

# L'ACTIVITAT NEOTECTÒNICA A LES CADENES COSTANERES CATALANES

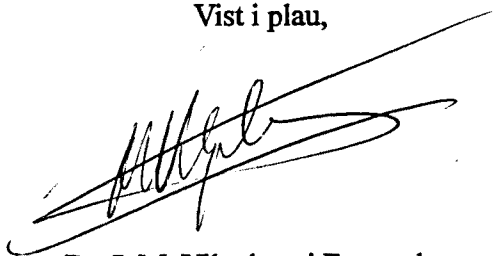
Eulàlia Masana

*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,



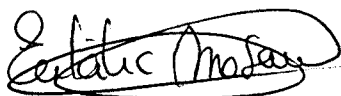
Dr. J. M. Vilaplana i Fernandez  
Director de la tesi

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

### 5.3.2.1. INDICADORS DE LIQÜEFACCIÓ A LA ZONA DE CAP ROIG

Anomeno zona de cap Roig a l'àrea que se situa a l'extrem més septentrional del Pla de l'Aldea, a la comarca del Baix Ebre, i que ocupa una extensió aproximada de 0,5 km<sup>2</sup> (fig. 5.27). La zona queda delimitada per la costa, a l'E i pels afloraments del substrat mesozoic, al N i NW que, en aquesta zona, són formats per roques carbonàtiques cretàtiques.

Sobre el Pla de l'Aldea s'estén una plana al·luvial formada per conglomerats calcaris de característiques homòlogues a les dels ventalls al·luvials del Pla de Sant Jordi i del Baix Ebre. En totes aquestes zones, els ventalls al·luvials estan formats per conglomerats calcaris, degut a que l'àrea font local és carbonàtica. Els conglomerats poligènics que afloren en aquestes zones provenen de l'Ebre, que els ha portat principalment des del Pirineu. La zona de cap Roig es caracteritza per mostrar graves poligèniques desconectades, en superfície, del curs actual de l'Ebre. Tot i així, les dades de sondatges del Pla de l'Aldea mostren que sota dels conglomerats calcaris al·luvials hi ha graves poligèniques, i per tant, en fondària, les graves del cap Roig deuen estar connectades amb els sediments aportats per l'Ebre.

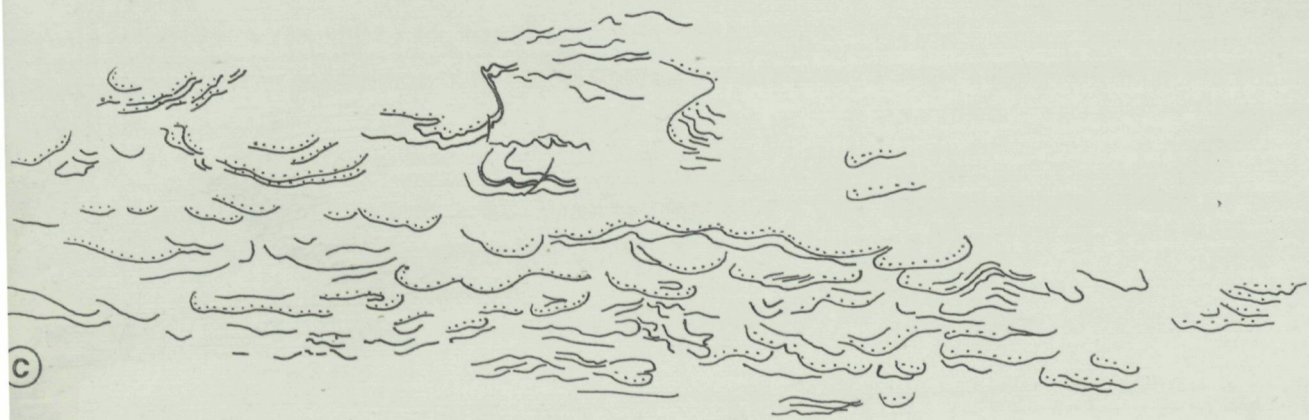
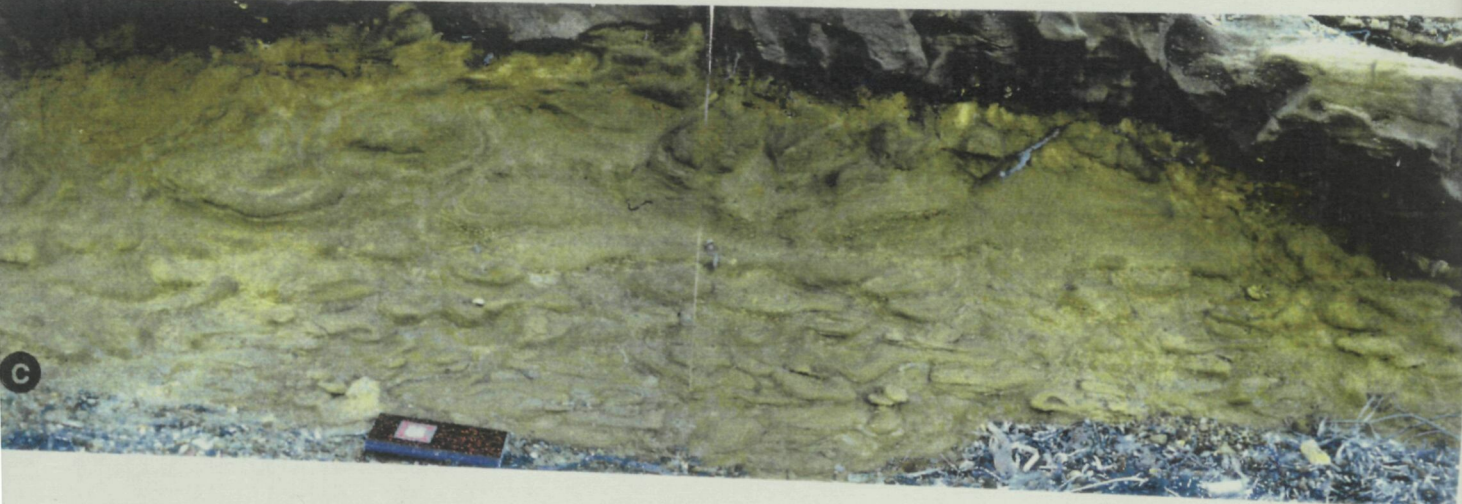
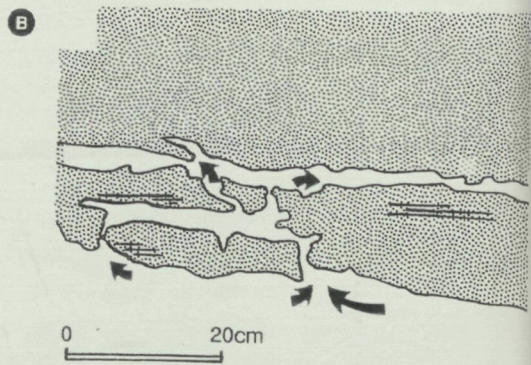
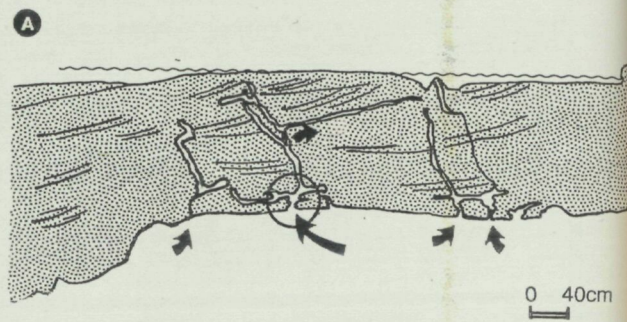
En aquesta zona, i sobretot en els materials eòlics i fluvials, s'hi observen, a més de les estructures que indiquen liqüefacció, d'altres estructures de deformació: falles normals, dics clàstics i injeccions variades, convolució en sediments i estructures de deformació a petita escala.

### LES RELACIONS ESTRATIGRÀFIQUES A LA ZONA DEL CAP ROIG.

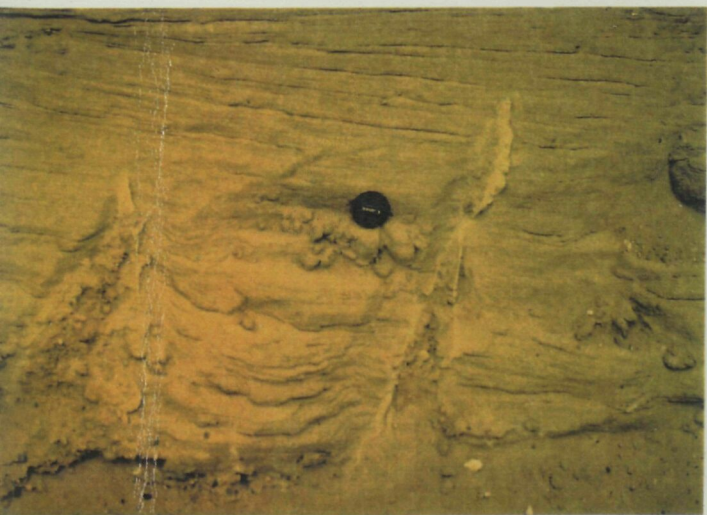
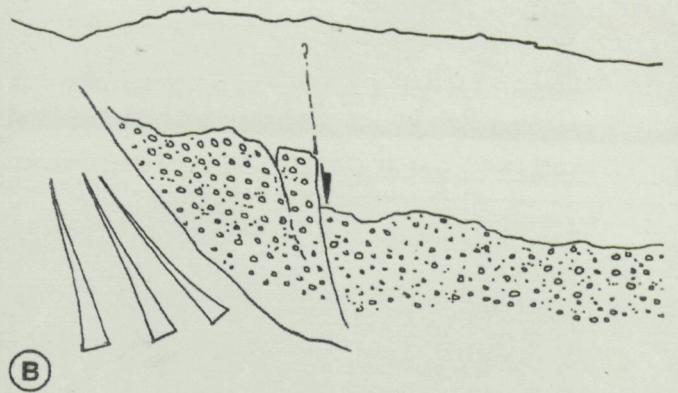
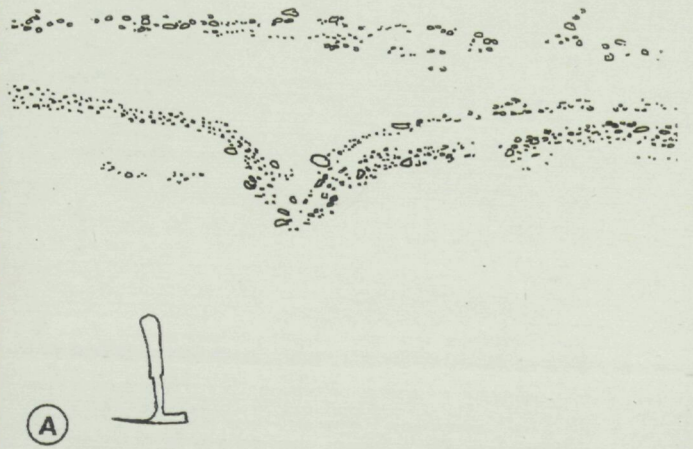
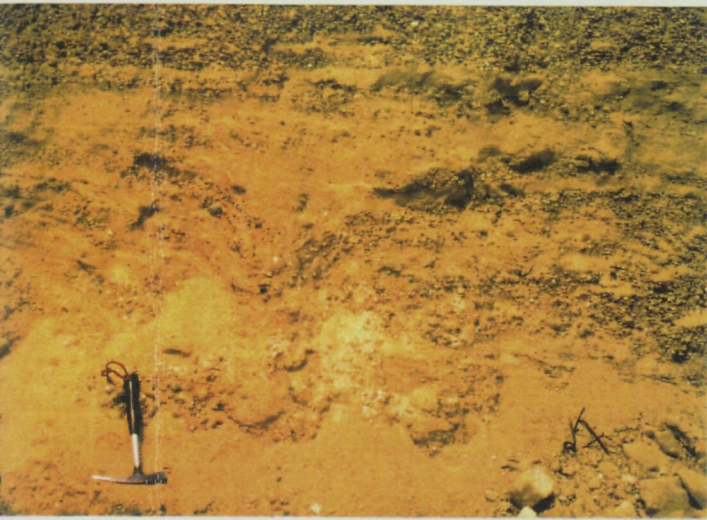
Les unitats estratigràfiques que afloren a la zona de cap Roig tenen poca extensió, exepete els conglomerats calcaris i, en menor grau, les graves poligèniques. La sèrie sintètica interpretada per a aquesta zona és, de base a sostre (fig. 5.28):

- a) Nivell amb alternança de graves poligèniques i llims i sorres. Les graves contenen còdols ben rodats, de granit, materials metamòrfics, calcàries i gresos, amb granoclassificació i diàmetre entre 1 i 5 cm. La cimentació és molt baixa. Els nivells de llims i sorres es troben intercalats entre les graves i mostren laminació encreuada i horitzontal. Les graves mostren en molts casos fàcies de canal fluvial. Aquest nivell s'interpreta que és d'origen fluvial. Possiblement aquests materials han estat transportats per l'Ebre, ja que les litologies dels còdols no es troben a l'àrea d'aports locals i cal buscar-les al Pirineu. La potència d'aquest nivell no es coneix degut a què no n'afloren la base. La potència visible és de 25 m.

