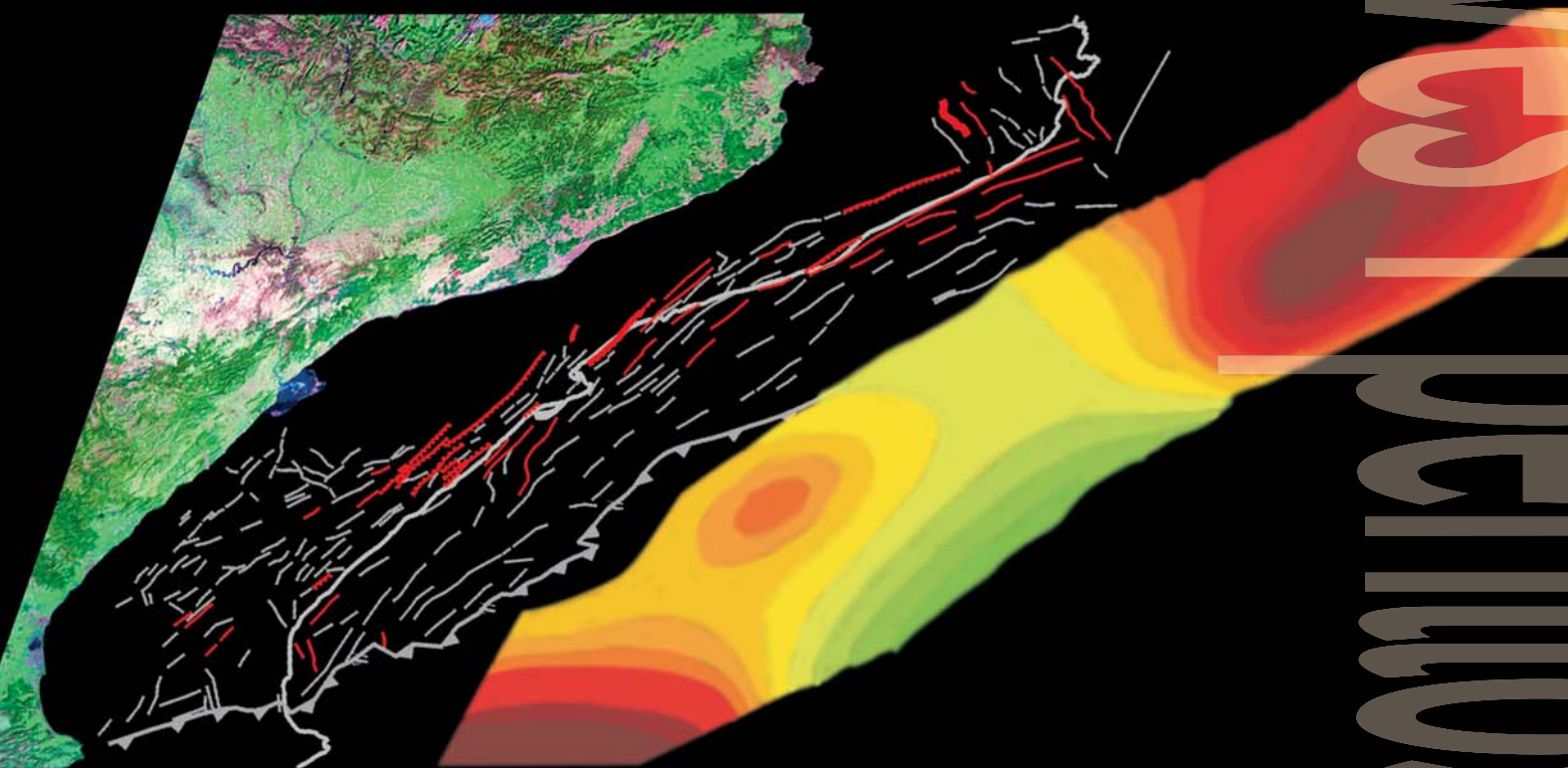


Falles actives i perillositat sísmica al marge nord-occidental del solc de València



Hector Perea Manera

Universitat de Barcelona
RISKNAT - Grup de Riscos Naturals
Departament de Geodinàmica i Geofísica

5 Discussió i conclusions.

5.1. *Discussió*

5.2. *Conclusions*

 [Índex](#)

5.1. Discussió

5.1.1. Sobre les aproximacions seguides per a la localització de falles actives

Al capítol 3 s'han proposat una sèrie d'aproximacions per a la localització de falles actives, falles que s'han mogut durant un període de temps recent, des del Plio-Quaternari per el marge nord-occidental del solc de València (veure apartat 1.2). Totes aquestes aproximacions han demostrat ser vàlides per aquesta tasca, tot i així, cada una d'elles planteja una sèrie de problemes que es comenten a continuació.

L'associació de terratrèmols instrumentals a falles assumeix que els epicentres localitzats dins de la projecció del pla d'una falla en superfície corresponen a terratrèmols generats per aquesta falla o alguna falla menor associada a ella. Aquesta assumptió presenta incerteses:

1. Incertesa lligada a la localització de l'epicentre d'un terratrèmol, ja que aquesta pot tenir un error de pocs kilòmetres a alguna desena de kilòmetres. Aquesta incertesa en la localització d'un epicentre pot fer que un terratrèmol que s'ha associat a una falla no hagi estat produït per aquesta. Aquesta incertesa en la localització dels epicentres dels terratrèmols es podria fer disminuir a partir d'un treball de relocalització de tots els terratrèmols d'una zona.
2. Incertesa lligada a la geometria de les falles al considerar que totes tenen les mateixes característiques; al solc de València s'ha considerat que cabussen 60° i que el nivell de desenganxament és a 15 km de profunditat. Així l'amplada de la projecció en superfície del pla de falla és la mateixa per a totes les falles, circumstància que no s'adapta del tot a la realitat ja que possiblement hi ha falles que tenen el nivell de desenganxament més superficial. Aquest fet pot provocar que a una falla s'hi puguin associar epicentres de terratrèmols que no haurien estat generats per ella. Aquesta incertesa es podria reduir a partir d'un estudi més acurat de la geometria de totes les falles, intentant determinar de forma individual el seu cabussament i nivell de desenganxament.
3. Incertesa lligada al fet que un terratrèmol hagi estat generat per la falla principal o per una de les falles secundàries relacionades amb la principal. La sismicitat de baixa magnitud que s'observa a la zona d'estudi podria ser la conseqüència de l'activitat de les petites falles secundàries dins d'un sistema de falles. Tot i així, aquest fet indicaria una certa activitat de tot el sistema, donant a entendre que la falla principal també podria ser activa i, a causa de les seves dimensions, podria generar grans terratrèmols.

