius gradats de diferents mides.

La relació SL/K significarà doncs la relació entre el pendent en un segment i el pendent d'equilibri del riu (Seeber i Gornitz 1983). Així, un valor de $SL/K = 1$ significarà que el segment analitzat està en equilibri; quan $SL/K < 1$ significarà que la pendent del segment és menor a la d'equilibri i quan $SL/K > 1$ significarà que el segment té més pendent que en l'equilibri.

Aquest mètode fou proposat per Seeber i Gornitz (1983) que comprovaren a l'Himàlaia (fig. 2.39) i a Nova Guinea que les anomalies més grans coincidien amb els grans encavalcaments actius. Zuchiewicz (1993) l'aplica als Cárpat de Polònia, on l'activitat tectònica és més baixa i observa també coincidència entre les anomalies i les estructures actives.

Tot i així, cal remarcar que les anomalies no sempre coincideixen amb les estructures actives. Si s'assumeix que no hi ha hagut canvis recents significatius en el cabal i en el sediment transportat,

els principals factors que poden alterar el pendent del riu són l'activitat tectònica i el contrast litològic. La presència d'un nivell de litologia més resistent a l'erosió en el curs d'un riu produirà un descens del pendent abans d'arribar-hi i un increment just després. En el cas que l'anomalia sigui produïda per una fractura activa, l'efecte serà el mateix, però variarà segons si el bloc elevat és aigües avall o aigües amunt de la falla, produïnt disminució o increment del pendent respectivament.

Les variacions del pendent d'un riu degudes a tectònica indiquen que l'aixecament tectònic no és molt antic ja que la velocitat de recuperació de l'equilibri d'un riu és, segons Mackin (1948), d'alguns milers d'anys.

S'han analitzat tots els rius més llargs de 10 km que travessen les Cadenes Costaneres Catalanes. Les mesures s'han fet damunt els mapes 1:50.000 amb segments amb una diferència de cota de 20 m. Els segments propers a la font no s'han considerat degut a què en aquestes zones s'observen desviacions sistemàtiques de l'equilibri produïdes per diferència en els processos que controlen l'erosió a les capçaleres (Seeber i Gornitz 1983). Així s'han començat els càlculs entre 300 i 400 m per sota de la cota de la divisòria d'aigües. No s'han realitzat mesures en l'Ebre degut a què les grans diferències de magnitud entre aquest riu i els altres en fan difícils les comparacions.

2.3.2.1. LES ANOMALIES DETECTADES A LES CADENES COSTANERES CATALANES

S'observa que en la major part del recorregut dels rius la relació SL/K està entre 0.5 i 1.5, valors entre els que es considera aquí, per comparació amb els obtinguts per altres autors en zones més actives, que el pendent és el d'equilibri. Així, les anomalies observades són puntuals mentre que els rius en la seva totalitat tendeixen efectivament a un perfil d'equilibri de riu gradat ($0.5 > SL/K < 1.5$) com el proposat. S'han observat segments amb més i amb menys pendent que el d'equilibri, tot i que dominen les anomalies amb més pendent (fig. 2.40). S'han diferenciat les anomalies que poden atribuir-se a contrastos litològics de les que se situen en zones homogènies litològicament. Els valors observats varien entre 0.37 (segment del riu Mogent a la depressió del Vallès) i 8.08 (segment del riu Anoia aigües avall després de creuar la Cadena Prelitoral).

ANOMALIES ATRIBUÏBLES A CAUSES TECTÒNIQUES

Les anomalies d'increment del pendent més importants observades des del NE cap al SW són les següents:

- Al curs mitjà de la riera de les Arenes, el Ripoll i el Congost al seu pas per la fossa del Vallès, sense contrast litològic que pugui explicar-ho. Aquestes anomalies es troben alineades subparal·lelament a la falla del Vallès.

- A la confluència entre els rius Anoia i Riudebitlles, a la fossa del Penedès. L'únic aflorament de Pliocè descrit a la fossa del Penedès es troba limitat entre aquests dos rius. En els límits d'aquest aflorament s'hi ha interpretat una fractura que afecta als materials pliocens (Gallart 1981). L'anomalia de pendent en els dos rius podria correspondre al joc d'aquesta fractura.

- A la fossa del Camp en el riu Francolí i en dues rieres del NW de Tarragona amb increments del pendent anòmals. La litologia no permet explicar aquestes anomalies.

- Al torrent de Sant Jordi, per sobre del ventall al·luvial quaternari del mateix nom. Aquesta anomalia coincideix amb una anomalia topogràfica que consisteix en un esglaó d'orientació NNE-SSW que interpreto com un escarpament de falla quaternari. El contrast litològic és inexistent.

- A la fossa del Baix Ebre, en els barrancs que travessen el front del Baix Ebre. Diverses anomalies a cada barranc se situen a una distància constant del front muntanyós, sobre els ventalls al·luvials quaternaris que rebleixen la fossa del Baix Ebre, sense explicació possible per contrast litològic. La distribució d'aquestes anomalies en l'espai descriu una alineació subparal·lela a la falla del Baix Ebre.

