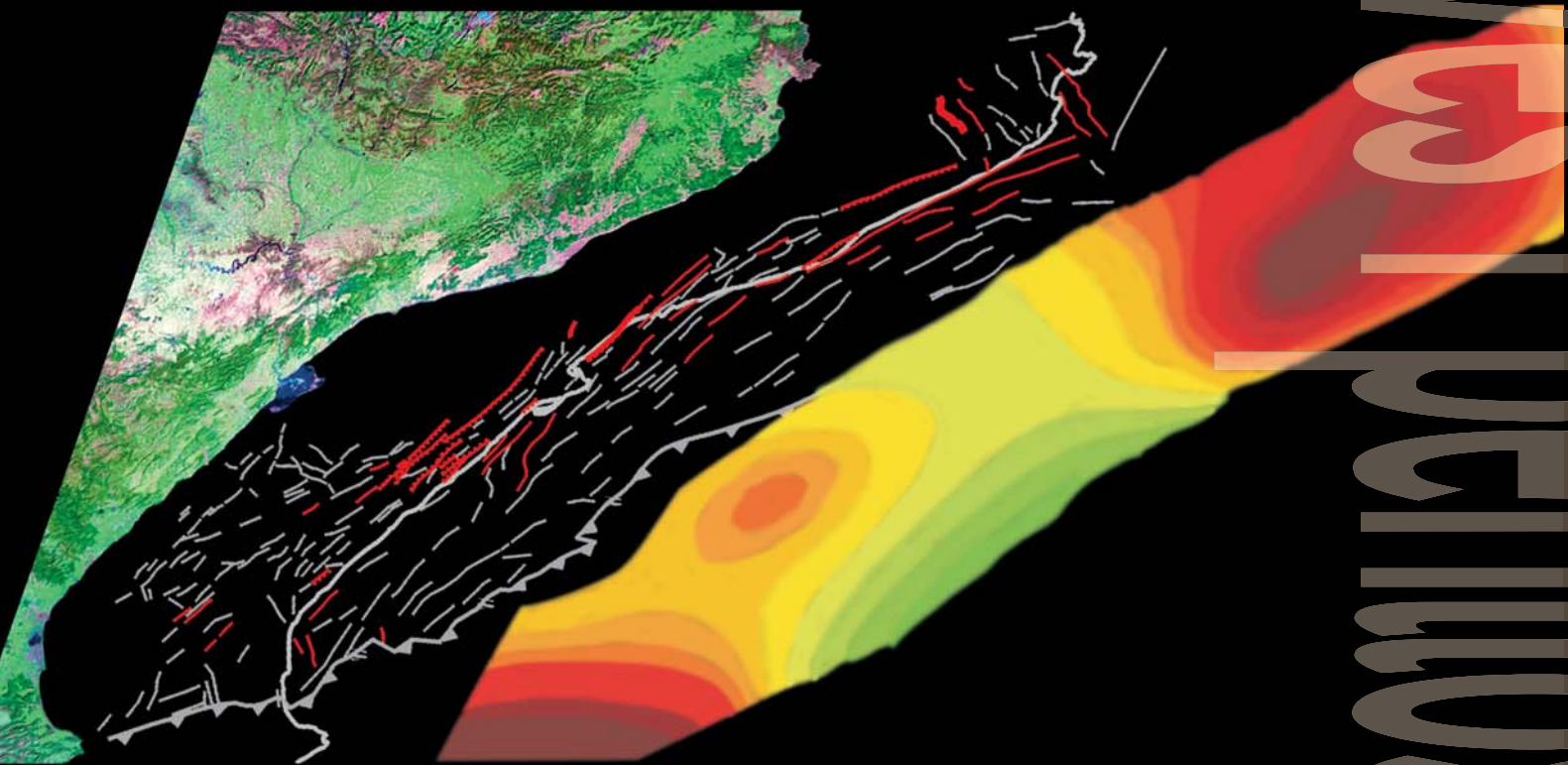


# Falles actives i perillositat sísmica al marge nord-occidental del solc de València



Hector Perea Manera

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

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

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

Memòria presentada per

**Hector Perea Manera**

per a optar al grau de Doctor en Geologia

Aquesta tesi s'ha realitzat dins del programa de Ciències de la Terra, bienni 2000/2002, de la Universitat de Barcelona sota la direcció de la Dra. Eulàlia Masana Closa i del Dr. Pere Santanach Prat.