En l'associació de terratrèmols històrics a falles també es presenten una sèrie de limitacions que fan que no tots els grans terratrèmols històrics es puguin associar a falles:

1. Per als terratrèmols més antics no sempre es disposa de suficient informació sobre els danys que aquests varen causar en diferents poblacions, punts d'intensitat, i sovint només es té una idea de la zona més afectada. Per tant, a causa de l'aproximació utilitzada no es poden obtenir les característiques de la font sismogènica que hauria generat el terratrèmol. Degut a aquesta limitació a la zona d'estudi no s'ha pogut obtenir les fonts sismogèniques dels terratrèmols de Ripoll (23 de gener del 1152; *IMSK* VIII), de Cardedeu (24 de maig de 1448, *IMSK* VIII) i de Xàtiva (novembre de 1519, *IMSK* VIII).
2. La distribució no homogènia i/o incompleta dels punts d'intensitat provoca que les corones corresponents a les diferents intensitats no quedin tancades a causa de la manca d'informació cap a una direcció. Això fa que petites variacions en la intensitat assignada a una població puguin fer variar de forma substancial la localització geogràfica de la font sismogènica obtinguda. Aquest és un fet que s'ha observat en el cas del terratrèmol de Queralbs (2 de febrer de 1428, *IMSK* IX-X), al disminuir en un grau la intensitat assignada a Puigcerdà (de IX-X a VIII-IX) la font sismogènica s'ha desplaçat cap a l'est (figura 3.10) (veure la nota sobre aquest terratrèmol al final d'aquest apartat).
3. Impossibilitat d'associar una font sismogènica a un falla a causa de la localització de la font en una zona on, o no hi ha falles descrites, com en el cas de la zona on es localitza la font del terratrèmol de Tabernes (18 de desembre de 1396, *IMSK* IX), o n'hi ha varies que podrien ser les responsables del terratrèmol, com en el cas de la zona on es localitza la font del terratrèmol d'Énguera-Montesa (23 de març de 1748, *IMSK* IX).

Els estudis de paleosismologia permeten millorar el coneixement de la història sísmica d'una falla a partir del reconeixement, al registre geològic, de les característiques relacionades amb antics grans terratrèmols. Tot i així, la relació entre les taxes de sedimentació, erosió i lliscament d'una falla no sempre permet la preservació d'aquestes característiques. En conseqüència, cal tria en quines falles es poden realitzar aquests tipus d'estudis i a quins punts de les falles es donen les condicions idònies que els fan possibles.

L'estudi de la geomorfologia i la morfometria dels fronts de muntanya ha demostrat ser una bona aproximació per determinar si la falla responsable de la formació d'un front de muntanya té possibilitats de ser activa. Tot i així, no hi ha una única característica geomorfològica o morfomètrica d'un front que indiqui per ella sola que la falla a la que està associat sigui activa. Conseqüentment, és necessari realitzar estudis on es comparin diversos indicadors geomorfològics o morfomètrics. També s'ha observat que els valors dels índexs morfomètrics poden variar de forma substancial d'una zona a una altra, per exemple entre el *Basin and Range* (Estats Units) i el solc de València, degut a que aquestes presenten característiques geològiques i climàtiques diferents. En aquesta tesi, s'ha vist que no només és necessari comparar els valors obtinguts per un front amb els valors donats per als fronts a altres zones actives del món, sinó també comparar-los amb els obtinguts per altres fronts dins de la mateixa zona. Així al haver-hi unes característiques geològiques i climàtiques similars s'obtinran els rangs de valors característics per a fronts associats a falles actives presents a la zona d'estudi.

L'anàlisi dels perfils de sísmica de reflexió petroliera per localitzar les falles actives en zones marines també presenta alguns problemes:

1. La resolució vertical dels perfils permet observar si una falla afecta els nivells sedimentaris més moderns, corresponents al Plio-Quaternari al solc de València, però no si també afecta a la part més recent d'aquests a causa que el desplaçament acumulat no és prou

gran com per quedar reflectit al perfil. Això es podria solucionar realitzant perfils amb una major resolució.

2. El perfil talla a una falla en un punt molt concret al llarg de tota ella. Aquest punt no ha de ser el punt on la falla hagi experimentat el seu salt vertical màxim i, per tant, la taxa de lliscament de llarg període obtinguda pot no correspondre a la taxa màxima. La solució seria la realització d'una sèrie de perfils de sísmica paral·lels entre si al llarg de la falla, el que permetria obtenir el salt vertical que més s'aproximi al salt màxim.

Dels paràmetres que defineixen el cicle sísmic de les falles actives s'ha pogut estimar la magnitud màxima del terratrèmol que una falla pot generar i el període de recurrència d'aquest. El temps transcorregut des de l'últim terratrèmol només es pot determinar a partir d'estudis de paleosismologia i, per tant, a la zona d'estudi només es disposa d'aquesta informació per a la falla del Camp. La magnitud màxima del terratrèmol que una falla pot generar s'ha obtingut a partir de la seva longitud, mentre que el seu període de recurrència s'ha obtingut a partir de les dimensions de la falla i de la seva taxa de lliscament. S'ha vist que les taxes de lliscament mitjanes obtingudes per al Plio-Quaternari (rang temporal de 10^6 anys) a partir de l'alçada de les facetes triangulars serien les més similars a les actuals. Tot i així, la taxa de lliscament no s'ha pogut obtenir per les falles actives que només mostren registre d'activitat actual i, per tant, no s'ha pogut calcular el seu interval de recurrència. En conseqüència, aquestes no s'han tingut en compte a l'hora de la realització dels càlculs de perillositat sísmica. En futurs estudis s'hauria de mirar de determinar les característiques sísmiques d'aquesta classe de falles per considerar-les com a fonts lineals dins dels càlculs de perillositat sísmica, ja sigui assumint un comportament poissonià o de terratrèmol característic en l'ocurrència de la sismicitat.

Tot i les limitacions, incerteses i problemes que plantegen les diferents aproximacions utilitzades, s'ha demostrat la seva gran utilitat alhora de localitzar les falles actives en una zona de deformació lenta i, en concret, els resultats obtinguts al marge nord-occidental del solc de València són raonables i ajuden a milloren el coneixement sobre el potencial sísmic de la zona.