- b) Nivell de sorres amb bona granoclassificació, i laminació encreuada de gran angle. S'interpreten com dunes eòliques i afloren a l'illot de Morro del Gos i a la platja. La potència no supera els 3 m.



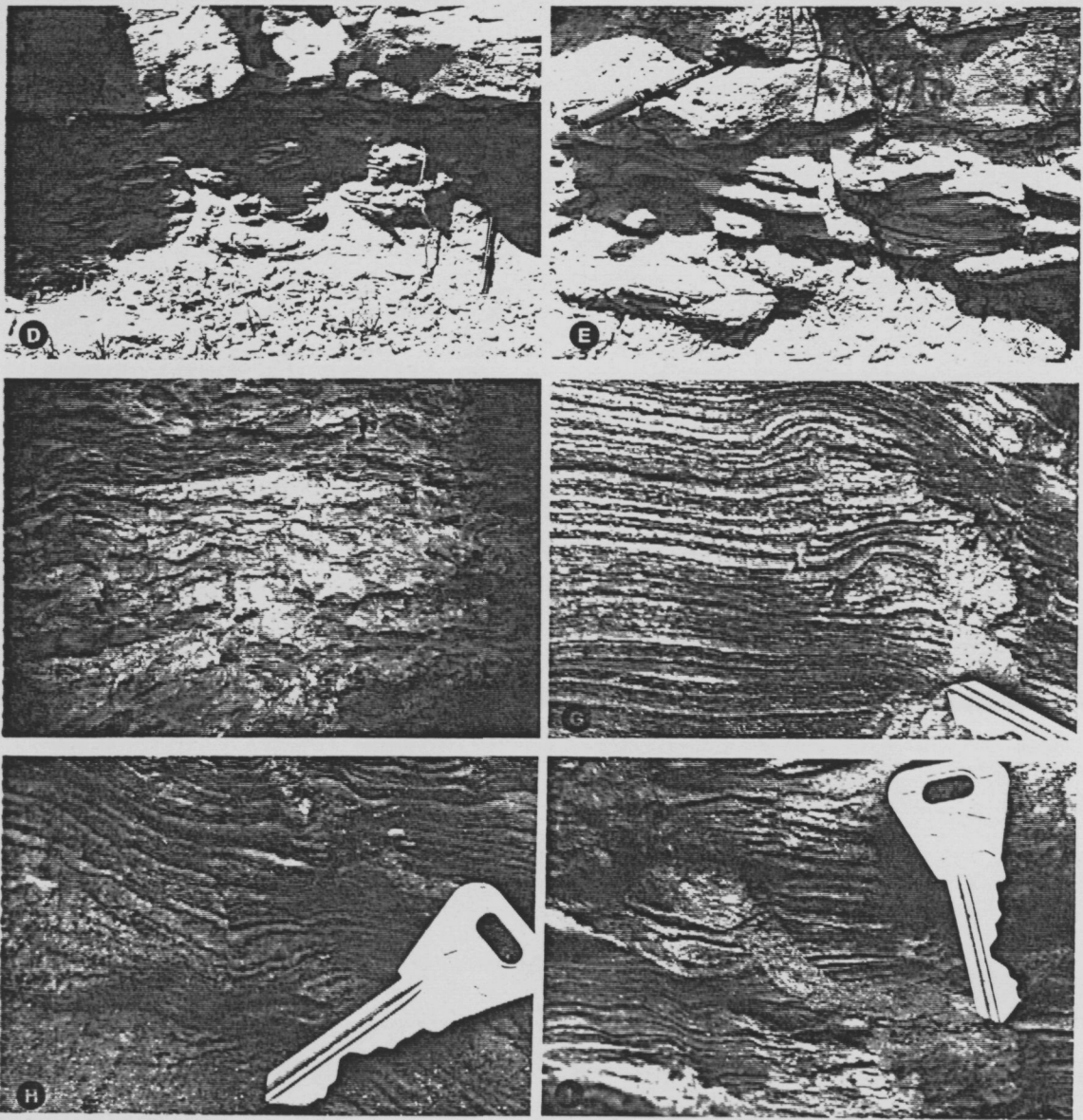




**Fig. 5.30.** Afloraments del Cap Roig a la zona de la via del tren. **a)** Exemple del col·lapse de nivells gravosos degut a la migració de sediments subjacents provocada possiblement per fenòmens de líquefacció. **b)** Exemple de falles normals que afecten els sediments fluvials; el salt d'aquestes falles no es mostra superior als 2 m. **c-d)** exemples d'injecció de graves en els sediments fluvials menys grollers.

*Fig. 5.30. Outcrops at Cap Roig in the area of the railway. a) Example of the collapse of gravelly levels left due to the migration of subjacent sediments provoked possibly by phenomena of liquifaction. b) Example of normal faults that affect the fluvial sediments; the slip of these faults is not shown to be greater than 2m. c-d) examples of the injection of gravels in the less coarse fluvial sediments.*





**Fig. 5.29.** Afloraments de Cap Roig a la zona de la platja. **a)** La zona de l'illot, on s'observen injeccions de llims i sorres tant en les diàclasis verticals com en les laminacions encreuades que mostren les sorres eòliques que formen part de l'illot. **b)** Detall de la injecció dels llims en les sorres eòliques de l'illot. **c)** Exemple de la deformació que s'observa en alguns nivells llimosos i arenosos intercalats en els nivells fluvials, a la platja del Morro del Gos. La convolució hi és important. **d)** Exemple d'injecció de materials a través de capes més sorrenques i endurides, que a la vegada són fortament deformades. **e)** Exemple de distorsió més suau en làmines de llims i sorres. **f)** Fracturació intensa i convolució en els sediments sobrejacent a la zona S de l'illot de Morro del Gos. **g-h)** exemples de falles normals i inverses i d'injeccions de sorres a nivell mil·limètric en les làmines de sorra de l'illot de Morro del Gos.

**Fig. 5.29.** *Outcrops of Cap Roig in the area of the beach. a) the area of the small island where one can observe injections of mud and sands as much in the vertical joints as in the intersecting laminations that show the eolic sands that form part of the island. b) Detail of the injection of the muds in the eolic sands of the island. c) Example of the deformation that can be observed in some muddy levels with sandy interlacing in the fluvial levels, at the Morro del Gos beach. The convolution here is important. d) Example of the injection of materials across the most sandy and hard strata, that at this time are strongly deformed. e) Example of the mildest distortion in laminations of muds and sands. f) Intense fracturisation and convolution in the overlaying sediments of the area S and the small island of Morro del Gos. g-h) examples of normal and reverse faults and injections of sands at a millimetric level in the laminations of sand of the island of Morro del Gos.*

- c) Nivell d'alternança de llims i nivells decimètrics de sorra. Aquest nivell es troba molt afectat per l'edafització. Aflora a la platja molt localment. La seva potència no supera els 5 m.

- d) Nivell de conglomerats calcaris ben cimentats amb còdols angulosos i poc calssificats, d'origen al·luvial i local. Aquests materials formen part de la plana al·luvial del Pla de l'Aldea i, a banda de fossilitzar els materials ja descrits, s'interdigiten amb ells lateralment. La seva potència és molt variable.

- e) Nivell de sorres de platja amb fauna entre la que destaca la presència de *Strombus Bubonius* (Maldonado, 1972, Porta et al., 1981). Aquest contingut faunístic indica que el nivell té una edat tirreniana. Aquest nivell es troba encaixat sobre els ventalls al·luvials.

- f) Nivell de sorres, còdols i fauna banal que pot correspondre a una platja versiliana.

## ELS AFLORAMENTS MÉS SIGNIFICATIUS ON S'OBSERVEN INDICADORS DE LIQÜEFACCIÓ.

A continuació s'exposa una relació dels afloraments més significatius on s'observen estructures característiques de liqüefacció (fig. 5.27).

**L'illot de Morro del Gos.** Aquest aflorament se situa al petit illot de la platja de Morro del Gos, al cap Roig. Actualment està quasi connectat amb la platja gràcies a les remodelacions d'aquesta realitzades pel MOPU. L'illot mostra afloraments pràcticament per tota la seva superfície (fig. 5.29a i b). Està format per tres nivells estratigràfics, de base a sostre: Graves poligèniques amb matriu llimosa i arenosa de medi fluvial; sorres amb laminació encreuada d'alt angle d'origen eòlic; i un nivell discordant al damunt en el que afloren blocs calcaris angulosos sense classificació (diàmetre entre 20 i 40 cm) d'origen local. L'estructura més evident producte de liqüefacció que s'observa en aquest aflorament és la presència de nombrosos dics clàstics que afecten les sorres eòliques i que injecten llims i sorres provinents del nivell fluvial inferior. Aquests dics aprofiten les diàclasis que en tota la zona de Morro del Gos tenen dues direccions preferents (N-S i E-W), alhora que també s'observen injeccions a través dels plans de debilitat determinats per la laminació creuada de les dunes eòliques del nivell estratigràfic intermedi. L'amplada de l'reompliment dels dics no supera els 5 cm. Per altra banda, en aquest aflorament també s'observa deformació en les làmines del nivell eòlic. En aquestes làmines s'observen falles normals i inverses indistintament amb salts que no superen els 2 mm, així com petites convolucions que recorden les observades en zones de liqüefacció descrites a la literatura; també mostren injeccions de sorres a petita escala.

**Aflorament del S de la platja del Morro del Gos.** Aquest aflorament, se situa al S de la platja del Morro del Gos, davant d'una roca de 3 m<sup>2</sup>, adossat a la costa (fig 27). S'hi observen, a la base, les sorres eòliques amb laminació encreuada i, pel damunt, una sèrie de llims que alternen amb nivells



decimètrics de sorres, fortament edafitzats (fig. 5.29 f). Els nivells sorrencs intercalats en els llims permeten observar injeccions de llims així com convolució en aquests nivells. En aquest cas cal considerar la possibilitat que aquestes estructures siguin produïdes, o si més no accentuades, per bioturbació. També cal destacar la presència a l'aflorament de diàclasis d'orientació N-S que afecten les sorres eòliques de la base, així com falles normals de salt centimètric paral·leles a les diàclasis.

**Aflorament de la platja del Morro del Gos.** En aquest apartat no es descriuen les deformacions observades en un sol aflorament sinó en el conjunt d'afloraments de la platja del Morro del Gos. Aquests afloraments estan formats pels materials fluvials ja descrits, que aquí estan representats per una alternança de nivells conglomeràtics poligènics i nivells més llimosos que contenen nivells primis sorrencs. Les deformacions en aquests afloraments es limiten als nivells llimosos i sorrencs. S'observa la presència de nivells sorrencs fortament convolucionats, amb plecs siniformes molt oberts i antiformes molt tancats, en molts casos amb injeccions que coincideixen amb antiformes (fig. 5.29 c). L'elevada convolució que s'observa en alguns afloraments, que mostren estructures en coixí i injeccions múltiples, fa que no s'hi reconegui l'estratificació. Hi abunden les injeccions de llims a través dels nivells sorrencs molt deformats, així com les falles petites que acomoden la deformació. Aquestes estructures poden ser interpretades com conseqüència de fenòmens de lliscament tot i que el poc pendent que mostra l'aflorament i la inexistència d'una vergència determinada en el plegament dels nivells sorrencs són factors en contra d'aquesta interpretació. La morfologia i geometria de les estructures descrites coincideixen amb les descrites en líquüefacció produïda per terratrèmols actuals i amb les estructures creades en laboratori per a simular la líquüefacció.

**Aflorament de la via del tren.** Aquest aflorament està situat a la via del tren entre les estacions de l'Ampolla i l'Ametlla de mar del trajecte entre Barcelona i València. Els afloraments es troben dispersos en tota la zona del cap Roig, sobretot concentrats on afloren els conglomerats poligènics, tot i que també s'observen algunes estructures en els conglomerats calcaris. Les condicions de la via han estat modificades durant l'execució d'aquest treball, i per tant alguns dels afloraments descrits ja no existeixen actualment, tot i que es disposa de fotografies. Així, els materials que formen aquests afloraments són, en la meitat septentrional, les graves poligèniques i llims fluvials, mentre que, a la part meridional, la rasa de la via està formada pels conglomerats calcaris i argiles, d'origen al·luvial. En aquests afloraments s'observen diversos casos d'injeccions de graves i de sorres així com diverses falles normals amb salt mètric (fig. 5.30).

