

## Pirineus al punt de mira de la sismologia catalana

### El Laboratori d'Estudis Geofísics Eduard Fontseré – Institut d'Estudis Catalans (LEGEF-IEC)

El Laboratori d'Estudis Geofísics Eduard Fontserè (LEGEF) va ser constituït pel ple de l'Institut d'Estudis Catalans l'any 1982, amb la finalitat de portar a terme i promoure estudis dins del camp de la geofísica.

El Laboratori d'Estudis Geofísics Eduard Fontserè (LEGEF) és un centre propi de l'Institut d'Estudis Catalans enquadrat a la secció de Ciència i Tecnologia, el qual col·labora amb diversos centres catalans afins en el món de la geofísica a través de diversos convenis i projectes.

La seu del laboratori es troba a l'edifici del C/ M. Aurèlia Capmany, 14-16, 08001 de l'Institut d'Estudis Catalans.

### Qui som?

El LEGEF el formem la Dra. Emma Suriñach com a directora i la Dra. Mar Tapia com a coordinadora, depenent de la secció de Ciència i Tecnologia de l'Institut d'Estudis Catalans (figura 1).

Malgrat la mida reduïda del laboratori, això no ens impedeix col·laborar mitjançant convenis i projectes amb la majoria d'altres institucions catalanes dedicades a la sismologia i geofísica.

### Què fem?

Principalment duem a terme tasques científiques relacionades amb la sismologia per a l'estudi dels terratrèmols al nostre territori a escala local i regional, i també l'aplicació innovadora de les tècniques de la sismologia a d'altres camps de la ciència.



Mar Tàpia i Jiménez, investigadora sismòloga i coordinadora del Laboratori d'Estudis Geofísics Eduard Fontserè. Institut d'Estudis Catalans (LEGEF-IEC)



Figura 1. Organigrama del LEGEF

D'una altra banda, estem directament implicats en la divulgació de les ciències de la Terra a la societat catalana, ja sigui a través de conferències per a tots els públics de forma puntual com donant informació actualitzada, de qualitat i en català a través de la nostra pàgina web <http://sismic.iec.cat> (figura 2).



Figura 2. Pàgina web del LEGEF

### Conceptes bàsics de sismologia

Si hem de parlar de la sismologia en relació amb els Pirineus caldrà que ens fixem primer en les definicions bàsiques d'aquests termes i què volen dir, segons el *Diccionari Català de Geologia* (<http://cit.iec.cat/dgeol>).

### Què és la sismologia?

Part de la geofísica que concerneix l'estudi dels sismes i de llurs efectes, així com de tota mena de moviments vibratoris de la Terra, tant si són d'origen natural com si han estat provocats artificialment; també s'ocupa de la generació i propagació de les ones sísmiques dins la Terra, la qual cosa permet de deduir-ne la constitució interna i localitzar i identificar la natura dels moviments que han provocat els sismes. On la geofísica és la ciència que, aplicant els mètodes de la física, estudia la totalitat de la Terra, des del centre fins a l'atmosfera superior.

### Què és un sisme o terratrèmol?

És el fenomen natural objecte d'estudi de la sismologia. És l'energia generada sobtadament a la litosfera de la Terra i que es propaga en forma d'ones elàstiques, com a resultat d'un procés de relaxació d'un estat d'esforços produït per un moviment bruscat entre uns blocs rocosos. El punt de l'interior de la Terra on es generen les ones sísmiques és anomenat *focus* o *hipocentre*, i el punt de la superfície terrestre corresponent a la vertical del focus és anomenat *epicentre*. Els sismes es divideixen en *superficials* (fins a 79 km), *intermedis* (de 70 a 300 km) i *profunds* (de 300 a 700 km) (figura 3).

La sismologia també se centra en l'estudi de fenòmens artificials que generen ones sísmiques, com podrien ser les explosions atòmiques.

