



Terratrèmols a Catalunya: com prevenir-ne els efectes



Terratrèmols a Catalunya: com prevenir-ne els efectes



Terratrèmols a Catalunya : com prevenir-ne els efectes. – (Divulgació ; 1)

Referències bibliogràfiques

ISBN 9788439381617

I. Goula i Suriñach, Xavier II. Institut Geològic de Catalunya III. Catalunya.

Departament de Política Territorial i Obres Públiques IV.

Col·lecció: Divulgació (Institut Geològic de Catalunya) ; 1

1. Terratrèmols – Catalunya 2. Risc sísmic – Catalunya

550.34(467.1)

Són autors dels diferents capítols:

Xavier Goula, Carme Olivera, Teresa Susagna, Sara Figueras, Josep Batlló, Jorge Fleta i Janira Irizarry de l'Institut Geològic de Catalunya; Àlex Barbat, Lluís Pujades i Juan Carlos Vielma de la UPC.

Disseny

Jordi Matas i Associats

Maquetació

Masgrau-Yani, SL Comunicació Visual

Impressió

SA de Litografia

1a edició: desembre 2009

Tiratge: 1.000 exemplars

Dipòsit Legal:

© Institut Geològic de Catalunya

Balmes, 209-211

08006 Barcelona

Imatge portada: Estació sísmica d'Estერი de Cardós (Pallars Sobirà)

Índex

Pròleg	5
Introducció	7
Part 1: El fenomen sísmic. Nocions de base	
1.1 Com i per què es produeixen els terratrèmols?	9
1.2 Com es mesuren els terratrèmols?	13
1.3 Factors que intervenen en el moviment del sòl	17
1.4 Efectes sísmics induïts	21
1.5 Terratrèmols al món, a Europa i a la península Ibèrica	25
Part 2: Els terratrèmols a Catalunya	
2.1 Terratrèmols medievals a Catalunya als segles XIV i XV	29
2.2 Terratrèmols recents	35
2.3 Deformacions tectòniques actuals	39
2.4 Xarxa sísmica de Catalunya	43
2.5 Xarxa d'accelerògrafs	47
Part 3: Reducció dels possibles efectes	
3.1 Criteris de disseny sísmic	53
3.2 Càlcul sísmic dels tipus d'edificis més comuns de Catalunya	55
3.3 Exemples de danys sísmics en edificis	57
3.4 Coneixement del risc: perillositat i vulnerabilitat	61
3.5 Pla d'emergències sísmiques de Catalunya (SISMICAT)	69
Per saber-ne més: llista de pàgines web i publicacions	75

Pròleg

Iniciem amb aquest volum la col·lecció *IGC divulgació*, que té com a objectiu apropar al públic en general diverses temàtiques de les Ciències de la Terra, en concret aquelles relacionades amb les activitats, els programes i els projectes de l'Institut Geològic de Catalunya.

Encetem la sèrie amb aquest llibre dedicat a la temàtica dels terratrèmols. L'observació dels terratrèmols, l'estudi de la sismicitat i l'avaluació del risc sísmic de Catalunya són tasques contínues de l'IGC que constitueixen un servei públic d'informació i un servei de suport als organismes responsables de la prevenció.

Els terratrèmols són fenòmens naturals que han ajudat a configurar el paisatge de la superfície terrestre al llarg de la història geològica del nostre planeta. Els seus efectes, però, poden ser destructors i, per tant, cal conèixer el fenomen per poder prendre mesures de prevenció i protecció.

Els terratrèmols no tenen lloc només a països distants i exòtics, com sovint ens ho recorden els mitjans de comunicació, sinó que, en menys grau i amb menys freqüència, també poden afectar les nostres contrades.

En aquest sentit, el llibre que presentem informa sobre el fenomen sísmic i sobre la seva incidència a Catalunya.

El llibre recull els continguts de l'exposició que va tenir lloc l'any 2007 amb motiu del 3r Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica a la ciutat de Girona, organitzat per l'Asociación Española de Ingeniería Sísmica (AEIS) i el Centre d'Estudis de la Construcció i Anàlisi de Materials (CECAM). Hi van participar especialistes de la matèria que formen part de dues de les institucions més actives en l'estudi del fenomen sísmic i en l'estudi de la reducció de la seva possible incidència a Catalunya, com són l'Institut Geològic de Catalunya del Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya i l'Escola Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de la Universitat Politècnica de Catalunya.

Esperem que aquest llibre sigui útil a totes les persones que volen conèixer els conceptes bàsics del fenomen sísmic, de la seva incidència a Catalunya i de les mesures que es prenen per reduir-ne els seus efectes. Tanmateix, el llibre té un component eminentment educatiu per als joves que acaben els estudis d'ensenyament mitjà o comencen estudis universitaris relacionats amb algunes de les moltes matèries que hi estan implicades: Geologia, Geofísica, Enginyeria Civil, Arquitectura i Protecció Civil, entre altres.

Antoni Roca i Adrover

Director de l'Institut Geològic de Catalunya

Introducció

Els terratrèmols poden ser molt destructors quan es produeixen en zones molt habitades i les construccions no estan ben preparades per resistir-los. En els últims anys, han tingut lloc alguns terratrèmols desastrosos, com és el del de Sumatra a finals de 2004, un del més grans terratrèmols coneguts a la història, que va generar un tsunami devastador; o al Pakistan a inicis de 2006, on es va veure com la mala qualitat de les construccions va ser la causa de la mort d'un gran nombre de persones.

Afortunadament, en el nostre país són poc freqüents però, de tant en tant, petits tremolors fan recordar que la Terra també és viva i que no estem exempts de poder patir algun estrall important. De fet, a l'edat mitjana una crisi sísmica important va sacsejar les comarques gironines.

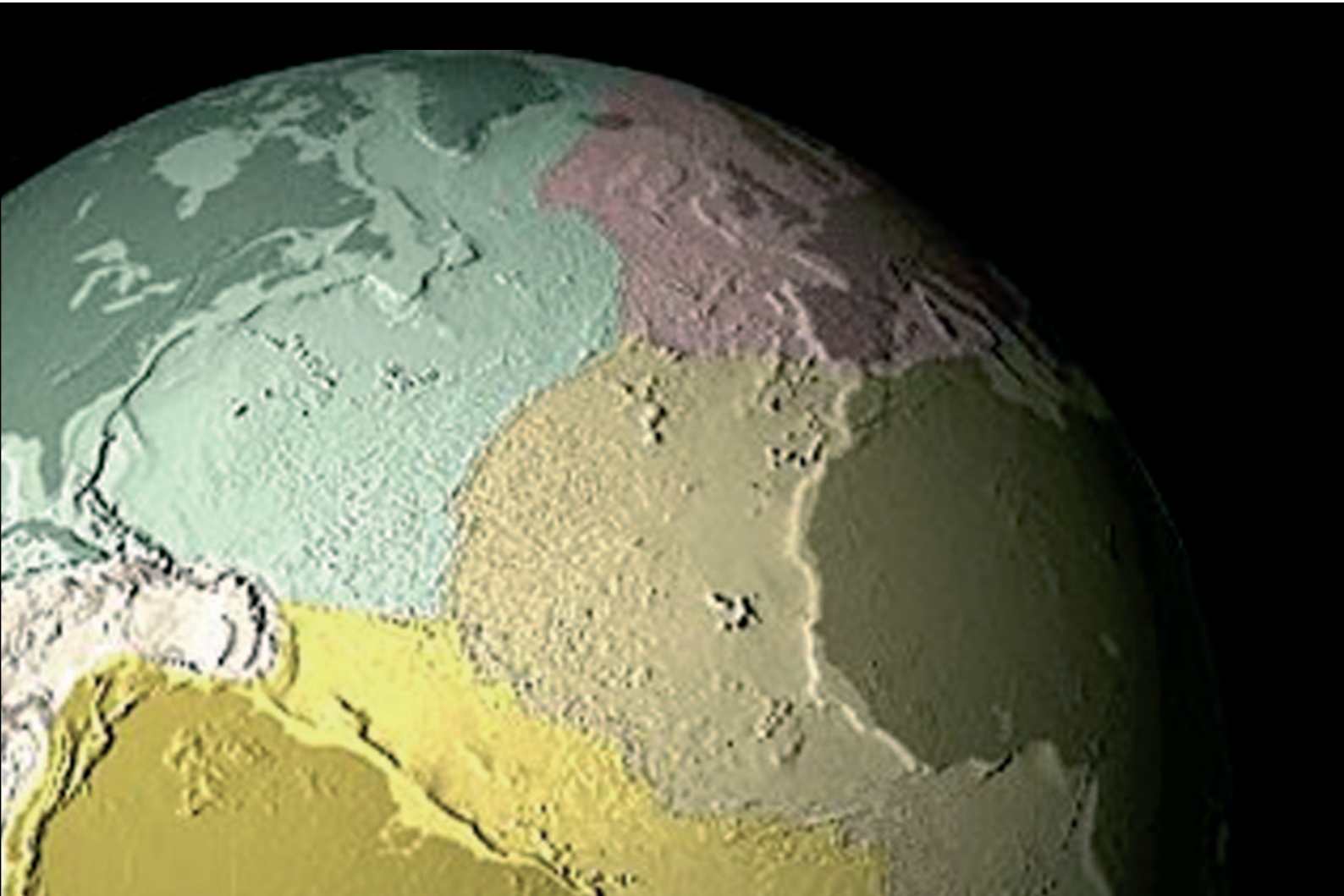
Cal tenir en compte que els terratrèmols no es poden preveure, a diferència d'altres fenòmens naturals, com és el cas de les inundacions, i per tant, l'única estratègia adequada és la de prevenir els seus efectes.

Per fer-ho cal: tenir un bon coneixement del fenomen; avaluar el risc existent, tant pel que fa a la probabilitat d'ocurrència de futurs terratrèmols, com a la vulnerabilitat de les construccions existents; prendre mesures a l'hora de projectar i construir nous edificis i infraestructures o rehabilitar edificis antics, per tal que siguin resistents als terratrèmols que puguin tenir lloc; organitzar plans d'emergència, per tal de tenir preparats els mitjans necessaris per fer front a una possible crisi i informar a la població sobre mesures d'autoprotecció.

En aquest sentit, aquest llibre dona informacions bàsiques dels aspectes tècnics, des del coneixement del fenomen sísmic fins a les mesures constructives i l'avaluació del risc per a la redacció de plans d'emergència. Aquest volum consta, doncs, de tres parts ben diferenciades: una primera, en que es donen els conceptes més bàsics del que és el fenomen sísmic, dividida en cinc capítols; una segona, en que es descriuen els terratrèmols a Catalunya, també en cinc capítols i una tercera, amb la descripció d'algunes mesures per disminuir o reduir els efectes dels terratrèmols.

Finalment es dona una llista de llibres i pàgines web per saber-ne més de tots aquests temes.

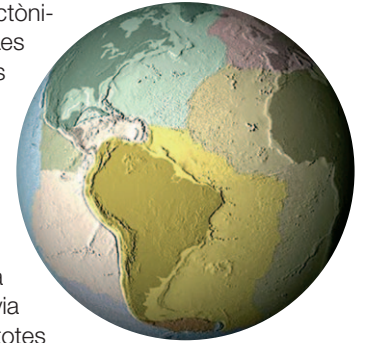
Part 1 El fenomen sísmic. Nocions de base



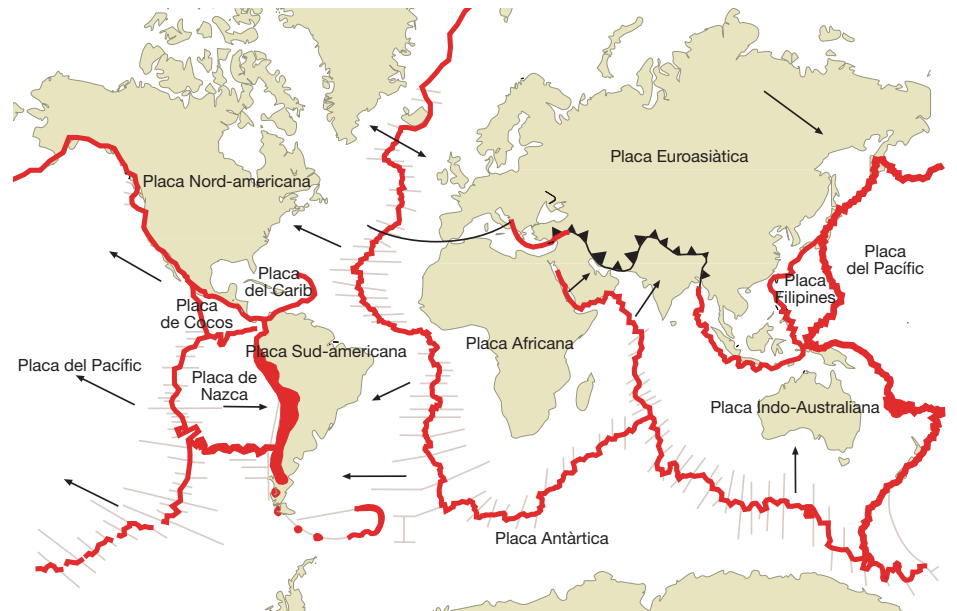
Com i per què es produeixen els terratrèmols?

1

L'escorça terrestre està formada per grans plaques tectòniques, sobre les quals hi ha els oceans i els continents. Les plaques no estan fixes, es van desplaçant a velocitats que poden ser d'alguns cm/any i, a més, no es mouen totes en el mateix sentit, sinó que poden moure's en sentits oposats.



El moviment de les plaques acumula esforços en els seus límits. Quan la resistència dels materials de l'escorça no pot suportar els esforços acumulats es produeix una ruptura i un alliberament sobtat de l'energia que s'havia anat acumulant, en forma d'ones que es propaguen en totes direccions produint una sacsejada del terreny. El punt on es pro-



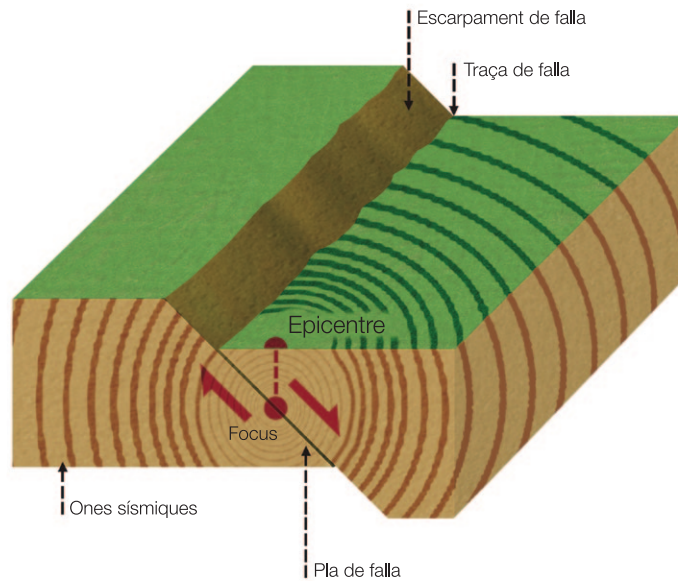
Plaques tectòniques.
Font: M. González, 2005.

Com i per què es produeixen els terratrèmols?

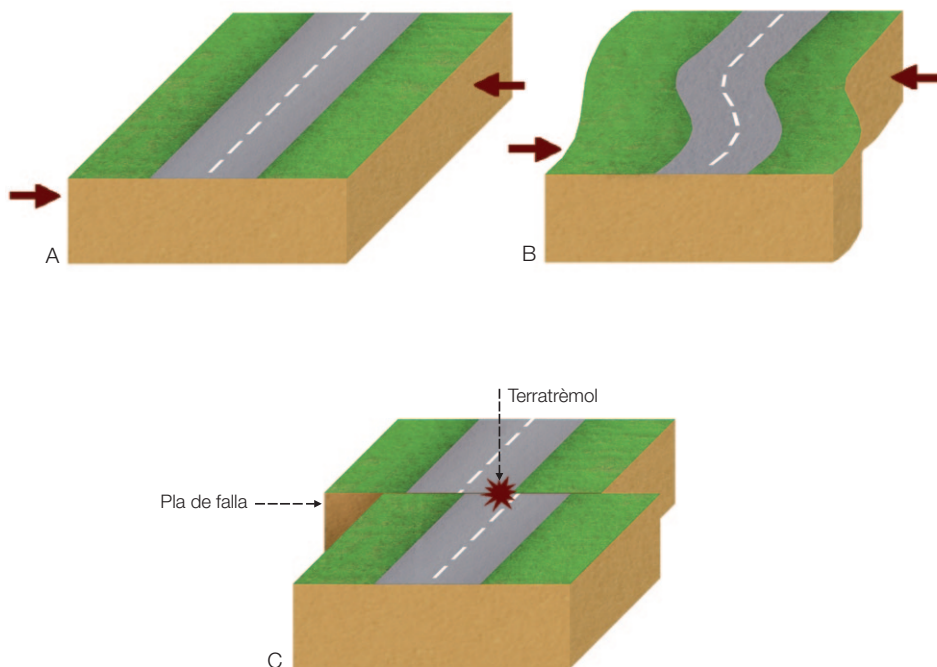
On es produeix la ruptura es coneix com a focus o hipocentre, i la seva projecció sobre la superfície terrestre és l'epicentre. La ruptura es propaga al llarg d'una falla, les dimensions de la qual estan en relació amb la magnitud del terratrèmol.

■ Què és un terratrèmol?

Un terratrèmol és un alliberament sobtat d'energia que es produeix en l'interior de la Terra i que pot ocasionar danys considerables a causa de les ones elàstiques que es propaguen des del focus fins a qualsevol punt de la superfície.



Esquema del focus d'un terratrèmol.