**D'altres indicadors d'activitat tectònica recent a la zona.** La zona del cap Roig, a més dels indicis de líquüefacció esmentats, mostra l'existència de fracturació recent, indicatiu d'activitat neotectònica. La fracturació, a banda de la ja exposada en els afloraments descrits, es mostra en dos nous afloraments:

Aflorament al km 307 de l'autopista A7. En aquest aflorament s'observen diverses falles normals de direcció N005/80S, de salt mètric, que afecten les graves poligèniques i llims d'origen fluvial (vegeu capítol d'anàlisi dels indicadors estructurals d'activitat neotectònica).

Aflorament de la platja de Santa Llúcia. En aquest aflorament s'observa una fracturació penetrativa, amb un espaiat métric i d'orientació N-S i E-W que afecta les sorres cimentades de la platja, d'edat tirreniana (vegeu capítol d'anàlisi dels indicadors estructurals d'activitat neotectònica).

### 5.3.2.2. DICS CLÀSTICS AÏLLATS

La quantitat i la qualitat de les estructures produïdes per liqüefacció observades a cap Roig no s'han observat a cap altra zona de l'àrea estudiada. En canvi, sí que s'han observat dics clàstics dispersos en les següents zones (fig. 5.31):

- A l'escarpament de Mont-roig, a la zona del poble del mateix nom, s'observen diverses fractures verticals reblertes de sediments llimosos i sorrencs, amb un màxim de 5 cm d'ample, sense mostrar variacions en el gruix, possiblement provinents de la part inferior on existeixen nivells de litologia similar. La orientació d'aquests dics és paral·lela a l'escarpament de Mont-roig: N020E.

- A les terrasses altes de l'Ebre, a la circumvalació d'Amposta, hi ha diverses fractures reblertes de sorres que provenen d'un nivell inferior. El seu gruix no supera els 3 cm, i sovint mostra un redreçament dels còdols de la vora de la roca encaixant. L'orientació d'aquests dics és predominantment NNW-SSE.

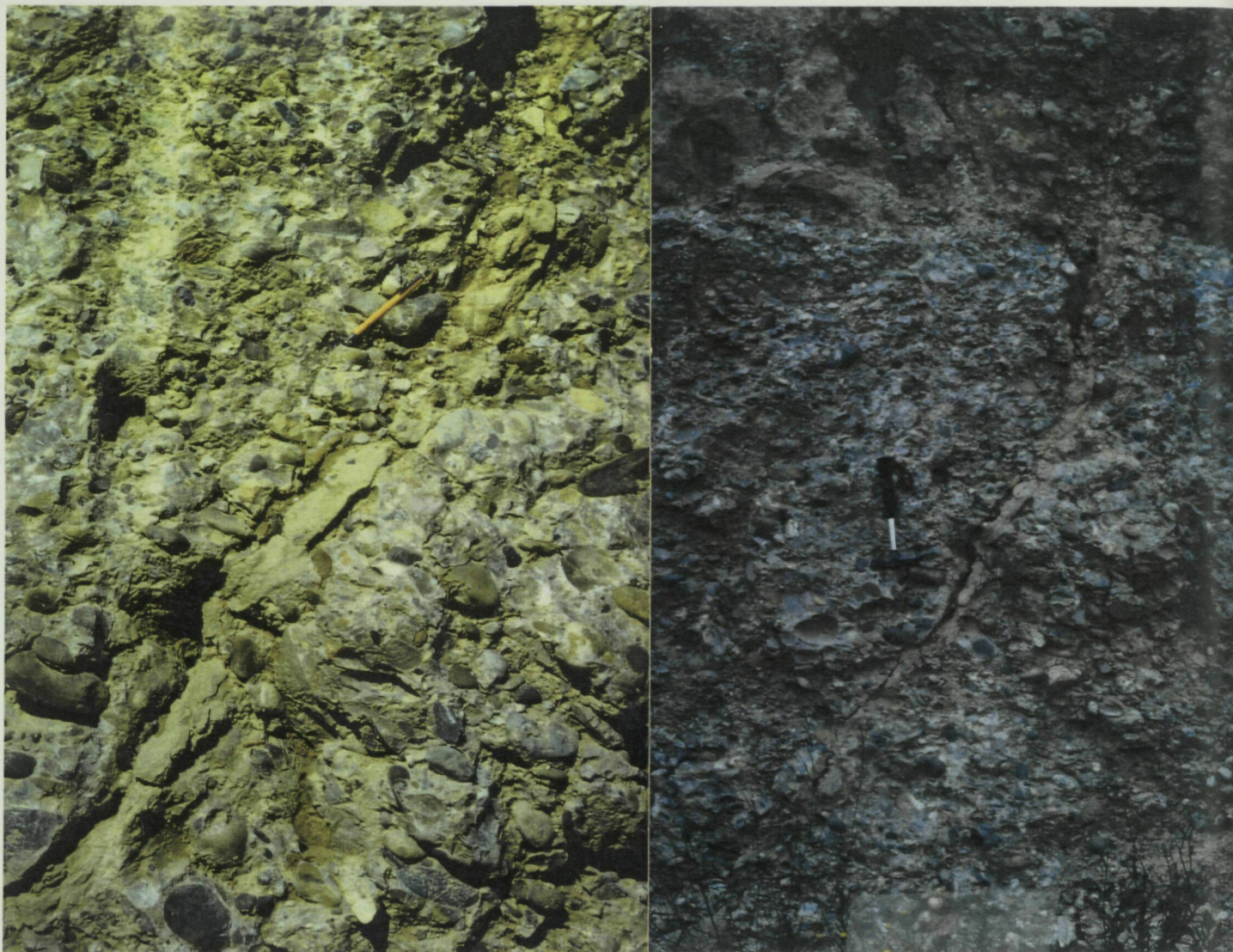
### 5.3.2.3. DISCUSSIÓ

Les estructures i formes descrites no són indicadores de l'existència de paleosismicitat per elles soles. Tan sols la presència d'escarpaments que afecten materials recents i de sismes històrics d'intensitat VI, durant els quals es produïren esllavissaments, permeten interpretar que aquestes estructures podrien ser degudes a terratrèmols passats. En aquest cas, la magnitud mínima necessària per a produir aquestes estructures seria de 5 a 5'5.

Cal destacar que a la zona del cap Roig algunes àrees mostren deformacions prou intenses per a què no es detecti l'estratificació en el nivell deformat.

La presència d'aquestes estructures en una zona on les falles normals que afecten els sediments recents són abundants permet considerar la possibilitat que les estructures de liqüefacció siguin degudes a la tectònica extensiva que produí les falles.





**Fig. 5. 31.** Esquema dels dics clàstics de la zona de Mont-roig i dels de la terrassa de l'Ebre, a Amposta.

*Fig. 5.31. Schematic of the clastic dykes of the Mont-roig area and of the Ebre terrace at Amposta.*

Tot i així, convé ressaltar que la zona on més estructures d'aquest tipus s'han detectat és també la zona on la litologia és més favorable per al seu desenvolupament, i per tant, la seva concentració al cap Roig no indica que els epicentres dels possibles sismes hagin de trobar-se en aquesta zona.

### **5.3.3. MOVIMENTS DE MASSA**

#### **5.3.3.1. INTRODUCCIÓ**

A la introducció del capítol de paleosismicitat ja he comentat com alguns autors consideren com a indicador de palesismicitat la presència en el registre rocós de restes de lliscaments de massa (Cantalamessa et al. 1981, Harp et al. 1981, Wilson i Kefeer 1985, Nikonov 1988, Sunaric et al. 1990). En terratrèmols actuals i històrics s'han generat sovint moviments de massa deguts a la transmissió de les ones sísmiques sobre el terreny. Tot i així, els moviments de massa poden ser activats per d'altres causes independents i per tant la sola presència d'aquest tipus de fenòmens en el registre rocós no és indicador d'activitat sísmica. Per altra banda, cal destacar com alguns autors (Wilson i Kefeer 1985) relacionen el tipus de moviment de massa amb una magnitud donada del sisme que els ha provocat (basat en estudis estadístics de moviments de massa produïts en terratrèmols dels que se'n sap la magnitud). Aquest tipus de correlacions només poden ser considerades com aproximacions poc exactes al problema ja que realitzen comparacions entre l'energia alliberada pel sisme -magnitud- i els efectes en superfície, sense tenir en compte la fondària del focus, factor determinant en els efectes d'un sisme en superfície.

Tot i així, l'observació dels sismes actuals demostra que els moviments de massa es produeixen amb més intensitat durant un terratrèmol i per tant convé detectar i analitzar les zones amb una concentració anòmala d'aquests fenòmens.

La zona de coll de l'Illa (fig. 5.32), a l'Alt Camp (Tarragona), mostra una concentració de moviments de massa important que es pot considerar anòmala en el conjunt de les Cadenes Costaneres Catalanes ja que no s'ha observat en cap altra zona.



### 5.3.3.2. LA ZONA DE COLL DE L'ILLA

La zona de coll de l'Illa se situa a la Serra de Miramar, la qual limita les comarques de l'Alt Camp i de la conca de Barberà. Aquesta serra és llarga (15 km) i estreta (2.5 km), de direcció NE-SW, i limita al N amb el bloc del Gaià i al S amb la serra de Prades. Constitueix la separació entre la fossa del Camp i la depressió de l'Ebre. Els materials que la componen són d'edat paleozoica (Cambro-ordovicià, Silurià i Carbonífer) i triàsica (sèrie germànica) separats per una discordança. Aquests materials es troben deformats mitjançant una flexió veient cap al NW que fa que a la part superior de la serra les capes siguin horitzontals mentre que al seu vessant occidental es disposen verticalment (Guimerà 1988).

En aquesta zona l'activitat tectònica recent no hi és molt important. La morfologia del front de Miramar no mostra indicis d'activitat recent tot i que al S d'aquesta, tocant al Francolí s'han observat contactes tectònics entre els materials de la serra i sediments recents al·luvials l'edat dels quals no he pogut determinar, tot i que se sap que són anteriors a 350 000 a (datacions radiomètriques mitjançant el mètode de l'U/Th en calitxes d'aquests dipòsits que han resultat ser anteriors al rang de mesura del mètode, que és de 350 000 a). La sismicitat de la zona, en canvi no és nul·la: periòdicament es produeixen sismes de baixa magnitud (2-3) a la zona de Valls (Susagna 1990).

Els dipòsits producte de moviments de massa de la zona de Coll de l'Illa s'observen amb claredat en els mapes geològics a escala 1:50 000, i actualment afluïren al llarg de molts metres a la carretera que puja al Coll de l'Illa. La seva situació està limitada a la banda SE de la Serra de Miramar, al peu d'aquesta serra, des de l'alçada del Pla de Santa Maria fins uns 4 km al S. Les dimensions en planta d'aquestes unitats desplaçades de la seva posició original és variable entre 0.5 km<sup>2</sup> (turó de Mas Llop) i 0.0035 km<sup>2</sup>.

La totalitat dels dipòsits analitzats està formada per calcàries triàsiques (Mushelkalk) que han lliscat sobre argiles roges, possiblement de la fàcies Röd. El tipus de lliscament no és homogeni en aquesta zona: es troben moviments en que la massa rocosa s'ha traslladat de forma cohesiva i moviments en que l'estructura estratigràfica no s'ha mantingut. Aquests dipòsits s'han depositat per sobre dels materials paleozoics, és a dir que han experimentat poc transport; en cap cas s'han observat indicis que haguessin arribat a dipositar per sobre dels sediments plio-quadernaris de la fossa del Camp.

La posició d'aquests dipòsits, per sobre d'una superfície topogràfica molt semblant a l'actual, i en cap cas fossilitzats per sediments neògens ni plio-quadernaris, permet considerar la possibilitat que es tractés de moviments relativament recents. Tot i així, cal també tenir en compte que les cicatrius que es formen normalment al darrera d'un moviment de massa no s'observen en el relleu actual, i que

en algun cas s'observen ventalls al·luvials molt recents encaixats entre els relleus causats pels moviments de massa cosa que indica que en cap cas es tracta de moviments actuals.