Les anomalies on el pendent és menor a l'esperat per l'equilibri són de més difícil interpretació tectònica tot i que algunes es troben en zones sense contrast litològic. És per això que es descriuen en l'apartat següent.

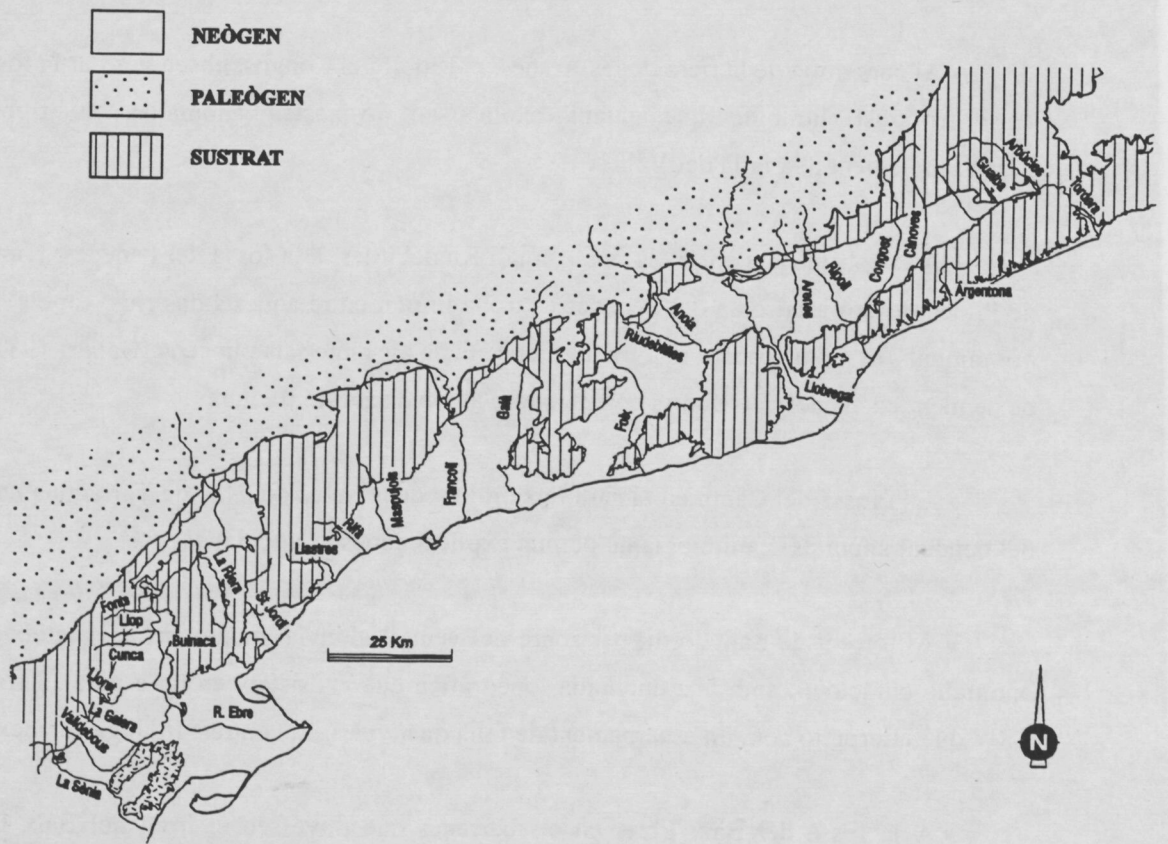
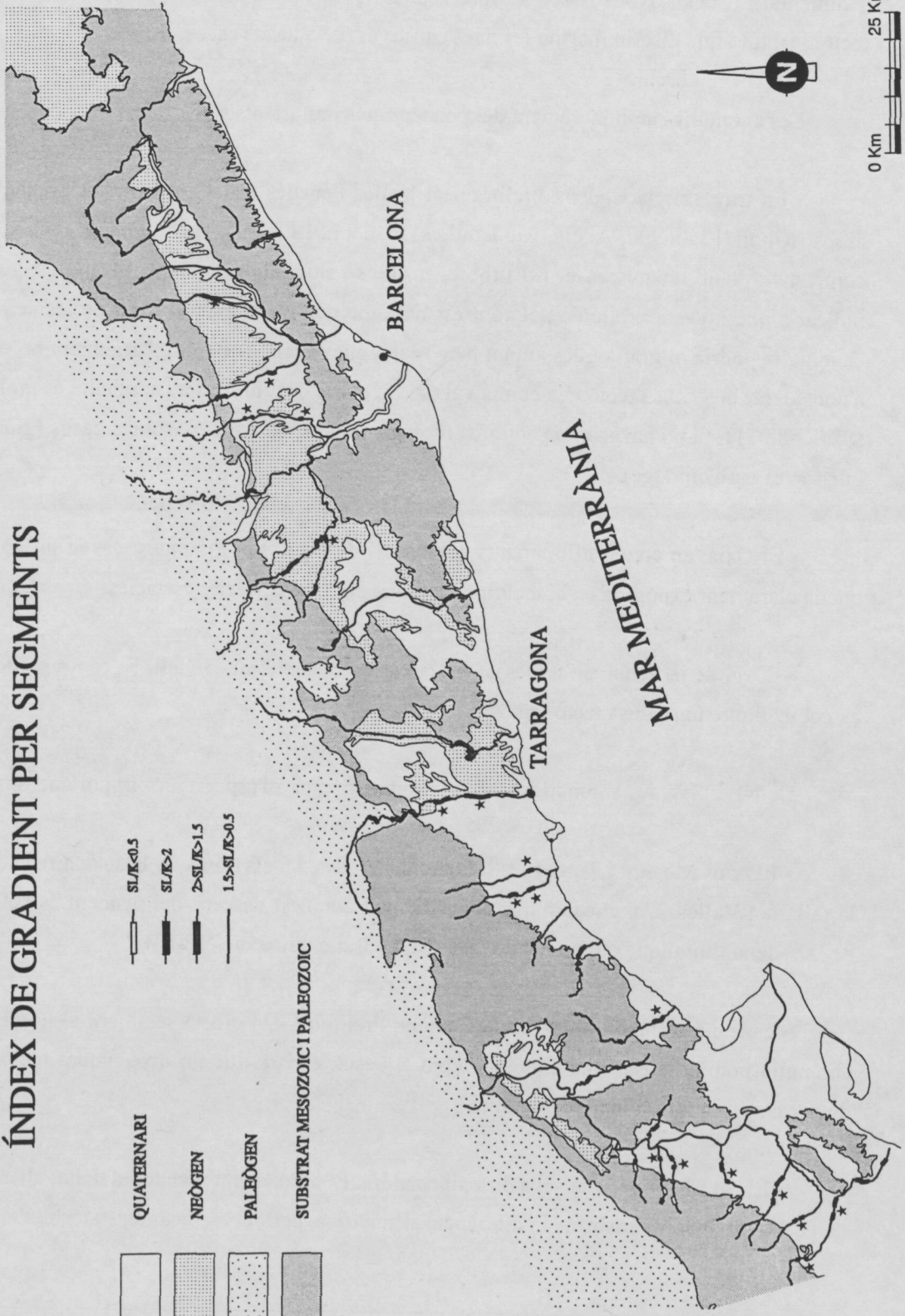
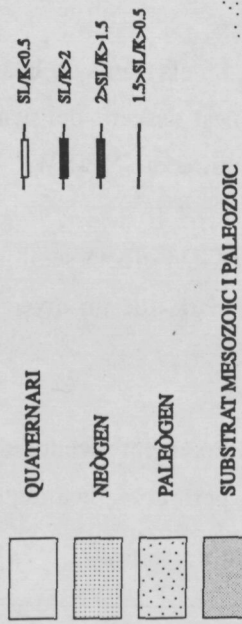