5.1.2. Sobre la influència dels paràmetres sísmics de les falles en l'estudi de la perillositat sísmica

El paràmetre que en variar provoca unes diferències més grans dins l'estudi de perillositat sísmica és el període de recurrència. Tot i així, crida l'atenció que els valors de perillositat màxima s'obtinguin quan es considera una segmentació màxima de les falles, és a dir quan aquestes són més curtes i, per tant, la magnitud màxima associada a cada segment és més petita que la magnitud màxima associada a tota la falla. Aquest valor de perillositat més elevat quan es consideren els segments i no les falles senceres podria estar causat pel fet que al disminuir la longitud de la falla el període de recurrència del terratrèmol màxim també es fa menor (veure apartat 3.8), sense que això suposi una disminució de la magnitud màxima en més d'un grau (taula 3.20). En conseqüència, per a un mateix període de retorn quan les falles estan segmentades es poden produir més terratrèmols amb una magnitud suficient com per causar danys importants. Aquest fet posa de manifest la importància de realitzar una bona definició de segments al llarg d'una falla. En aquesta tesi els segments s'han definit a partir de criteris geomorfològics observables als fronts de muntanya (p.e. esglaonaments, canvis de direcció, presència de conques de drenatge més grans i obliqües). Utilitzar només la geomorfologia alhora de definir els segments, quan no es té informació sísmològica i/o geofísica disponible per arribar a localitzar possibles barreres sis-

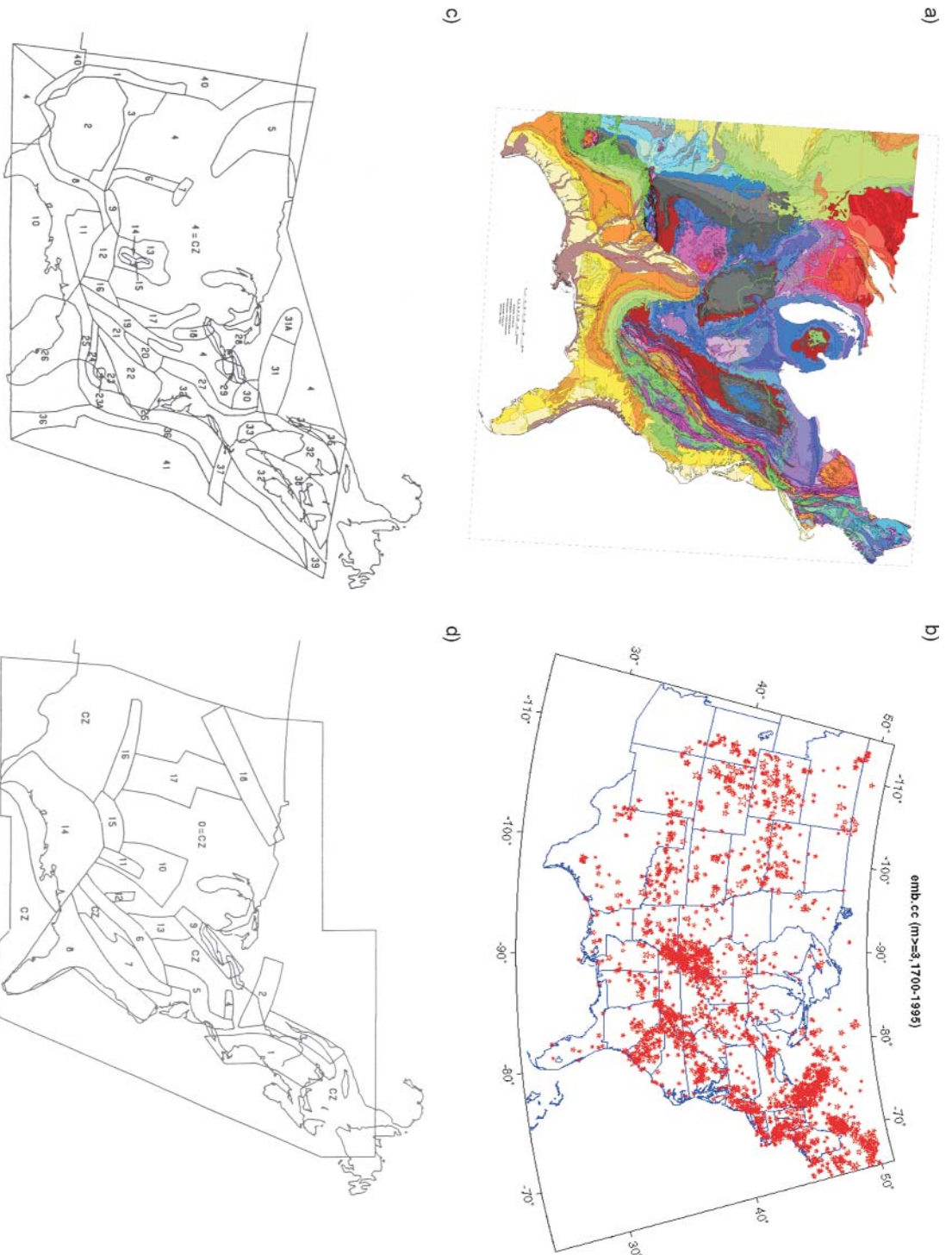


Figura 5.1.

Mapes de la zona centre-oriental dels Estats Units. a) Mapa geològica (Burke i Beikman, 1974). b) Mapa de la distribució dels terratrèmols amb magnitud ≥ 3 (Muller et al., 1996). c i d) Mapes corresponents a dues zonacions tectòniques per a la mateixa zona (Berrueter et al., 1989).

Maps of the center-east United States. a) Geological map (Burke and Beikman, 1974). b) Map showing the distribution of the earthquakes of magnitude ≥ 3 (Muller et al., 1996). c and d) Map showing two tectonic zones for the same zone (Berrueter et al., 1989).

miques, planteja una incertesa: realment només trencarà aquest segment durant un terratrèmol? És per tenir en compte aquesta incertesa que a l'anàlisi de perillositat sísmica s'han realitzat els càlculs utilitzant les falles segmentades i sense segmentar.

5.1.3. Sobre la introducció de falles dins dels estudis de perillositat sísmica

La zonació sismotectònica, com ja s'ha comentat al capítol de perillositat sísmica (capítol 4), consisteix en definir una sèrie de fonts sismogèniques (areals, lineals o puntuals) que haurien de tenir unes característiques geològiques i geofísiques homogènies en tota la seva extensió i posseir un potencial de generació de terratrèmols uniforme a qualsevol punt. La realització d'una bona zonació és molt important, ja que la distribució de les fonts sismogèniques és el que acaba controlant la distribució final de la perillositat sísmica.

