

Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC)
Institut de Ciències de la Terra "Jaume Almera"
Departament d'Estructura i Dinàmica de la Terra

Programa de doctorat Ciències de la Terra
Bienni 2006-2007

CARACTERITZACIÓ ESTRUCTURAL I SISMOTECTÒNICA DE LA LITOSFERA EN EL DOMINI PIRENAICO-CANTÀBRIC A PARTIR DE MÈTODES DE SÍSMICA ACTIVA I PASSIVA

Tesi

presentada per

Mario Ruiz Fernández

Al Departament de Geodinàmica i Geofísica de la Universitat de Barcelona

Directors:

Dr. Josep Gallart Muset

Dr. Jordi Díaz Cusí

Tutor: Dr. Francesc Sàbat Montserrat

10.- CONCLUSIONS GENERALS

A continuació resumirem els principals resultats obtinguts en aquest estudi, separant-los en els dos apartats en que ha estat estructurada la tesis: els resultats sismotectònics derivats de les campanyes de sísmica passiva i els resultats estructurals (campanyes de sísmica activa).

10.1.- Mètodes de sísmica passiva: caracterització sismotectònica

Les noves dades adquirides mitjançant les xarxes temporals desplegades pels projectes GASPI i MARCONI han permès obtenir una imatge detallada de la sismicitat de l'extrem occidental dels Pirineus, mostrant que la combinació dels registres de les xarxes permanents i d'intervenció resulta una eina de gran ajuda per obtenir informació tant de tipus sismotectònic com estructural.

El sector occidental dels Pirineus és una àrea insuficientment controlada pels serveis sismològics permanents. La comparació dels catàlegs subministrats per les xarxes permanents i l'obtingut per les xarxes regionals del projecte GASPI mostren que pràcticament la meitat dels sismes que van tenir lloc durant el període de registre (amb magnituds d'entre 0.5 i 2.5) no van poder ser correctament detectats i localitzats pels serveis sismològics permanents. Aquest fet s'agreuja a escala local. Les xarxes d'intervenció desplegades durant el projecte MARCONI, a fi d'estudiar l'evolució de les rèpliques de dos terratrèmols de magnitud superior a 4, van permetre comprovar que la xarxa permanent de l'IGN, malgrat la implantació de la nova xarxa digital, cataloga aproximadament un 15-20 % dels sismes localitzats per les denses xarxes temporals, perdent-se la major part dels events amb magnitud inferior a 1.

L'alta resolució de les localitzacions obtingudes, resultat d'aplicar al conjunt de dades sísmiques disponibles tècniques de localització hipocentral per dobles diferències i, sempre

que ha estat possible, algorismes de correlació creuada, ha ajudat a establir noves relacions amb les principals estructures tectòniques i a millorar la comprensió de la sismotectònica d'aquesta regió.

Les dades adquirides durant el projecte GASPI confirmen la importància de la sismicitat E-O de Pirineus i revelen la seva continuïtat cap a l'oest, a través de la falla de Leiza, fins a la falla d'Hendaya. La Falla de Leiza es manifesta com una estructura a nivell cortical, amb una important activitat sísmica, distribuïda des de la superfície fins als 30 km de fondària, aprofundint-se cap al nord.

La falla de Pamplona es revela com un accident a escala crustal, controlant part de l'estat d'esforços de la regió. Al seu sector central, a l'entorn dels afloraments diapírics, la zona de falles d'Andia i l'encavalcament d'Aralar, s'hi detectà un important nucli d'activitat, distribuït entre 0 i 20 km de fondària, que es pot explicar en termes de moviments relatius i interaccions que afecten a aquest sistema de falles.