Fig. 2.40. a) Segments de rius amb anomalies en la relació SL/K a la zona estudiada. Amb una estrella s'indiquen els segments que contenen anomalies amb $SL/K > 1.5$ que no es poden explicar per un canvi litològic i que, en aquest cas, són interpretades com tectòniques. **b)** mapa de situació dels rius analitzats.

Fig. 2.40. Segments of rivers with anomalies of the relationship SL/K in the area studied. With a star indicating the segments that contain anomalies with $SL/K > 1.5$ that cannot be explained by a litological change and that, in this case, are interpreted as having been produced by tectonics. b) map of the situation of the rivers analysed.

ÍNDEX DE GRADIENT PER SEGMENTS



ANOMALIES ATRIBUIBLES A D'ALTRES CAUSES

Aquestes anomalies tenen com a possible causa un contrast litològic o una anomalia sedimentaria i per això es descriuen per separat, però no es descarta que puguin ser causades per tectònica, tot i que discriminar-ne les dues causes és, en aquests casos, difícil.

Les anomalies amb increment del pendent més importants són:

- En travessar la Cadena Prelitoral al Vallès-Penedès i al Camp fins el Francolí. En tots els casos (Ripoll, Llobregat, Anoia, Riudebitlles, Francolí, Llastres) l'anomalia se situa aigües avall del contrast litològic, menys en el riu Llobregat que se situa aigües amunt. El que estigui aigües avall indicaria que no està produïda pel contrast litològic que representa el front de les serralades, ja que l'anomalia podria migrar aigües amunt però mai aigües avall. Tot i així, l'argument no és suficient per a considerar una causa tectònica com a vàlida. En el cas del riu Anoia l'anomalia és molt considerable ($SL/K=8.08$) tot i no haver-hi un contrast litològic tant elevat com en d'altres casos (granit meteroïtzat i pissarres amb clivatge).