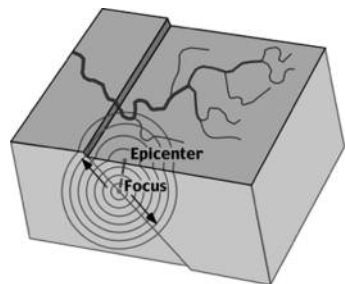


Figura 3. Esquema de les parts d'un terratrèmol. Focus allà on s'origina un trencament i on s'originen ones. Epicentre, projecció del focus a la superfície de la Terra

## Un apunt d'història

Des que existeix la humanitat hi ha referències a l'ocurrència de terratrèmols a la Terra generadors de grans desastres que trasbalsaven les civilitzacions, els grecs són els primers que intenten explicar a què són deguts. Però no és ben bé fins a principi del segle xx que la sismologia esdevé ciència i comença a explicar el fenomen correctament. Concretament, arran del terratrèmol que va tenir lloc a San Francisco el 1906, Harry Fielding Reid va proposar el model del rebot elàstic (figura 4), que descriu els terratrèmols com una relaxació sobtada de la deformació acumulada a les falles (fractures de l'escorça terrestre). Això va permetre als científics començar a poder quantificar i posar matemàtiques darrere de les observacions.

I què genera aquestes deformacions a les falles? Doncs la tectònica de plaques (figura 5). La litosfera del planeta Terra no és contínua, sinó que està apedaçada en trossos, les plaques tectòniques, que es mouen entre si. Així, la tectònica de plaques és la teoria que descriu a gran escala aquests moviments. La teoria conjuga antics conceptes sobre la creació de relleus desenvolupades a l'inici del s. xx i creixement de dorsals oceàniques al fons marí entès durant la dècada de 1960. Veritablement, estem enfront de teories molt joves! L'aparició d'aquesta teoria representa una revolució tan significativa en geologia com ho fou la de la relativitat en la física teòrica.

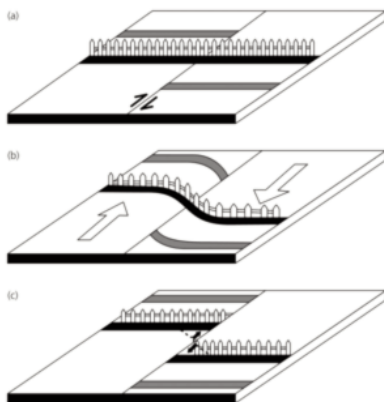
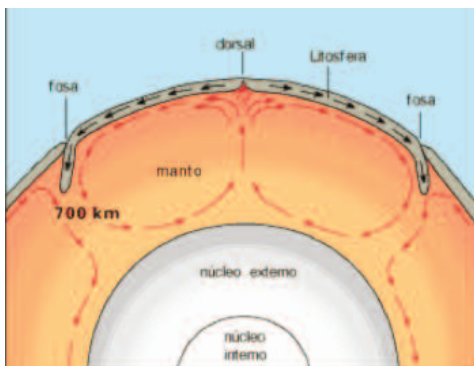


Figura 4. Esquema del rebot elàstic proposat per Reid. (a) Observem una falla, que (b) es va deformant perquè acumula esforços i finalment (c) la deformació supera el límit que els materials poden aguantar i es produeix el trencament, amb la relaxació del terreny i emissió de l'energia en forma d'ones sísmiques, cosa que crea el terratrèmol

Figura 5. Estructura interna del planeta Terra i moviments de convecció del mantell generador de les plaques tectòniques i el moviment relatiu entre elles

La tectònica de plaques no només ens explica *com* i *per què* s'origina un terratrèmol sino també *on*, principalment als límits de placa (figura 6). Si acabem per preguntar *qui*, hem de pensar que els actors podrien ser els sismòlegs, que estudien els terratrèmols, i la instrumentació sísmica, que permet que tinguem registre permanent d'aquests fenòmens (de les ones sísmiques) per al seu posterior estudi.

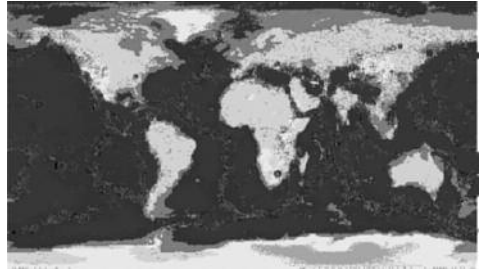


Figura 6. Distribució dels terratrèmols al món

Actualment, la pregunta que encara no som capaços de contestar és el *quan*. Podem saber els llocs més probables on hi haurà un terratrèmol i els ritmes de deformació per tal d'estimar una freqüència, però encara no podem dir "demà hi haurà un sisme". De totes formes, amb el coneixement que es té es pot posar en marxa una bona prevenció davant el que podria ser el desastre natural, i el fet d'arribar a poder predir un terratrèmol no evita que haguem de fer aquest primer pas d'avaluació i prevenció. Per tant, la pregunta no ha de ser *quan*, sinó si estem preparats per afrontar-ho quan passi. En aquesta direcció es dirigeixen els estudis de risc sísmic que es realitzen arreu del món.