Per la realització d'una bona zonació sismotectònica s'han d'utilitzar tant els catàlegs de terratrèmols com la informació geològica i geofísica disponible. Tota aquesta informació ajudarà a delimitar les diferents fonts de terratrèmols amb una menor incertesa. Tot i així, sovint s'acaba donant més pes a la sismicitat actual que no pas a la resta de la informació disponible. Per exemple, a la regió centre-oriental dels Estats Units (figura 5.1) es pot veure que les zones sismotectòniques concorden millor amb la sismicitat de la zona que no pas amb la geologia que s'hi observa. Fins i tot, en algunes zones, on des del punt de vista geològic sembla no tenir sentit, s'hi fan zones més petites per adaptar més la zonació a la sismicitat enregistrada (p.e. les zones 14, 15 i 23A a la figura 5.1c). Una observació que també indica que sovint se li dona més importància a la sismicitat que no a la estructura és que amb la mateixa informació diferents grups d'experts acaben realitzant zonacions, on les àrees sísmicament més actives queden ben delimitades però en general les zones definides tendeixen a no seguir les estructures geològiques (figura 5.1 c i d). La zonació realitzada a l'àrea Ibero-Maghrebí (Jiménez et al, 1999) per al Global Seismic Hazard Assessment Project (GSHAP) també dona més importància a la sismicitat que a l'estructura geològica, tot i que la tendència és que les zones s'adaptin a les principals estructures i de vegades (zona d'Algèria), fins i tot, s'hi distingeixen fonts lineals corresponents a falles (figura 5.2). Tot i així, també s'hi distingeixen zones petites dins de zones més grans a causa de l'observació d'una major densitat de terratrèmols. Per exemple, a la zona que correspon als Pirineus orientals s'hi distingeix una zona més petita localitzada on es varen produir els terratrèmols de l'edat mitjana (figura 5.2b), fent que la perillositat final a aquesta zona sigui més gran (figura 5.2c). Un altre fet que es pot observar és que a la part extensiva del solc de València només s'ha definit una zona corresponent a les Cadenes Costaneres Catalanes sense tenir en compte la resta de la zona extensiva localitzada a la seva continuació cap al sud. En conseqüència, la perillositat sísmica a la zona sud del solc és més baixa que a la nord, quan de fet les dues corresponen a una mateixa estructura geològica.

Un altre efecte que s'observa en les zonacions sismotectòniques és que a mida que les regions d'estudi es fan més petites, les zones també es fan més petites per intentar adaptar-les millor a la sismicitat de la regió (figura 5.3). Per exemple, per aproximadament una mateixa superfície de terreny a les zonacions corresponents a Catalunya (figura 5.3c) o al graben del Baix Rin (figura 5.3d) la densitat de zones és superior que a les de la zona centre-oriental dels Estats Units (figura 5.3a) o la zona Ibero-Maghrebí (figura 5.3b) que cobreixen regions més extenses. Si es compara la zonació realitzada per l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC; Secanell, 2004) (figura 5.4), que amb algunes modificacions és la que s'ha utilitzat durant l'estudi de perillositat sísmica en

aquesta tesi, amb la realitzada per a la regió Ibero-Maghrebí (figura 5.2) es pot observar que hi ha un augment substancial del número de zones a Catalunya, es passa de tres a la zonació feta per l'àrea Ibero-Maghrebí a 6, i si s'agafa tota la zona coberta per la zonació de l'ICC es passa de 6 a 11 zones. La realització de zones més petites també fa que algunes estructures geològiques (p.e. els Pirineus o la zona extensiva del solc de València) es divideixin en diferents parts a causa, principalment, de la sismicitat enregistrada. Per exemple, al sistema de conques extensives neògenes produïdes per l'obertura del solc de València a la zonació de l'ICC s'hi diferencien quatre zones sismotectòniques (zones 1, 2, 4 i 11), quan des del punt de vista geològic se'n podrien definir dues, una al nord on les falles van en direcció NW-SE (serres Transversals) i una al llarg de la costa que englobaria les estructures amb direcció NE-SW (Cadenes Costaneres Catalanes, serres del Maestrat i depressió de València). El fet de dividir una mateixa estructura geològica en dife-

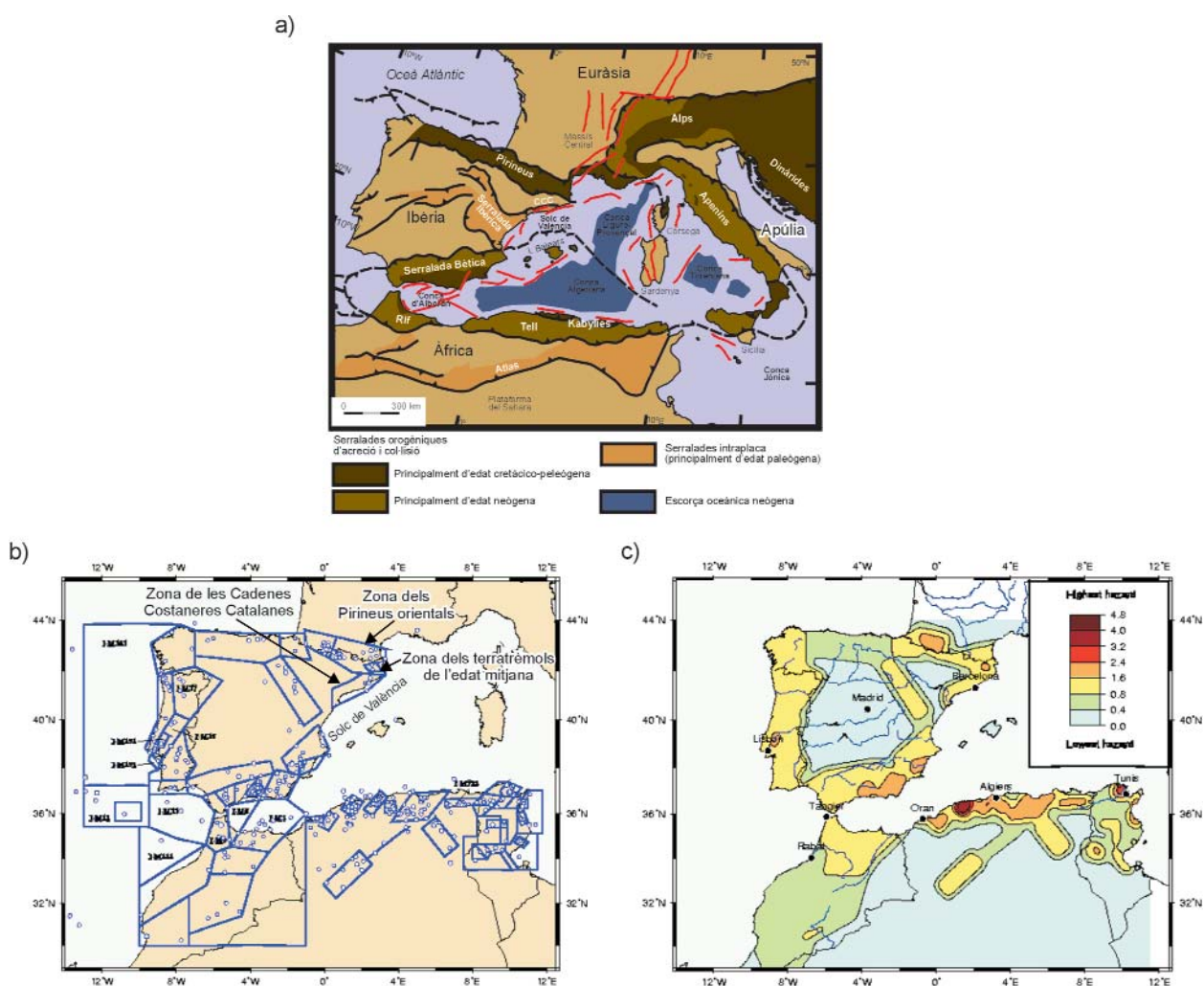


Figura 5.2. Mapes de la zona Ibero-Maghrebí. a) Mapa tectonic simplificat (Roca, 2001). CCC: Cadenes Costaneres Catalanes. b) Mapa amb la distribució de les fonts areals i dels terratrèmols amb $M \geq 4.5$ entre el 1900 i 1989 (Jiménez et al., 1999). c) Mapa de perillositat sísmica corresponent al 90% de probabilitat de no excedència de PGA (m/s^2) en 50 anys (Jiménez et al., 1999).