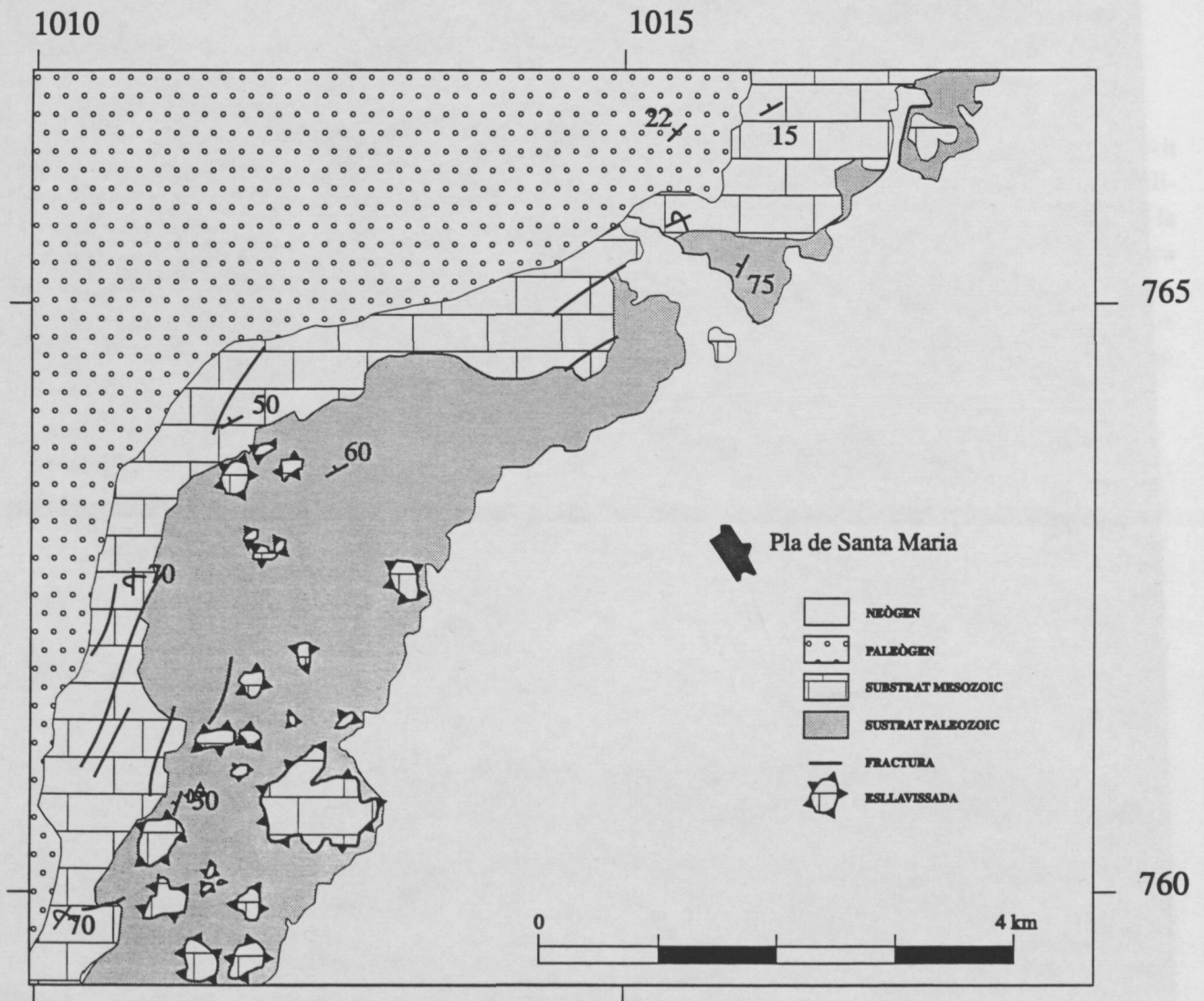


Fig. 5.32. Cartografia dels moviments de massa de Coll de l'Illa que s'indiquen limitats per triangles. Els materials transportats són calcàries triàsiques del Muschelkalk.

Fig. 5.32. Cartography of the mass movements of the Coll de l'Illa where the limits are indicated by triangles. The materials transported are triassic limestones of the Muschelkalk.

## **6. CONSIDERACIONS**

**6.1. RECAPITULACIÓ**

**6.2. DISCUSSIÓ**



CONSIDERATIONS

1. INTRODUCTION

2. SCOPE

Tot i que en els capítols corresponents ja he efectuat discussions parcials dels resultats obtinguts de cada una de les anàlisis realitzades convé exposar aquests resultats de forma ordenada i conjunta per a discutir els resultats globals de la tesi. Així, a continuació exposo primer els resultats obtinguts de les anàlisis geomofològica, estructural, paleosismològica i de la síntesi de la sismicitat, i a continuació discutiré la seva aportació al coneixement de la tectònica recent de les Cadenes Costaneres Catalanes.





## 6.1. RECAPITULACIÓ

### 6.1.1. L'ANÀLISI GEOMORFOLÒGICA

L'anàlisi geomorfològica ha permès detectar l'existència d'activitat tectònica recent, alhora que ha aportat dades notables sobre el tipus de deformació experimentada a la zona.

#### **Fronts muntanyosos**

Les mesures de la sinuositat, l'índex d'amplada-llargada de les conques de drenatge, la disposició del drenatge, la realització de perfils topogràfics transversals als fronts i la detecció de facetes triangulars alineades en alguns dels fronts muntanyosos de les Cadenes Costaneres Catalanes han permès diferenciar quatre fronts muntanyosos, d'entre tots els analitzats, que mostren indicis morfològics d'haver experimentat aixecaments recents. Aquests fronts són, de S a N, el del Baix Ebre (front W de la fossa del mateix nom), el del Pla del Burgar (W), el de la zona central del Camp (W) i el del Montseny (fig. 2.13). Tots aquests fronts coincideixen amb les falles principals que han produït els semigràbens neògens. L'orientació dels fronts mencionats és NNE-SSW amb l'excepció del front del Montseny, situat més al N, que té una orientació NE-SW. Els salts mínims de les falles que limiten els fronts, que començaren a actuar com a normals a principis del Neògen, són de 1500 m al Baix Ebre, 3000 m al Camp i 2100 m al Montseny (no es disposa de dades del reompliment sedimentari del Pla del Burgar, tot i que el desnivell entre el peu del front i el punt més alt del front és de més de 700 m).

L'edat de l'aixecament no es pot determinar de forma absoluta, i cal utilitzar factors com el grau de degradació o la tendència a l'equilibri per a deduir-la. Així, l'aixecament d'aquests fronts és recent, a jutjar pels valors de sinuositat moderadament baixos, corroborats per l'anàlisi de fractals, per l'índex de separació de les conques i per la convexitat que mostren els perfils topogràfics transversals al front, que indiquen que l'equilibri no ha estat aconseguit. En canvi, es pot afirmar que l'activitat tectònica al llarg d'aquests fronts no és sub-actual degut a l'existència d'un pediment al peu d'algun dels fronts (Baix Ebre), a l'elevat grau de degradació dels fronts en comparació amb fronts actius actualment, a l'absència d'un escarpament de falla al peu dels fronts, que indica esdeveniments molt recents, i la manca de punts de ruptura del pendent importants en el perfil dels rius que travessen els fronts.

La detecció de diferents generacions de facetes en els fronts ha permès deduir que l'aixecament tectònic d'aquests no ha estat constant sinó que ha sigut episòdic, amb períodes actius que han alternat

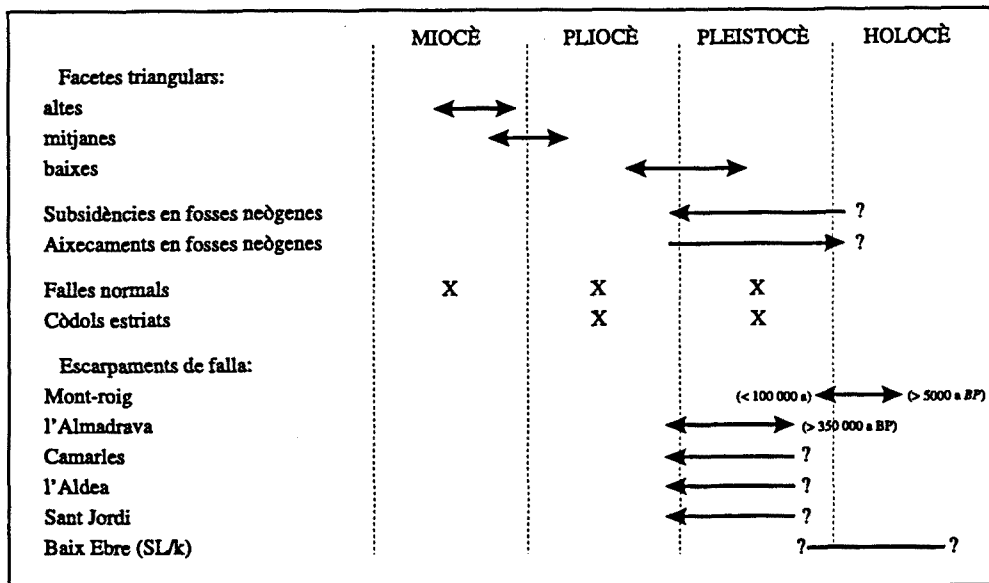


Fig. 6.1. Esquema de síntesi de la cronologia dels diferents indicadors d'activitat neotectònica detectats a les Cadenes Costaneres Catalanes analitzats en aquesta tesi.

Fig 6.1 Schematic of the synthesis of the chronology of the different indicators of neotectonic activity detected at the Cadenes Costaneres Catalanes analysed in this thesis.

amb períodes inactius. L'anàlisi de les alçades de les diferents generacions de facetes indica que la deformació no ha estat absorbida de forma uniforme per tot el front durant els diferents períodes de deformació; així s'ha observat que l'activitat tectònica s'ha concentrat en diferents segments de la falla que s'han rellevat en el temps, resultant una deformació final aproximadament homogènia per a tot el front (figs. 2.18, 2.25). S'ha realitzat una estimació de l'edat de les facetes més altes, que seria d'entre 8 i 14 Ma, estimació que situaria la formació d'aquestes facetes en un moment anterior al Pliocè (fig. 6.1).

Els fronts on no s'ha interpretat un aixecament recent (2.36) es troben, en alguns casos, en situacions que poden emmascarar l'anàlisi morfològica, i per tant aquesta no és útil per a analitzar-los. Algunes d'aquestes situacions són l'activitat antròpica, que modifica altament la geomorfologia, la coincidència amb la línia de costa, factor també modificador de la morfologia de forma independent de la neotectònica, o bé la coincidència del límit del front amb un canvi litològic en el bloc aixecat, que pot conduir a característiques morfològiques anàlogues a les d'un front muntanyós recent. Així, només s'han considerat com a fronts aixecats recentment aquells que mostren les característiques mencionades al principi i alhora no mostren les mencionades com a perturbadores.

### **La xarxa fluvial**

En l'anàlisi de l'índex de gradient dels cursos fluvials, s'han interpretat algunes de les anomalies detectades com degudes a moviments tectònics verticals recents (fig. 2.40). Aquestes anomalies es troben en dos casos alineades sub-paral·lelament a les vores de les fosses neògenes, a la fossa del Vallès, amb orientació NE-SW, i a la del Baix Ebre, amb orientació NNE-SSW. Aquestes anomalies no comporten en cap cas l'existència de grans estructures, ja que afecten tan sols petits segments dels rius, però evidencien una activitat tectònica feble que no sempre coincideix amb les falles principals de les fosses neògenes i que posa de manifest la possibilitat de l'existència de blocs limitats per falles lleugerament actives a l'interior d'aquestes fosses. La preservació d'aquestes anomalies, que per altra banda són fàcilment degradables (Mackin 1948), permet considerar l'activitat tectònica que les ha causades com a molt recent. Les anomalies puntuals observades correspondrien a moviments recents localitzats. Per altra banda, les observacions realitzades sobre la incisió indiquen també l'existència de moviments verticals recents, tant en els fronts muntanyosos com en les fosses neògenes. El càlcul de l'índex d'incisió en els fronts muntanyosos (fig. 2.43), tot i ser altament dependent de la litologia en la que s'aplica, ha permès observar diferències entre els fronts del Baix Ebre (W), la zona central del front del Camp (W) i el del Montseny respecte dels altres. Aquestes diferències, que mostren més incisió en aquests fronts, s'interpreten com indicatiu d'un aixecament recent que ha fet prevaldre la incisió sobre la dels vessants. A les fosses neògenes, els perfils topogràfics realitzats permeten també observar diferències en la incisió (fig. 2.41), que resulta ser més intensa i verticalitzada a la fossa del Vallès i la del Penedès mentre que a les fosses més meridionals, la incisió és mínima. Això, junt amb la major presència de sediments plio-quadernaris en aquestes últimes fosses i amb la major degradació d'aquests en les fosses septentrionals, permet interpretar, per una banda, un aixecament de les fosses de la meitat N respecte del seu nivell de base que propiciaria una major incisió i, per l'altra, un enfonsament de les fosses de la meitat S que hauria provocat una major acumulació i una menor incisió en els sediments recents d'aquestes.