Un exemple d'aquesta activitat a l'oest de la falla de Pamplona, és el terratrèmol de magnitud 4.1 Lg que va tenir lloc el 21 de Febrer del 2002. La xarxa temporal desplegada durant el projecte MARCONI a la zona epicentral va permetre localitzar amb precisió 106 events, 93 dels quals eren nous sismes no catalogats per cap organisme. L'aplicació de tècniques de correlació creuada va permetre definir una zona epicentral de 2 km² amb els events concentrats entre 1.5 i 2 km de fondària i establir una relació directa amb el sector meridional de la unitat encavalcant d'Aralar.

Per altre banda, l'estudi regional va permetre associar l'activitat observada a l'extrem septentrional de la falla de Pamplona amb l'encavalcament de Roncesvalles. També es van detectar diferents nuclis de sismes relacionats amb les falles d'orientació ONO-ESE de la conca Basco-Cantàbrica, l'encavalcament frontal Sud-Pirinenc i estructures encavalcants de la conca de Pamplona.

El 18 de Setembre del 2004 es produí, a la zona de la conca de Pamplona, un terratrèmol de magnitud 4.6 mbLg. La xarxa d'intervenció desplegada a l'entorn de la zona epicentral va permetre localitzar amb precisió 326 events, dels quals únicament 70 eren rèpliques ja catalogades pels serveis sismològics espanyol i francesos. La interpretació de les dades mitjançant l'aplicació de tècniques de dobles diferències amb temps relatius derivats de la correlació creuada, mostren una activitat sísmica superficial, localitzada entre els 3 i els 9 km de fondària, i concentrada a les rodalies de l'embassament d'Itoiz en un àrea inferior als 10 km².

La correlació entre les fluctuacions del nivell d'aigua i l'activitat sísmica enregistrada durant els anys 2004 i 2005, junt amb el fet de que no s'observés una activitat remarcable abans de l'inici d'emplenat del pantà, afavoreixen la interpretació d'aquesta crisi sísmica com un cas de Resposta Ràpida disparada per l'inici de posta en càrrega de l'embassament. L'embassament d'Itoiz es troba sobre el bloc superior d'un encavalcament de baix angle vergent cap al sud, associat al sistema d'encavalcaments de Gavarnie i, per tant, és un cas sensible a les fluctuacions dels nivells d'aigua i s'hauria de mantenir sota monitorització sísmica i seguir sent un cas d'estudi durant un període prolongat de temps.

La major part dels mecanismes focals obtinguts, tant en l'estudi regional com en els locals, mostren solucions de falla normal amb certa component de cisalla i la major part dels eixos P orientats en la direcció NO-SE. Aquest és un fet característic de la sismicitat dels Pirineus occidentals i està en consonància amb l'estat d'esforços general deduït en aquest sector de la serralada.

L'activitat sísmica enregistrada està distribuïda a escala cortical i, com hem vist, encara que en l'actualitat sol ser de moderada a baixa magnitud, no és infreqüent que en ocasions s'hi produeixin terratrèmols de magnitud superior a 4. Els catàlegs instrumentals i històrics mostren que en el passat recent s'hi produïren sismes de magnitud entorn a 5 i events d'intensitat superior a VII.

10.2.- Mètodes de sísmica activa: caracterització estructural

La campanya marina del projecte MARCONI, realitzada a bord del BIO Hespérides, ha fet possible l'adquisició, a la part centro-oriental del Marge Cantàbric, d'una malla d'11 perfils de gran angle, mitjançant OBS i estacions sísmiques terrestres, i de més de 2000 km de sísmica de reflexió vertical. Els resultats obtinguts de la modelització dels perfils de gran angle posen de manifest la gran complexitat estructural del sector nord de la península Ibèrica, producte de l'etapa extensional que va donar lloc a l'obertura del Golf de Biscaia durant el Mesozoic, i de l'etapa de compressió Alpina del Terciari que va comportar el tancament parcial del Golf, la intensa deformació del marge nord Ibèric i l'aixecament del sistema Pirenaico-Cantàbric.