- El Gaià, en creuar afloraments del massís de Bonastre. En aquest cas la influència litològica queda clarament exposada en coincidir l'anomalia amb les calcàries cretàcies.

- El riu de la Sènia, en travessar les calcàries cretàcies de Godall. El contrast litològic és clar i es pot excloure una causa tectònica.

De NE a SW, les anomalies amb un pendent menor a l'esperat més importants són:

- Els rius Mogent i Tordera, a la fossa del Vallès, en els trams on la seva direcció és paral·lela a la falla del Vallès. L'explicació més plausible per a aquest descens del pendent és l'efecte de barrera de la cadena litoral que obliga el curs NW-SE a girar en direcció NE-SW.

- L'Anoia abans de travessar la Cadena Prelitoral. Un efecte semblant al descrit per l'anterior anomalia podria causar una anomalia com aquesta, encara que un aixecament tectònic també. Les dues causes són difícilment destriables.

- El riu Llobregat a la seva desembocadura. El creixement recent del delta, allargant el segment i en canvi no incrementant-ne la diferència altimètrica, permet explicar aquesta anomalia.

Així, de l'anàlisi del perfil longitudinal dels rius se'n conclou l'existència de deformació recent a les fosses neògenes, en alguns casos describint alineacions subparal·leles a les falles que limiten aquestes fosses i en d'altres de forma puntual. Aquesta deformació es pot interpretar com produïda pel moviment vertical de les falles que limiten els blocs que formen el substrat pre-extensiu de les fosses neògenes del litoral català. L'alineació descrita a la fossa del Vallès és un exemple de l'activitat recent d'una falla situada al centre d'aquesta fossa. En canvi, en el cas del Baix Ebre, l'alineació d'anomalies presenta unes característiques, que conjuntament amb les altres dades geomorfològiques del front permet interpretar que la falla que ha experimentat activitat recent és possiblement la mateixa falla del Baix Ebre. En primer lloc cal remarcar que la distància del front muntanyós a la que es troben les anomalies detectades és molt homogènia. Per altra banda cal també recordar que en l'apartat de fronts he descrit l'existència d'un pediment al peu d'aquest front. Aquestes dades fan plausible interpretar que l'estructura que dona lloc a les anomalies del gradient és la mateixa falla del Baix Ebre, i que per tant el front del Baix Ebre ha retrocedit considerablement respecte de la falla que l'ha format. Considerant el model d'evolució d'un front muntanyós proposat per Hamblin (fig. 2.4), el front del Baix Ebre es podria trobar actualment en una situació final en l'episodi de retrocés del front i inici de l'activitat (evidències en la xarxa fluvial).

2.3.3. OBSERVACIONS SOBRE LA INCISIÓ

La tendència dels rius a assolir el seu perfil d'equilibri enrasant-se a un nivell de base, fa que l'estudi de les incisions dels rius aporti informació sobre la història dels moviments verticals relatius de la zona per la que discorre el riu. La incisió d'una zona litològicament homogènia drenada per rius sense variacions importants del cabal i la càrrega està controlada per les variacions del seu nivell de base. Aquestes variacions poden ser regionals, degudes principalment a variacions eustàtiques, o locals, degudes principalment a moviments tectònics. Les variacions importants del cabal i la càrrega dels rius estan controlades pel clima, que es pot considerar homogeni en una zona de la magnitud de l'estudiada. Així, en aquestes condicions, l'observació de diferències en la incisió pot considerar-se indicador de moviments tectònics verticals.

L'aplicació d'una anàlisi de les incisions a la zona estudiada és complicada, degut principalment a la heterogeneïtat litològica. Per a minimitzar aquest factor he fet les observacions en dos dominis per separat: les fosses neògenes, on la litologia pot considerar-se homogènia i on he realitzat perfils topogràfics, i els fronts muntanyosos on he calculat un índex d'incisió.

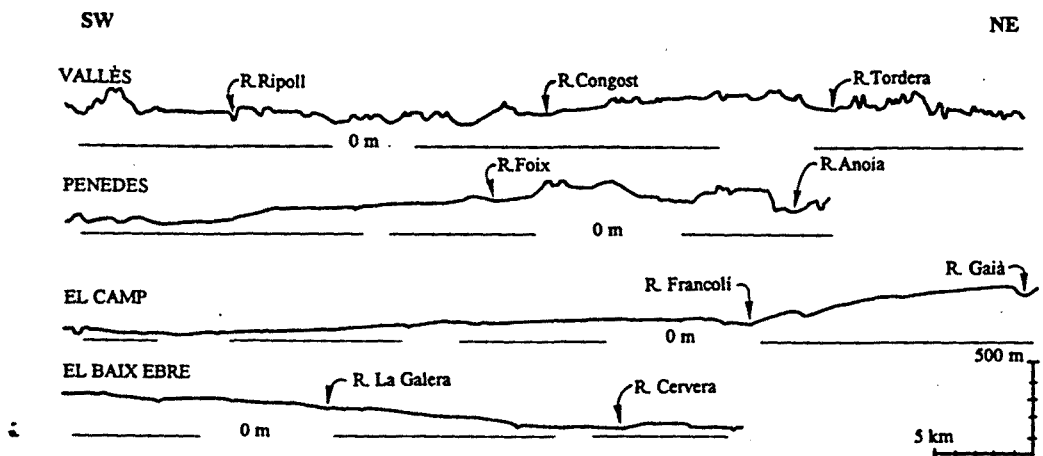


Fig. 2.41. Perfils topogràfics longitudinals a les fosses del Vallès, Penedès, el Camp i el Baix Ebre. La incisió és més intensa i verticalitzada a les fosses més septentrionals. Situació dels perfils a la Fig. 2. 44.