### Sismologia a Catalunya: els Pirineus

Un cop tenim unes pinzellades del que representa la sismologia i els terratrèmols, ens afecta tot això als Pirineus?

Estem situats en una zona de col·lisió entre les plaques tectòniques d'Europa i d'Àfrica. Aquestes plaques s'apropen entre si molt lentament (figura 7) i acumulen energia també lentament, i això fa que els terratrèmols es produeixin amb poca freqüència, però se'n produeixen (figura 8). De fet, com a resultat d'aquests moviments tenim una gran evidència: la creació dels Pirineus, i a més és la zona de Catalunya on més activitat sísmica es registra.

Malgrat el perill moderat que tingui lloc un terratrèmol destructor, és necessària una prevenció que tingui en compte aquest risc natural.

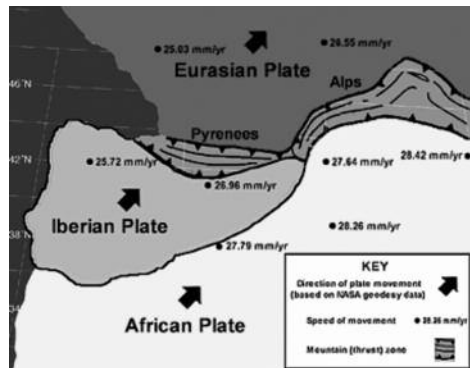


Figura 7. Moviments tectònics a la nostra regió

### Sismicitat en el passat a Catalunya

Durant els segles XIV i XV es varen produir a Catalunya diversos terratrèmols que van ocasionar danys importants. Alguns es van arribar a percebre a més de 300 km (figura 9).

En tenim informació gràcies a la documentació escrita de l'època, ja que encara no existia instrumentació que els registressin. Al segle XIX, quan es comença a mirar amb cura la sismologia, és quan es comença a catalogar els terratrèmols i els seus efectes seriosament, tot i encara no saber-ne les causes. A les terres catalanes devem la primera recopilació seriosa a n'Eduard Fontserè.

### Sismicitat actual a Catalunya

A Catalunya l'activitat sísmica més gran es concentra principalment als Pirineus i a l'àrea mediterrània. Els sismes dels Pirineus es concentren a la zona axial. El terratrèmol més important d'aquests darrers vint anys, ocorregut l'any 1996, de magnitud 5,2 –seguit de nombroses rèpliques associades–, es va localitzar als Pirineus orientals (oest de Perpinyà). El següent mapa (figura 10) representa els terratrèmols ocorreguts a Catalunya del 1977 al 1997. Els cercles són els terratrèmols i la seva grandària és proporcional a la magnitud del terratrèmol. Per tant, al territori català un dels llocs d'interès en sismologia és la regió dels Pirineus. Però per estudiar els terratrèmols necessitem les eines, la instrumentació.

Figura 10. Mapa de sismicitat de Catalunya 1977-1997 (ICC, 1999). Un gran percentatge coincideix amb els Pirineus

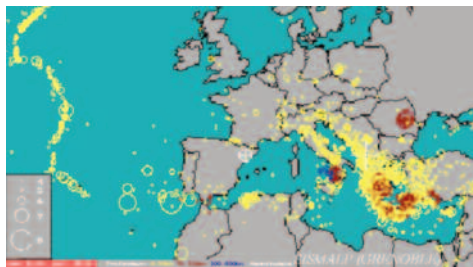


Figura 8. Sismicitat a la Mediterrània (1960-1990, USGS)