Maps of the Ibero-Maghrebian zone. a) Simplified tectonic map (Roca, 2001). CCC: Catalan Coastal Ranges. b) Map showing the distribution of the area sources and the earthquakes with magnitude $M \geq 4.5$ between 1900 and 1989 (Jiménez et al., 1999). c) Seismic hazard map of PGA (m/s^2) with 90% probability of non-exceedance in 50 years (Jiménez et al., 1999).

rents zones fa que les característiques sísmiques a cada una siguin diferents i, per tant, que la perillositat calculada també variï, sent més alta allà on a l'actualitat hi ha més terratrèmols. El fet d'adaptar d'una forma més exacta la zonació a la sismicitat enregistrada fa que la perillositat sísmica acabi sent una imatge de la sismicitat dels últims 500 a 1000 anys.

En zones de baixa activitat, zones lentes, què ha de tenir preeminència alhora de definir fonts areals, les unitats amb homogeneïtat estructural o zones més petites amb homogeneïtat en el registre sísmic recent? L'extensió temporal dels catàlegs sísmics varia entre les diferents regions de la terra, però en el millor dels casos aquests cobreixen només alguns milers d'anys. En el cas de zones de vora de placa activa, com per exemple el Japó, els catàlegs solen ser suficientment extensos com per cobrir un o varis cicles sísmics de les falles. Però en zones de deformació lenta, com el marge mediterrani de la península Ibèrica o el sistema de grabens del Roina-Rin, els catàlegs de sismicitat només cobreixen una petita part del seu cicle sísmic. Per exemple, a la zona del solc de València el catàleg es podria considerar complet per als terratrèmols grans des de fa uns 800 anys. Si es considera que els terratrèmols grans produïts per les falles extensives localitzades a la zona poden tenir una recurrència d'algunes desenes de milers d'anys (30000 anys a la falla del Camp, veure apartat 3.4) s'obté que el catàleg sísmic cobreix una escala temporal inferior al 10% del cicle sísmic de les falles que poden arribar a produir els grans terratrèmols. A causa dels llargs intervals de recurrència que mostren les falles en aquestes zones de deformació lenta no s'hauria d'esperar que falles que al llarg del temps cobert pels catàlegs sísmics han produït grans terratrèmols poguessin produir-ne de nous en un temps proper, ja que ha passat molt poc temps des del moment en que aquest es va produir i estaran, tot just, a l'inici del seu cicle sísmic. Per exemple, la falla d'Amer va produir com a mínim dos grans terratrèmols fa uns 600 anys, si es considera que els grans terratrèmols a aquesta falla o als seus segments poden tenir una recurrència entre 7000 i 18000 anys (taula 3.20) tot just s'ha cobert entre un 8.5 i un 3% del cicle sísmic d'aquesta falla. En conseqüència, la probabilitat que produeixi grans terratrèmols de forma imminent hauria de ser molt baixa. Si només s'utilitzen les dades de sismicitat per definir les fonts sismogèniques es poden no tenir en compte zones on no s'ha enregistrat una sismicitat important durant els últims 800 anys però on les falles ja podrien estar arribant al final del seu cicle sísmic i on, per tant, la probabilitat que es produeixi un gran terratrèmol podria ser molt més alta. Conseqüentment, considerar bàsicament només la sismicitat per al càlcul de la perillositat sísmica, és a dir, subdividir unitats estructuralment homogènies en funció de la seva sismicitat actual i subactual, pot fer que la perillositat s'estigui subestimant en zones on actualment no hi ha terratrèmols però hi ha falles que són actives i que, en algun cas, podrien estar més a prop de produir algun terratrèmol que aquelles falles que n'han produït en temps històrics.

Una forma de definir amb més precisió les zones on es localitza el perill sísmic és localitzant les falles actives, és a dir, les autèntiques fonts dels terratrèmols grans, i fer-ne el centre del càlcul de la perillositat sísmica. Aquesta tesi pretén mostrar la influència de la utilització de les falles en els models de perillositat sísmica. Per fer-ho s'ha considerat que a la zona d'estudi hi havia una sèrie de fonts areals per les que s'ha assumit un comportament poissonià en l'ocurrència de terratrèmols i una sèrie de fonts lineals, falles, per les que s'ha assumit un comportament de terratrèmol característic. Al comparar la distribució i el grau de perillositat tenint en compte les falles o sense tenir-les en compte (figura 4.39) s'ha observat que el fet de considerar les falles com a fonts només fa augmentar la perillositat allà on les característiques sísmiques de les fonts areals indicaven una baixa probabilitat que s'hi produïssin terratrèmols a causa de la baixa sismicitat enregistrada, mentre que a les zones on la perillositat era més alta la inclusió de les falles gairebé no provocava variacions. Tot i així, si s'hagués considerat les fonts areals 1 i 2 (figura 4.26) com una sola font, ja que formen part d'una mateixa estructura geològica, tota ella tindria una