Fig. 2.41. Topographical longitudinal profiles of the Valles, Penedes, Camp and Baix Ebre basins. The incision is most intense and vertical at the northernmost basins. Profiles are positioned in fig.2.

2.3.3.1. LA INCISIÓ A LES FOSSES NEÒGENES

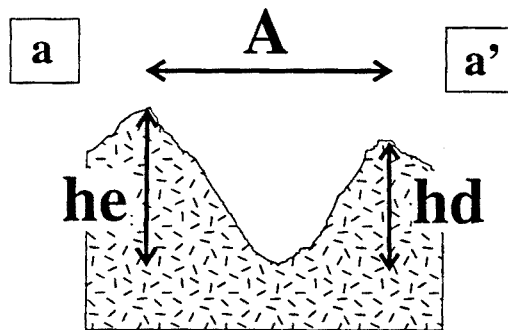
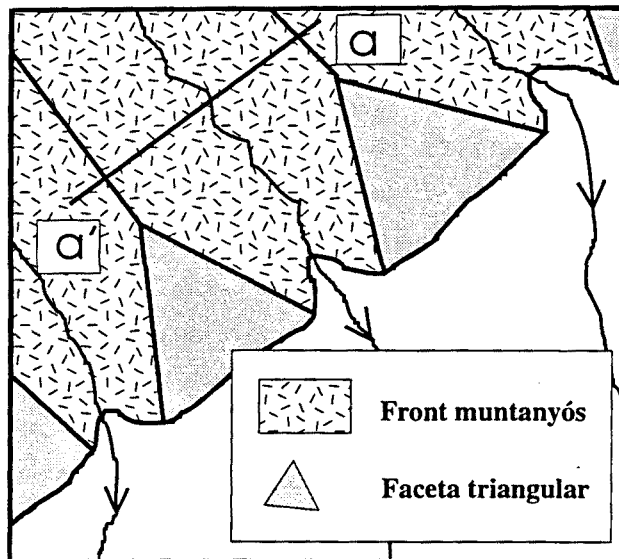
Per a comparar la incisió entre les diferents fosses neògenes he realitzat perfils topogràfics longitudinals a escala 1:50 000 per les parts centrals de les fosses (fig. 2.41). S'observen diferències entre els perfils més septentrionals -perfil del Vallès i meitat septentrional del perfil del Penedès- i els meridionals. En els primers la incisió és més intensa tant pel que fa a la proximitat entre les diferents incisions com pel que fa a la seva profunditat. Per altra banda, a les fosses meridionals els sediments quaternaris, principalment ventalls al·luvials, ocupen una gran extensió, i fossilitzen gairebé totalment les fosses -sobretot al Baix Ebre- mentre que, a les fosses septentrionals, els sediments quaternaris són escassos i es troben degradats. Tant les diferències d'incisió com les de sedimentació quaternaria apunten cap a un possible aixecament de les fosses septentrionals i un enfonsament de les meridionals respecte al seu nivell de base. Les diferències d'alçada de les fosses respecte al nivell de base poden haver-se sumat a l'efecte de l'aixecament, però tot i així no són suficients per a explicar les diferències d'incisió.

2.3.3.2. LA INCISIÓ ALS FRONTS MUNTANYOSOS

Per a observar les diferències d'incisió en els fronts muntanyosos he utilitzat (fig. 2.42) un índex d'incisió (I_i):

$$I_i = A / (hd + he / 2)$$

on hd i he són les diferències altimètriques entre les divisories d'aigües dreta i esquerra amb la base del canal respectivament i A és la distància planimètrica entre les dues divisories d'aigües. Així, un valor de I_i alt indica una incisió lateral més important que la incisió vertical. En un context d'aixecament del front, la incisió vertical és més important ja que el riu queda per sobre del seu perfil d'equilibri i tendeix a recuperar la seva antiga alçada. Quan el riu ha aconseguit el seu nivell d'equilibri, en cas de no continuar l'aixecament del front, l'erosió es trasllada a les vessants del riu, augmentant-ne l'amplada. Aquestes mesures no són comparables si s'han realitzat a diferents alçades del perfil longitudinal d'un riu ja que el grau d'incisió varia en funció de la distància a la font. Per a poder comparar aquests índex s'han realitzat les mesures a una distància homogènia del front muntanyós (1-2 km). Les mesures s'han realitzat sobre els mapes 1:50 000.



$$I_i = \frac{A}{(h_e + h_d) / 2}$$

Fig. 2.42. Esquema explicatiu del càlcul de l'índex d'incisió; h_e : diferència d'alçada entre la divisoria d'aigües esquerra i el canal del riu; h_d : Diferència d'alçada entre la divisoria d'aigües dreta i el canal del riu; A : Distància entre les dues divisories d'aigües.