Barcelona, abril de 2006

Dra. Eulàlia Masana Closa

Dr. Pere Santanach Prat



*A la meva família,  
i a tots els que m'heu ajudat a arribar fins aquí*

*El millor profeta del futur és el passat.  
Lord Byron (1788-1824)*

*El que sabem és una gota d'aigua,  
el que ignorem és l'oceà.  
Isaac Newton (1642-1727)*



Índex	v
Agraïments	ix
<b>1. Introducció</b>	<b>1</b>
1.1. Zones de deformació lenta i perillositat sísmica	5
1.2. Terminologia	7
1.3. Objectius	11
1.4. El marge nord-occidental del solc de València com a zona d'estudi	13
1.5. Estructura de la tesi	17
<b>2. Sismotectònica</b>	<b>19</b>
2.1. Introducció: El marge nord-occidental del solc de València	21
2.2. Evolució tectònica	23
2.3. Estructura	29
2.4. El camp d'esforços actual	35
2.5. Anàlisi de la sismicitat	39
2.6. Conclusions	45
<b>3. Determinació de falles actives</b>	<b>47</b>
3.1. Introducció	49
3.2. Sismicitat instrumental com a registre de l'activitat actual de les falles	51
3.3. Fonts dels grans terratrèmols històrics	59
3.3.1. El mètode de Gasperini	59
3.3.2. El terratrèmol de Tabernes del 1396	62
3.3.3. La crisi sísmica catalana dels anys 1427 i 1428	63
3.3.4. El terratrèmol d'Énguera-Montesa del 1748	73
3.4. Paleosismologia	79
3.4.1. Dades paleosismològiques	79
3.4.2. La falla del Camp: Anàlisi de la rasa 8	82
3.4.2.1. Estudi geomorfològic i topogràfic	83
3.4.2.2. Anàlisi de la rasa 8	87
3.4.2.3. Determinació dels paleoterratrèmols	90
3.4.3. La falla del Camp: Síntesi paleosismològica	92
3.4.4. Reflexions	94
3.5. Anàlisi geomorfològica dels fronts de muntanya	95
3.5.1. Característiques geomorfològiques dels fronts de muntanya relacionats amb falles normals	95

3.5.1.1. Característiques dels fronts de muntanya	96
3.5.1.2. Característiques de les conques de drenatge associades a fronts muntanyosos actius	102
3.5.1.3. Consideracions	107
3.5.2. El solc de València: Anàlisi geomorfològica dels fronts de muntanya	108
3.5.2.1. Els fronts de muntanya de les Serres Transversals	111
3.5.2.2. Els fronts de muntanya de les Cadenes Costaneres Catalanes	119
3.5.2.3. Els fronts de muntanya relacionats amb les conques del Maestrat	153
3.5.2.4. Els fronts de muntanya de la depressió de València	187
3.5.3. El solc de València: Característiques geomorfològiques dels fronts de muntanya	195
3.6. Falles marines	205
3.6.1. Introducció	205
3.6.2. Graben del golf de Roses	205
3.6.3. Fossa d'Amposta	209
3.6.4. Cap de Cullera i cubeta de les Columbretes	209
3.6.5. Problemàtica	211
3.7. Classificació de les falles	215
3.8. De la geologia als paràmetres sísmics	221
3.8.1. Mida del terratrèmol característic	223
3.8.2. Interval de recurrència del terratrèmol característic	225
3.8.3. Resultats i limitacions	232
3.9. Conclusions	235
<b>4. Perillositat sísmica</b>	<b>237</b>
4.1. Introducció	239
4.2. Anàlisi de la perillositat sísmica	241
4.2.1. Anàlisi determinista	241
4.2.2. Anàlisi probabilista	242
4.3. Anàlisi probabilista de la perillositat sísmica: passos previs	247
4.3.1. El catàleg de terratrèmols	247
4.3.1.1. Recopilació de catàlegs	247
4.3.1.2. Fusió de catàlegs	264
4.3.1.3. Unificació de l'escala de magnituds i transformació d'intensitats a magnituds	265
4.3.1.4. Extracció de premonitoris, rèpliques i sismes artificials	268
4.3.1.5. Catàleg final	269
4.3.2. Definició de les fonts areals	273
4.3.3. Paràmetres sísmics de la relació de recurrència	275
4.3.4. Models d'atenuació	278
4.4. Anàlisi probabilista de perillositat sísmica: Model Poissonià	281
4.4.1. Models de càlcul	281
4.4.2. Resultats	281
4.4.3. Comparació i discussió	283
4.5. Anàlisi probabilístic de perillositat sísmica: Model característic	287
4.5.1. Models de càlcul	288
4.5.2. Resultats	289
4.5.3. Comparació dels resultats	291
4.5.3.1. Influència de la introducció de les dades geològiques	293