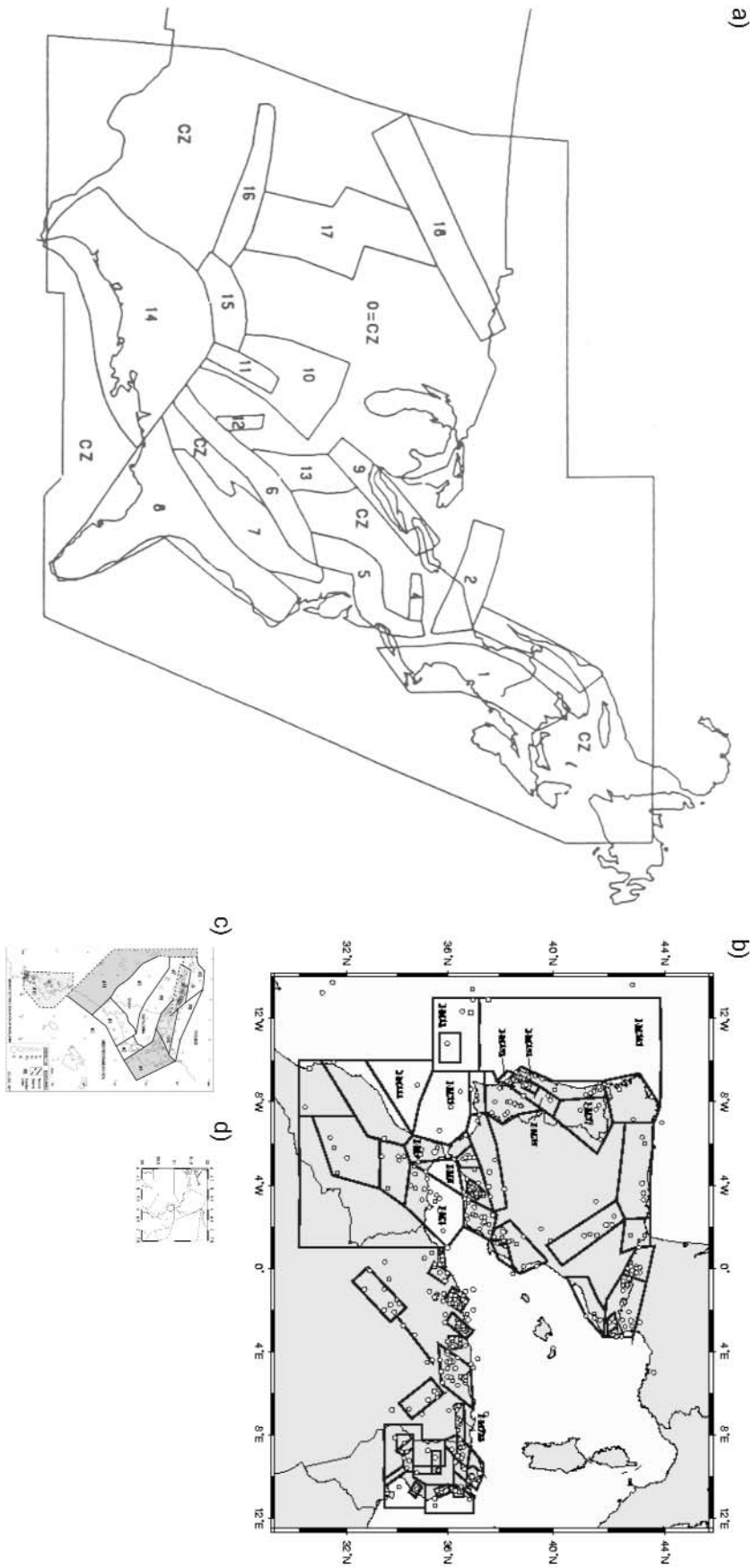


Figura 5.3. Mapes amb les zonacions sismotectòniques realitzades per la zona centre-oriental dels Estats Units (a; Bermeuter et al., 1989), per la zona Ibero-Maghrèbí (b); Jiménez et al., 1999), per Catalunya i zones properes (c; Secanell et al., 2004) i per la zona del graben del Baix Rin (d; Atakan et al., 2001). Tots els mapes estan aproximadament a la mateixa escala. Es pot observar com per regions d'estudi més petites hi sol haver un augment del nombre de fonts areals.

Seismotectonic zonation maps for the center-east United States (a; Bermeuter et al., 1989), for the Ibero-Maghrebic zone (b; Jiménez et al., 1999), for Catalunya and surroundings (c; Secanell et al., 2004) and for the Lower Rhine graben (d; Atakan et al., 2001). All maps are approximately at the same scale. Notice that usually smaller study regions have a higher number of area sources.

homogeneïtat pel que fa a la perillositat sísmica, una homogeneïtat a l'alça a la part que correspondria a la zona 1 i, per tant, l'augment de la perillositat a aquesta zona a causa de la inclusió de les falles no seria tant marcada. Aquests resultats són concordants amb els obtinguts per Atakan et al. (2001). Aquests autors van realitzar una anàlisi de la perillositat sísmica al graben del Baix Rin (figura 5.5) on van comparar els resultats d'una sèrie de models: 1) model amb una zonació sismotectònica formada només per fonts areals assumint un comportament poissonià en l'ocurrència de terratrèmols (figura 5.5a); 2) un model introduint les falles com a fonts lineals assumint, en l'ocurrència de terratrèmols, un comportament poissonià per aquelles de les que no es tenia informació paleosismològica i de terratrèmol característic per aquelles per les que si es tenia informació paleosismològica (Bree, Neer i Hambach), sense utilitzar fonts areals (figura 5.5b); i 3) un model introduint les falles com a fonts lineals assumint per totes un comportament de terratrèmol característic en l'ocurrència de terratrèmols, extrapolant a la resta de les falles les dades paleosismològiques de que disposaven, també sense utilitzar fonts areals (figura 5.5c). Els resultats que varen obtenir mostren que considerar les falles com a fonts sísmiques, ja sigui assumint un comportament poissonià o de terratrèmol característic en l'ocurrència de terratrèmols, no implica un augment del valor màxim de la perillositat, fins i tot, quan s'assumeix només un

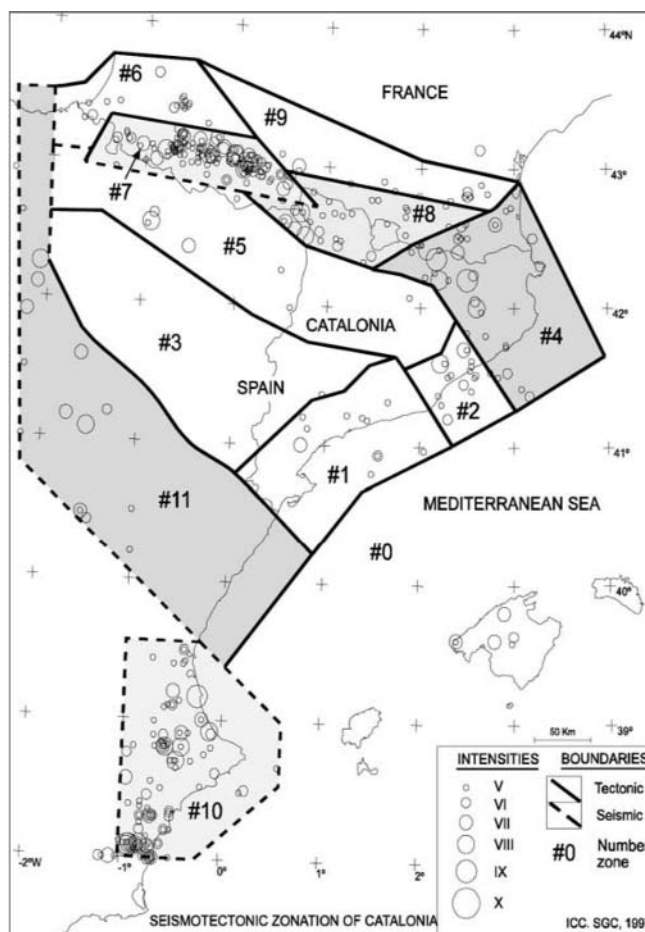


Figura 5.4. Zonació sismotectònica per Catalunya i zones properes on es mostren tots els terratrèmols considerats per realitzar la zonació. Les zones definides a partir de la sismicitat estan limitades per una línia discontinua (Secanell et al., 2004).