Esquema del procés (A, B i C) de la deformació tectònica d'un terratrèmol, "rebot elàstic".

■ Ones sísmiques

Quan es trenca la roca es generen ones que es propaguen a través de la Terra, tant per l'interior com per la seva superfície. Bàsicament, hi ha tres classes d'ones. Les primeres, anomenades ones P (primàries), consisteixen en la transmissió de compressions i dilatacions de la roca, de forma similar a la propagació del so.

Les segones, ones S (secundàries), consisteixen en la propagació d'ones de cisalla; les partícules es mouen en direcció perpendicular a la propagació de l'ona. Aquestes dues classes d'ones es poden propagar per l'interior de la Terra. La tercera classe són les ones superficials, que només es propaguen per la part més superficial de la Terra; les principals són les ones Love i les Rayleigh. Són aquestes ones les que generalment causen danys als edificis.

Com i per què es produeixen els terratrèmols?



Esquema de la propagació d'ones i els seus efectes.



*Imatges de danys en un edifici.
Font: Servei Geològic dels Estats Units (USGS).*

■ Quins són els efectes dels terratrèmols?

La sacsejada produïda pel pas de les ones provoca danys en els edificis. Els edificis suporten malament els esforços de cisalla. Per tant, es poden produir danys en els tancaments o bé en l'estructura i, fins i tot, el col·lapse de l'edifici si el moviment és suficientment intens i l'edifici no ha estat dissenyat i construït segons la normativa vigent.

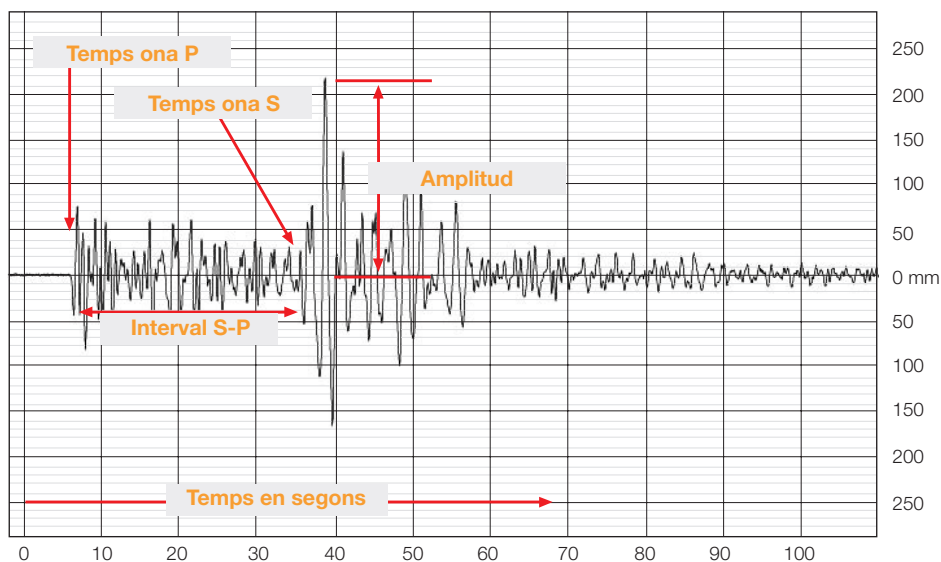
Com es mesuren els terratrèmols?

Els terratrèmols es poden mesurar principalment d'acord amb tres fonts d'informació: segons els instruments (sismògrafs), segons la documentació dels efectes percebuts i segons l'observació de ruptures del terreny.

■ Segons els instruments (sismògrafs)

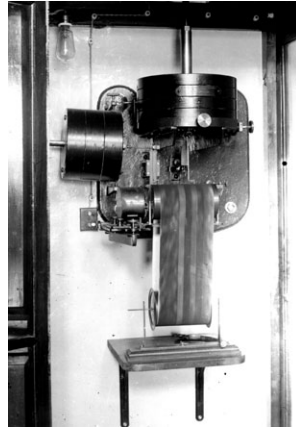
A començaments del segle XX es desenvolupen instruments sensibles per enregistrar les ones produïdes pels terratrèmols: sismògrafs i accelerògrafs. Els primers aparells estaven basats en pènduls de tipus mecànic de gran volum i pes, que han evolucionat actualment amb l'electrònica.

La magnitud és una mesura de la grandària del terratrèmol, que es calcula d'acord amb l'amplitud màxima de les ones enregistrades. És indicador de l'energia que ha alliberat i el seu valor és únic per a cada terratrèmol. L'escala de magnitud és logarítmica i no té límit superior, encara que no es coneixen terratrèmols de grandària més gran de 9,5 a causa dels límits imposats per les característiques de l'escorça terrestre.

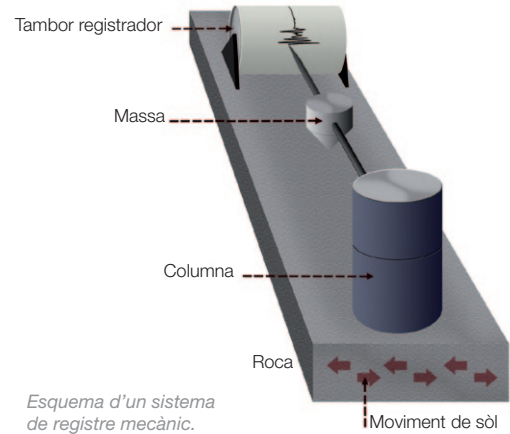


Esquema d'un sismograma amb els temps d'arribada de diferents fases i l'amplitud màxima del senyal sísmic.

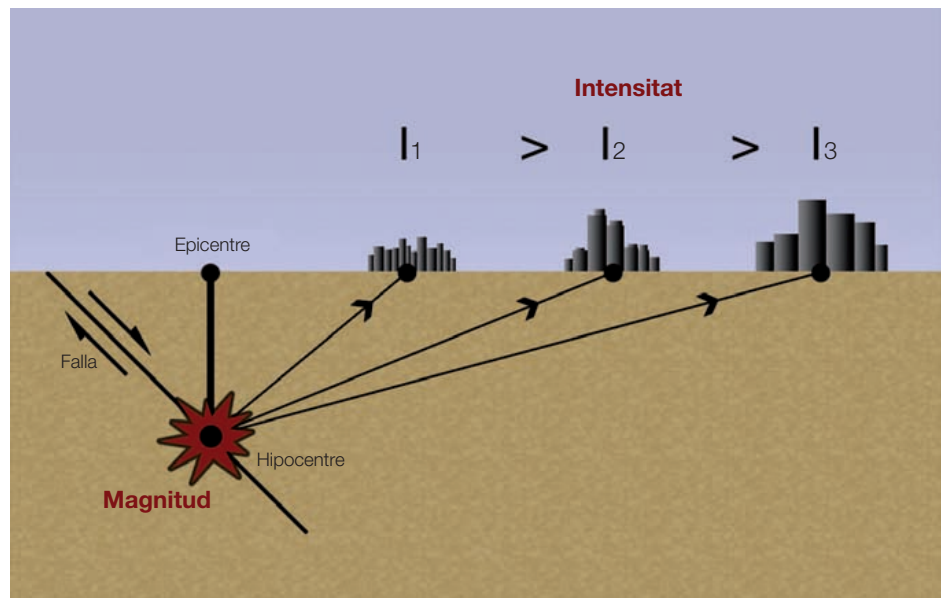
Com es mesuren els terratrèmols?



*Imatge d'un pèndol
Vicentini (1906) de
l'Observatori Fabra
de Barcelona.*



*Esquema d'un sistema
de registre mecànic.*



*Esquema de mesura
d'un terratrèmol
caracteritzat per una
magnitud i diferents
intensitats.*

2

■ Segons la documentació dels efectes percebuts

Per a terratrèmols suficientment grans com per haver estat percebuts per la població i, eventualment, haver causat alguns danys, s'utilitzen escales macrosísmiques d'intensitats, definides pels nivells de percepció de les persones i pels diferents graus de danys en els edificis. Al llarg del temps i en diferents països s'han utilitzat i s'utilitzen escales d'intensitat diferents (MM, MSK, EMS-92, EMS-98, etc.). La recerca de documentació de fons primàries permet el coneixement de terratrèmols ocorreguts en temps històrics.

Intensitat	Descripció
I	No percebut
II	Només percebut per persones en repòs
III	Percebut dins dels edificis
IV	Oscil·lació d'objectes penjants
V	Desplaçament d'objectes lleugers
VI	Danys lleugers
VII	Danys moderats
VIII	Danys greus
IX	Danys greus generalitzats

Esquema simplificat d'escala d'intensitat.

Per a cada terratrèmol hi poden haver diferents valors de la intensitat en funció de la distància del focus sísmic.

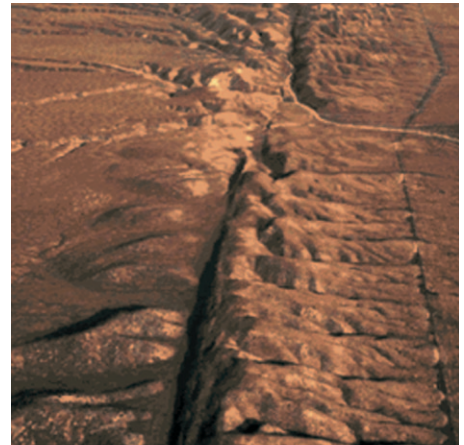
El conjunt d'informacions obtingudes relatives a cada terratrèmol permet la localització aproximada del terratrèmol i una estimació de la seva grandària.

■ Segons l'observació de ruptures del terreny

Quan amb el terratrèmol es produeix una ruptura en superfície, és possible mesurar la grandària del terratrèmol segons el trencament observat: longitud i amplada de la falla i salt que es produeix entre els dos costats de la falla.

Com es mesuren els terratrèmols?

Afortunadament només els grans terratrèmols produeixen trencament en superfície. Per tant, aquestes mesures només es podran realitzar en aquests casos i són les que permeten la recerca de grans terratrèmols prehistòrics (paleosismicitat).

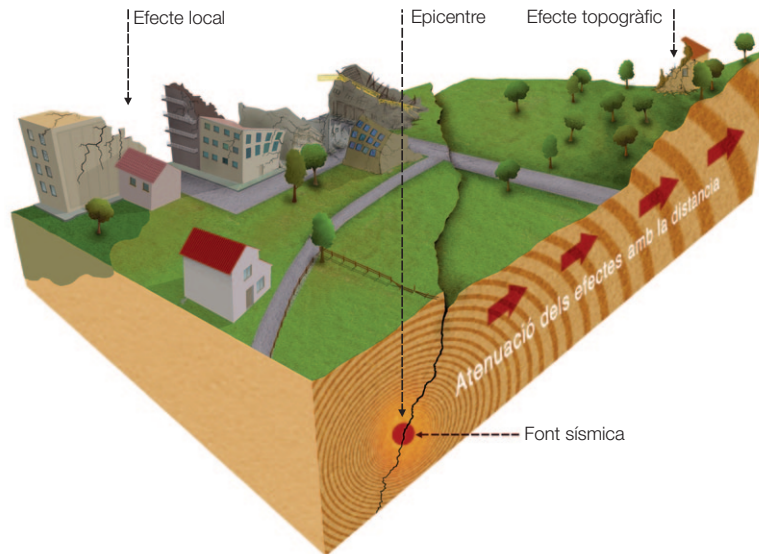


*Imatges de deformacions de superfície de grans terratrèmols.
Font: Earthquake plate collection, USGS.*

Factors que intervenen en el moviment del sòl

La vibració que, a causa d'un terratrèmol, s'observa en un punt determinat de la superfície de la Terra es pot considerar com el resultat de la superposició de tres factors:

- el trencament que es produeix a la font sísmica i que dóna lloc al terratrèmol,
- la propagació de les ones sísmiques,
- els efectes locals deguts a la geologia i la topografia del terreny proper al lloc d'observació.



Esquema dels diferents factors que intervenen en el moviment del sòl.

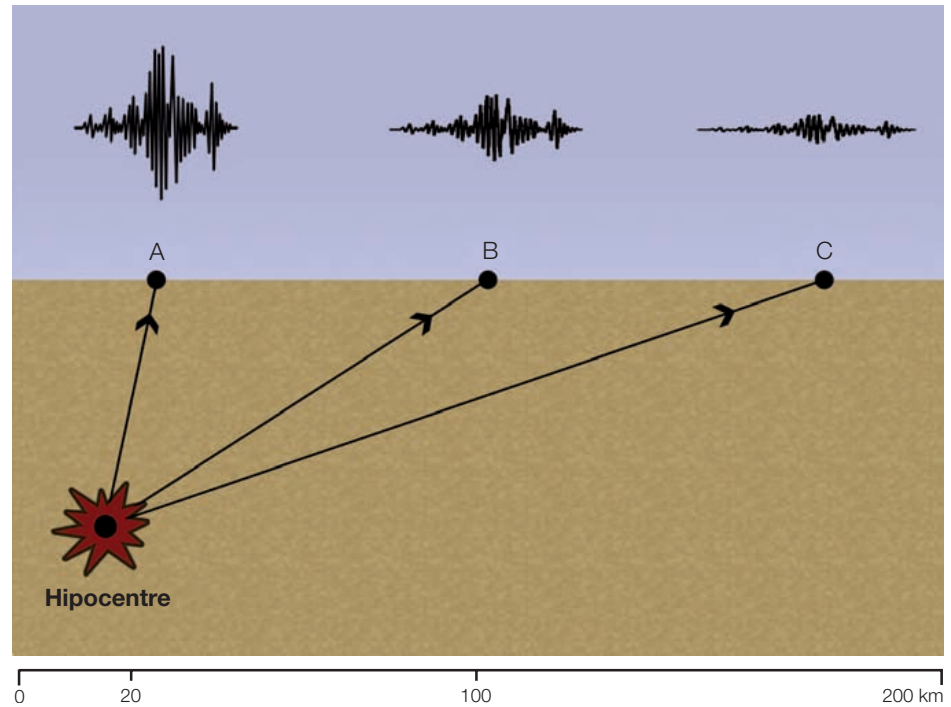
■ La font sísmica

Els paràmetres característics de la font sísmica són: la durada del trencament, la superfície del trencament al llarg del pla de falla, la velocitat de propagació de la ruptura i la magnitud, que mesura l'energia del terratrèmol.

■ La propagació de les ones sísmiques

Les ones sísmiques, durant la seva propagació, s'atenuen per causa de dos factors: l'augment de la distància respecte del focus i les imperfeccions dels materials per on es propaguen.

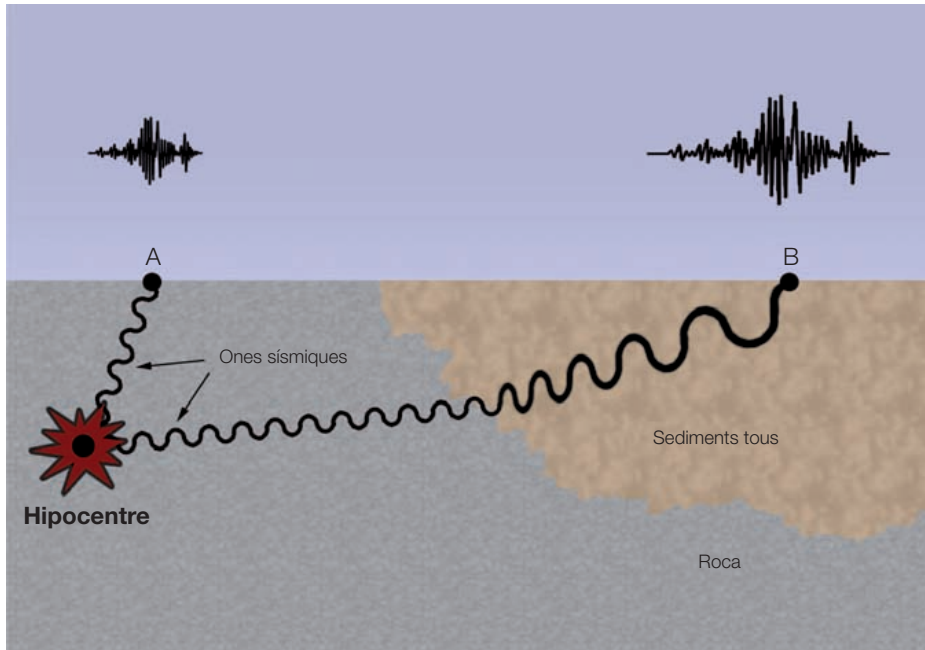
Factors que intervenen en el moviment del sòl



Esquema de l'atenuació de l'ona sísmica en funció de la distància.