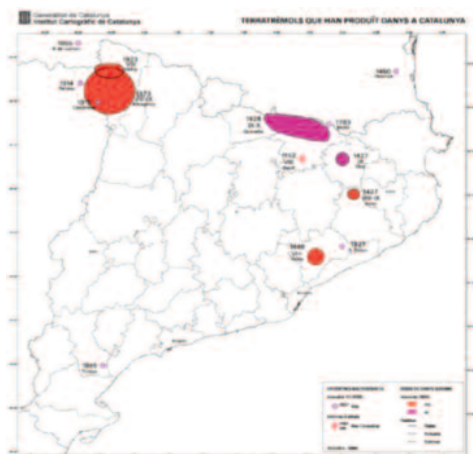
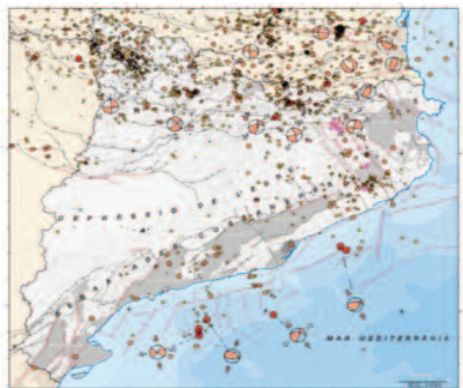


Figura 9. C. Olivera, E. Redondo, J. Lambert i A. Rier, "Els terratrèmols dels segles XIV i XV a Catalunya" (2006). Monografia de l'Institut Cartogràfic de Catalunya



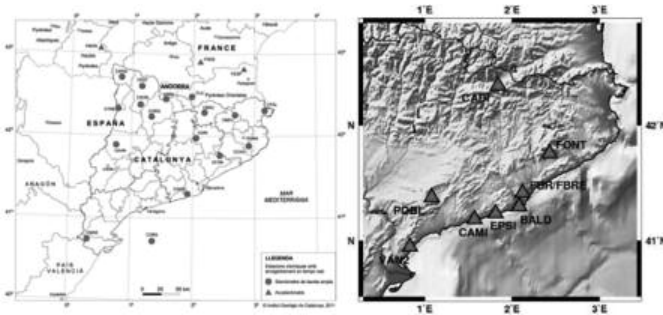


Figura 11. (Esquerra) Xarxa sísmica de Catalunya pertanyent a l'Institut Geològic de Catalunya. (Dreta) Estacions sísmiques del LEGEF

### Infraestructura sísmica al territori

La principal infraestructura dedicada a la sismologia a Catalunya és la xarxa sísmica de Catalunya, gestionada per l'Institut Geològic de Catalunya. Els principals objectius són proveir d'informació ràpida els serveis de protecció civil i la societat en general, i obtenir sistemàticament dades de qualitat per a la comunitat científica.

El LEGEF també té algunes estacions sísmiques repartides pel territori dedicades a l'estudi de sismicitat local (figura 11).

### Estudis i projectes sobre sismologia al territori

La tasca dels sismòlegs catalans ha estat molt important els darrers anys i han sabut posicionar-se com a capdavanters a Espanya en els estudis dirigits a l'estimació del risc sísmic. Fruit d'això existeix a Catalunya el Sismicat, el pla d'emergències sísmiques a Catalunya, un dels plans pioners a l'Estat espanyol (podeu trobar el Sismicat a la xarxa i a [www.gencat.cat](http://www.gencat.cat)).

D'altra banda, els últims anys s'han succeït un parell de projectes enfocats directament a la sismicitat i a l'estudi del risc sísmic als Pirineus. Estem parlant dels projectes *Isard* i *Syspir*.

#### ***Isard: Informació sísmica automàtica regional de danys***

L'*Isard* és un projecte finançat per fons Feder en el marc d'accions Interreg IIIa entre França i Espanya. La durada d'aquest projecte va ser de quatre anys, del 2003 al 2007. L'objectiu principal va ser obtenir informacions preventives i operacionals sobre el risc sísmic als Pirineus, sense les distorsions degudes a la frontera entre Espanya i França. Així, la finalitat és arribar a l'harmonització dels mitjans disponibles en cada país, des del pla reglamentari (normatives de prevenció) fins a l'operacional (actuació en cas d'emergència).