Seismotectonic zonation of Catalunya and surroundings and epicenters of all the earthquakes considered. Zones defined on the basis of seismicity are bounded by a dashed line (Secanell et al., 2004).

comportament de terratrèmol característic de les falles aquest disminueix (figura 5.5c). A més, la distribució de la perillositat sísmica és concordant amb la localització de les falles, delimitant amb més precisió les zones on aquesta perillositat seria més elevada. Aquests dos estudis mostren la importància que té la localització de les falles actives i la seva introducció dins de les anàlisis de perillositat sísmica, en particular en zones de deformació lenta, tot i que aquesta sigui una tasca complicada i requereixi d'un gran esforç. També mostren que el fet d'introduir les falles actives dins dels estudis de perillositat sísmica no suposa que la perillositat d'una zona hagi d'augmentar, sinó que comporta una reducció de la incertesa en la localització de les zones amb un perill més gran.

Tal com comenta Wesnousky (1999), els mètodes geològics per la determinació i parametrització de les falles actives permeten definir la localització, la mida i la recurrència dels grans terratrèmols i, per tant, fan que no ens hàgim de fiar únicament dels registres de sismicitat a l'hora de realitzar els estudis de perillositat sísmica. Conseqüentment, i en particular en zones de deformació lenta, l'estudi de les falles actives hauria de formar part de qualsevol projecte d'anàlisi de perillositat sísmica, i integrar-se amb les observacions històriques, sismològiques i geodèsiques.

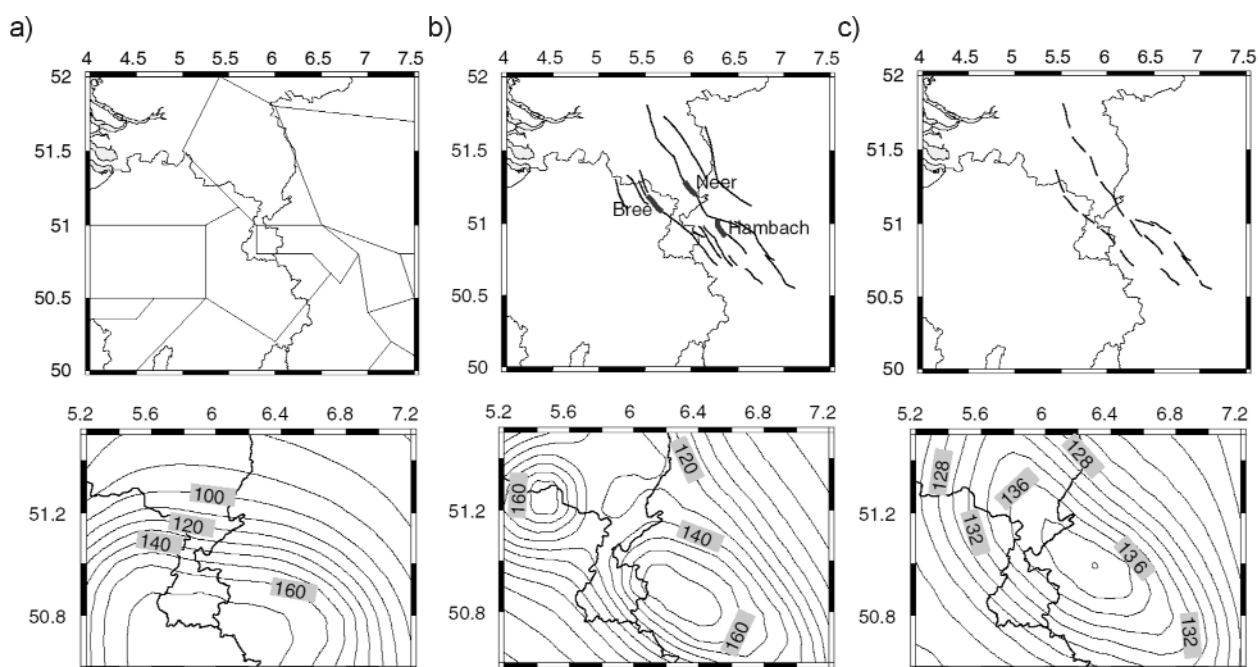


Figura 5.5. Anàlisi probabilista de perillositat sísmica al graben del Baix Rin (Atakan et al., 2001). a) El mapa superior mostra la zonació utilitzada i l'inferior mostra la perillositat expressada en PGA (cm/s^2) per un període de retorn de 1000 anys. b) El mapa superior mostra les fonts falla utilitzades, on les línies fines són falles on s'assumeix el model poissonià de recurrència de terratrèmols mentre que a les gruixudes són falles (falles de Bree, Neer i Hambach) on s'assumeix el model de terratrèmol característic, i l'inferior mostra la perillositat expressada en PGA (cm/s^2) per un període de retorn de 1000 anys. c) El mapa superior mostra les fonts falla utilitzades, on s'assumeix el model de terratrèmol característic en l'ocurrència de terratrèmols, i l'inferior mostra la perillositat expressada en PGA (cm/s^2) per un període de retorn de 1000 anys.

Probabilistic seismic hazard assessment for the Lower Rhine graben (Atakan et al., 2001). a) The upper map shows the used zonation and the lower map shows the seismic hazard expressed in PGA (cm/s^2) for a 1000 years return period. b) The upper map shows the used fault sources, where the thin lines are faults that assume the poissonian model in the recurrence of the earthquakes whilst the thick lines are faults (Bree, Neer and Hambach faults) that assume the characteristic earthquake model, and the lower map shows the seismic hazard expressed in PGA (cm/s^2) for a 1000 years return period. c) The upper map shows the used fault sources, that assume the characteristic earthquake model in the occurrence of the earthquakes, and the lower map shows the seismic hazard expressed in PGA (cm/s^2) for a 1000 years return period.

5.2. Conclusions

Tenint en compte l'evolució tectònica del solc de València i del camp d'esforços present a la zona es conclou que les principals falles extensives originades durant el Neogen són les que tenen una major probabilitat de ser actives a l'actualitat i arribar a produir algun gran terratrèmol en el futur dins de la zona d'estudi.

De la informació obtinguda a partir dels perfils de sísmica de reflexió profunda, dels talls geològics de l'estructura a nivell cortical i de la distribució en profunditat de la sismicitat actual es considera que l'escorça sismogènica es localitza entre la superfície i els 15 km de profunditat. És entre aquestes profunditats on es localitzen la majoria dels terratrèmols i estructures sísmiques i, en conseqüència, la sismicitat que caracteritza el solc de València és superficial.

L'associació dels terratrèmols instrumentals a les falles ha permès localitzar 38 falles que es poden considerar responsables de part de l'activitat sísmica actual enregistrada a la zona.