Fig. 2.42. Schematic explaining the calculation for the incision index; that is, the difference in height between the division of waters to the left and the river channel; h_d : The difference in height between the division of the waters to the right and the channel of the river; A : The distance between the two divisions of water.

El valor de l'índex d'incisió és altament dependent de la litologia, que en aquest cas és variable en cada front analitzat. Tot i així, els resultats obtinguts (fig. 2.43) indiquen, concordant amb les altres dades geomorfològiques, que els fronts del Montseny (valors entre 3 i 6), la part central del front del Camp (valors entre 5 i 6) i el front del Baix Ebre (valors entre 3 i 4) s'han aixecat recentment ja que els valors de l'índex són molt baixos en aquests fronts. En canvi, la resta de fronts mostra valors més alts de Ii (fig. 2.43). Així, tot i que l'aplicació d'aquest índex no té un valor per si sol, sí que, en aquest cas, contribueix a corroborar que l'aixecament ha estat més intens en els fronts mencionats que en la resta de fronts.

2.3.4. ANÀLISI DE LA XARXA EN PLANTA

La distribució de la xarxa en planta s'ha utilitzat clàssicament per a determinar el sentit del moviment en falles direccionals actives (Gaudemer et al. 1989, Peltzer et al. 1985, Allen et al. 1984, Keller et al. 1982, Sengör 1979, Sieh i Jahns 1984). Aquestes anomalies consisteixen en deflaccions dels canals en l'arribar a la falla, seguint la traça d'aquesta en el sentit cap a on s'ha mogut el bloc que li queda aigües avall (fig. 2.44). En la majoria de casos descrits en la bibliografia la detecció d'aquestes anomalies és senzilla, encara que en algun cas l'evolució del procés complica la interpretació del sentit del moviment (Allen et al. 1984, Gaudemer et al. 1989). D'altres autors han utilitzat la distribució de la xarxa en planta per a analitzar els moviments verticals que en alguns casos creen inversions del drenatge, entollaments o asimetries (Gallart et al. 1984, Armijo et al. 1986, Fraile et al. 1994).

En la zona estudiada s'ha utilitzat la fotointerpretació (fotografies escala 1:33.000 i 1:70.000) i l'anàlisi topogràfica (escales 1:50.000 i 1:250.000) per a analitzar la distribució planimètrica de la xarxa fluvial. No s'han observat deflaccions correlacionables en més de dos canals consecutius, i per tant s'interpreta que el moviment direccional recent en la zona estudiada és inexistent o prou baix com per a ser contrarrestat per l'erosió.

La simetria de la xarxa mostra anomalies en algun cas. L'exemple més clar és el del riu Gaià (fig. 2.45), que té una conca clarament simètrica a la capçalera però que perd aquesta simetria en entrar a la fossa del Camp. La vessant W de la conca queda reduïda durant alguns km a pocs centenars de metres mentre que la vessant E arriba a uns 7 km del curs principal. En aquest tram, la zona que per simetria hauria de ser drenada pel riu Gaià, ho és pel Francolí. Interpreto que el Francolí ha capturat el drenatge del Gaià degut a un basculament de la fossa cap a la falla del Camp.

L'asimetria més marcada de la zona estudiada és la que formen la Tordera i el Mogent a la fossa del Vallès. Aquesta asimetria, però no l'interpreto deguda a moviments tectònics sinó que penso que està produïda per l'efecte de barrera de la Cadena Litoral que impedeix a aquests rius de mantenir el seu curs en direcció NW-SE i els inflexiona a una direcció NE-SW, paral·lela a aquesta cadena.