El pre-processat aplicat a les noves dades de gran angle, incloent-hi un filtrat de coherència de les seccions sísmiques marines i terrestres, ha permès millorar notablement la

qualitat dels registres, i correlacionar fases sísmiques fins a majors distàncies. En aquest estudi s'ha portat a terme l'anàlisi de 3 perfils d'orientació N-S, 2 en la direcció E-O i un d'orientació NO-SE.

La modelització de les fases de gran angle enregistrades en els perfils N-S ha evidenciat que la complexa estructura en profunditat que s'havia obtingut als Pirineus Centrals i Occidentals mitjançant els perfils ECORS-Pirineus i ECORS-Arzacq té una continuïtat lateral cap a l'oest, a la conca Basco-Cantàbrica i al Sistema Cantàbric.

Els resultats obtinguts al sector meridional dels perfils N-S MARCONI, gràcies a la interpretació conjunta de les fases sísmiques enregistrades als OBS i a les estacions de terra, permeten acotar amb continuïtat la geometria d'indentació de l'escorça del Golf de Biscaia entre l'escorça superior i mitja Ibèriques, produint la subducció cap al nord de l'escorça mitja i inferior Ibèriques fins a aproximadament els 55 km de fondària. L'arrel crustal Alpina apareix més desenvolupada al sector oriental de la conca Basco-Cantàbrica i a la Serralada Cantàbrica, i té menor potència al sector central i occidental de la Conca, confirmant els resultats dels estudis relacionats amb el projecte ESCI-N. El major o menor grau d'indentació es correspon amb les variacions laterals de l'engruiximent cortical i pot estar controlat pels moviments sinistres d'estructures transverses de direcció N-S a NE-SO.

Al sector marí, els perfils N-S i E-O mostren un important aprimament cortical cap al nord i cap a l'oest. Aquest aprimament és sobretot notable al sector nord-occidental de la zona d'estudi, a mesura que ens endinsem cap a la part central del Golf de Biscaia, on l'espessor cortical se situa entorn dels 10-14 km, i s'aprecien altes velocitats a l'escorça inferior, precedides de velocitats anòmalament baixes a les capes superiors.

Les distribucions de velocitat-fondària obtingudes a l'extrem nord-occidental de la regió estudiada tenen característiques pròpies de les zones de transició d'escorça continental a oceànica. La disminució de l'espessor cortical d'aquesta àrea es produeix a costa de la pèrdua d'una escorça mitja ben diferenciada, esvaint-se la típica estructura continental, dividida en escorça superior, mitja i inferior. En qualsevol cas, el fet de que no s'observin anomalies magnètiques de caràcter oceànic a l'interior de la zona d'estudi, i que a la sísmica vertical apareguin gran quantitat de falles normals i conques tipus semi-graben, característiques del processos extensionals continentals, són indicadors clars de que en aquest sector de l'estudi l'escorça és de tipus continental de transició, molt estirada i aprimada, sense que s'hagi arribat a mostrejar escorça oceànica.

Al sector oriental marí de la zona d'estudi, delimitat pels canons de Capbreton, Cap Ferret i Santander, l'estructura cortical derivada dels models de velocitats-fondària mostra totes les característiques d'escorça continental. En aquesta àrea, l'aprimament cortical no és tant acusat com al sector occidental, però com es deduïa del perfil ECORS-Golf de Biscaia, que al travessar la conca de Parentis reflectia un important aprimament cortical, els perfils N-S mostren també una considerable reducció de l'espessor cortical cap al nord, sense perdre's mai les propietats d'escorça continental. La base de l'escorça passa dels 30 km de fondària detectats a la zona del canó de Capbreton o els 25 km de la zona central del Canó de Santander, a menys de 20 km de fondària a l'extrem nord dels perfils 3 i 6. Cap a l'oest, en canvi, es produeix un aprimament progressiu de l'escorça fins enllaçar amb la zona fortament estirada i aprimada del sector més occidental estudiat.