A partir de l'associació de terratrèmols instrumentals a falles es pot concloure que la falla d'Amer és la responsable dels terratrèmols d'Amer i Olot del 1427 i que no se la pot descartar com a possible font del terratrèmol de Queralbs del 1428. No s'han pogut establir les falles responsables dels terratrèmols de Tabernes del 1396 i d'Énguera-Montesa del 1748, tot i que en el primer cas s'ha considerat que la falla responsable podria estar localitzada a mar i en el segon no es descarta una sèrie de falles presents al nord de la zona on es localitza la font sismogènica (veure nota sobre el terratrèmol de Queralbs al final d'aquest capítol).

L'estudi paleosismològic de la rasa 8 oberta a la falla del Camp ha mostrat l'enregistrament al sud del barranc del la Porquerola dels tres esdeveniments que ja havien estat descrit anteriorment a partir de l'anàlisi de set rases, però on només dos d'ells havien estat observats a aquesta mateixa zona. La informació obtinguda a partir de l'estudi de paleosismologia realitzat a la falla del Camp indica que la taxa de lliscament d'aquesta varia entre 0.02 i 0.08 mm/any, que ha produït com a mínim tres terratrèmols en els últims 125000 anys amb una magnitud màxima (M_w) de 6.7, un interval de recurrència mitjà d'uns 30000 anys i on l'últim es va produir fa uns 3000 anys.

De l'estudi geomorfològic de fronts de muntanya s'han obtingut les característiques geomorfològiques i morfomètriques dels fronts de muntanya associats a falles actives, dels associats a falles no actives i dels no associats a falles (figura 3.102). La principal característica dels fronts de muntanya associats a falles actives és la presència de facetes triangulars, tot i així, quedat patent que només una característica geomorfològica i/o morfomètrica no és suficient per determinar l'activitat o inactivitat d'una falla a la qual hi ha lligat un front de muntanya. Sempre s'haurà de realitzar una anàlisi geomorfològica el mes completa possible, provant d'avaluar el major nombre de paràmetres. A partir d'aquest estudi s'ha obtingut que les falles associades als fronts de muntanya d'Amer, del Vallès (segment del Montseny), del pla Barcelona (segments d'Horta i del Tibidabo), del Camp (segments nord i sud), del Pla de Burgar, del Baix Ebre, del Montsià, de Catí,

de l'oriental i de l'occidental (segments nord i sud dels Ivarsos) de la conca d'Albocàsser, de la Salsadella, de la Vall d'Àngel, d'Alcalà de Xivert, de la serra d'Irta, de l'occidental i de l'oriental de la conca d'Atzeneta i de la Vall d'Uixó són falles actives. També s'ha descrit un escarpament geomorfològic al pla alt de Barcelona que coincideix amb la traça en superfície d'una falla que hauria estat activa durant el Quaternari.

De l'estudi dels perfils de sísmica de reflexió realitzats a mar s'ha obtingut que les falles nord-oriental del golf de Roses, occidental, central i oriental de la fossa d'Amposta, occidental, centre-occidental, centre-oriental, i oriental del cap de Cullera, i la de la cubeta de les Columbretes serien falles actives ja que estan desplaçant els reflectors corresponents al Plio-Quaternari, en alguns casos arribant fins a zones molt pròximes a la superfície.

Les falles actives s'han classificat com sismogèniques (2), amb registre d'activitat actual i acumulada (8), amb registre d'activitat acumulada (18), amb registre d'activitat actual (32) i sense registre d'activitat (187), en funció de les característiques que s'hi han observat (figures 3.108 i 3.109).

S'han obtingut els paràmetres sísmics de les falles sismogèniques, de les falles amb registre d'activitat actual i acumulada i de les falles amb registre d'activitat acumulada, amb l'excepció del temps transcorregut des de l'últim terratrèmol. Les taxes de lliscament calculades a partir de l'alçada i l'edat de les facetes angulars es poden considerar com les més similars a les taxes actuals. No s'han pogut obtenir els paràmetres sísmics de les falles amb registre d'activitat actual i, per tant, no s'han fet servir en els càlculs de perillositat sísmica.

L'estudi probabilista de perillositat sísmica assumint un comportament poissonià de les fonts sísmiques indica que les zones amb una perillositat més alta es localitzen al nord (zona de les serres Transversals) i al sud (terminació de les Bètiques) de la zona d'estudi. La introducció a l'estudi de perillositat sísmica de les falles actives per a les que s'han pogut obtenir els paràmetres sísmics i per les que s'ha assumit que presenten un comportament de terratrèmol característic en l'ocurrència dels terratrèmols, mostra que a les dues zones amb una perillositat més elevada obtingudes sense tenir en compte les falles s'hi afegeix una nova zona, fins i tot per al període de retorn de 475 anys, que es localitza al sud del riu Ebre i que es correspon amb una zona on s'han localitzat falles actives.

El període de recurrència és el paràmetre sísmic que juga un paper més important en la variació dels resultats finals de la perillositat sísmica. El següent en importància seria la segmentació de les falles i el darrer seria el temps transcorregut des de l'últim terratrèmol, però amb unes variacions sobre el resultat final de perillositat molt inferiors a les produïdes per els altres dos paràmetres.

Els estudis geològics per a la identificació de les falles actives i l'obtenció dels seus paràmetres sísmics haurien de formar part de qualsevol estudi de perillositat sísmica, especialment en zones de deformació lenta, donat que el més probable és que el proper gran terratrèmol es produeixi en una falla que no n'ha produït cap durant el temps cobert pels catàlegs sísmics i que, per tant, es produeixi en una zona on actualment es podria considerar que la perillositat sísmica és baixa.

Nota sobre el terratrèmol de Queralbs del 2 de febrer del 1428

En el moment en que aquesta tesi ja estava finalitzada va apareixer el llibre

Olivera, C., Redondo, E., Lambert, J., Riera Melis, A. i Roca, A. (2006): *Els terratrèmols dels segles XIV i XV a Catalunya*. Institut Cartogràfic de Catalunya, Monografies nº30, p. 407.

En aquest llibre es fa una revisió dels terratrèmols ocorreguts a Catalunya entre els segles XIV i XV, entre ells el terratrèmol de Queralbs del dia 2 de febrer del 1428. A partir de l'anàlisi de les dades documentals d'aquest terratrèmol, Olivera et al. (2006) assignen una intensitat màxima de IX a Camprodon, però fan disminuir la intensitat assignada a Puigcerdà fins a VIII, fet que recolza la suposició feta en aquesta tesi sobre la sobreestimació de la intensitat a aquesta població. Aquests autors situen l'epicentre del terratrèmol a 42°18'N i 2°20'E, epicentre que se situa a l'interior de la font sismogènica obtinguda disminuint la intensitat a Puigcerdà de IX-X a VIII-IX (veure figura 3.10). Aquestes noves dades donen suport al fet de considerar a la falla d'Amer com una de les possibles fonts d'aquest gran terratrèmol.