4.5.3.2. Influència del període de recurrència . . . . .	294
4.5.3.3. Influència de la segmentació de les falles . . . . .	295
4.5.3.4. Influència del temps transcorregut des de l'últim terratrèmol (Tut) . . . . .	296
4.5.3.5. Els paràmetres sísmics que més influeixen en els resultats finals . . . . .	299
4.6. <b>Conclusions</b> . . . . .	301
<b>5. Discussió i conclusions</b>	<b>303</b>
5.1. <b>Discussió</b> . . . . .	305
5.1.1. Sobre les aproximacions seguides per a la localització de falles actives . . . . .	305
5.1.2. Sobre la influència dels paràmetres sísmics de les falles en l'estudi de la perillositat sísmica . . . . .	307
5.1.3. Sobre la introducció de falles dins dels estudis de perillositat sísmica . . . . .	309
5.2. <b>Conclusions</b> . . . . .	315
<b>Bibliografia</b>	<b>319</b>
A.1. <b>Mapes amb l'associació de terratrèmols a falles</b>	<b>333</b>
A.2. <b>Regressions entre les diferents magnituds</b>	<b>355</b>
A.3. <b>Càlcul dels paràmetres sísmics de les fonts areals</b>	<b>363</b>
A.4. <b>Mapes i corbes de perillositat per als diferents models característics</b>	<b>369</b>





## Agraïments

Quan un arriba al final d'aquest llarg camí i mira endarrere veu que això ha estat possible gràcies a la feina, el recolzament i els ànims de molta gent i, com no, aquest és el moment d'agrair-ho a tots.

En primer lloc agrair a l'Eulàlia i al Pere que hagin dirigit aquesta tesi. M'he beneficiat de la seva experiència i dels seus consells i si he arribat fins aquí és, en part, gracies a ells. Sempre recordaré aquells dies passats dins de les rases, netejant, dibuixant, discutint i, sobretot, aprenent, però també els sopars tant divertits en acabar les dures jornades de sol i pols.

L'estudi de perillositat sísmica, una part important d'aquesta tesi, ha estat possible gracies a la meva estada a Bergen. I am indebt to the Seismology Group of the "Universitetet i Bergen" and specially to Dr. Kuvvet Atakan. Thanks for your help and make me feel like being at home in such a cold place. I will never forget the cake-time every Thursday afternoon. Tambien tengo que agradecer al Dr. Anibal Ojeda de Ingeominas (Colombia) toda la ayuda prestada durante los cálculos de peligrosidad sísmica donde se han tenido en cuenta las fallas como fuentes sismogénicas.

Agrair al servei de *Sismologia del Instituto Geográfico Nacional*, al *Instituto Geológico y Minero de España* i al Servei Sismològic de l'Institut Cartogràfic de Catalunya l'atenció i l'amabilitat amb que m'han tractat quan els he demanat alguna cosa i la cessió d'informació que ha estat indispensable per a la realització d'aquesta tesi.

Part del treball que s'ha pogut fer sobre el subsòl del Pla de Barcelona ha estat gracies a la informació que han proporcionat CLABSA, Geotec-262 SL i RSE Aplicaciones Territoriales SA. Especialment vull agrair l'amabilitat amb que em varen tractar i l'interessant canvi d'opinions que vaig tenir amb la Montse Colomer i en Pere Buxó de RSE.

Una de les coses que més m'han sorprès dins del mon científic ha estat la col·laboració i ajuda desinteressada que et poden donar altres investigadors sense una coneixença prèvia. Jo he tingut la sort de topar amb la Pilar Villamor i el Steven Wesnousky que em varen ajudar ha entendre la forma que havien utilitzat ells per calcular els intervals de recurrència dels grans terratrèmols. Pilar, muchas gracias por tu ayuda y por darme la posibilidad de ir a trabajar a Nueva Zelanda en un futuro. Steven, thank you very much for your help.

A la M<sup>a</sup> José Jimenez i al Mariano Garcia els haig d'agrair en primer lloc tota l'ajuda, els suggeriments i els ànims que m'han donat al llarg de la tesi, però sobretot que s'hagin llegit el capítol de perillositat sísmica d'aquesta tesi. Muchas gracias a ambos.

A la gent que va organitzar i participar al curs Europaleos, per la feina que varen realitzar a la rasa 8 del Camp i per les bones nits que varem passar. Però d'entre ells vull agrair l'amistat de la Paula amb la que hem compartit penes "tesítiques" i que sempre m'ha animat des de Portugal. Obrigado Paula.