■ Els efectes locals

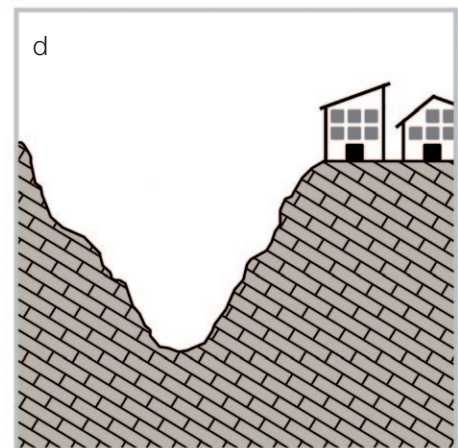
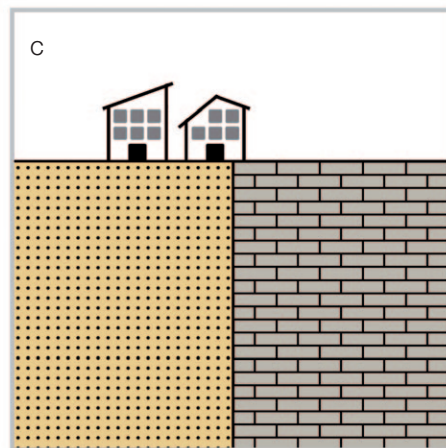
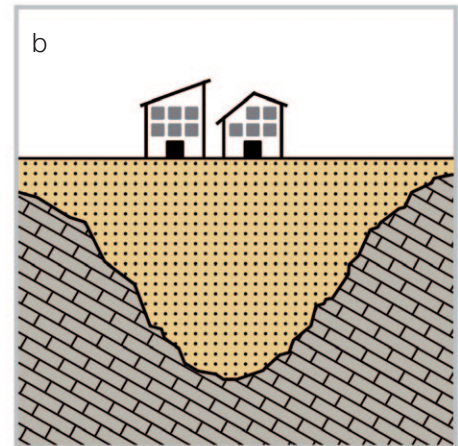
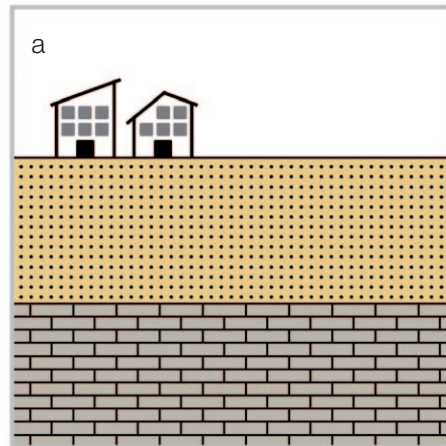
Quan les ones sísmiques es propaguen per conques sedimentaries o valls al·luvials, queden atrapades, s'interfereixen entre si i poden donar lloc a grans amplificacions del moviment del terreny. En general, les capes superficials de dipòsits sedimentaris tous i poc consolidats poden amplificar de manera important el moviment del sòl, contribuint a l'augment dels danys causats pels terratrèmols. Aquest fenomen físic es coneix amb el nom d'efecte de lloc. La topografia local també pot modificar les característiques de les ones incidents, donant lloc al que anomenem efecte topogràfic.



Els efectes locals modifiquen el senyal sísmic en la seva amplitud, contingut freqüencial i durada. Poden ser molt destructors si afecten el terreny on s'assenten les ciutats i els edificis essencials i, per tant, s'han de tenir en compte en la planificació territorial, en el disseny antisísmic d'estructures i en la revisió de les normes de construcció sismoresistent.

Els efectes de lloc i els efectes topogràfics s'engloben amb la denominació d'efectes locals; en les següents figures es mostren diferents estructures i configuracions típiques que poden donar lloc a efectes locals.

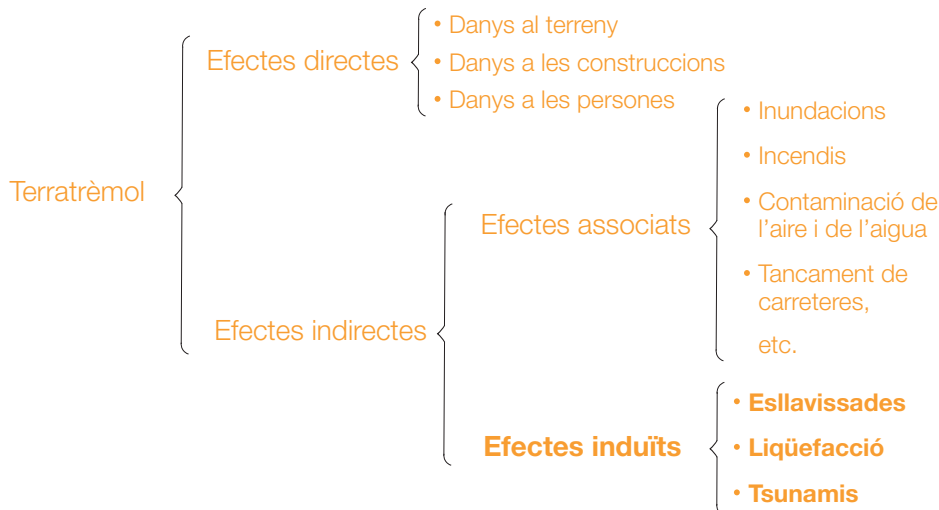
Factors que intervenen en el moviment del sòl



*Efectes locals:
a) Capes sedimentàries horitzontals sobre un fonament rocós. b) Rebliment sedimentari d'una vall. c) Fortes discontinuïtats laterals. d) Rellius (efecte topogràfic).*

Efectes sísmics induïts

Com s'ha vist en els capítols anteriors, en un terratrèmol l'energia que es dissipa i es transmet en forma d'ones elàstiques és la que produeix la vibració del terreny que ocasiona els danys en les edificacions. A més d'aquests danys, poden tenir lloc altres efectes, uns anomenats efectes associats, que són conseqüència dels danys produïts en estructures i infraestructures per la vibració, i uns altres anomenats "efectes induïts", que són els efectes en el terreny (desestabilització de vessants, líquefacció dels sòls i tsunamis).



■ Eslavissaments de terreny

El nombre d'esllavissades produïdes per terratrèmols s'incrementen generalment amb l'augment de la magnitud, però les condicions geològiques locals i els paràmetres sísmics també hi tenen una influència important. Les esllavissades més abundants i destructives activades per terratrèmols són les caigudes de roques i els fluxos ràpids de terreny. La majoria de morts causats per aquests lliscaments queden sepultats o són transportats a alguns kilòmetres del lloc d'iniciació de l'esllavissada.

■ Lliquèfacció

La lliquèfacció és un fenomen que pot produir-se en terrenys formats per sorres i llims saturats d'aigua. Quan les ones sísmiques d'un gran terratrèmol es propaguen en aquests tipus de terreny, les vibracions que s'hi produeixen donen lloc a un reagrupament dels grans de sorra cap a una formació més densa i, per tant, l'aigua que es troba entre la sorra tendeix a alliberar-se ascendint amb gran pressió, arrossegant una quantitat de sorra cap a la superfície i formant petits volcans de fang. El terreny perd la seva consistència i es comporta momentàniament com un líquid. La lliquèfacció en un terreny pot donar lloc al bolcament i l'enfonsament de les estructures i edificis que es troben damunt.

Esllavissada activada pel sisme d'Alaska de l'any 1964. Font: USGS.



Sisme Niigata, Japó, 1964. Font: USGS.



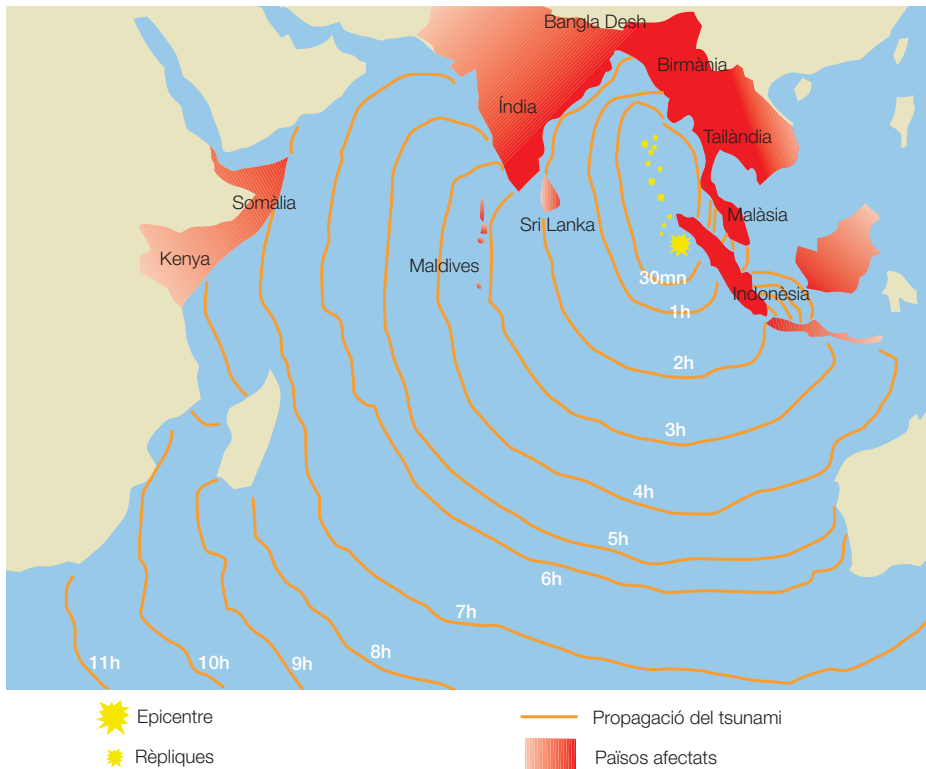
■ Tsunamis

Paraula d'origen japonès: (de “tsu” que significa port i “nami” que significa ona) es refereix a una gran onada que entra en un port. Els terratrèmols, les erupcions volcàniques i les grans esllavissades submarines tenen el potencial suficient com per generar un tsunami. També pot estar produït per la caiguda d'un meteorit a l'oceà.

Els tsunamis més comuns són els generats per terratrèmols amb epicentre marí, la falla sísmica ha de trencar la superfície del fons oceànic i produir desplaçaments verticals que puguin empènyer la columna d'aigua que hi ha al damunt. En aquest cas, es generen una sèrie d'onades que es propaguen a gran velocitat, amb cercles de radi creixent a partir del punt d'impacte. En apropar-se a una zona costanera,

4

l'ona es va frenant i va augmentant la seva alçada formant-se una gran paret d'aigua; la força de l'onada fa que l'aigua entri fins a centenars de metres terra endins. Els tsunamis més grans coneguts s'han produït en les falles inverses amb un angle d'inclinació petit, típiques de les zones de subducció. Els tsunamis poden produir onades de fins a 40 m d'alçada i devastar zones costaneres situades lluny de l'epicentre.

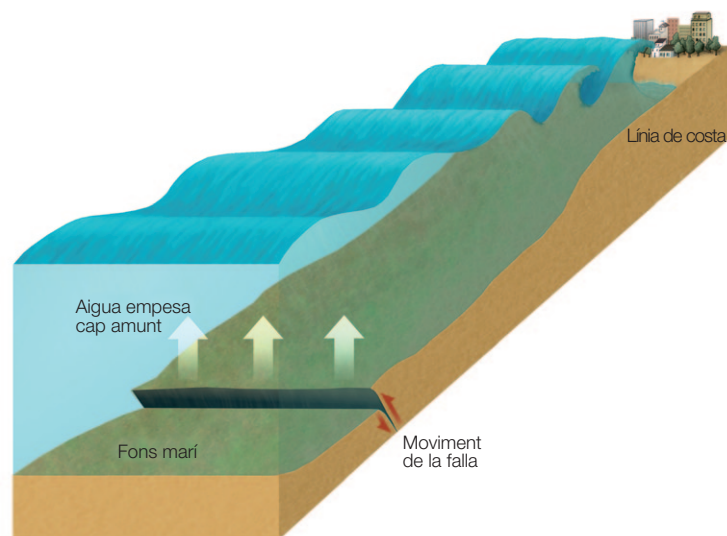


Esquema de propagació del tsunami de Sumatra del 26/12/2004. Font: Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Rússia.

Efectes sísmics induïts

El tsunami de Sumatra del 26 de desembre de 2004, catalogat com el més destructiu de la història, va ser produït per un sísmes marí de magnitud 9,3 a una fondària de 30 km en una zona de subducció entre les plaques de la Índia i de Birmània. El tsunami va afectar totes les costes de l'oceà Índic, també va produir danys a Sud-àfrica, Austràlia, l'Antàrtica i va ésser enregistrat a les costes orientals del Sud i Amèrica del Nord.

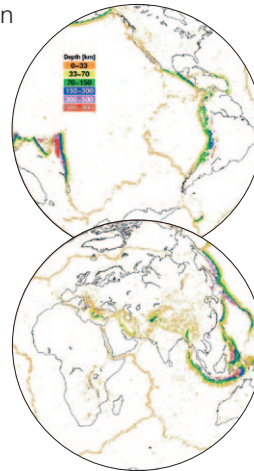
*Imatges satèl·lit d'una zona de la costa del Banda Aceh (Illa de Sumatra, Indonèsia) abans i després del tsunami del 26/12/2004.
Font: Digitalglobe.*



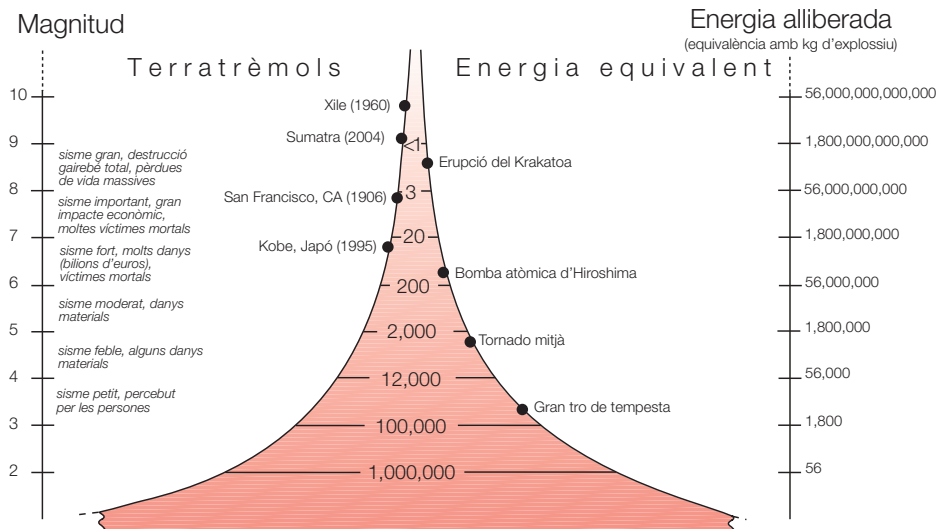
Esquema de la generació d'un tsunami per una falla inversa.

Terratrèmols al món, a Europa i a la península Ibèrica

Un terratrèmol pot produir-se a qualsevol lloc, però hi ha llocs on són més probables que a d'altres. Si mirem un mapa, veurem que els terratrèmols es distribueixen molt especialment al llarg dels límits de les plaques tectòniques que constitueixen l'escorça de la Terra. La part occidental d'Amèrica del Nord (Califòrnia, Mèxic) i el Japó són dues zones on el moviment relatiu de les plaques és molt accelerat i, per tant, hi ha molts i forts terratrèmols.



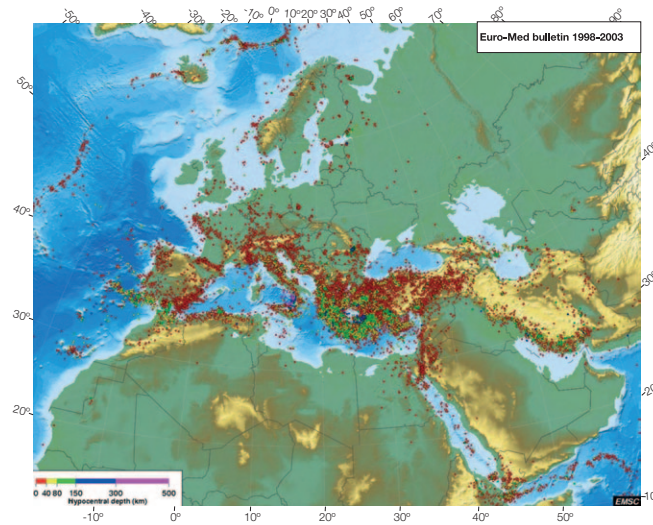
A la zona d'Europa i la Mediterrània els principals marges de plaques es troben al sud (és el contacte entre la placa africana i la euroasiàtica per la Mediterrània) i és aquí on es produeixen més terratrèmols. Actualment el marge oriental té més moviment (i, per tant, està sotmès a més deformacions i acumulacions d'esforços que l'occidental). Per això, allà s'hi produeixen més terratrèmols i la seva magnitud és més gran. Recordem els grans terratrèmols recents a Turquia.



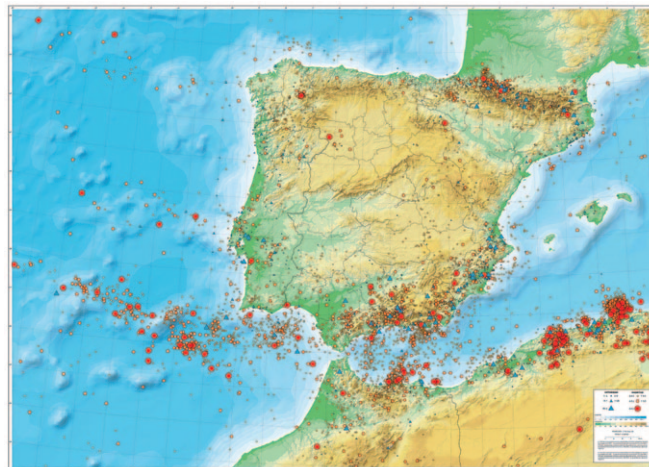
Esquema representant el nombre anual de terratrèmols en el món.
Font: USGS.

Terratrèmols al món, a Europa i a la península Ibèrica

Mapa de sismicitat de la regió Mediterrània 1998-2003. Font: Centre Sismològic Euro-mediterrani (CSEM).



Sismicitat de la península Ibèrica i zones properes. Font: Instituto Geográfico Nacional (IGN).



El contacte entre les plaques és complex; en algunes èpoques geològiques Àfrica i Europa s'han separat (extensió) i en altres s'han apropat (compressió). El contacte es ramifica i hi ha moltes fractures secundàries. Es per això que la sismicitat es manifesta de forma dispersa a la península italiana i encara més als Balcans. Els Pirineus també són fruit d'aquest estat d'esforços i part del sistema de fractures.