Això s'aconsegueix, d'un costat, per una avaluació total del risc sísmic a tots els

Pirineus i de l'altre, escollint dues zones pilots, que van ser Andorra i la Cerdanya.

L'avaluació del risc sísmic passa per realitzar:

- Una zonació sísmica transfronterera i unificada de tots els Pirineus (Secanell et al., 2007, figura 12) i la proposta d'una nova llei d'atenuació regional (Tapia et al., 2007, figura 13), i així obtenir mapes de perillositat sísmica unificats per a la regió.

- Avaluació d'escenaris realistes de dany sísmic en dos zones pilot (la Cerdanya i Andorra). Per fer aquesta avaluació cal tenir en compte els efectes locals (figura 14) a les zones

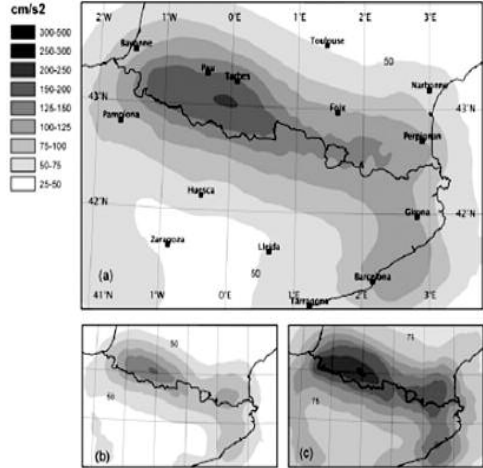


Figura 12. "Peligrisidad sísmica de la región pirenaica: a) mapa de valores de PGA medianos para un período de retorno de 475 años; b) mapa de valores de PGA, percentil 15 para el mismo período de retorno; c) mapa de valores de PGA, percentil 85 para el mismo período de retorno." (Secanell et al., 2007)

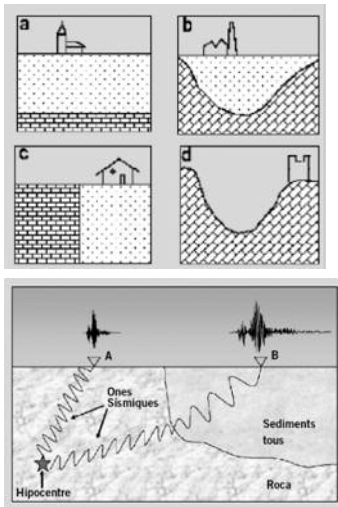


Figura 14. Diferents situacions on tenen lloc els efectes locals. a) Capes sedimentàries horitzontals sobre basament rocós. b) Ompliment sedimentari d'una vall. c) Fortes discontinuïtats laterals d) relleus. I modificació del moviment sísmic en presència de sediments

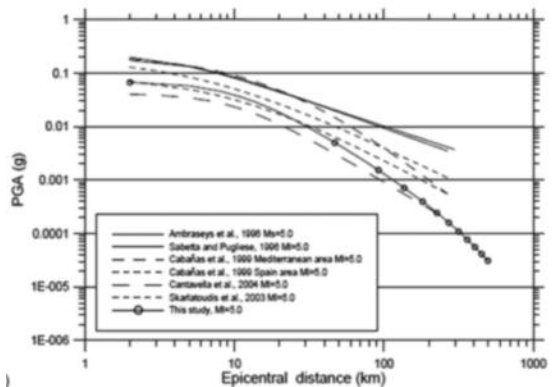


Figura 13. Lleis d'atenuació per a la regió pirenaica (etiquetada com *this study*) comparada amb altres lleis d'atenuació espanyoles i europees. (Tapia, 2006)

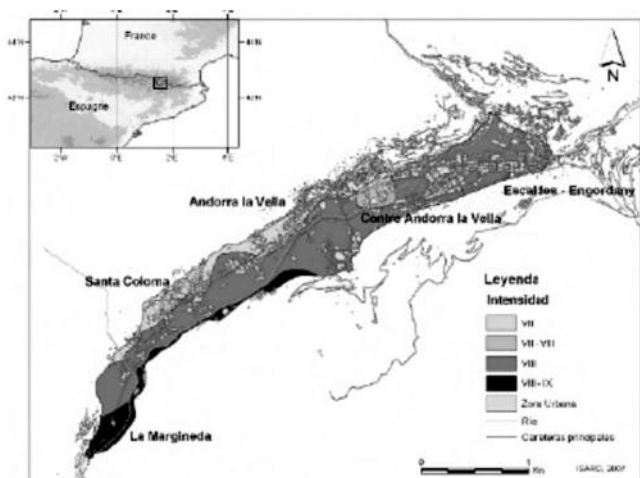


Figura 15. Zonificació de la cubeta d'Andorra en termes d'intensitat macrosísmica per a un escenari determinista i on es tenen en compte els efectes locals (Macau et al., 2007)