Per últim cal considerar els resultats obtinguts de l'anàlisi de la xarxa fluvial en planta, en el que s'ha observat l'absència de defleccions sistemàtiques dels cursos fluvials. Aquesta absència permet afirmar que la deformació recent que ha afectat la zona estudiada té una component direccional molt baixa o nul·la. Per altra banda s'ha detectat l'existència d'una anomalia important en la simetria de la xarxa de drenatge del riu Gaià (fig. 2.45) que es mostra fortament modificada quan discorre per la fossa del Camp. Aquesta anomalia s'ha interpretat com deguda a un basculament de la fossa del Camp cap a la falla del Camp, que hauria alterat el curs equilibrat del Gaià i indicaria, doncs, moviments verticals. La xarxa mostra a més d'altres anomalies com poden ser desviacions degudes a obstacles com la dels rius Tordera i Mogent o captures ja mencionades per altres autors com la del riu Foix, la riera d'Argentona o el riu Anoià, que no es poden atribuir a causes tectòniques.

### **Els ventalls al·luvials**

Des del punt de vista geomorfològic, els materials d'edat més recent que omplen les fosses neògenes formen part majoritàriament de ventalls al·luvials. Així, en part degut a què la fracturació que s'ha observat a la zona d'estudi afecta aquests materials, en part per que en ser aquests tan extensius poden reflectir la possible activitat tectònica de la zona, s'ha realitzat un estudi geomorfològic en aquestes formes. Aquests ventalls al·luvials es disposen adossats als fronts muntanyosos de les fosses de la meitat meridional de la zona estudiada (fig. 2.48). A les fosses septentrionals es troben massa degradats per a poder ser analitzats amb resultats satisfactoris.

Els ventalls no s'observen segmentats amb l'excepció del de Sant Jordi, que mostra un esglaonament d'orientació NNE-SSW que s'ha interpretat com un escarpament de falla degradat (fig. 2.51). L'absència de segmentació en els ventalls adossats a fronts que mostren d'altres indicis d'aixecament recent pot ser deguda a la composició grollera dels sediments que formen els ventalls, que impedeixen la preservació dels segments.

L'anàlisi morfomètrica aplicada a aquests ventalls no permet distingir els ventalls al·luvials adossats als fronts interpretats com a aixecats recentment de la resta de ventalls. En aquest estudi morfomètric s'observa una dispersió important en les correlacions entre les dades de pendent i àrea de la conca i del con que és independent de la proporció de carbonats de l'àrea font i també de l'activitat tectònica del front al qual es troben adossats (fig. 2.53). Les possibles causes d'aquesta dispersió poden ser: 1) la gran variació de litologies que afloren en les conques de drenatge dels ventalls, variació que no queda prou ben representada en el tant per cent de roques carbonàtiques, 2) a la variació de les orientacions de les àrees de drenatge, que pot influir en la quantitat d'aports, 3) als possibles problemes d'espai que tenen alguns ventalls, 4) a l'erosió de part de la superfície dels ventalls per part del riu Ebre o Francolí, i finalment 5) a l'anisotropia introduïda per l'estructura heredada. Aquesta gran varietat de factors fa impossible, per ara, una interpretació del significat d'aquestes dades.

L'edat dels ventalls al·luvials més antics estudiats és, segons dades estratigràfiques, posterior a la dels sediments pliocens marins de Sant Onofre (Ruscinià o bé Pliocè mitjà-superior segons diferents autors -Magné, 1978, Martinell i Domènech 1984, Aguirre et al. 1982-). A l'Almadrava

aquests ventalls es troben afectats per litòfags a una alçada no assolida pel nivell del mar durant el Quaternari, dada que situa cronològicament aquests dipòsits en el Pliocè superior-terminal. L'anàlisi gomorfològica ha permès distingir, mitjançant el grau de degradació, dues generacions de ventalls al·luvials a la fossa del Baix Ebre i a la del Camp. A la fossa del Camp, un dels ventalls de la generació més recent presenta indústria lítica musteriana intercalada entre els seus nivells, dada que situa cronològicament aquesta generació de ventalls al·luvials com a posterior a l'últim cicle glacial (<100 000 a).

### 6.1.2. L'ANÀLISI ESTRUCTURAL

L'escassa presència de fracturació i deformació que afecti els sediments plio-quaternaris indica una activitat tectònica recent poc intensa. La major part dels indicis estructurals es troben a la meitat meridional de la zona estudiada (fig. 3.4), fet que, a priori, no es pot interpretar com indicador d'una major intensitat de la deformació en aquesta zona ja que aquest tipus d'estructures són de difícil detecció a la meitat septentrional a causa de l'elevada degradació dels escassos dipòsits plio-quaternaris i a la menor exposició dels mateixos deguda a la cobertura vegetal.

#### Les falles

La fracturació observada és molt puntual i poc intensa. Tot i així, s'han pogut analitzar poblacions de falles en sediments quaternaris i pliocens que indiquen una disposició vertical de  $\sigma_1$  per a les dues edats mentre que l'eix màxim horitzontal  $\sigma_2$  té una direcció de N-S a NE-SW per al Quaternari, i de NNE-SSW a ENE-WSW per al Pliocè. L'observació de la fracturació és difícil en els afloraments formats en sediments no consolidats i la detecció de falles, en absència de contrastos litològics és quasi impossible. Aquest podria ser, més que no pas la major intensitat de la deformació, un factor determinant en la localització dels afloraments estudiats. Els salts de falla observats són d'ordre mètric a mil·limètric.

#### Les diàclasis

La presència de diàclasis en sediments quaternaris és més abundant que la de falles. Tan sols en un aflorament s'han observat dues famílies de diàclasis, aflorament on no s'observen criteris de cronologia entre les dues famílies. Les estacions de mesura de les orientacions de les diàclasis mostren una tendència d'aquestes a disposar-se N-S, tot i que la dispersió en alguns casos és gran (fig. 3.11). Algunes d'aquestes diàclasis es mostren obertes i/o reblertes de sediment o de calcita, cosa que podria permetre interpretar-les com esquerdes de tensió, i en aquest cas indicarien una orientació de  $\sigma_3$  E-W. Aquesta interpretació no es pot considerar definitiva degut a que en cap cas s'observen evidències clares de que no s'hagi produït moviment per cisalla. Tot i així, el paral·lelisme que mostren les diàclasis a les grans falles que tenen a la vora fan plausible que aquestes s'hagin format amb  $\sigma_3$  perpendicular a la seva direcció, és a dir,  $\sigma_3$  predominantment E-W.

### **Els còdols estriats**

En quatre afloraments de graves poligèniques quaternaries i pliocenes s'ha observat dissolució i deformació en els còdols calcaris (fig. 3.15). Les estructures observades en aquests còdols són estries, estilòlits i fractures. L'anàlisi d'aquestes estructures només ha estat satisfactori en l'aflorament d'Amposta, on s'ha deduït una direcció de màxima compressió N-S, mentre que a la resta d'estacions les dades no donen resultats coherents, segurament degut a rotacions dels còdols en la matriu i a la baixa proporció de dissolució i la poca quantitat de dades mesurades.

### **Les flexions i basculaments**

Les flexions i basculaments detectats a escala d'aflorament es mostren sempre lligats a la presència de falles que, en molts casos, són normals. Els basculaments observats varien entre 5° i 30°.

### **El camp d'esforç actual**

Les dades que fan referència al camp d'esforç actual a les Cadenes Costaneres Catalanes les aporten les solucions de mecanismes focals de quatre terratrèmols (Susagna 1990, Olivera et al 1991, Olivera et al 1992) a més de les dades de deformació de *borehole breakout* (Jurado i Mueller en premsa). Aquestes últimes només informen de l'estat de deformació en les components horitzontals, que mostra una direcció de màxim escurçament NE-SW a la meitat septentrional de la zona estudiada i NNE-SSW a la meridional. Els mecanismes focals indiquen, en les seves components horitzontals, una direcció de màxima compressió NNW-SSE a NNE-SSW, semblant a l'obtinguda de l'anàlisi de sondatges. Indiquen la presència de falles direccionals i inverses que en cap cas s'han observat actives o afectant sediments plio-quaternaris en la zona estudiada.

## **6.1.3. L'ANÀLISI DE LA SISMICITAT**

La sismicitat a les Cadenes Costaneres Catalanes és de moderada a baixa. La distribució d'epicentres mostra dues grans agrupacions, l'una al N, amb més quantitat de sismes amb un rang de magnituds variat (1-4), i l'altra, a la meitat meridional, més escassa en sismes, però amb més proporció de magnituds relativament altes (4) (Susagna 1990)(fig. 4.12). Convé destacar la concentració d'epicentres de magnituds relativament elevades a la plataforma continental. Aquesta distribució no es mostra en cap cas alineada clarament seguint cap traça de falla concreta. La profunditat dels focus no supera en cap cas els 10 km (Susagna 1990, Olivera et al. 1987, 1991, 1992).

Les dades històriques mostren l'existència de dos sismes importants a la zona, el de Tivissa (1845) d'intensitat VI i el del Montseny (1927) d'intensitat VII. Durant el primer, els cronistes descriuen la formació d'esllavissades, segurament no lligades directament al sisme sinó a les grans



pluges que el precediren i acompanyaren. El terratrèmol del Montseny no va causar modificacions en el terreny que fossin detectades pels cronistes (Fontserè i Iglésies 1971, Roca i Suriñach 1982).

Així, tant les dades instrumentals, que mostren la presència continuada de petits moviments sísmics, com les dades històriques, que demostren l'existència de sismes de major energia, indiquen una activitat sismotectònica actual, encara que moderada.

#### **6.1.4. L'ANÀLISI DE LA PALEOSISMICITAT**

S'han detectat estructures geològiques que molt probablement han generat terratrèmols, així com estructures possiblement produïdes durant, i a conseqüència, de terratrèmols, que permeten interpretar l'existència d'esdeveniments sísmics forts anteriors al registre històric a les Cadenes Costaneres Catalanes. Aquestes estructures són principalment els escarpaments de falla, les evidències de líquefacció i els grans moviments de massa (fig. 5.8).

##### **Els escarpaments morfològics**

Fins a quatre escarpaments morfològics han estat interpretats com a escarpaments de falla: el de Mont-roig, el de l'Almadrava, el de Camarles i el de l'Aldea, a més del de Sant Jordi, que ha estat reconegut mitjançant mètodes indirectes i del del Baix Ebre (alineació d'anomalies de l'índex de gradient) que es troba en un estadi incipient. L'orientació d'aquests escarpaments, que es disposen de forma esglaonada, és NNE-SSW, subparal·lelament a les vores de les fosses neògenes de la part S de les Cadenes Costaneres Catalanes, zona en la que se situen els escarpaments. El salt acumulat durant successius esdeveniments enregistrats en aquests escarpaments varia entre 0.70 i 17 m mentre que la longitud en varia entre 200 i 10 000 m. La correlació de les estructures observades en els diversos afloraments de l'Almadrava ha permès interpretar que l'estructura que controla aquest escarpament (i possiblement també controla els altres, ja que morfològicament són molt similars) és una falla normal que perd progressivament el salt cap a la superfície fins a transformar-se en una flexió (fig. 5.20). Aquesta flexió presenta fractures obertes a la xarxera, i en algun cas també falles normals secundàries de salt mètric. La mateixa estructura s'observa també en perfils sísmics realitzats a la plataforma continental de Tarragona en una posició estratigràfica semblant (Catafau 1987). Aquesta interpretació permet explicar la presència de plans de fractura molt ben conservats just al peu d'algun dels escarpaments (Mont-roig i Almadrava), cabussant fortament cap al WNW (el bloc enfonsat és el de l'ESE i per tant aquests plans podrien confondre's amb una falla inversa), que podrien semblar el front de l'escarpament més recent. El model considerat permet interpretar aquestes fractures com diàclasis o esquerdes obertes a la xarxera de la flexió. Per altra banda la topografia detallada realitzada en aquests escarpaments mostra en diversos perfils la presència d'una franja subsidida just al peu dels escarpaments, allargada paral·lelament a aquests, que descarta la possibilitat que es tracti de falles inverses que controlin la formació dels escarpaments ja que aquestes només produeixen, a aquesta escala, deformacions en el bloc superior. L'escarpament de Sant Onofre ha estat descartat com a escarpament de falla i la seva morfologia ha estat interpretada com una zona de cimentació preferent

de carbonats, tot i que aquest escarpament coincideix amb una falla normal que afecta un ventall quaternari.