A la península Ibèrica hi ha terratrèmols, però la seva freqüència i virulència no pot comparar-se a les d'altres zones de la Mediterrània. Les zones més exposades són la part sud de la península, molt especialment la part oriental, on les serralades bètiques i penibètiques són fruit del "xoc" amb Àfrica i, per tant, degut als esforços acumulats, es produeixen terratrèmols a tota la zona. Els Pirineus són, també, una altra zona on es concen-

5

tren les tensions geològiques a la Mediterrània i on, amb menys intensitat, s'hi produeixen aquests fenòmens. Un altre focus conegut de terratrèmols a Catalunya, encara queda menys intensitat, és el sistema de serralades costaneres.

Mitjançant les referències escrites, coneixem tots els terratrèmols importants ocorreguts a la península Ibèrica des de l'any 1000 de la nostra era. L'estudi estadístic ens diu que s'hi produeix un terratrèmol destructor cada 100 o 150 anys. L'últim terratrèmol destructor que es recorda a la península és l'ocorregut el dia 25 de desembre de 1884 amb epicentre a Arenas del Rey, un poblet prop de Granada. Va ocasionar prop de mil víctimes.

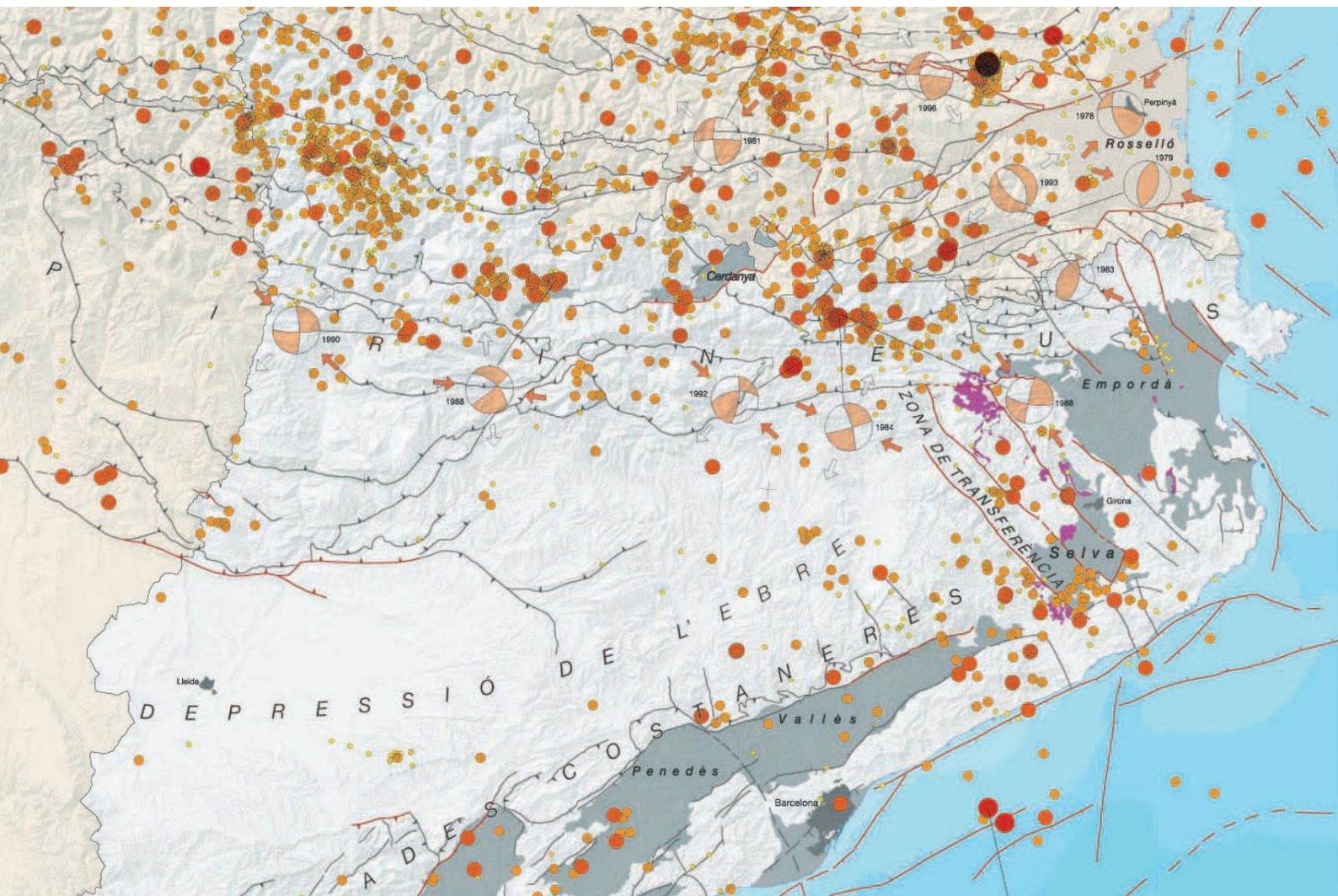


Detall de les destrosses produïdes pel terratrèmol de Nadal de 1884 al poble de Velez-Málaga. A l'època la fotografia encara no era gaire comuna i es tracta d'un apunt pres uns dies després, quan ja s'han apuntalat algunes façanes.
Font: IGN.



Destrosses produïdes pel terratrèmol de Nadal de 1884 al poble de Murchas. Noteu la campana caiguda a la base de la finestra del campanar.
Font: IGN.

Part 2 Els terratrèmols a Catalunya



Terratrèmols medievals a Catalunya als segles XIV i XV

6

La documentació escrita en èpoques històriques (anterior al segle XX) és, sortosament, molt abundant, i el seu estat de conservació és bo. Això ens ha permès saber que durant els segles XIV i XV es van produir una sèrie de terratrèmols que van causar destrucció a Catalunya.

Per iniciativa del Servei Geològic de Catalunya, al 1985 es va impulsar un projecte per a la revisió de la documentació relativa a aquests sismes amb l'objectiu d'obtenir un catàleg fiable i complet que, alhora, contribuiria a una avaluació més realista de la perillositat sísmica. El projecte culminà amb la publicació, al 2006, d'un llibre que recull els resultats del treball interdisciplinari portat a terme per sismòlegs, historiadors i geògrafs sobre els terratrèmols històrics més importants a Catalunya, els quals van succeir als segles XIV i XV.

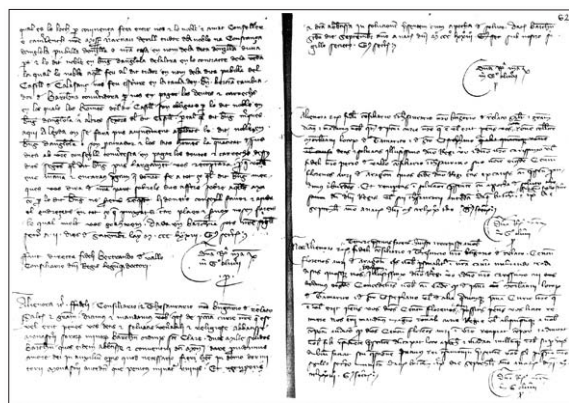
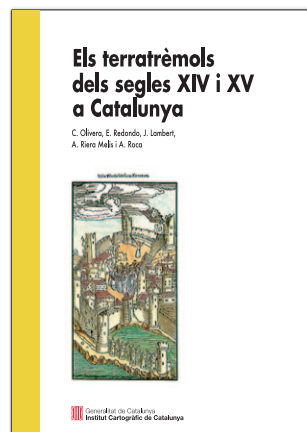
■ Com estudiar els terratrèmols històrics?

Per conèixer els esdeveniments del passat cal fer una recerca de la documentació coetània als terratrèmols conservada als arxius. Les notícies són transcrites i analitzades en el context

històric tenint en compte les característiques de les fonts (tipus, intencionalitat, etc.).

L'anàlisi crítica de la documentació original referent a tots els terratrèmols històrics baixmedievals i l'aplicació de criteris homogenis de valoració són imprescindibles per fer una interpretació fiable dels moviments sísmics.

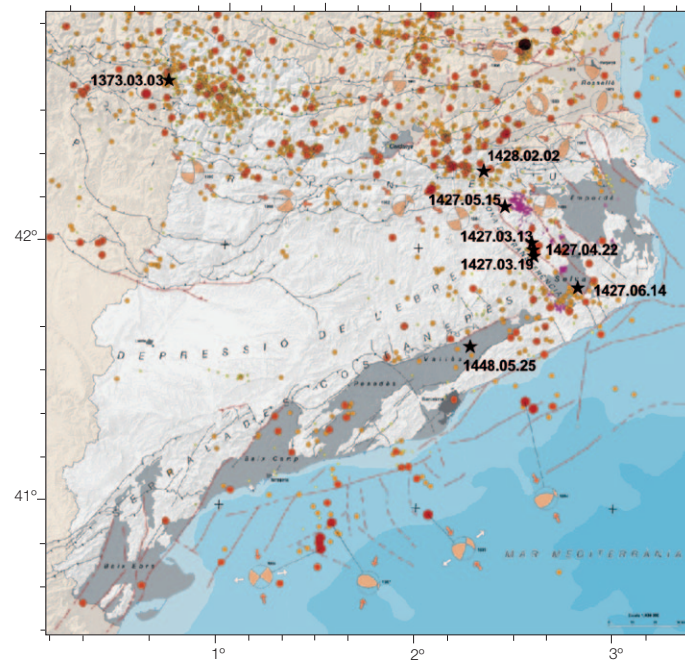
Extracte d'un document original contemporani dels terratrèmols.



■ Els terratrèmols dels segles XIV i XV

Fruit del treball de recerca i revisió de les notícies s'ha elaborat un catàleg dels terratrèmols més intensos dels segles XIV i XV. En aquest catàleg s'explicita per a cada sisme la data, l'hora, la regió epicentral, l'epicentre (latitud nord, longitud est), la intensitat epicentral (I_0) i un índex de qualitat (A més bona, D més dolenta) per aquests dos paràmetres (Q_e i Q_i). Si hi ha suficients dades, també es fa un càlcul de la fondària dels focus (h) en km i de la magnitud del sisme (M_w).

D'aquest catàleg es desprèn que hi ha 8 terratrèmols baixmedievals succeïts a Catalunya que tenen un valor de I_0 superior a VI. El més important és el del 2 de febrer de 1428, que va tenir lloc a la zona de Camprodon, amb una intensitat epicentral $I_0=IX$ (EMS-98) i amb una magnitud $M_w=6,5$.



Mapa de situació dels epicentres dels terratrèmols més intensos dels segles XIV i XV sobre un fons de la sismicitat actual.
Font: IGC 1999.

Data	Hora	Regió	Lat N	Lon E	Q _e	I _o	Q _i	h	M _w
1373.03.03	1-2	Ribagorça-Val d'Aran	42° 38'	0° 41'	D	VIII-IX	C	16	6.2
1427.03.13	11	Amer	42° 02'	2° 35'	C	VI-VII	C		5.0
1427.03.19	21	Amer-Osor	41° 59'	2° 35'	B	VIII	C	6	5.9
1427.04.22	22	Lloret Salvatge	41° 59'	2° 35'	B	VI-VII	C		5.0
1427.05.15	15-16	Vall d'en Bas - Olot	42° 10'	2° 26'	B	VIII	C	<5	5.8
1427.06.14	12	Caldes de Malavella	41° 51'	2° 49'	C	VII	C		5.3
1428.02.02	8-9	Camprodon	42° 18'	2° 20'	B	IX	C	9	6.5
1448.05.25	1	Granollers	41° 38'	2° 17'	C	VII-VIII	C		5.6

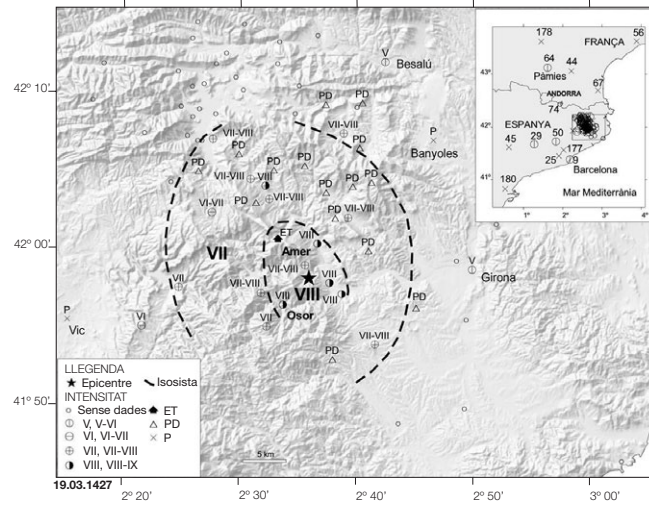
Llista dels terratrèmols més intensos dels segles XIV i XV a Catalunya.

■ La seqüència sísmica de 1427

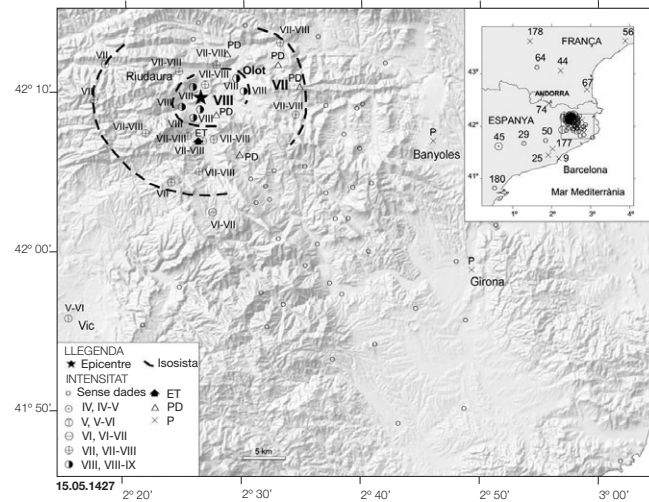
Durant l'any 1427 va tenir lloc una seqüència de nombroses sacsejades. Els dos sismes més intensos d'aquesta seqüència són el del 19 de març i el del 15 de maig (en negreta els sismes amb $l_o > VI$).

Data	Hora	Regió	Lat N	Lon E	Q _e	I _o	Q _i	h	M _w
1427.02		Amer	42° 02'	2° 35'	C	<IV	C		
1427.03.02	21	Amer	42° 02'	2° 35'	C	V	C		
1427.03.03	1-2h	Amer	42° 02'	2° 35'	C	V	C		
1427.03.13	11	Amer	42° 02'	2° 35'	C	VI-VII	C		5.0
1427.03.14	12h	Amer	42° 02'	2° 35'	C	VI	C		
1427.03.15	23h	Amer	42° 02'	2° 35'	C	VI	C		
1427.03.19	21	Amer-Osor	41° 59'	2° 35'	B	VIII	C	6	5.9
1427.03.21	12h	Amer-Osor	41° 59'	2° 35'	C	IV-V	C		
1427.03.22	13h	Amer-Osor	41° 59'	2° 35'	C	IV-V	C		
1427.04.13	1-24h	Lloret Salvatge	41° 59'	2° 35'	C	IV-V	C		
1427.04.22	22	Lloret Salvatge	41° 59'	2° 35'	B	VI-VII	C		5.0
1427.04.23	11	Lloret Salvatge	41° 59'	2° 35'	B	IV	C		
1427.05.15	15-16	Vall d'en Bas-Olot	42° 10'	2° 26'	B	VIII	C	<5	5.8
05.15 - 06.04	1-24h	Vall d'en Bas-Olot	42° 10'	2° 26'	C	<IV	C		
1427.06.08		Caldes de Malavella	41° 51'	2° 49'	C	V	C		
1427.06.12	1-24h	Caldes de Malavella	41° 51'	2° 49'	C	<IV	C		
1427.06.14	12	Caldes de Malavella	41° 51'	2° 49'	C	VII	C		5.3
06.15 - 08.31		Caldes de Malavella	41° 51'	2° 49'	C	<V	C		
1427.12.25		?	?	?					

Terratrèmols medievals a Catalunya als segles XIV i XV

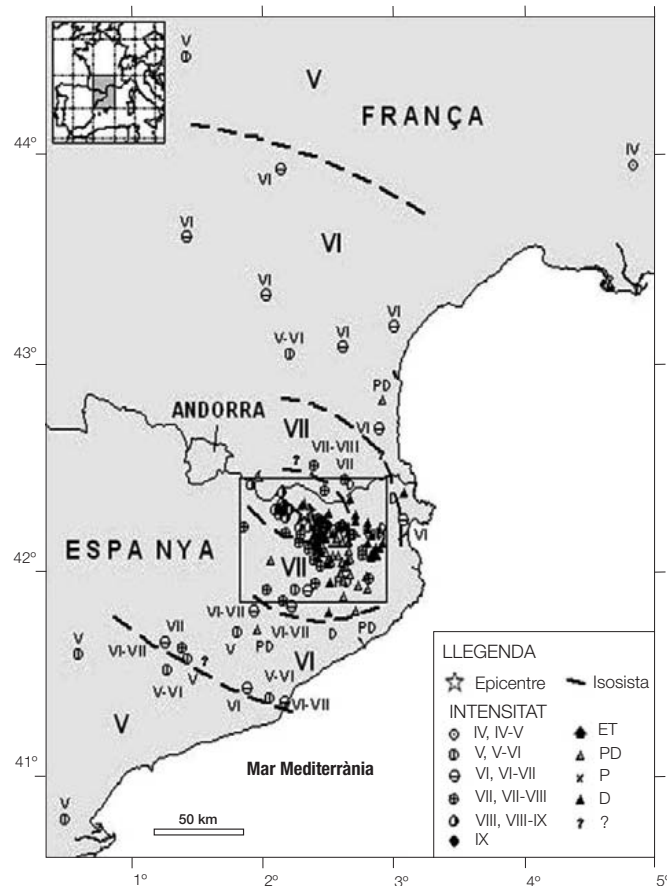


Mapa d'intensitats puntuals, epicentre i isosistes corresponent al terratrèmol del 19 de març de 1427 (dalt) i al del 15 de maig de 1427 (baix). Nomenclatura: P (percepció), PD (probable dany), ET (efecte en el terreny).