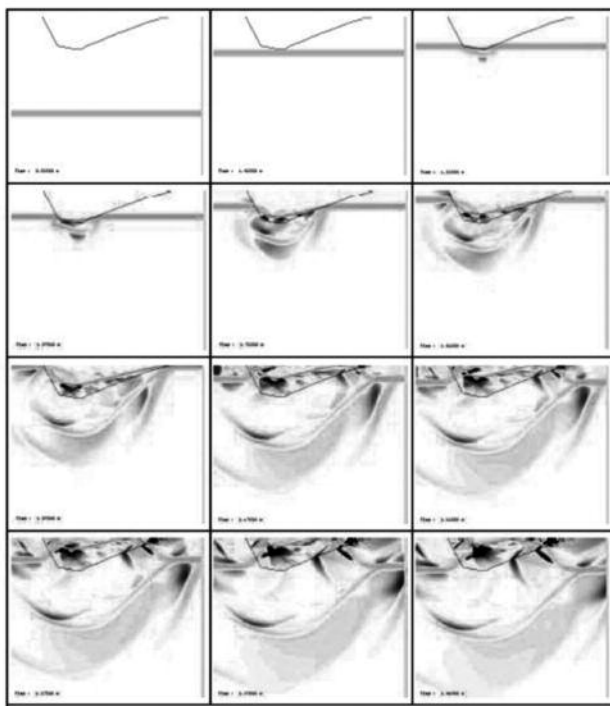


Figura 16. Fotogrames de l'evolució del moviment sísmic a la vall de la Cerdanya fet amb modelització sintètica. (Tapia, 2006)



pilot, com ara l'amplificació del moviment degut als sòls, ja que el moviment sísmic davant diferents configuracions del terreny es pot veure modificat i augmentat dramàticament (figura 15 i figura 16).

### **Sispyr: Sistema d'informació sísmica dels Pirineus**

Aquest projecte és la continuació natural del projecte anterior, Isard. Està emmarcat en el programa europeu Interreg Iva 2007-2013 entre Espanya, França i Andorra, i té com a objectiu la posada en marxa d'un sistema comú d'adquisició de dades sobre terratrèmols als Pirineus i una millor adequació dels mitjans científics per a la preparació de la gestió de la crisi sísmica als Pirineus. Aquest cop les zones pilot d'aquest estudi són la Val d'Aran i les ciutats de Lourdes i Girona. Per a més informació podeu consultar la web del projecte, [www.sispyr.eu](http://www.sispyr.eu).

### **Referències**

- Macau, A.; Figueras, S.; Susagna, T.; Colas, B.; Le Brun, B.; Bitri, A.; Cirés, J.; González, M.; Roullé, A. (2007) "Microzonación sísmica en el Pirineo Oriental en términos de aceleración y intensidad macrosísmica". 3r Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 8-11 mayo 2007, Girona.
- Secanell, R.; Martín, Ch.; Goula, X.; Susagna, T.; Tapia, M.; Bertil, D.; Dominique, P.; Carbon, D.; Fleta, J. (2007b) "Evaluación probabilista de la peligrosidad sísmica de la region pirenaica". 3r Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 8-11 mayo 2007, Girona.
- Tapia, M.; Susagna, T.; Goula, X. (2007) "Curvas predictivas del movimiento del suelo en el Oeste del Mediterráneo". 3r Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 8-11 mayo 2007, Girona.
- Tapia, M. (2006) *Desarrollo y aplicación de métodos avanzados para la caracterización de la respuesta sísmica del suelo a escala regional y local*. [Tesi doctoral. Consultable en xarxa a: <http://hdl.handle.net/10803/6242>].