L'excavació d'una rasa a l'escarpament de Mont-roig (fig. 5.13) ha permès observar que els sediments, datats mitjançant  $^{14}\text{C}$  en 4490-4790 a. BC (4490-4790 a. BC rang del valor de 2 sigma calibrat), no es troben afectats per la falla, tot i que aquesta afecta els ventalls al·luvials que contenen indústria lítica musteriana. Així, l'activitat de la falla que el controla és anterior a 4490-4790 a. BC ( $^{14}\text{C}$ , rang del valor de 2 sigma calibrat) i posterior a 100 000 a (indústria Musteriana). És interessant de destacar que malgrat ser més antic de 4490-4790 a. BC l'escarpament de Mont-roig manté poc degradada la seva morfologia mentre discorre entre conglomerats. Tot i així, la xarxa fluvial mostra clarament haver assolit el seu nivell de base, desequilibrat pel moviment de l'escarpament. S'estima que el moviment d'una falla que dongués lloc a un escarpament de 10 km de longitud perduria també un sisme de magnitud de 6.5 (Bonilla et al. 1984). Així, l'escarpament de Mont-roig pot haver generat sismes de magnitud fins a 6.5 (es tracta de la magnitud màxima ja que la falla que controla l'escarpament pot haver experimentat lliscament parcial donant lloc a sismes menors).

A la rasa de l'escarpament de l'Almadrava (fig. 5.16) he interpretat fins a tres episodis de desplaçament de les falles, dos d'ells recoberts per materials al·luvials i el tercer afectant la superfície topogràfica. Interpreto que aquests tres episodis produïren sengles esdeveniments sísmics. L'esdeveniment més recent és anterior a 350 000 a BP i posterior al Pliocé superior.

La impossibilitat d'obtenir dades sobre els períodes de recurrència dels sismes generats pel moviment de les falles dels escarpaments estudiats ha motivat l'especulació al respecte en l'escarpament de Mont-roig, el més llarg dels analitzats, mitjançant la comparació amb les característiques de salt i llargada de la ruptura en superfície que mostren escarpaments produïts durant sismes actuals (fig. 5.33). Aquestes estimacions indiquen que els esdeveniments generats per la falla que controla l'escarpament de Mont-roig haurien tingut una periodicitat de pocs milers d'anys, el mateix ordre de magnitud que l'edat dels sediments no deformats de la rasa de Mont-roig. Així, per una banda, la falla de Mont-roig ha de ser considerada com una falla activa i per l'altra, la comparació dels períodes de recurrència estimats amb el temps transcorregut sense activitat sísmica justifiquen l'estudi paleisomològic directe d'aquesta falla.

### **La líquefacció**

S'han descrit diverses estructures que posen en evidència l'existència de fenòmens de líquefacció, fenòmens sovint desencadenats pels moviments sísmics. Aquestes estructures s'han observat sobretot al cap Roig (fig. 5.29), però també a Mont-roig i a les terrasses quaternaries de l'Ebre (fig. 5.31). Es tracta de 1) dics clàstics de sorra i/o grava, 2) estructures de convolució intensa o suau, 3) estructures de convolució, fracturació i injeccions a escala de làmina, i 4) nombroses falles normals amb salt de mètric a milimètric. La sola presència d'estructures de líquefacció no és motiu per interpretar l'existència de sismes forts en una zona. Estructures semblants poden formar-se per sobrecàrrega, però aquest no és el cas de la zona estudiada degut a què el gruix de sediments que hi ha al damunt no podrien produir suficient sobrecàrrega. També es poden formar estructures

convolucionades i injeccions en zones afectades per fenòmens de *slumping*, possibilitat descartable aquí degut a la manca del pendent necessari per a què es produïssin aquests fenòmens i a l'absència d'una vergència en les estructures observades. Així, aquestes estructures poden considerar-se com probablement causades per esdeveniments sísmics. La situació de l'epicentre del sísmic que les hauria creat no es pot determinar amb la informació disponible ja que aquest pot estar molt lluny de les estructures de líquefacció. La concentració d'aquestes estructures al Cap Roig o als altres dos afloraments està controlada segurament per la litologia d'aquestes zones, que és susceptible de ser líquuada (poc cimentada, abundància de sorres i llims etc), mentre que a la resta de la zona els materials no tenen les característiques adequades. Tot i així, la presència d'estructures de líquefacció permet interpretar l'acció d'un terratrèmol d'una magnitud mínima de 5.5 (Serva et al. 1980).

### **Les grans esllavissades**

L'elevada concentració de grans esllavissades a la zona del coll de l'Illa (fig. 5.32) no permet deduir necessàriament l'acció d'un sísmic fort a la zona. Convé, però, tenir en compte aquest fenomen en l'anàlisi de la paleosismicitat. Aquestes esllavissades són tant de tipus lliscament com de fluxos terrígens (*earth flow*), i han desplaçat grans volums de roca. La datació absoluta dels esdeveniments no és possible, però en canvi és possible determinar-la de forma relativa. El relleu sobre el que han lliscat aquests moviments de massa és sub-actual, tot i que no s'observa ja la cicatriu erosiva a la serra de Miramar, fet que indica que el fenomen no és actual. A més, un sistema de ventalls al·luvials, de la generació més recent de la fossa del Camp, s'encaixen en els relleus creats per les esllavissades. Així, aquestes són anteriors a aquesta generació de ventalls al·luvials, correlacionats amb els que contenen indústria lítica Musteriana (<100 000 a).





## 6.2. DISCUSSIÓ

Les dades exposades fins aquí permeten discutir la caracterització neotectònica de les Cadenes Costaneres Catalanes fent referència: 1) a l'existència i intensitat d'activitat tectònica recent i 2) a l'existència i intensitat de tectònica activa, 3) al caràcter de la deformació que aquesta activitat tectònica imprimeix en el registre geològic 4) al caràcter i la importància dels indicadors de paleosismicitat existents a la zona i, 5) a la situació en el context regional i els possibles mecanismes que han donat lloc a la formació d'aquestes estructures. Finalment també es discuteix l'adequació i les aportacions del mètode utilitzat.

### 6.2.1. L'EXISTÈNCIA I LA IMPORTÀNCIA DE L'ACTIVITAT TECTÒNICA RECENT

La zona d'estudi, tot i els pocs treballs sobre el tema, ha estat clàssicament considerada amb una activitat tectònica recent molt poc rellevant. En aquesta memòria, es demostra l'existència d'activitat neotectònica a les Cadenes Costaneres Catalanes. Aquesta és posada en evidència, en primer lloc, per la presència d'estructures que deformen sediments plio-quaternaris, com són les falles, les diàclisis, la dissolució de còdols i les flexions i basculaments. En segon lloc, és posada en evidència per la presència d'elements del paisatge, que constitueixen, o bé trets característics de zones actives, com són els fronts muntanyosos amb sinuositat baixa, el drenatge perpendicular al front, l'índex de separació de conques baix i les facetes triangulars, o bé modificacions de l'equilibri d'aquestes formes, com variacions de l'índex de gradient, anomalies de la xarxa fluvial en planta, segmentació d'algun ventall al·luvial i contrast del caràcter de les incisions entre diferents zones. Per últim, l'existència d'activitat neotectònica a la zona d'estudi queda també reflectida per l'activitat sísmica històrica i per la presència d'estructures de paleosismicitat com els escarpaments de falla descrits o les estructures de líquefacció i, possiblement, també la concentració de grans esllavissades.

Tot i així, els indicadors d'activitat neotectònica en cap cas mostren que aquesta activitat sigui molt intensa i en canvi, sí que, alguns, indiquen que aquesta és moderada a baixa. Això és posat en evidència pel baix grau d'intensitat de la deformació tectònica en els sediments recents, tot i tenir en compte que aquesta deformació queda sovint emmascarada per la baixa cimentació d'aquests materials i pels pocs contrastos litològics. La xarxa fluvial, que es mostra, en general, en equilibri també indica que l'activitat neotectònica és poc intensa; tan sols petites alteracions d'aquest equilibri indiquen una activitat tectònica molt recent. Els cursos fluvials no mostren esglaons sistemàtics importants en travessar els fronts muntanyosos que contenen indicadors d'activitat recent ni tampoc en travessar els escarpaments de falla descrits, indicant, doncs, que l'aixecament d'aquestes

estructures és, o bé poc intens, o bé molt lent i permet recuperar l'equilibri amb facilitat. La quasi totalitat dels ventalls al·luvials no es mostren segmentats ni mostren diferències morfològiques entre ells atribuïbles a tectònica, cosa que es pot interpretar com indicatiu que aquesta, que per altra banda s'ha demostrat que és present a la zona, és de baixa intensitat. Per últim cal també fer referència a les característiques dels fronts muntanyosos, que es mostren degradats tot i mostrar restes de morfologies típiques de fronts actius, i per tant no indiquen l'existència d'una activitat tectònica important que els permeti de rejuvenir-se. Per altra banda cal mencionar que en cap cas s'observa un escarpament recent poc degradat al peu dels fronts muntanyosos corresponent a l'últim moviment d'aquests, i en canvi sí que es coneix l'existència de pediments al peu d'alguns d'ells, indicant que aquests fronts estan en un període de baixa activitat i de retrocés.

## 6.2.2. L'EXISTÈNCIA I LA IMPORTÀNCIA DE LA TECTÒNICA ACTIVA

Diversos indicadors posen de manifest l'existència d'una tectònica activa (sub-actual) a les Cadenes Costaneres Catalanes, tot i que, també en aquest cas aquesta activitat s'ha de considerar d'intensitat baixa. La presència de sismes de magnitud moderada a baixa n'és un indicador. La distribució d'epicentres, més abundants en quantitat al N que al S, però amb menys energia alliberada per sisme, permet establir una comparació amb la deformació observada. Considerant que les característiques sísmiques s'hagin mantingut constants durant un període llarg de temps, la deformació cosísmica es podria considerar major al S que al N i per tant, possiblement més difícil d'erosionar al S que al N. La sismicitat històrica, per la seva banda, constata que la zona experimenta sismes més importants que els enregistrats instrumentalment i que és, per tant, una zona de potencial sísmic mitjà. La interpretació de l'existència de sismes de magnitud estimada entre 6 i 6.5 a partir de les longituds d'escarpaments de falla a la zona així com de sismes de magnituds properes 5.5 a partir de l'existència d'estructures de líquüefacció reforça aquest potencial sismotectònic de la zona.

La poca precisió que comporta calcular la situació dels epicentres a partir de dades històriques, sovint poc completes, fa que l'associació de terratrèmols històrics a falles concretes sigui també poc exacta. Tot i així, les dades neotectòniques obtingudes en aquest estudi permeten realitzar una primera estimació de les possibles falles que activaren els terratrèmols de Tivissa (1845) i del Montseny (1927). El terratrèmol de Tivissa fou sentit amb forta intensitat a tots els pobles del voltant de Tivissa -Tortosa, Falset, Vandellós (Jardí i Brú 1921)-. La fractura amb indicis d'activitat tectònica recent més propera a aquesta zona és la falla del pla del Burgar, que tot i així no mostra indicis d'haver experimentat una tectònica activa intensa. En el cas que el terratrèmol de Tivissa hagi estat produït pel lliscament d'una de les grans fractures de la zona, és plausible que aquesta hagi estat la falla del Pla del Burgar. El terratrèmol del Montseny de 1927 permeté la realització de mapes d'isosistes que situen l'epicentre en una zona propera al front que en aquesta memòria he anomenat també del Montseny. A aquest sisme s'hi afegix l'ocorregut el 1992, també en una zona propera al front del Montseny. Així, aquests terratrèmols poden haver estat causats pel lliscament de part del

front del Montseny, lliscament que no hauria estat suficient per a donar lloc a modificacions de la morfologia superficial ja que l'anàlisi morfològica d'aquest front no ha mostrat indicis morfològics clars d'activitat actual. Pel que fa a la sismicitat instrumental cal remarcar que recentment s'han produït diversos sismes, de magnituds entre 3.5 i 4.5 a la zona de la plataforma continental, a pocs kilòmetres de la costa que s'afegeixen als ja existents en el catàleg sísmic de la zona. Aquests terratrèmols no mostren alineacions clares i s'estima que poden ser deguts al lliscament d'alguna de les falles normals preexistents, d'orientació NE-SW, que han configurat aquesta part del solc de València. Per últim convé destacar que els mecanismes focals de la zona no mostren una solució senzilla, ja sigui per la poca quantitat de dades disponibles, ja sigui per la complexitat de la zona que permet que s'activin estructures secundàries.