■ El terratrèmol del 2 de febrer de 1428

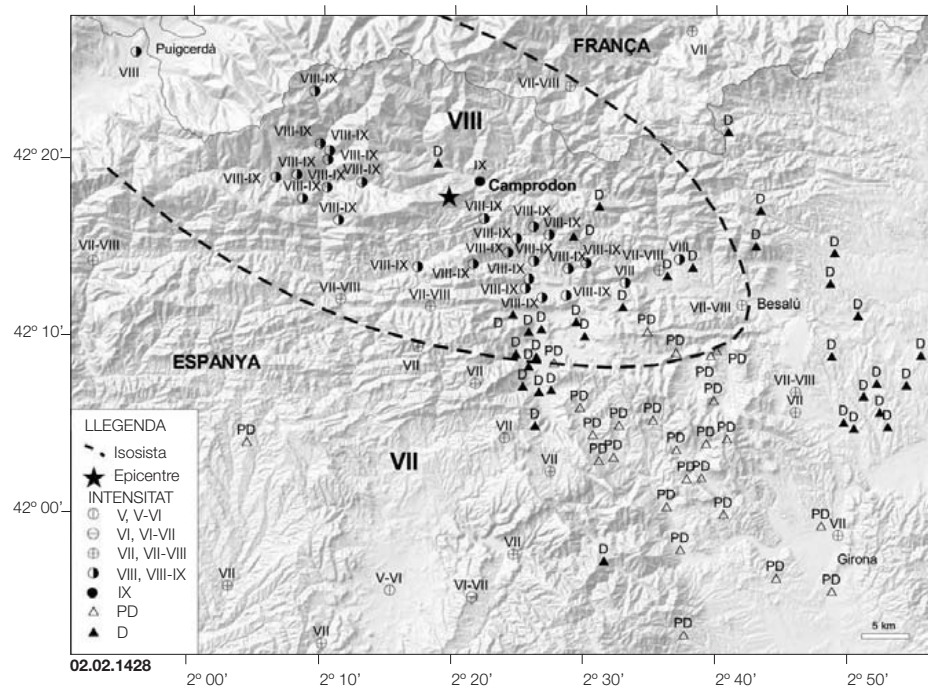
El terratrèmol més important d'aquesta crisi sísmica, succeït el 2 de febrer de 1428, va produir danys a Catalunya i a França, i va causar un gran impacte perquè va provocar més de 1.000 morts. L'epicentre es va situar prop de Camprodon.



Mapa A

Mapes A i B:
Isosistes del terratrèmol del 2 de febrer de 1428 i detall de la zona de màxims danys (I=IX).
Nomenclatura: PD (probable dany), D (dany).

Terratrèmols medievals a Catalunya als segles XIV i XV



Terratrèmols recents

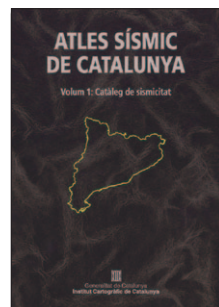
El NE de la península Ibèrica és actualment una zona de sismicitat moderada. No obstant això, a l'edat mitjana van succeir diversos terratrèmols destructors que afectaren gran part del territori, el més important d'intensitat IX (EMS-98). Durant el segle XX dos terratrèmols van produir danys, amb intensitats de VIII (MSK) i VII (MSK).

■ Informació macrosísmica

S'ha recopilat la informació macrosísmica del NE d'Espanya i sud de França a fi d'obtenir un catàleg homogeni que reculli de manera fiable l'estat actual del coneixement de la sismicitat.

El catàleg es va publicar com a volum 1 de l'Atlas sísmic de Catalunya. Aquest catàleg es pot consultar en el web de l'IGC (<http://www.igc.cat>).

Els sismes que han produït danys són: el sisme del 19 de novembre de 1923 d'intensitat epicentral VIII (MSK) a la Val d'Aran, mateixa zona del succeït al 1373, i el sisme del 12 de març de 1927, d'intensitat epicentral VII (MSK), al Vallès Oriental, al NE de l'epicentre del terratrèmol de 1448.



Mapa d'epicentres del segle XX.

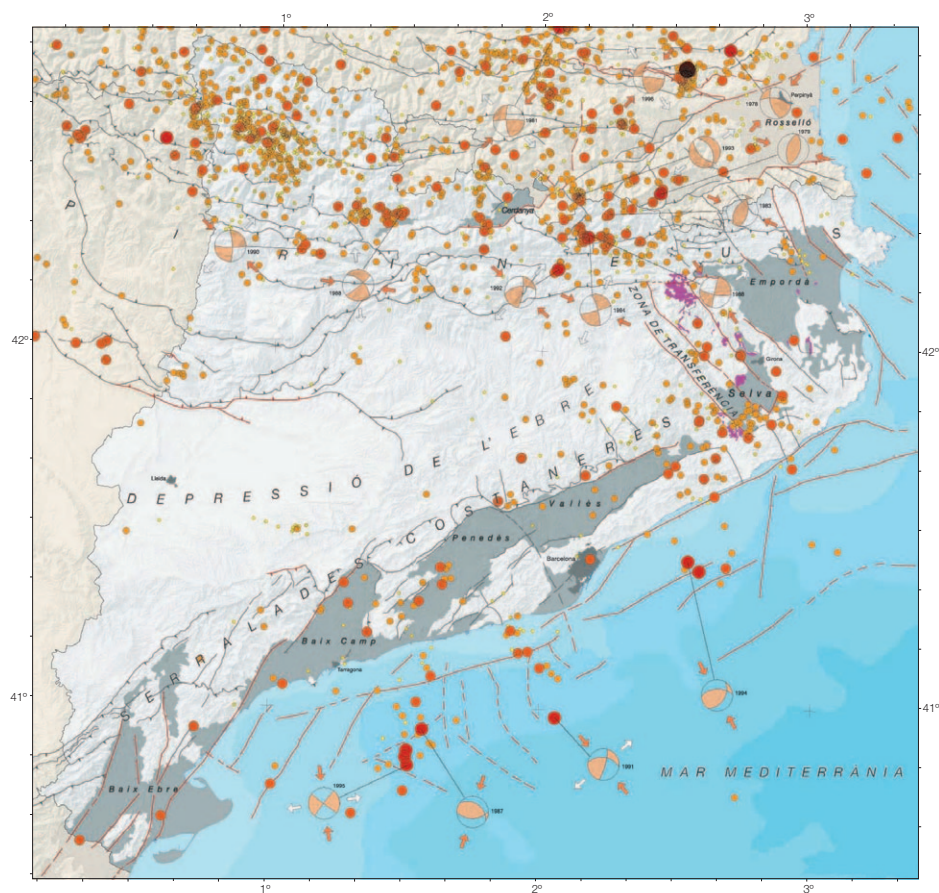
Terratrèmols recents

Codi	Data	Hora	Latitud	Longitud	QE	Tipus d'event	Relació	N3	Io	Ix	QI	OM	Regió	Referència principal			
6720	09-12-1921		42° 18' 0"	2° 24' 0"	3								Setcases (Girona)	IGN			
6730	16-12-1921	14h 43min	41° 59' 36"	2° 34' 42"	1				N-V	IV-V	1	14	Susqueda (Girona)	ENQF			
6740	16-12-1921	15h 50min	41° 59' 0"	2° 34' 0"	1		R			IV			Amer (Girona)	IGN			
6760	08-08-1922	22h 37min	42° 30' 0"	2° 0' 0"	3					IV			Llivia (Girona)	SUFO			
6762	13-09-1922	9h 8min	42° 49' 0"	2° 33' 0"	2			10		IV		2	Sant Pau de Fenollet (Pirineus orientals)	SIRENE			
6763	23-09-1922	0h 56min	42° 50' 0"	2° 30' 0"	1			10		V-VII		1	7	Sant Pau de Fenollet (Pirineus orientals)	SIRENE		
6765	29-09-1922	2h	42° 49' 0"	2° 33' 0"	2		R			10			Sant Pau de Fenollet (Pirineus orientals)	SIRENE			
6770	21-10-1922	0h 54min	42° 27' 6"	1° 55' 48"	2					IV		2	4	Puigercadà (Girona)	ENQF		
6780	17-11-1922	21h 10min	42° 40' 0"	1° 15' 0"	2					V-VI			2	Seix (Arieja)	SIRENE		
6781	10-12-1922	3h 28min	42° 48' 0"	2° 30' 0"	2		R	10		IV				Sant Pau de Fenollet (Pirineus orientals)	SUFO		
6783	28-12-1922	9h 52min	42° 37' 0"	2° 45' 0"	1					V-VII			1	Aries (Pirineus orientals)	SIRENE		
6790	23-01-1923	22h 5min	40° 10' 0"	0° -2' 0"	3					III				La Vall d'Alba (Castelló de la Plana)	IGN		
6800	28-01-1923	2h 6min	40° 10' 0"	0° -2' 0"	3					III				La Vall d'Alba (Castelló de la Plana)	IGN		
6810	31-01-1923	18h 1min	40° 10' 0"	0° -2' 0"	3					IV				La Vall d'Alba (Castelló de la Plana)	IGN		
6820	14-04-1923	17h 50min	41° 30' 24"	2° 16' 24"	1					N-V		2	12	Tiana (Barcelona)	ENQF		
6870	09-09-1923	11h 35min	42° 17' 54"	2° 12' 48"	1					N-V		IV-V	1	18	Setcases (Girona)	ENQF	
6880	08-10-1923	2h	43° 0' 0"	0° -5' 0"	3					IV				Argelès-Cazost (Alts Pirineus)	IGN		
6900	07-11-1923	4h 52min	41° 22' 0"	3° 10' 0"	2					VI		V	2	32	Mediterrània	ENQF	
6940	19-11-1923	3h 55min	42° 40' 0"	0° 42' 0"	0			11		VIII			1	736	Viella (Lleida)	SGC	
6941	20-11-1923		42° 42' 0"	0° 50' 0"	2		R	11							Viella (Lleida)	SIRENE	
6942	24-11-1923	11h 30min	42° 42' 30"	0° 42' 0"	1		R	11		V			2	8	Viella (Lleida)	SGC	
6960	14-12-1923	1h 32min	40° 50' 0"	3° 17' 0"	3		R			III					2	Mediterrània	IGN
6970	20-01-1924	19h 45min	42° 48' 0"	0° 42' 0"	3		R	11							1	Viella (Lleida)	ENQF, IGN
6971	30-01-1924	20h	42° 48' 0"	0° 42' 0"	3		R	11							1	Viella (Lleida)	ENQF
6980	22-02-1924	15h 32min	43° 3' 0"	0° -17' 0"	0			12		VII			1	19	Arudy (Pirineus atlàntics)	SIRENE	
6981	26-02-1924		42° 57' 0"	0° -6' 0"	2		R	12								Arudy (Pirineus atlàntics)	SIRENE
6990	27-02-1924	21h 53min	42° 40' 0"	0° 43' 0"	1		R	11		VI		VI	1	30	Viella (Lleida)	ENQF	
6991	27-02-1924	23h 20min	42° 42' 0"	0° 48' 0"	1		R	11								Viella (Lleida)	SIRENE
7000	02-03-1924	0h 35min	42° 36' 0"	0° 30' 0"	3					IV		IV				Benasc (Osca)	IGN, ENQF
7020	11-04-1924	9h 15min	41° 30' 0"	2° 0' 0"	3					IV						Martorelles (Barcelona)	IGN
7050	17-08-1924	6h	43° 0' 0"	0° -6' 0"	2		R	12		III-IV			2			Arudy (Pirineus atlàntics)	SIRENE
7060	30-08-1924	7h 34min	42° 36' 0"	0° 31' 0"	3					IV						Benasc (Osca)	IGN
7070	27-09-1924	2h	42° 48' 0"	0° 42' 0"	3		R	11		III						Viella (Lleida)	IGN

Extracte de la taula d'epicentres de l'Atlas sísmic de Catalunya.

■ Informació instrumental

D'acord amb l'anàlisi dels enregistraments obtinguts en les estacions sísmiques, es va elaborar un mapa de síntesi de la sismicitat de Catalunya dels anys 1977-1997. En el mapa es representen els epicentres i els mecanismes focals disponibles, sobre un fons format per l'ombra del relleu, els principals accidents tectònics (falles anteplioquaternaries i plioquaternaries), les unitats estructurals principals i les foses neògenes.



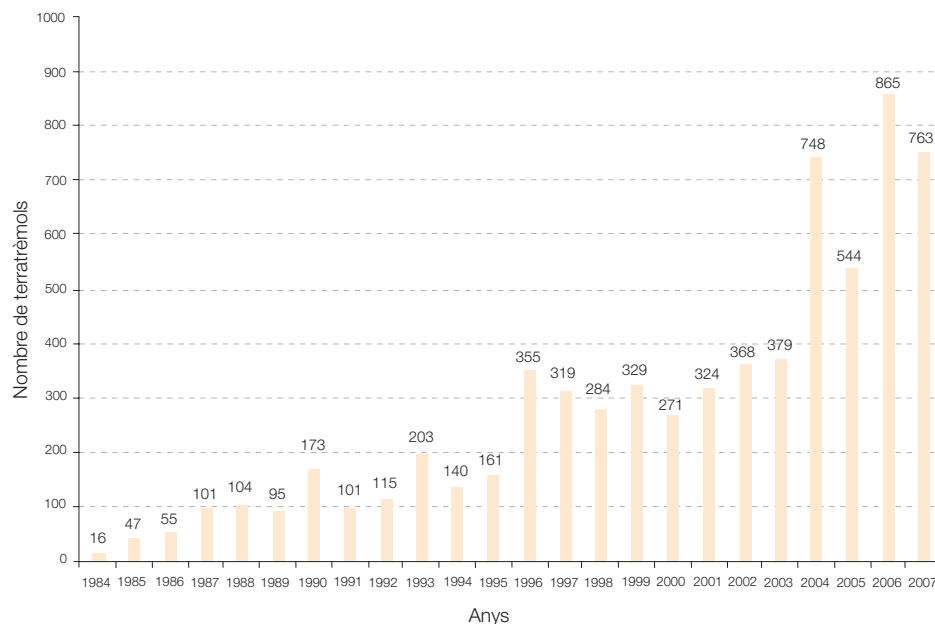
Mapa de sismicitat
de Catalunya
1977-1997.
Escala 1: 400.000.
Font: IGC 1999.

Terratrèmols recents

La sismicitat presenta característiques que es poden relacionar amb el context geològic i, en particular, amb la intensitat de la deformació. Gran part de l'activitat sísmica es concentra principalment a la zona axial dels Pirineus i a l'àrea mediterrània, tant a les serralades costaneres, majoritàriament a la depressió neògena de la Selva, com a la plataforma continental. A la depressió de l'Ebre, el nivell de sismicitat és baix, d'acord amb l'escassa deformació tectònica.

En els anys posteriors a l'elaboració del mapa, l'activitat sísmica presenta característiques similars als anys anteriors. La darrera crisi sísmica remarcable tingué lloc prop de Queralbs (Ripollès), al setembre de 2004.

Entre 1984 i 2007, el nombre total de sísmes localitzats en la zona d'estudi és de 6.860; s'observa una tendència a augmentar el nombre anual de sísmes que està en relació amb el nombre, la sensibilitat i la distribució dels sísmògrafs existents.



Deformacions tectòniques actuals

Després de les crisis sísmiques de l'edat mitjana, es va entrar en un període d'activitat moderada o baixa que ha perdurat fins als nostres dies. Aquesta situació és indicativa d'una deformació tectònica actual moderada, difícil de quantificar amb només el registre de l'activitat sísmica històrica i recent. Per això, és necessària la consideració de dades d'altres disciplines per a obtenir informació sobre les deformacions tectòniques i, en conseqüència, dels períodes de recurrència de sismes destructors.

■ Falles actives i sismicitat

S'han portat a terme alguns estudis detallats de falles potencialment actives com, per exemple, la falla d'Amer.

L'elevada taxa de sedimentació de l'antic llac de la Vall d'en Bas produït pels volcans de la Garrotxa, pot explicar la manca d'expressió de deformació superficial en sediments d'edat Holocena associada amb els terratrèmols de 1427 i possibles sismes anteriors.

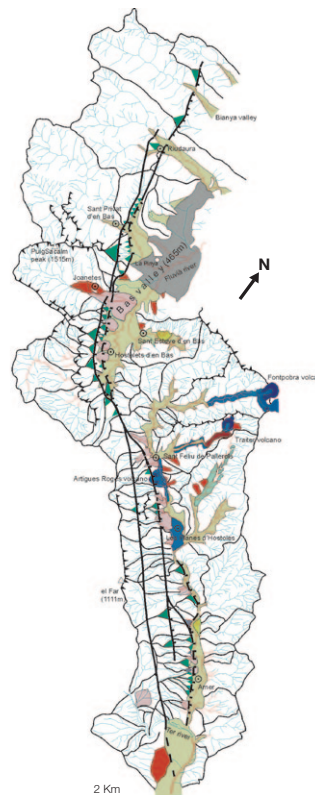
LLEGENDA

Trets geomorfològics

- ↗ Límit de conca hidrogràfica
- ↖ Traça de falla sense evidència geomorfològica
- ↗ Traça de falla amb evidència geomorfològica
- ↖ Escarpament (més de 25m)
- ↗ Escarpament (menys de 25m)
- ↖ Salt en el perfil longitudinal d'un curs d'aigua
- ↗ Curs d'aigua
- ▲ Faceta
- △ Faceta antiga

Dipòsits

- Sediments lacustres
- Sediments col·luvials
- Terrassa (+5-10m)
- Terrassa (0+5m)
- Travertins
- Edifici volcànic
- Laves volcàniques
- Ventall al·luvial
- Ventall al·luvial antic
- Aflorament rocós
- Sondeig La Pinya



Estudi geomorfològic de la falla d'Amer. La detecció de ruptures en superfície en materials quaternaris recents és l'objectiu de l'anàlisi paleosismològica.