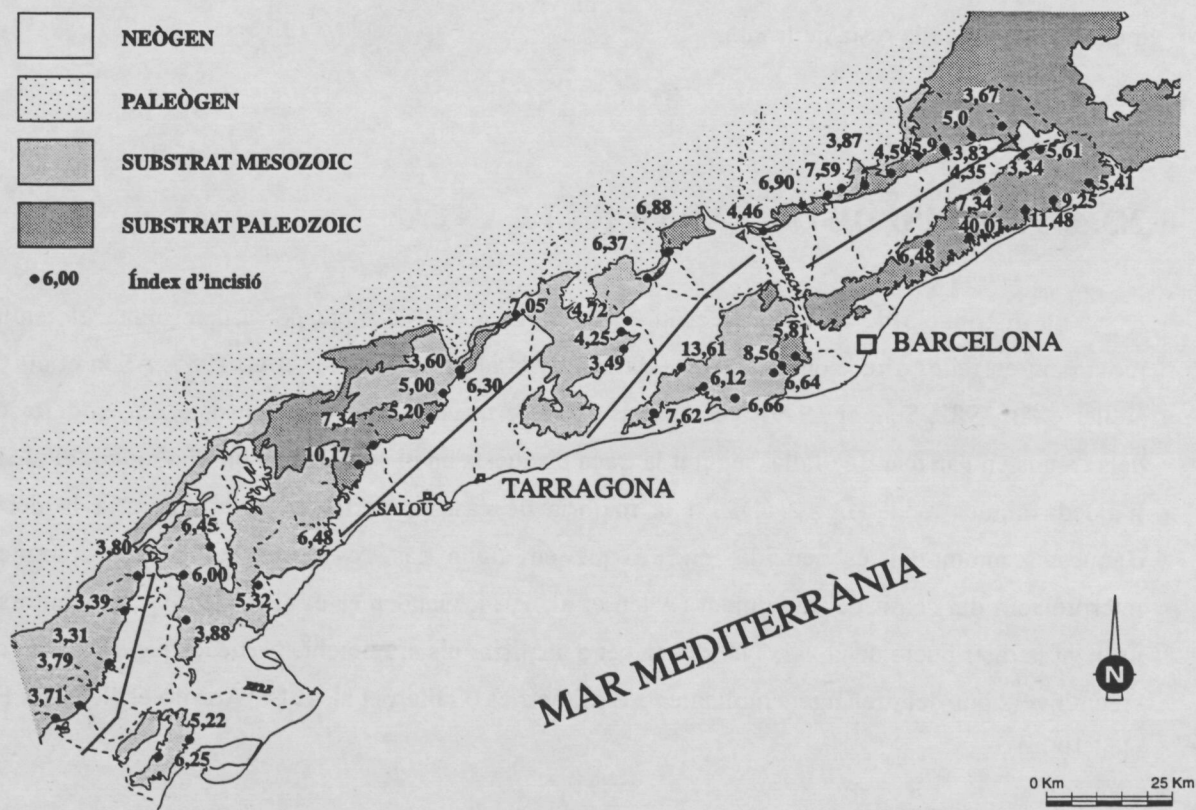


Fig. 2.43. Índex d'incisió als fronts muntanyosos analitzats. Els valors són més baixos, indicant una incisió més verticalitzada, als fronts muntanyosos del Montseny, la part del segment de la Selva, al Camp, i al Baix Ebre. Les línies transversals a les fosses neògenes situen els perfils topogràfics utilitzats per a comparar la incisió en aquestes fosses.

Fig. 2.43. Index of incisions at the mountain fronts under analysis. The values are lower indicating a more vertical incision at the mountain fronts of Montseny, part of the Selva segment at the Camp and the Baix Ebre. The transverse lines across the neogenic basins define the position of the topographic profiles used for comparing the incision in these basins.

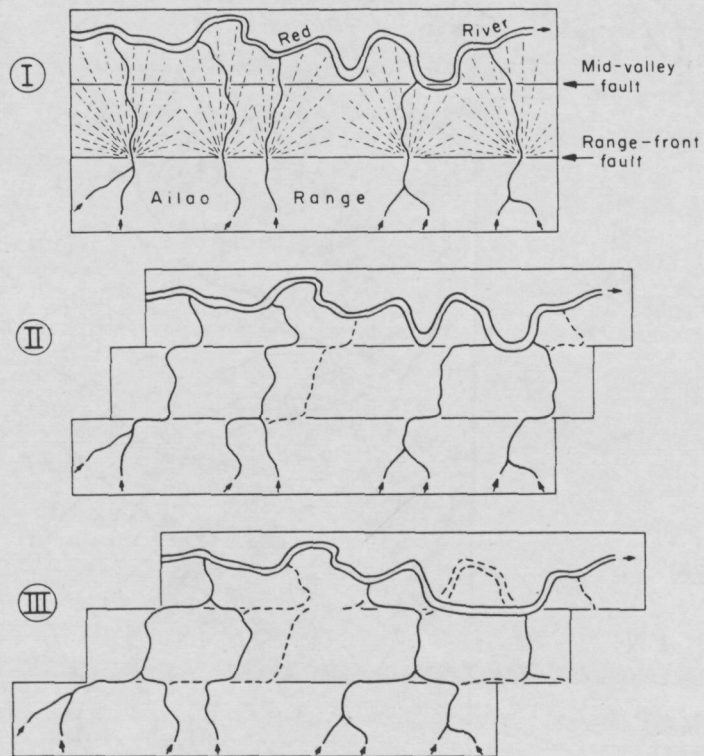


Fig. 2.44. Evolució de la deflacció de la xarxa hidrogràfica deguda a l'activitat tectònica d'una falla direccional en el riu Vermell (Xina) (De Allen et al. 1984).