També la presència de nombroses fonts termals (Albert 1976), algunes d'elevada temperatura, que brollen alineades sobretot al llarg de les falles principals de les fosses neògenes (el Vallès, el Camp) podria ser intrerpretada com a indicador d'activitat tectònica. Tot i així, alguns autors consideren que aquestes anomalies tèrmiques es poden explicar més fàcilment mitjançant l'efecte de les aigües que ascendeixen per les fractures de sòcol i que han estat prèviament escalfades a major profunditat degut al gradient geotèrmic normal (Fernández i Banda 1988).

### 6.2.3. EL CARÀCTER DE LA DEFORMACIÓ

El caràcter de la deformació s'ha establert a partir de les dades obtingudes en les diferents anàlisis realitzades, dades que en alguns aspectes són escasses per a efectuar interpretacions definitives. En primer lloc cal destacar que, tal i com ja s'ha descrit per a d'altres períodes de temps, a la zona estudiada, la deformació es concentra en zones allargades separant blocs on aquesta ha estat inexistent o molt menys intensa. Des d'aquest punt de vista, el tipus de deformació observat mostra una continuïtat respecte a la dels períodes anteriors.

Pràcticament tots els indicis analitzats mostren un moviment vertical en les deformacions neotectòniques de la zona. S'observen anomalies en el perfil longitudinal dels cursos fluvials, diferències en la incisió entre zones diferents, fronts muntanyosos amb facetes triangulars i perfils topogràfics transversals als fronts en els que es mostra que aquests no han assolit encara l'equilibri, drenatge perpendicular als fronts, falles normals a escala d'aflorament i a escala mil·limètrica, evidències de subsidències i aixecaments en les fosses neògenes, desnivells en ventalls al·luvials, escarpaments de falla, i absència d'anomalies indicadores de falles direccionals en la xarxa en planta. A aquestes dades cal afegir-hi els indicis de moviments verticals detectats mitjançant la comparació de línies de nivellament d'alta precisió realitzats en intervals de temps variables (Giménez et al. 1993). La subsidència de les fosses neògenes meridionals és també apuntada per la manca de platges tirrenianes en les zones en les que aquestes fosses estan en contacte amb el Mediterrani, mentre que aquestes platges afloren a les zones properes als relleus mesozoics. La subsidència pot haver afavorit l'erosió de les platges i la fossilització per part dels sediments costaners d'aquestes platges. En aquest sentit, convé mencionar que, a la costa catalana, les platges tirrenianes es concentren majoritàriament



al S del Llobregat, fet que ha portat a diversos autors a interpretar una subsidència al N d'aquest riu, i un aixecament al S (Almera 1890, Faura, 1920, Vilaseca 1919, LLopis 1944, 1946). Julià i Marquès (en premsa) detecten l'existència de noves platges quaternaries i dedueixen que la seva localització possiblement és controlada, més que per la tectònica, pel substrat calcàri, que en permet una millor preservació.

Les dades que fan referència al tipus de falles de lliscament vertical (normals o inverses) que afecten aquesta zona són més escasses. Tot i així, s'interpreta que la deformació és predominantment de tipus extensiu degut a la predominància de falles normals que afecten els sediments plio-quaternaris i als resultats de l'anàlisi topogràfica detallada realitzada en els escarpaments de falla. En aquesta anàlisi s'observa una zona deprimida allargada paral·lelament a l'escarpament, que és indicadora de l'acció d'una falla normal amb rotació del bloc superior (encara que en superfície es manifesti com una flexió).

De l'anàlisi de les fractures pliocenes i quaternaries n'he deduït una orientació de  $\sigma_2$  de NNE-SSW a ENE-WSW per les que afecten materials pliocens i de N-S a NE-SW per les que afecten materials quaternaris; en tots dos casos  $\sigma_1$  és vertical. Aquesta orientació és coherent amb la dels escarpaments de falla interpretats com a produïts per falles normals formats durant el Quaternari i a la dels fronts muntanyosos que s'orienten NNE-SSW. Cal destacar que el front del Montseny s'orienta NE-SW, lleugerament diferent dels fronts més meridionals.

De la comparació d'aquestes dades amb les de deformació *in situ* (*borehole breakout*) se'n desprén una coincidència entre l'orientació del màxim escurçament horitzontal a l'àrea septentrional - NE-SW- i l'orientació del front del Montseny, mentre que a la meitat meridional de la zona estudiada la direcció de màxim escurçament mesurada és NNE-SSW, també coincident amb la major part d'estructures analitzades en aquesta meitat.

Analitzant les components horitzontals dels mecanismes focals, apareixen coincidències parcials amb les observacions neotectòniques: la direcció de màxima compressió horitzontal a partir dels mecanismes focals és entre NNW-SSE i NNE-SSW.

Del que he exposat se'n dedueix que les estructures de deformació descrites a les Cadenes Costaneres Catalanes no mostren una variació important respecte a les formades durant l'extensió neògena, i poden constituir les evidències de la continuació d'aquestes. Cal, a més, destacar que els fronts muntanyosos que han experimentat un aixecament recent coincideixen amb les falles principals que controlen les semifosses neògenes, tot i que també s'ha observat deformació no coincident amb aquestes grans estructures.

## 6.2.4. LA PALEOSISMICITAT

Ja he comentat al principi de la discussió que moltes de les morfologies que s'han interpretat com el producte de l'activitat tectònica es troben degradades cosa que indica que actualment l'activitat tectònica no és intensa. Tot i que les estimacions de l'edat de la deformació només es poden realitzar en la majoria de casos de forma qualitativa, en alguns casos es tenen dades més ajustades. Així, els ventalls al·luvials de generació més antiga que es troben afectats per escarpaments de falla, per falles normals i per indicis de líquefacció a la zona meridional de les Cadenes Costeneres Catalanes tenen una edat posterior al Pliocè superior-Ruscinià (Magné 1978, Martinell i Domènech 1984, i Aguirre et al. 1982, Agustí et al. 1983) i anteriors al Tirrenià, ja que nivells marins d'aquesta edat es troben encaixats a les seves vores distals. Els ventalls de generació més recent, contenen indústria lítica musterià, fet que permet estimar que són formats posteriors o sincrònicament a l'últim cicle glacial. La majoria d'escarpaments i de falles descrits afecten els ventalls al·luvials antics i per tant són posteriors a l'edat d'aquests. L'escarpament de Mont-roig, a més, afecta també els ventalls més recents, mentre que les datacions de  $^{14}\text{C}$  indiquen que l'escarpament no és posterior a 4490-4790 a. BC ( $^{14}\text{C}$ , rang del valor de 2 sigma calibrat). L'escarpament de l'Almadrava afecta els ventalls al·luvials antics i es troba fossilitzat per calitxes de 350 000 a. o més.

He observat evidències d'activitat sísmica anterior al registre sísmic històric. Aquestes evidències són els escarpaments de falla, les estructures de líquefacció i, possiblement, les grans esllavissades observades al coll de l'Illa. Cal tenir en consideració, però, que el desplaçament d'una falla pot ser sísmic o asísmic, i per tant la sola presència d'escarpaments de falla no dona la seguretat que s'hagin produït sismes a la zona, encara que s'ha demostrat que la deformació sísmica predomina actualment en la tectònica del planeta i per tant és molt probable que s'hagin produït sismes degut al moviment de les falles que han donat lloc als escarpaments observats.

La interpretació donada a l'estructura que ha donat lloc als escarpaments de falla implica que la falla principal que controla aquests escarpaments no assoleixi la superfície, tot i que petites falles secundàries sí que ho fan. Aquest fet té interès en estudis de risc sísmic ja que les falles sismogèniques que assoleixen la superfície tenen més potencial destructiu. L'anàlisi de la rasa de l'escarpament de l'Almadrava permet interpretar fins a tres episodis de desplaçament de les falles que s'hi observen que he interpretat com evidències de tres esdeveniments sísmics. La rasa excavada a l'escarpament de Mont-roig mostra sediments que no han estat afectats per la tectònica tot i estar disposats sobre l'escarpament. L'edat d'aquests sediments, 4490-4790 a. BC ( $^{14}\text{C}$ , rang del valor de 2 sigma calibrat), permet afirmar que l'últim moviment que ha experimentat la falla que controla l'escarpament de Mont-roig ha estat anterior a 4490-4790 a. BC.

Tant la distribució del salt en els escarpaments de falla descrits com els desnivells observats a les diferents generacions de facetes triangulars dels fronts muntanyosos analitzats mostren que el salt

de falla no ha tingut lloc de forma homogènia al llarg de les fractures actives. Així, en tots els casos s'observa una segmentació de les falles, visible gràcies al decreixement del salt cap als límits dels segments. En els fronts muntanyosos, on el període de temps enregistrat és major que en els escarpaments, s'observa com la deformació no es concentra en la mateixa posició del front sinó que varia en l'espai de forma que els diferents segments es releven per a acumular-la fent que el desnivell total sigui aproximadament homogeni per a tot el front. Tot i això, la zona central dels fronts mostra sovint major desnivell i per tant major salt acumulat. El decreixement del salt cap a les vores s'observa també en els escarpaments de falla, on el relleu d'acumulació del salt no hi és tant patent en no registrar possiblement un període de temps tan gran.

Per últim cal tenir en consideració les hipòtesis obertes en l'especulació realitzada sobre els possibles esdeveniments sísmics generats per la falla de Mont-roig. Els càlculs generats d'aquesta especulació indiquen que els esdeveniments sísmics produïts per aquesta falla haurien tingut una periodicitat de pocs milers d'anys, i per tant es tractaria d'una falla activa. Tot i no ser més que especulacions, els resultats justifiquen l'estudi paleosismològic directe de la falla.

## **6.2.5. EL CONTEXT GEOLÒGIC REGIONAL I ELS POSSIBLES MECANISMES QUE HAN DONAT LLOC A LA FORMACIÓ DE LES ESTRUCTURES DESCRITES**

Tots els indicis d'activitat neotectònica analitzats mostren, com ja he discutit, que la zona estudiada ha estat sotmesa, durant el Pliocè i el Quaternari a una tectònica extensiva de poca intensitat i que aquesta ha tingut lloc principalment al llarg de fractures que ja havien estat actives durant l'extensió neògena. Es pot afirmar, doncs que l'activitat neotectònica observada constitueix la continuació de l'extensió neògena a l'àrea emergida del domini Catalano-valencià de la Conca Catalano-balear.

La distribució de les deformacions estudiades no és homogènia a tota la zona. Així, la meitat meridional, concretament des de l'alçada de Reus cap al S, conté la majoria de les estructures així com la totalitat dels escarpaments de falla i els indicadors de líquefacció. Ja s'ha comentat que aquesta distribució pot ser deguda a les diferències en la qualitat dels afloraments i a la preservació de les morfologies recents entre la meitat septentrional i la meridional de les Cadenes Costaneres Catalanes. Tot i així, convé destacar que la zona amb més indicis neotectònics coincideix, a més, amb la part de les estructures extensives neògenes superposades a la Zona d'Enllaç. No es pot descartar, doncs, la possibilitat de que aquesta diferència en la distribució estigui controlada per les característiques estructurals o bé de composició de la cobertura d'aquesta unitat.

Per altra banda, les diferències de distribució de la deformació poden estar també controlades, de la mateixa manera, per les estructures heretades de l'extensió miocena, que a la meitat meridional

són clarament d'orientació NNE-SSW i inclús N-S (Pla del Burgar), mentre que a la meitat septentrional són NE-SW. Aquesta disposició pot haver ocasionat respostes diferents davant d'un camp d'esforç homogeni. Considerant una orientació de l'esforç màxim horitzontal N-S, com a conseqüència del moviment convergent N-S entre Àfrica i Euràsia (Tapponnier 1977, Bousquet i Philip 1981), les estructures orientades d'aquesta mateixa manera poden haver-se activat com a normals mentre que les orientades NE-SW poden haver quedat inhibides. Tot i així, l'activitat sísmica que s'atribueix aquí al front del Montseny matisa aquesta inhibició. La menor quantitat de sismes enregistrats instrumentalment de la zona on s'agrupen més estructures i indicadors de neotectònica pot indicar, com ja s'ha discutit, o bé una variació molt recent del camp de deformació, o bé una caracterització diversa del tipus de sismicitat entre les dues zones, sent la meridional dominada per una sismicitat molt poc abundant però amb més alliberament d'energia mentre que la meitat septentrional seria més abundant i menys intensa, donant lloc a morfologies que es preserven amb més dificultat.