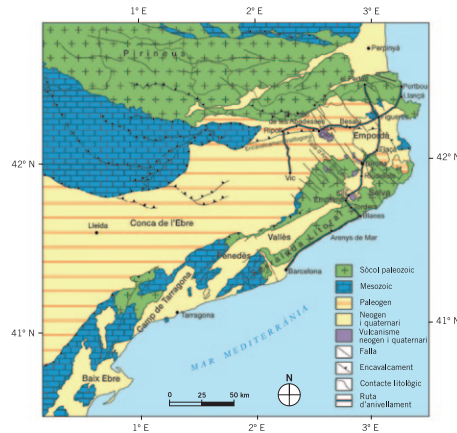
Falla d'Amer a la Vall d'en Bas.

■ Detecció de deformacions verticals: dades d'anivellació d'alta precisió

L'explotació de dades històriques i modernes d'anivellació d'alta precisió del NE de la península Ibèrica ha permès observar valors elevats de deformació a les extremitats del sistema de falles Amer-Brugent que contrasten amb l'activitat sísmica escassa dels segles XX i XXI. En aquest context, les deformacions observades indicarien una concentració d'esforços elàstics des del segle XV, quan va tenir lloc la crisi sísmica de 1427-28, que no s'hauria relaxat encara.



Senyal d'anivellació a l'estació de ferrocarril de Tordera.

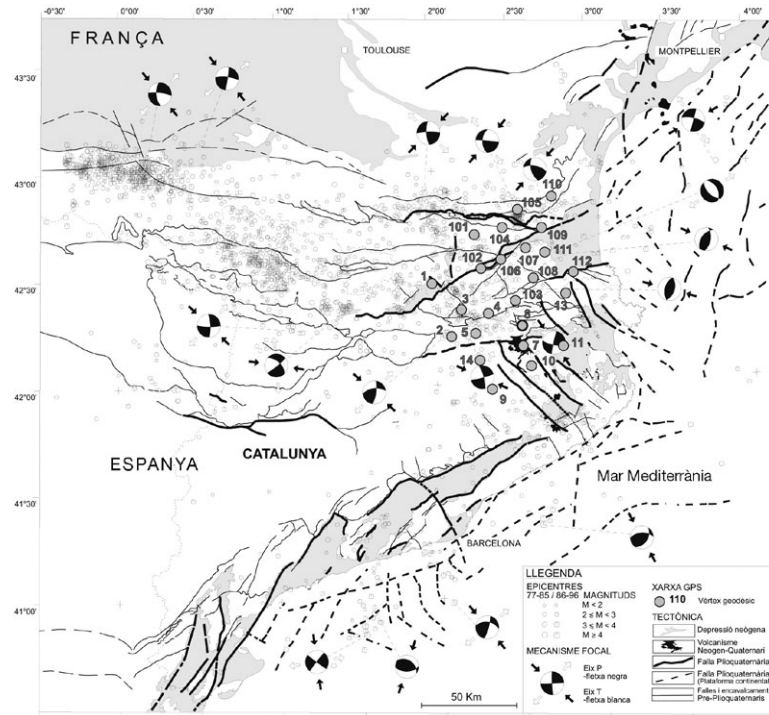


Rutes d'anivellació estudiades a Girona.

■ Detecció de deformacions horitzontals: dades de posicionament global (GPS)

L'any 1990 es va construir una xarxa de control geodinàmic GPS de 24 punts fixos en els Pirineus orientals: PotSis que cobreix una superfície de 80 km x 100 km a ambdós costats de la frontera francoespanyola. La deformació esperable màxima en aquesta regió d'1 mm/any/10 km. La comparació de les mesures realitzades fins ara no ha permès encara obtenir valors de la deformació estadísticament significatius.

Deformacions tectòniques actuals



Xarxa geodèsica PotSis en el context sismotectònic regional.



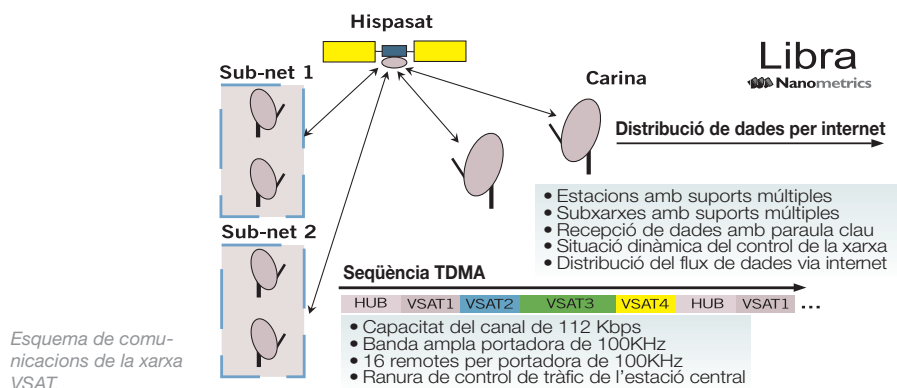
Vèrtex geodèsic de Vilamanya (Ripollès).

En conclusió, si bé els treballs realitzats segons la informació macrosísmica i instrumental han permès un avanç important en el coneixement de l'activitat sísmica del NE de la península Ibèrica des de l'edat mitjana, els resultats obtinguts sobre la caracterització de falles actives i la quantificació de les deformacions no són encara significatius.

■ Com és una estació sísmica?

Amb l'objectiu de minimitzar el nivell de soroll ambiental i tenir una bona ubicació dels equips, s'ha realitzat una selecció d'emplaçaments i s'han planificat infraestructures de camp robustes. A la figura es mostra com a exemple l'estació de Bruguera (Ripollès), on s'observen diferents elements: pou sísmic, caseta per a la instrumentació, panells solars i antena satèl·lit (*Very Small Aperture Terminal, VSAT*).

Els sensors són de banda ampla de tres components i gran rang dinàmic.



Les dades digitals són transmeses, mitjançant el satèl·lit Hispasat-1D, de manera contínua i en temps quasi real, i són enregistrades al centre de recepció de dades de Barcelona.



Estació sísmica de Bruguera (Ripollès).

■ Difusió de la informació sísmica

Segons els enregistraments rebuts, s'inicia la localització dels terratrèmols i a la seva difusió, que es realitza a través del web www.igc.cat.

De manera automàtica es calcula, en temps real, l'hipocentre i la magnitud. Quan un sisme compleix certs requisits, automàticament es genera un missatge d'alerta amb la localització i una valoració qualitativa dels efectes.

IGC Institut Geològic de Catalunya

Contacte | Agenda | Enllaços | Preguntes freqüents

Inici | Cartografia Geològica | Allaus | **Sismologia** | L'IGC

Us trobeu a: [Inici](#) > Sismologia

Sismologia

Terratrèmols recents
Coneix l'última informació sobre els terratrèmols que s'enregistren a Catalunya

Sismicitat de Catalunya
Introducció a la sismicitat, mapes de sismicitat, butlletins sismològics, etc.

Xarxa sísmica
Informació sobre les estacions sísmiques

Xarxa d'accelerògrafs
Descripció i enregistraments de la Xarxa d'accelerògrafs de Catalunya

Risc sísmic
Recull de dades històriques, zonificació sismotectònica i avaluació del risc

Projectes
Projectes de sismologia de investigació i desenvolupament

DESTACATS

- [Seguiment de la crisi del Solsonès de desembre de 2009](#)
- [Respostes instrumentals de les estacions de la Xarxa Sísmica](#)
- [Mapa de localitzacions preliminars de terratrèmols dels darrers 30 dies](#)
- [Els terratrèmols dels segles XIV i XV a Catalunya](#)
- [Heu percebut un terratrèmol?](#)
- [Noves estacions sísmiques](#)

IGC Institut Geològic de Catalunya

Generalitat de Catalunya

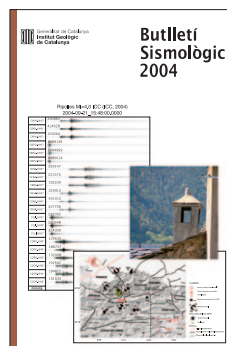
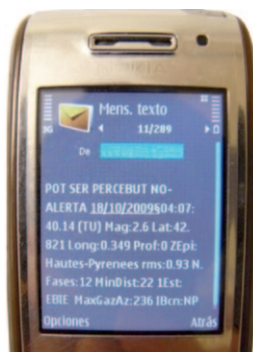
[Avís legal](#) | [Sobre el web](#)

Copyright ©IGC 2006 - NIF: Q0901396-C

Pàgina web d'accés a les informacions sismològiques.

Xarxa sísmica de Catalunya

Telèfon rebent en temps real les dades d'un sísmes.



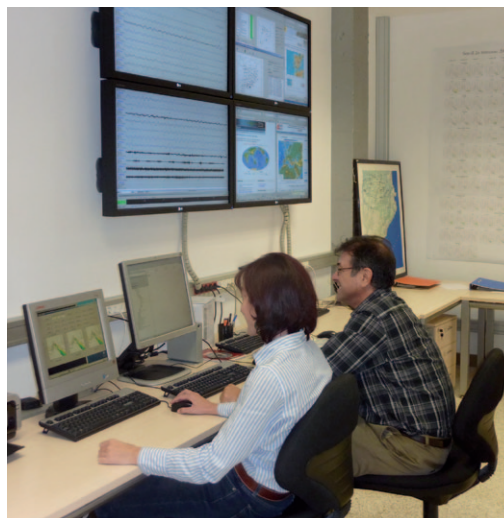
Aquesta informació es difon mitjançant:

- un sistema de teleavis automàtic per SMS, pocs minuts després del sísmes, a responsables de Protecció Civil (*Pla d'emergències sísmiques de Catalunya-SISMICAT*)
- un sistema de Megafax a administracions i medis de comunicació
- un comunicat al web www.igc.cat

També es generen escenaris de possibles danys de manera automàtica.

■ Centre de recepció, enregistrament i anàlisi de dades

El centre de recepció de dades està constituït per un conjunt d'equips informàtics amb el programari corresponent per a la recepció i enregistrament dels senyals provinents de les estacions de camp, la detecció automàtica dels terratrèmols i l'emissió de comunicats i avisos (alertes sísmiques). També consta de mòduls per a la revisió manual i l'anàlisi detallat dels diferents enregistraments obtinguts.



Vista del centre de recepció, enregistrament i anàlisi de dades de l'IGC.

Des del centre de recepció, enregistrament i anàlisi de dades de l'IGC, situat a la seva seu de Barcelona, es monitoritzen diferents paràmetres de funcionament de la xarxa com, per exemple, la recepció dels senyals sísmics que arriben en temps real i el funcionament del sistema de detecció automàtica de sísmes (DAS) i de teleavis.

Xarxa d'accelerògrafs

En el mes de juny de 1995 s'inicià la instal·lació dels primers equips de la xarxa d'accelerògrafs amb diferents objectius. Principalment enregistrar adequadament (sense saturar) els moviments intensos, percebuts per la població, de la regió. També permetre l'estudi de lleis d'atenuació de l'acceleració amb la distància per tot l'espectre útil en enginyeria sísmica, estudiar els efectes d'amplificació de sòls en medis urbans i permetre estudis de la font sísmica per als sismes de forta magnitud, entre altres aspectes.

■ Criteris de selecció d'emplaçament

L'elecció dels diferents emplaçaments es realitza, bàsicament, tenint en compte els criteris següents:

- Zones afectades per terratrèmols importants en el passat (zones sísmicament més actives)
- Zones d'activitat sísmica moderada, però densament poblades i/o amb indústries perilloses
- Emplaçaments en diferents tipus de terreny, sòl i roca, per a l'anàlisi d'efectes d'amplificació del moviment del sòl.

Actualment es disposa de 10 sensors, en col·laboració amb l'Instituto Geográfico Nacional, IGN.



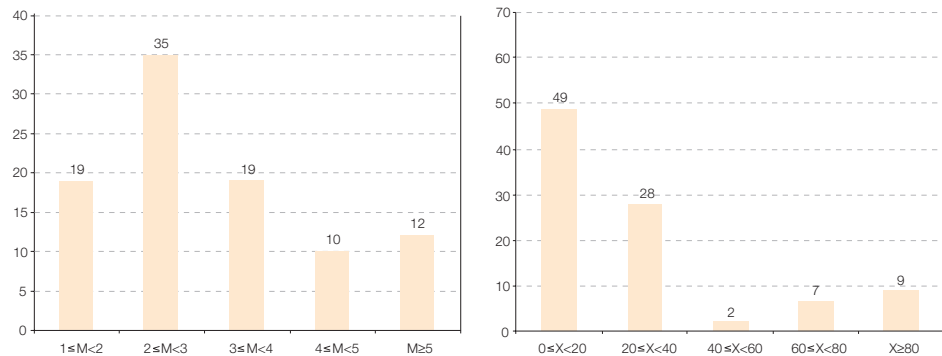
Sensor instal·lat a l'Observatori Fabra.

Xarxa d'accelerògrafs

Mapa de situació dels accelerògrafs a Catalunya.



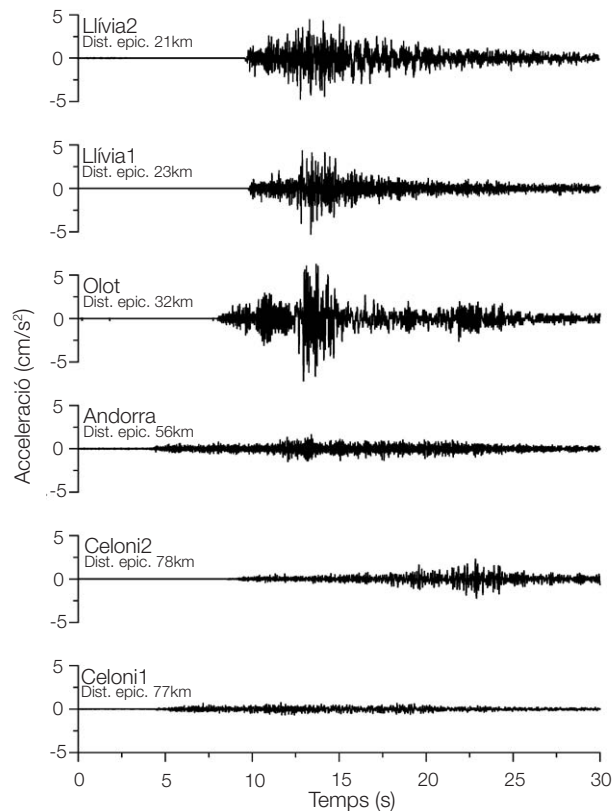
Nombre d'accelerogrames enregistrats des de l'any 1996 en funció de la magnitud i la distància.



■ Sismes enregistrats per la xarxa d'accelerògrafs

Des de la seva instal·lació s'han obtingut uns 100 accelerogrames (de tres components cadascun, est-oest, nord-sud i vertical) corresponents a sismes de magnitud entre 1 i 5, la majoria dels quals amb epicentre als Pirineus.

Un exemple d'aquests enregistraments són els accelerogrames del sisme del dia 21 de setembre de 2004, de magnitud 4,0, amb epicentre a la zona del Ripollès.



Enregistraments d'acceleració corresponents al component est-oest.

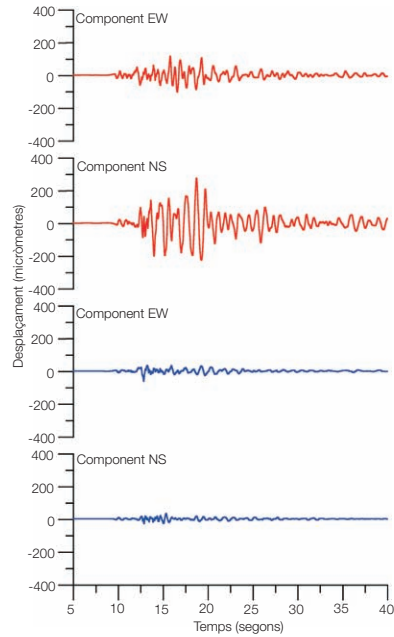
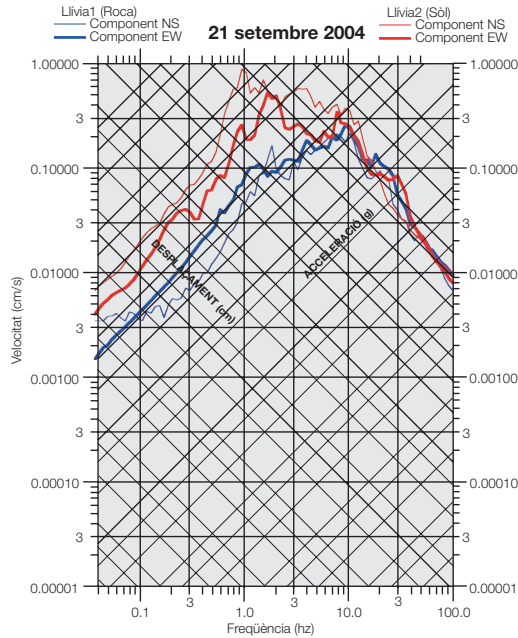
Xarxa d'accelerògrafs

El sisme va estar percebut per la població fins a distàncies de 120 km de l'epicentre. La intensitat màxima assignada és de V-VI a Queralbs, on s'hi van produir danys lleugers.