També vull agrair des d'aquí tot el suport i els ànims dels professors i PAS del departament, però especialment a l'Eduard Roca que sempre ha tingut un moment per explicar-me coses sobre la geologia del solc de València i del qual són algunes de les figures dels capítols 2 i 3; al Joan Guimerà per tot el material que m'ha anat deixant (fotos, mapes, articles,...) i per ajudar-me a solventar alguns dubtes geològics que he tingut; a l'Emma Suriñach per aclarir alguns dels meus

dubtes sobre sismologia; al Jaume Bordonau per recordar-se de mi un dia que en Pere li va preguntar si coneixia a algú per una “feineta” allà per l’any 2000 i per la primera, espero que de moltes, caminada dels panxuts; i a la Pim per tenir sempre una paraula d’ànima aquests darrers mesos i preocupar-se de tenir-me informat de la nova reglamentació de doctorat.

L’altre gran grup de persones del departament a qui també haig d’agrair moltíssimes coses, estones més que agradables (dinars al bar, paelletes d’estiu, calçotades, esquíades, cafès, sopars, discussions geològiques i no geològiques, caminades per la muntanya, activitats de la comissió de festes i xerinoles varies....) i els ànims que sempre m’han donat són els becaris/precaris. A l’Albeiro i al Jordi que m’incitessin a fer el meu primer 3000, espero que de molts, a Pirineus; al Pau i al David per les innumerables ajudes informàtiques que m’han proporcionat; al Fernández i al Grata perquè sempre hi han estat (des que érem protogèlegs!!!); a la Berta pels aclariments sobre coses sismològiques i per compartir un interès comú pels terratrèmols; a la Ylènia, la Desiré i l’Oriol Ferrer per la feina que van fer i de la que aquesta tesi s’ha beneficiat; i a tots per sempre ser-hi i poder comptar amb vosaltres. També vull agrair la seva paciència i amistat als meus companys de despatx, primer al 224 i després al 329b: la Montse, el Jose, en Jesús (quins farts de riure, eh?), la Rosor, la Sònia, l’Eduard, l’Àngel, la Ximena, la Patricia i el Carlos, però sobretot a en Gerard per tantes i tant bones estones, tot i que també alguna de dolenta, entre aquelles 4 parets del 224 gairebé des del principi i a la Maria per tenir sempre una paraula d’ànima i un altruisme que envejo. Tots estareu sempre amb mi allà on vagi.

Als meus amics geòlegs amb qui he compartit tant al llarg de tant de temps: l’Eduard, en Joan Carles, els Xavis, en Christian, la Sonia, els Davids, el Carlos P, els Jordis, l’Estela, la Judit, l’Erik, en Kilian, però sobretot a l’Eva i en Galderic per totes les bones estones davant d’una cervesa al Flabiol (les trobo molt a faltar) i al Quimet per ser-hi sempre per fer-la petar, per riure i per enviar postals, juntament amb la Dolors, des del cul del món. Espero rebre’n encara moltes més.

Que dir als amics de tota la vida, el Jony (espero seguir recibiendo los “eoeos” cada mañana durante mucho tiempo) i el Cachi..... només moltes gràcies per ser-hi sempre i saber que puc contar amb vosaltres quan ho necessiti. Als amics de Puigcerdà, en Toti, la Mònica i en Carles, els haig d’agrair haver-me donat la seva amistat i recolzament des del dia que ens varem conèixer. Jo se que sempre tinc un lloc a la “pensió Toti”.

També vull agrair la feina de molta gent a la que no conec però que estan darrera del software lliure, especialment a la gent d’OpenOffice (aquesta tesi ha estat escrita íntegrament amb aquest programa i us animo a tots a utilitzar-lo; <http://www.openoffice.org/>) i de GMT (gran programa, tot i que de vegades complicat, amb el que s’han realitzat la majoria dels mapes i de les gràfiques d’aquesta tesi; <http://gmt.soest.hawaii.edu/>). No a les patents de software!

Finalment, però no per això els menys importants, haig d’agrair el suport dels meus pares, la Pepi i en Manel, del meu germà i la seva xicota, en Benjamí i l’Amaia, i de les meves tietes, la Gloria i l’Eladia. Sense la vostra ajuda, el vostre recolzament i els vostres ànims quan estava defallit no hauria arribat mai on soc ara. Aquestes quatre línies no podran agrair mai tot el que m’heu donat.