En la zona compresa entre l'àrea estudiada i el Pirineu -a la Selva i l'Empordà- les estructures neògenes predominants tenen una orientació NW-SE. Si es considera un esforç horitzontal màxim N-S, aquestes haurien d'actuar com a falles direccionals -alguns autors han descrit deflacions de la xarxa fluvial a la falla de Sant Joan de Fàbregas -Cantonigros, Girona-(Armijo et al. 1988), tot i que les dades que mostren no són del tot rellevants per a afirmar-ho-, mentre que si l'escurçament màxim horitzontal té una orientació NE-SW, tal com indiquen les mesures de *borehole breakout*, aquestes falles haurien actuat com a inverses o haurien quedat inhibides degut al seu elevat cabussament.

Mentre que al Pirineu Oriental alguns autors han descrit estructures compressives i extensives sincròniques formades per una compressió N-S (Philip et al. 1992), a la zona estudiada les estructures observades són exclusivament extensives. Aquestes deformacions extensives podrien haver-se format sota un camp d'esforç compressiu orientat N-S, semblant al del Pirineu, o bé en un context purament extensiu, amb l'esforç màxim vertical, tal com es dedueix d'algunes anàlisis de poblacions de falles realitzats. Les dades cinemàtiques de la zona són poques per a realitzar afirmacions en aquest sentit, tot i que sembla raonable pensar en les dues solucions alhora per a explicar les estructures observades. Considerant que l'apropament entre Àfrica i Europa produeix una orientació N-S de l'esforç principal, i que la Península Ibèrica es troba globalment sota aquesta influència, es pot considerar la zona estudiada com una variació d'aquesta tendència, que incrementa l'esforç vertical de tal manera que el context passa a ser extensiu, tot mantenint la relació d'esforços horitzontals.

Guimerà (1984, 1994) ja mostrà, aplicant un model dinàmic simple de l'evolució de la regió, i fent servir la fórmula de Bott (1959), que tant la compressió paleògena com la distensió neògena poden explicar-se assumint un eix principal d'esforç horitzontal màxim aproximadament N-S, en una direcció similar a la direcció de convergència entre Europa, Ibèria i Àfrica durant el Cenozoic. Així, el camp d'esforç deduït per al període neotectònic mostra continuïtat amb l'obtingut per altres autors per a les estructures neògenes i no es mostra incompatible amb les dades de compressió N-S que mostren les estructures del Pirineu Oriental..



## 6.2.6. CONSIDERACIONS SOBRE EL MÈTODE UTILITZAT

El mètode utilitzat s'ha demostrat útil per a l'estudi de la neotectònica en zones de gran extensió i on l'activitat tectònica recent és poc intensa. Els resultats demostren que l'anàlisi geomorfològica ha estat de gran utilitat en aquest aspecte, ja que ha aportat molta informació neotectònica i ha permès comparar el comportament neotectònic entre grans zones. Els inconvenients d'aquesta anàlisi se centren sobretot en l'anàlisi morfomètrica que resulta ser molt lenta pel que fa a la part que es realitza sobre mapes topogràfics. La utilització de bases d'elevació digital de suficient resolució permetria solucionar aquest problema. Aquestes bases digitals, a la zona estudiada, no estan actualment a disposició pública en les modalitats de precisió necessària. També cal fer referència a l'aplicació de l'anàlisi de fractals en la comparació de la degradació dels fronts muntanyosos que s'ha demostrat útil. Aquest mètode mostra un potencial d'aplicació a l'anàlisi del relleu per als estudis de neotectònica.

L'anàlisi estructural és necessària per a complementar les dades obtingudes en l'estudi de la neotectònica de la zona, i ha aportat informació valuosa al respecte. Tot i així, mentre en un estudi de tectònica clàssica l'anàlisi estructural aporta la major part de la informació i, sovint, permet deduir el camp de deformació i d'esforç, en un estudi neotectònic, l'escassetat d'afloraments amb fracturació suficientment desenvolupada per a ser analitzada amb aquest mètode fa difícil la seva utilització com a mètode únic. Cal també tenir en consideració la possibilitat d'estar analitzant una estructura local de manera que les dades, en no poder ser contrastades amb una quantitat suficient d'altres afloraments, no poden ser extrapolades a diferents escales.

L'anàlisi de la paleosismicitat ha donat bons resultats en la zona d'estudi on les estructures detectades no s'havien descrit amb anterioritat. La realització conjunta de l'anàlisi de la fotografia aèria i el treball de camp per a la detecció dels escarpaments, ha estat un mètode molt útil i ràpid, així com en la localització i estudi de les esllavissades. Pel que fa a la localització d'estructures de liquèfacció, el mètode utilitzat és molt lent, i no permet realitzar un reconeixement exhaustiu de la zona estudiada en poc temps, ja que aquestes estructures no permeten ser detectades per fotointerpretació i requereixen ser observades directament al camp i en bons afloraments. Així i tot, la localització de zones amb sediments susceptibles de ser afectats per aquestes estructures permet descartar, a la zona estudiada, grans zones i centrar l'estudi de camp. S'ha demostrat també la utilitat de la realització de rases d'estudi de paleosismicitat, que han permès acotar els moviments dels escarpaments de falla. El principal problema de l'ús d'aquestes tècniques en la zona estudiada és l'alta densitat de població que dificulta l'obtenció de permisos per a la realització de rases.

El mètode ha demostrat la importància de la complementarietat entre les diferents anàlisis realitzades així com amb les dades de sismicitat. La realització d'una sola de les anàlisis resulta clarament incompleta i insuficient per a estudiar l'activitat neotectònica en zones semblants a les Cadenes Costaneres Catalanes.

## 7. CONCLUSIONS

Les conclusions s'exposen a continuació de forma molt sintètica i en tres grans blocs: les que fan referència a la caracterització de l'activitat neotectònica a les Cadenes Costaneres Catalanes, les que fan referència a l'existència de tectònica activa a la zona i la seva caracterització, d'especial interès per als estudis de perillositat sísmica i, finalment, les que fan referència al mètode utilitzat.





## 7.1. La caracterització de l'activitat neotectònica a les Cadenes Costaneres Catalanes.

- La zona estudiada ha experimentat deformació tectònica durant el Pliocè i durant el Quaternari. L'existència d'aquesta activitat s'ha determinat per la presència d'indicadors 1) geomorfològics - fronts muntanyosos amb morfologia típica d'aixecament recent, xarxa de drenatge amb anomalies en el perfil d'equilibri, diferències en el grau d'incisió de la xarxa de drenatge-, 2) tectònics - fracturació, flexions i dissolució en els còdols de dipòsits pliocens i quaternaris-, 3) de paleosismicitat -escarpaments de falla, evidències de líquüefacció, grans moviments de massa-, i 4) de sismicitat.
- La intensitat de l'activitat neotectònica, ha estat poc intensa a jutjat per 1) l'elevat grau de degradació dels indicadors geomorfològics, 2) la poca quantitat d'indicadors, tant geomorfològics, com tectònics i de paleosismicitat.
- La localització dels indicadors d'activitat neotectònica mostra dos fets destacables: 1) la major part es concentren a la meitat meridional de la zona estudiada, i 2) molts dels indicadors geomorfològics es concentren en quatre fronts muntanyosos posant en evidència que aquests han experimentat un aixecament neotectònic: el del Baix Ebre, el del Camp, el del Montseny i el del Plà del Burgar.
  - La pràctica totalitat dels indicis mostra que la deformació neotectònica ha estat produïda per falles el lliscament de les quals té una component predominantment vertical. Els principals indicis en aquesta direcció són l'existència de facetes triangulars en els fronts muntanyosos, les anomalies en el perfil longitudinal dels rius, les diferències d'incisió fluvial en els fronts muntanyosos i en els fosses neògenes, les falles normals detectades en dipòsits quaternaris i pliocens, i per últim l'absència de defleccions a la xarxa fluvial en planta. Alguns indicis permeten interpretar que les falles que han actuat en el període neotectònic són de tipus normal; són 1) la predominància d'aquest tipus de falles afectant els sediments recents i 2) la presència d'una depressió allargada paral·lela a alguns dels escarpaments de falla analitzats, situada en el bloc enfonsat.
  - Els indicadors cinemàtics analitzats coincideixen en que:

1. Durant el Pliocè: l'eix de màxima compressió horitzontal té una orientació entre NNE-SSW i ENE-WSW; aquesta interpretació permet explicar la disposició de



falles, fronts muntanyosos i escarpaments de falla. En alguns casos de falles normals es pot interpretar també una disposició vertical de  $\sigma_1$ .

2. Durant el Quaternari: l'eix de compressió horitzontal té una orientació entre N-S i NE-SW; aquesta interpretació permet explicar la disposició de falles, diàclasis, fronts muntanyosos, escarpaments de falla i alineacions d'anomalies de l'índex de gradient. En alguns casos, en falles normals, es pot interpretar també una disposició vertical de  $\sigma_1$ .

3. Aquests resultats s'han obtingut mitjançant dades d'origen divers i poc abundants i per tant no poden ser considerats com a definitius.

- L'anàlisi de les estructures permet interpretar que l'activitat neotectònica a les Cadenes Costaneres Catalanes constitueix la continuació de l'extensió neògena que ha tingut lloc al solc de València. La major concentració d'indicadors d'activitat neotectònica a la meitat S de les Cadenes Costaneres Catalanes pot explicar-se per la disposició de les estructures heretades del Miocè, de direcció NNE-SSW al S i NE-SW al N que haurien fet, sota un eix principal d'esforç horitzontal màxim orientat NNE-SSW a N-S durant el Quaternari, s'activessin amb més facilitat les fractures amb aquesta orientació, fractures que predominen al S de la zona estudiada.
- La disposició dels eixos principals d'esforç de la zona estudiada, en comparació amb la convergència N-S de les plaques africana i euroasiàtica, pot explicar-se amb una variació de la relació entre els eixos tot mantenint-se la orientació. Així, a la zona estudiada,  $\sigma_1$  és vertical i l'esforç màxim horitzontal varia entre N-S i NE-SW, mentre que la convergència de les plaques es produeix sota una orientació de  $\sigma_1$  N-S.

## **7.2. La paleosismicitat, la tectònica activa i les seves repercussions en la perillositat sísmica de la zona.**

- La zona estudiada ha experimentat tectònica activa. L'existència d'aquesta activitat s'ha determinat per la presència d'indicadors 1) geològics, com són les evidències de paleosismicitat -escarpaments de falla, evidències de líquüefacció i grans moviments de massa-, i 2) sísmics. Tot i així, aquesta activitat no es pot considerar molt intensa a jutjar per la poca quantitat d'evidències detectades, i pel grau de degradació que mostren els escarpaments.

- S'han detectat fins a dos tipus d'indicadors de paleosismicitat: escarpaments de falla preservats i evidències de líquüefacció, a més de la concentració d'esllavissades que pot estar relacionada amb sismicitat.

- S'han detectat quatre escarpaments de falla amb expressió morfològica afectant als ventalls al·luvials: el de Mont-roig, el de l'almadrava, el de Camarles i el de l'albes. A més s'han interpretat dos escarpaments més a partir de mètodes indirectes: el de Sant Jordi, per l'anàlisi topogràfic del ventall, i el del Baix Ebre, per l'alineació d'anomalies de gradient. La orientació d'aquests escarpaments és entre N-S i NNE-SSW.

- La falla que dona lloc a l'escarpament de l'Almadrava és de tipus normal i perd salt cap a la superfície fins a esdevenir una flexió. Ha actuat entre el Pliocè superior i 350 000 a. En el seu període més recent d'activitat ha experimentat un mínim de tres períodes de desplaçament suposadament sismogènics.

- La falla que dona lloc a l'escarpament de Mont-roig ha actuat entre el període de producció d'indústria lítica musteriana ( fins a 100 000 a BP) i 4490-4790 a. B.C. La magnitud del sisme que possiblement es produí com a conseqüència del desplaçament de la falla que formà l'escarpament de Mont-roig (suposant que aquest desplaçament fos sismogènic) s'estima de 6 a 6.5.

- L'especulació realitzada sobre el període de recurrència de la falla de Mont-roig indiquen que aquesta falla hauria tingut una periodicitat de pocs milers d'anys, i per tant es tractaria d'una falla activa. Aquests resultats justifiquen un estudi paleosismològic directe de la falla.

### **7.3. Sobre el mètode utilitzat.**

- Les anàlisis geomorfològica, estructural, de la sismicitat i de la paleosismicitat es complementen entre elles i aporten molta informació si es realitzen comparant-ne els resultats. Es mostra doncs la complementarietat de les anàlisis realitzades en aquest tipus d'estudis. El mètode permet analitzar de forma satisfactòria zones on l'activitat neotectònica té una intensitat de moderada a baixa, i on l'àrea a estudiar és extensa.