*Situació de Llivia 2
vist des de Llivia 1.*

10



Comparació dels enregistraments de Livia 1 (registre en roca), en blau, i Livia 2 (registre en sòl), en vermell, on es pot apreciar clarament, tant en l'espectre de resposta com en el senyal temporal, en desplaçament, l'amplificació del moviment del sòl a les baixes freqüències degut a la presència dels sediments del riu Segre.

Part 3 Reducció dels possibles efectes



11

11 Criteris de disseny sísmic

Les normes de construcció sismoresistent, tant l'espanyola (NCSE-02) com l'europea (EC-8), consideren que el disseny conceptual dels edificis és un aspecte molt important. Algunes de les recomanacions de disseny més rellevants són les següents:

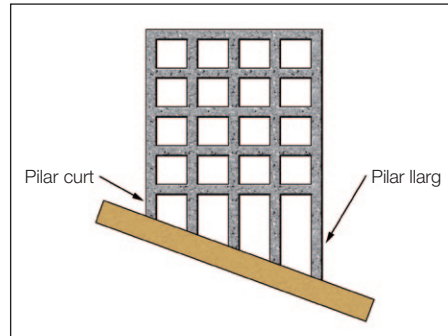
- Les estructures han de ser senzilles i permetre una clara transmissió de les forces sísmiques des del sistema de forjats fins als fonaments.
- Les estructures han de mantenir una uniformitat general (en planta i en alçat, de rigidesa i de masses) per evitar la concentració d'esforços o de ductilitat.
- En el cas de no uniformitat en planta, l'edifici s'ha de subdividir en mòduls independents mitjançant juntes.
- Les masses de les plantes s'han de distribuir de la manera més uniforme possible per evitar l'efecte de la torsió global de l'estructura. La simetria és un concepte que ajuda a complir aquest requisit.
- Per suportar accions sísmiques que actuïn en qualsevol direcció, les estructures han de tenir una resistència similar en ambdues direccions.
- Es desaconsella col·locar forjats en diferents nivells per no propiciar l'efecte de pilar trencat.

Exemples de males pràctiques de disseny i construcció en relació amb la vulnerabilitat sísmica.

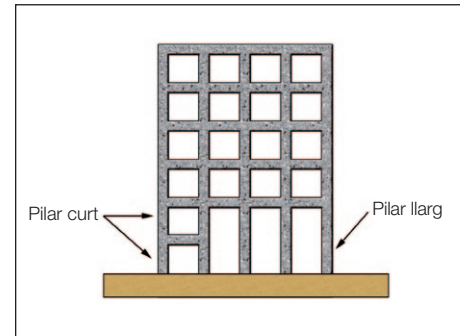
Estructures amb tots els pilars no alineats verticalment, la qual cosa impedeix una clara transmissió de les forces sísmiques des del sistema de forjats fins als fonaments, augmentant la vulnerabilitat sísmica de l'edifici.



Críteris de disseny sísmic



Edifici emplaçat en un terreny en pendent. La topografia origina desigualtats en les alçades dels pilars de la planta baixa, i es poden identificar pilars curts.



Un altre cas en què es poden presentar pilars curts; es tracta d'edificis amb plantes intermèdies, els forjats de les quals redueixen l'alçada dels pilars.



*Foto A. L'estructura d'aquesta fotografia no manté la uniformitat en planta i en alçat de la rigidesa i de les masses.
Foto B. Efecte de pilar curt generat per la ubicació de forjats a alçades diferents.*



Càlcul sísmic dels tipus d'edificis més comuns de Catalunya

12

Habitualment, a Catalunya s'empren edificis de ductilitat limitada, és a dir, que es projecten per mantenir una resposta pràcticament elàstica. La seva utilització es limita a zones de perillositat sísmica baixa, ja que la seva ductilitat insuficient no els permet dissipar l'energia dels terratrèmols forts de manera estable. Els edificis més comuns són els que presenten una estructura de forjats reticulars i els portcats amb bigues planes.



Edifici amb forjats reticulars.



Edifici amb bigues planes.

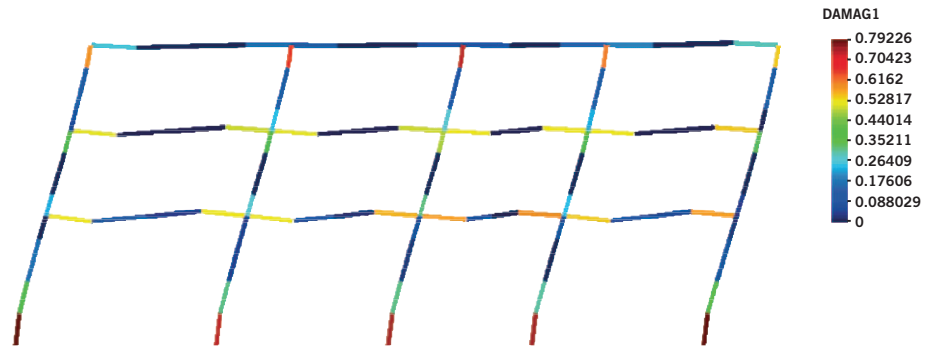


Edifici amb bigues de cantell.

Per fer el càlcul sísmic es necessita desenvolupar un model de l'estructura, que representa els principals elements que resistiran les forces imposades pel terratrèmol. Aquest model de l'estructura i les propietats de resistència a l'esforç dels diferents elements s'introdueixen en un programa de càlcul d'estructures.

La força del terratrèmol també se simula per aplicar-se al model de l'estructura mitjançant el programa de càlcul seleccionat. Aquest programa de càlcul analitza les forces que el terratrèmol causa a l'estructura, els esforços que experimenten els elements estructurals i les seves deformacions. Com que es coneix la capacitat teòrica de deformació dels diversos elements estructurals, es pot determinar quins elements poden ser més danyats pel terratrèmol considerat. Normalment es realitza una anàlisi del tipus *push-over*, que aplica a l'estructura una força incremental, per obtenir una corba de capacitat sísmica de l'estructura que es pot fer servir per avaluar com l'estructura quedaria afectada per un terratrèmol.

Model dels desplaçaments en el pòrtic d'un edifici resultat d'un càlcul numèric. S'observa la concentració del dany als extrems inferiors dels pilars de planta baixa i als extrems superiors dels pilars de l'últim nivell. La resposta d'aquesta estructura és fràgil.



13

Exemples de danys sísmics en edificis

L'efecte destructiu dels terratrèmols s'ha fet evident a les estructures fabricades per l'home, tal com s'ha registrat des de l'inici de les civilitzacions. Ara bé, moltes vegades els danys ocasionats corresponen a projectes que no han pogut produir estructures amb capacitat de dissipar l'energia dels terratrèmols de manera dúctil i estable. Tot seguit es mostren una sèrie de defectes de projecte en l'àmbit global i local, així com el dany associat a aquests defectes durant l'acció dels terratrèmols.

De vegades, el problema de planta baixa dèbil apareix conjuntament amb altres problemes de configuració com, per exemple, quan la combinació de diferents sistemes estructurals origina edificis amb grans excentricitats i té lloc el fenomen de torsió global de l'estructura.



Combinació d'efectes torsionals i de planta baixa dèbil. Terratrèmol de Chi-Chi, Taiwan, 1999. Font: USGS.

Exemples de danys sísmics en edificis

El vinclament de l'armadura longitudinal es produeix com a conseqüència de la plastificació dels marcs que, fins i tot, es trenquen o s'obren, presumiblement per no tenir ganxos adequadament ancorats dins del nucli confinat de formigó, d'un diàmetre suficient i d'un espai adequat.



Vinclament de l'acer longitudinal com a conseqüència de la plastificació de marcs excessivament espaiats.

13

Menys previsible són els problemes originats en zones específiques dels edificis per la percussió entre estructures adjacents. Això succeeix quan dos edificis de diferents característiques s'emporten un al costat de l'altre sense respectar unes distàncies mínimes.



Pèrdua parcial de secció dels pilars de formigó armat, producte de la percussió entre edificis. Terratrèmol d'Izmit, Turquia, 1999.

Exemples de danys sísmics en edificis

Nus amb armadura transversal inadequada per la manca de marcs.



Col·lapse de pilar en què es pot apreciar la degradació del nucli de formigó originat per un confinament inadequat, per la falta d'adherència de les armadures longitudinals i per l'excessiu espai de les armadures transversals.



Els errors més comuns en l'armat dels pilars són: la falta de confinament per escassetat de marcs, la utilització d'armadures longitudinals i transversals llises, els cavalcaments en zones properes als nusos, la col·locació dels ganxos dels marcs en angle de 90°, la manca d'alternança dels ganxos dels marcs i el confinament insuficient de les zones properes als nusos.

Coneixement del risc: perillositat i vulnerabilitat

Per a la planificació del territori és necessària una avaluació acurada del risc sísmic.

L'any 1995 es va aprovar a l'Estat espanyol la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico. Segons aquesta directriu, cada comunitat autònoma ha de realitzar una avaluació del risc establint els municipis que han d'elaborar un pla d'emergència municipal.

Per tal de complir amb aquesta directriu, es va desenvolupar una nova metodologia, la qual es va aplicar per primera vegada al territori espanyol, donant lloc al Pla d'emergència sísmica de Catalunya (SISMICAT), aprovat el mes de juny de 2002. Aquest Pla inclou els aspectes següents:

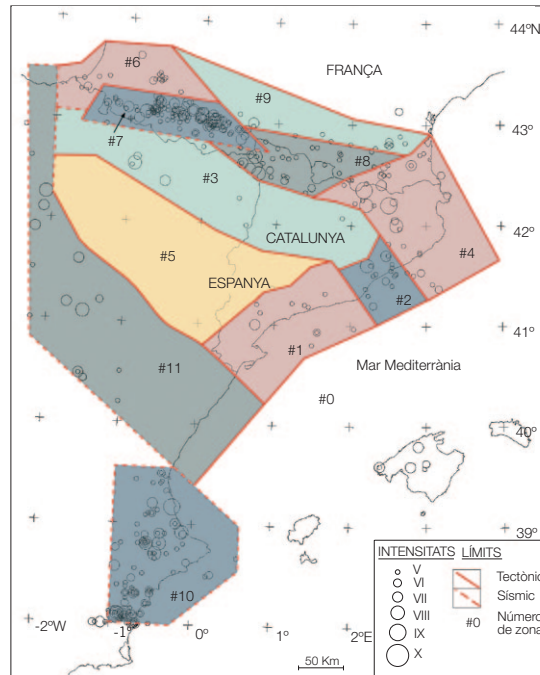
■ Avaluació de la perillositat sísmica

Estimació de la intensitat del moviment sísmic que pot raonablement esperar-se a cada municipi.

Dades: nou Catàleg sísmic de Catalunya i nova zonació sismotectònica.

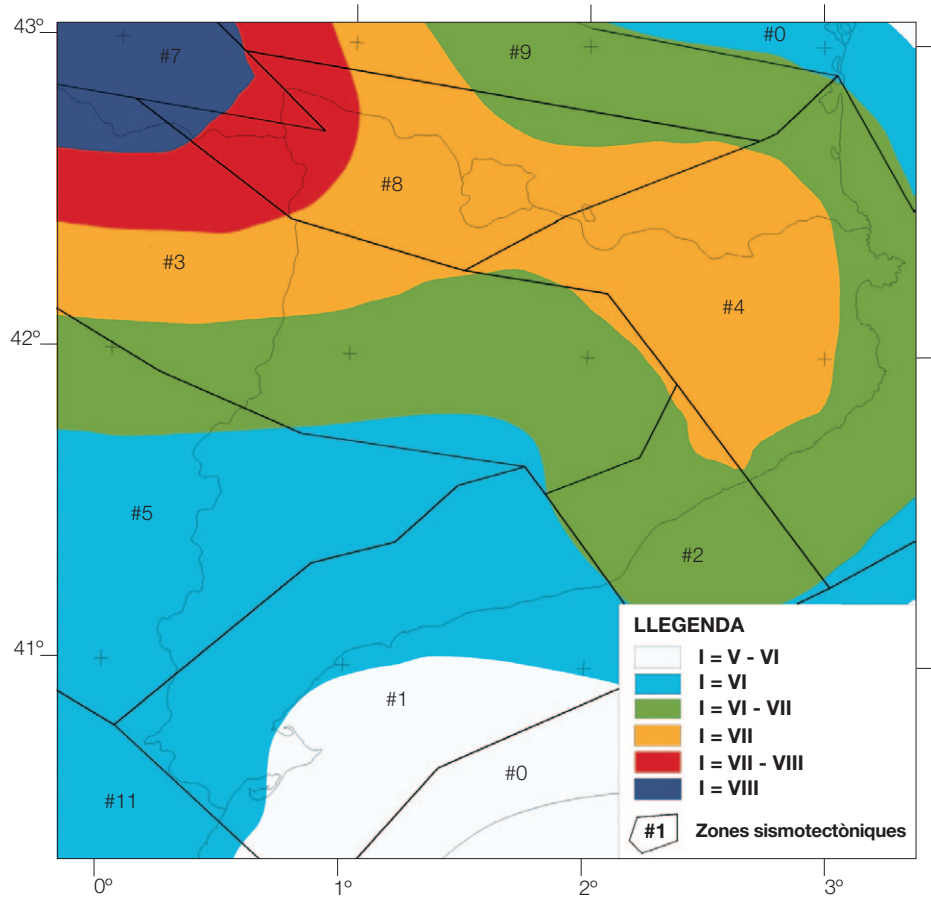
Mètode: combinació de mètodes determinista i probabilista.

Seguint un model probabilista zonificat s'utilitza una zonació sismotectònica per al càlcul de les intensitats del mapa de perillositat considerant un període de retorn de 500 anys.



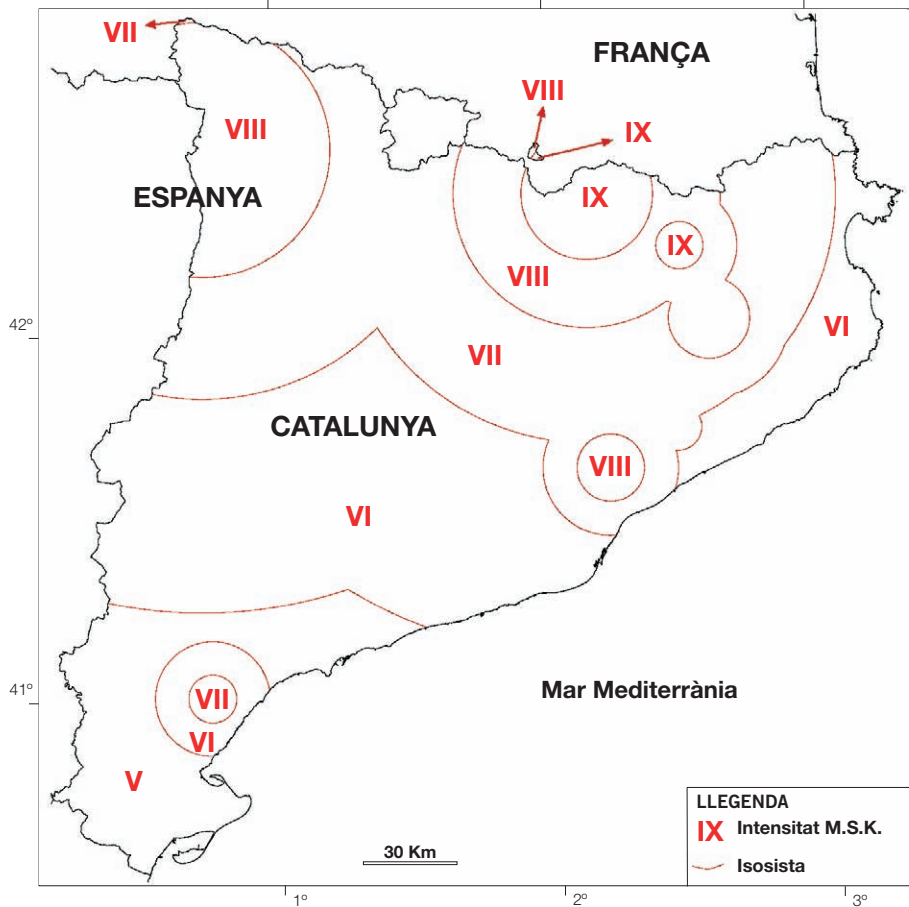
Mapa de zones sismotectòniques, ICC 1997.

Coneixement del risc: perillositat i vulnerabilitat



Mapa de perillositat sísmica per a un període de retorn de 500 anys, ICC 1997.

Per al model determinista es tenen en compte les intensitats màximes que probablement s'hagin sentit en cada punt de la regió d'estudi com a conseqüència dels sismes coneguts ocorreguts en el passat.