Fig. 2.44. Evolution of the deflection of the hydrographic network due to the tectonic activity of a directional fault in the Red River (China) (from Allen et al. 1984).

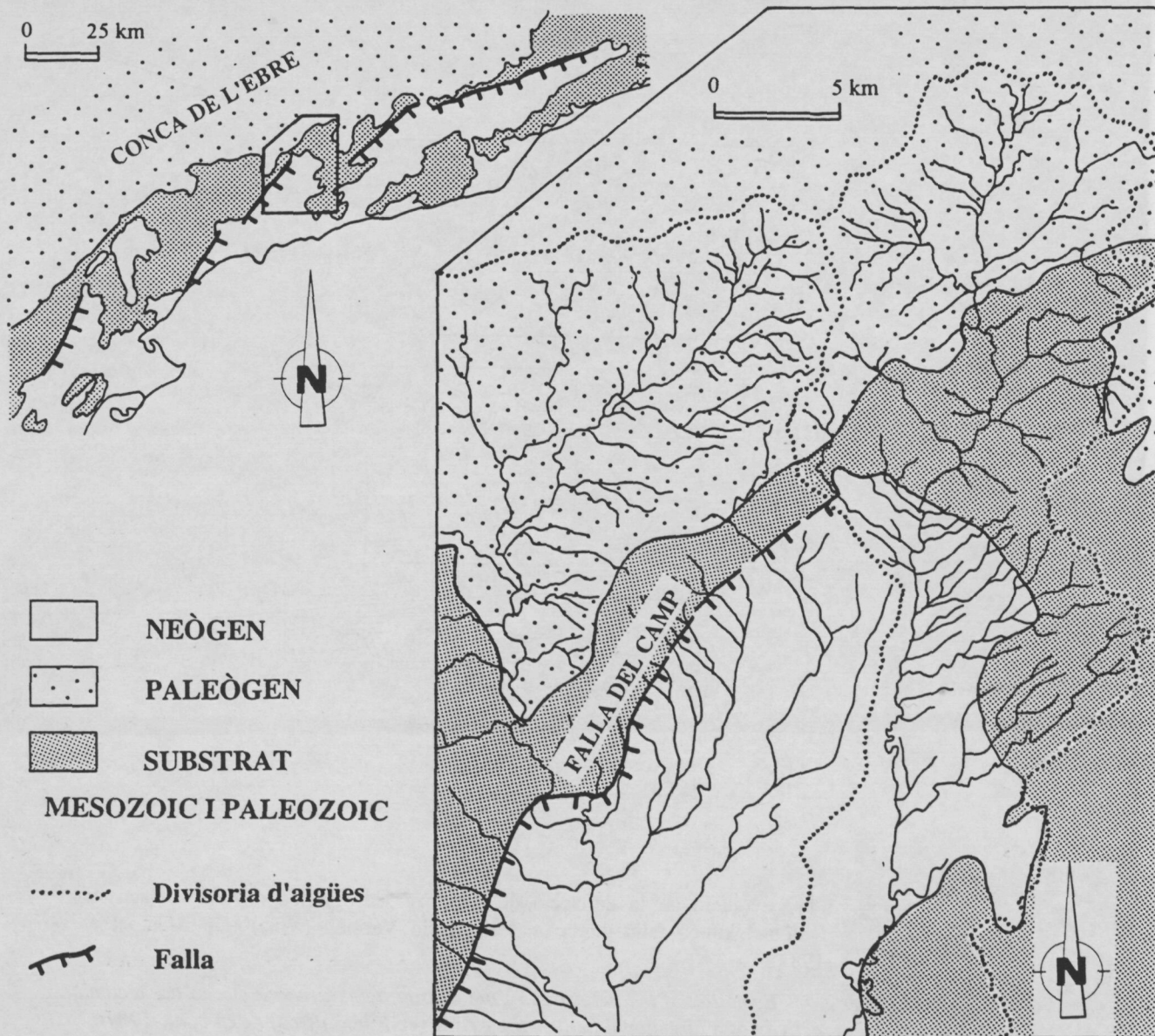


Fig. 2.45. Xarxa fluvial a la meitat N de la fossa del Camp. El canal principal del riu Gaià passa pel centre de la seva conca de drenatge fins que el riu entra a la fossa del Camp. A partir d'aquest punt, la divisoria d'aigües occidental del riu Gaià s'acosta al canal principal trencant la simetria mantinguda fins llavors. Les aigües que per simetria haurien de drenar cap al riu Gaià són recollides cap al riu Francolí, segurament degut a un basculament de la fossa del Camp cap a la falla del Camp. Vegeu text.

Fig. 2.45. The fluvial network at half N of the Camp basin. The principal channel of the river Gaia passes through the centre of its own drainage basin until it enters the Camp basin. From this point the division of waters on the western side of the river Gaia approaches the principal channel breaking the symmetry maintained until then. The waters that if symmetric would have to drain towards the river Gaia are collected towards the river Francolí, surely due to a tilting of the Camp basin towards the Camp fault. (see text).