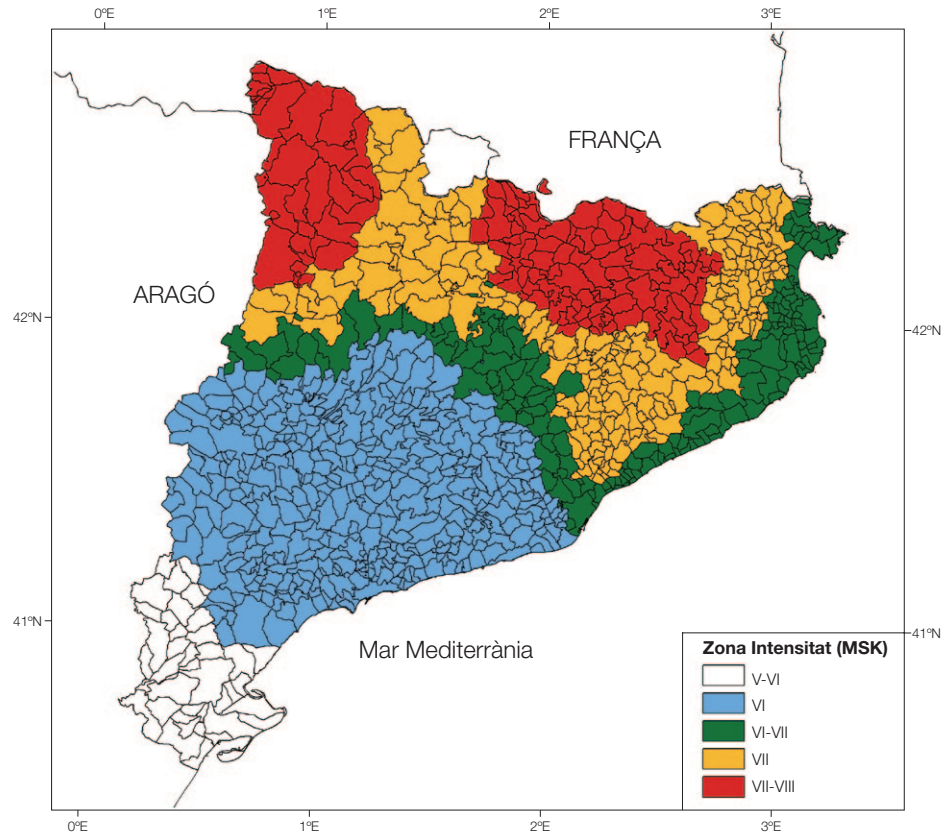


Mapa d'intensitats màximes probablement percebudes, ICC 1997.

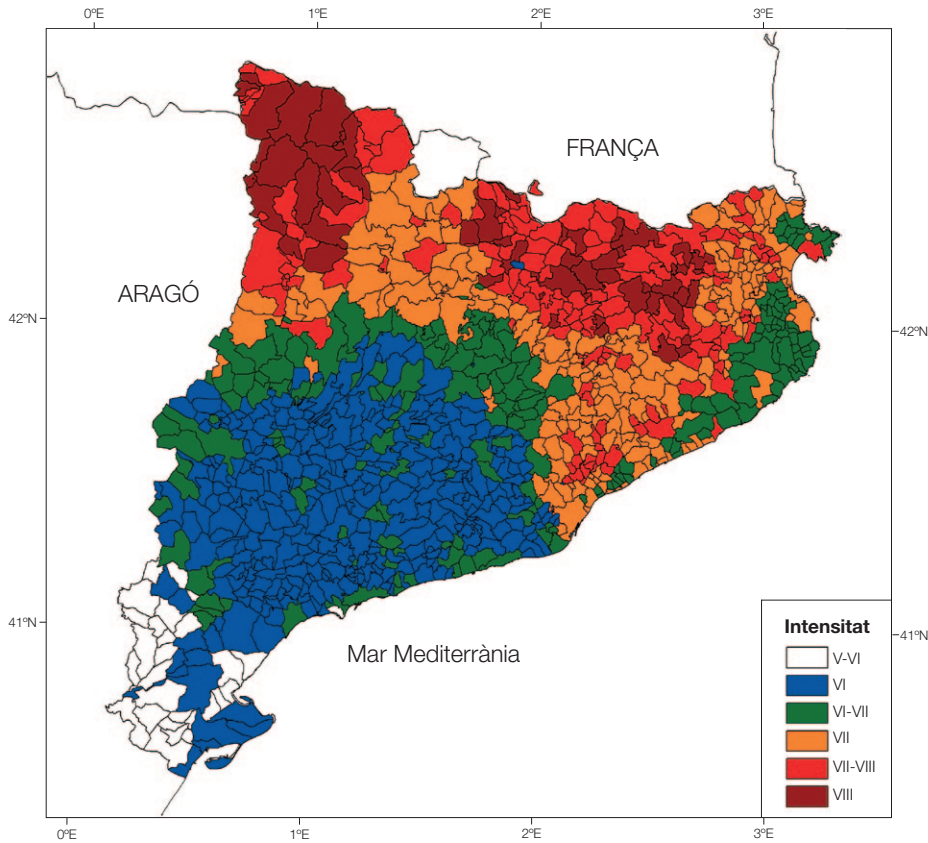
El mapa de perillositat resultant es basa en el mapa probabilista modificat parcialment segons el mapa determinista en els llocs on la diferència és important.

Coneixement del risc: perillositat i vulnerabilitat

Mapa que determina les diferents àrees de territori en funció de la seva perillositat. Està expressat amb diferents valors d'intensitat per un període de retorn de 500 anys (probabilitat anual de 2×10^{-3}).



14



Mapa de perillositat sísmica per a un període de retorn de 500 anys amb efectes de sòl.

La presència de sòls tous en un lloc determinat pot amplificar el moviment del sòl que es podria esperar per un sòl mitjà. Per tant, el valor d'intensitat de base a tenir en compte és modificat per l'efecte del sòl.

■ Avaluació de la vulnerabilitat sísmica de les construccions

L'avaluació de la vulnerabilitat sísmica de les construccions permet una estimació dels danys que pot produir un determinat moviment sísmic.

Es consideren mètodes diferents, segons es tracti d'edificis d'habitatge o assimilats per les seves característiques constructives i estructurals (hospitals, edificis de bombers, etc.) o bé de línies vitals, amb característiques tècniques particulars (conduccions de gas o electricitat, transformadors elèctrics, etc.).

Per a la classificació de les edificacions d'habitatges o categories assimilades en classes de vulnerabilitat s'utilitzen dades de l'Institut d'Estadística de Catalunya: l'edat, l'alçada i la situació geogràfica.

A la taula (vegeu taula 1) es pot veure la distribució d'aproximadament 1 milió d'edificis d'habitatge de Catalunya.

Data de construcció		Fins 1950		1951-1970		Després de 1970	
Àrea de Situació		Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
Alçada	< 5 plantes	23.2740	31.119	212.070	16.304	315.504	37.346
	= 5 plantes	7.065	9	14.083	24	11.937	22
	> 5 plantes	12.699	2	21.963	33	22.028	44

Taula 1.

La consideració de l'estat de conservació i les tipologies estructurals utilitzades permet fer una classificació de les edificacions en classes de vulnerabilitat de A a D, de més a menys vulnerable segons l'escala d'intensitats EMS-98 (Escala macrosísmica europea). (Vegeu taula 2).

A la taula 3 es mostra les assignacions dels edificis agrupats per alçades i edat en classes de vulnerabilitat de A a D.

Tipus d'estructura	Classe de vulnerabilitat					
	A	B	C	D	E	F
OBRA DE FABRICA	Còdols, pedres	○				
	Tova (totxo de terra)	○	—			
	Pedra simple	—	○			
	Pedra massiva		—	○		
	Sense reforç, amb unitats de pedra manufacturada	—	○	—		
	Sense reforç, amb pisos de formigó		—	○	—	
	Reforçada o confinada			—	○	—
FORMIGÓ	Pòrtic sense disseny sismoresistent (DSR)		—	○	—	
	Pòrtic amb nivell moderat de DSR		—	○	—	
	Pòrtic amb alt nivell de DSR		—	○	—	
	Murs sense DSR		—	○	—	
	Murs amb moderat nivell de DSR		—	○	—	
	Murs amb alt nivell de DSR			—	○	—
ACER	Estructures d'acer			—	○	—
FUSTA	Estructures de fusta		—	○	—	

○ Classe més típica de vulnerabilitat

— Rang probable

-- Rang de casos menys probables, casos excepcionals

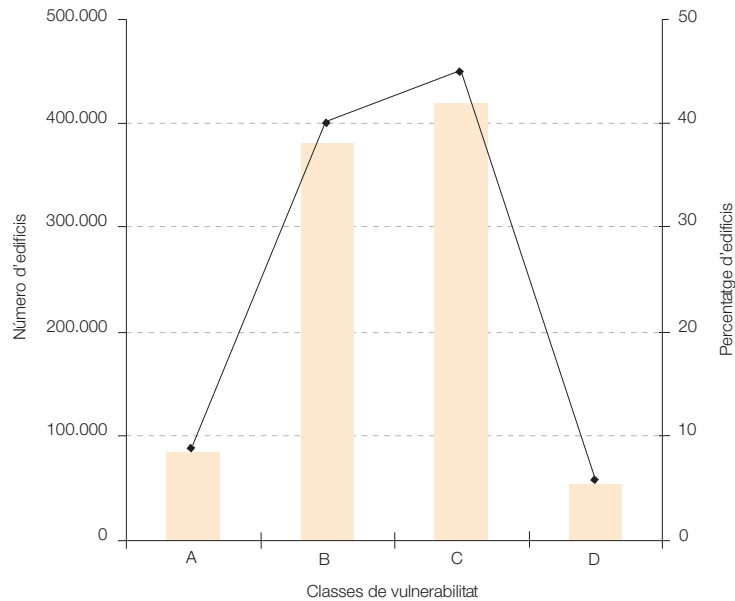
Taula 2.

Alçada	Fins 1950		1951-1970		> 1970	
	Àrea		Àrea		Àrea	
	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
< 5 plantes	20% A 80% B	30% A 70% B	5% A 50% B 45% C	15% A 70% B 15% C	85% C 15% D	5% A 20% B 65% C 10% D
	20% A 80% B	40% A 60% B	10% A 60% B 30% C	20% A 70% B 10% C	5% A 20% B 65% C 10% D	10% A 30% B 55% C 5% D
> 5 plantes	40% A 60% B	60% A 40% B	15% A 70% B 15% C	30% A 65% B 5% C	8% A 27% B 60% C 5% D	15% A 45% B 40% C

Taula 3.

Coneixement del risc: perillositat i vulnerabilitat

La distribució dels edificis resultant de l'avaluació de la seva vulnerabilitat, per al conjunt de municipis de Catalunya, es mostra en el gràfic següent.



Distribució de la totalitat d'edificis de Catalunya en classes de vulnerabilitat.

■ Mapes de risc

La consideració dels resultats de les avaluacions de perillositat i vulnerabilitat permet l'elaboració d'un escenari de dany per a cada municipi. Per tant, identificar les poblacions de més risc.

L'escenari consisteix, per a cada municipi, en una estimació de les informacions següents:

- nombre d'edificis d'habitatges que queden inhabitables immediatament després del terratrèmol.
- nombre de persones damnificades.

Pla d'emergències sísmiques de Catalunya (SISMICAT)

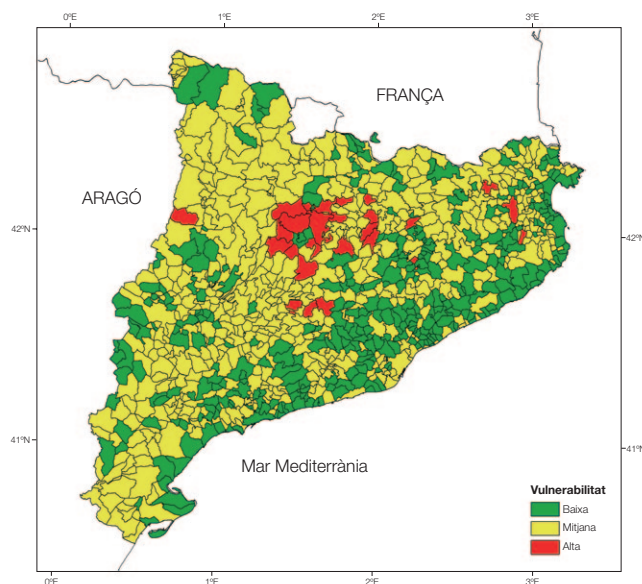
Tal com s'ha explicat en el capítol anterior, Catalunya es pot qualificar com una zona d'activitat sísmica moderada. En els registres històrics hi són descrits fenòmens sísmics de considerable intensitat. Alhora, els diferents estudis prediuen zones on són previsibles sismes d'una intensitat igual o superior a VII, per a un període de retorn de 500 anys.

Ateses les característiques de l'emergència sísmica i les conseqüències que se'n puguin derivar, junt amb la probabilitat que es produeixi el fenomen, és necessari el desenvolupament d'un pla que doni una resposta ràpida adreçat a minimitzar els possibles danys a les persones, béns i medi ambient, i que permeti restablir els serveis bàsics per a la població en el menys temps possible.

■ Vulnerabilitat

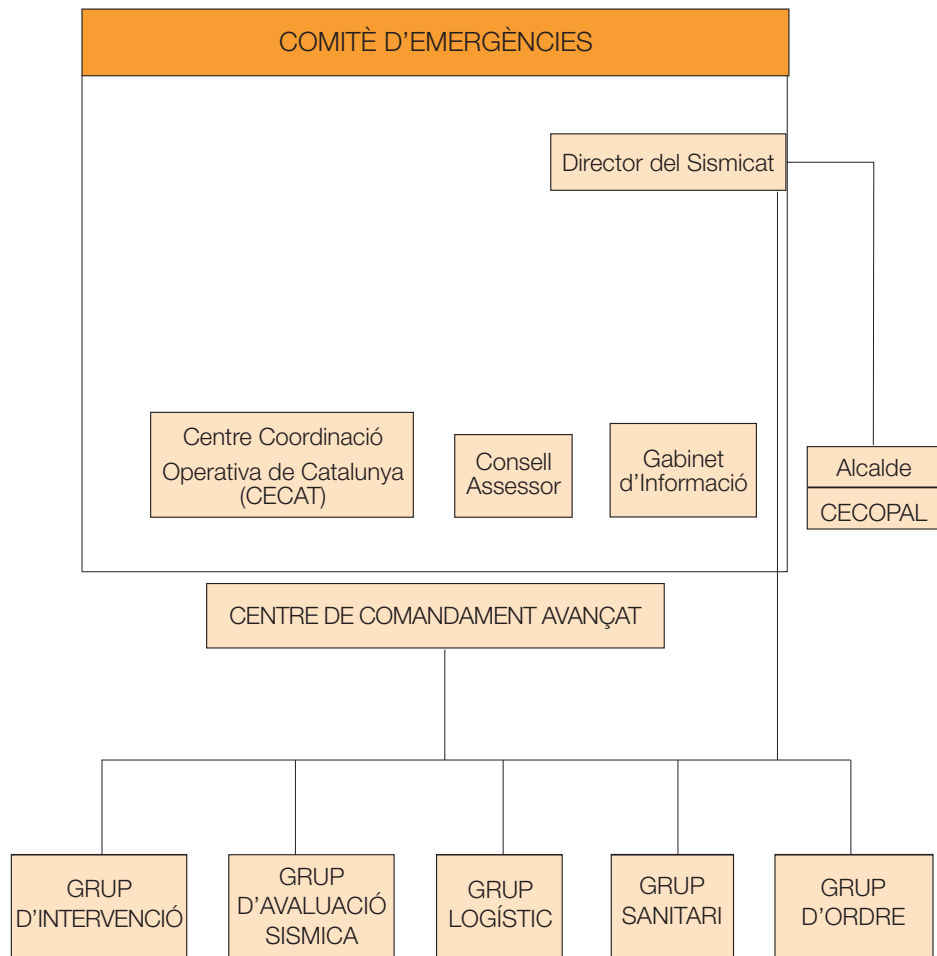
En el Pla SISMICAT s'analitza la vulnerabilitat sísmica de les estructures (edificis d'habitatge, edificis essencials, conduccions de gas o electricitat, etc.)

Per a cada municipi de Catalunya s'han estimat els danys que podrien patir els edificis i les persones si s'assoleix la intensitat del mapa de perillositat.



■ Estructura i organització del Pla SISMICAT

El Pla SISMICAT s'estructura segons l'organigrama següent:

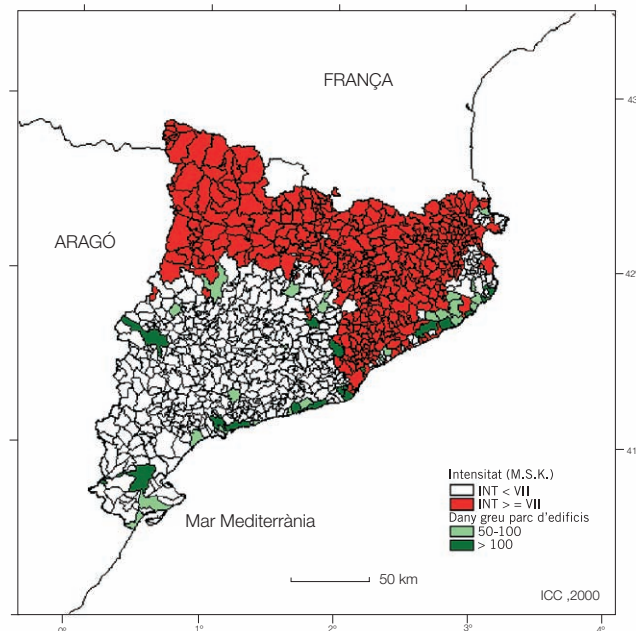


■ Plans d'emergència a escala municipal

L'actuació municipal és responsabilitat de l'alcalde o l'alcaldesa i s'estructura a través del Pla d'actuació municipal (PAM).

Han d'elaborar el corresponent Pla:

- Els municipis que tinguin una intensitat sísmica prevista igual o superior a VII (en vermell en el mapa) per a un període de retorn de 500 anys segons el Mapa de perillositat sísmica.
- Els municipis per als quals s'ha calculat que se superaria el llindar de dany de referència (en verd en el mapa) en el parc d'edificis d'habitatge en cas que s'assoleixi la intensitat del mapa de perillositat.



Municipis que han de realitzar el Pla d'actuació municipal (PAM).

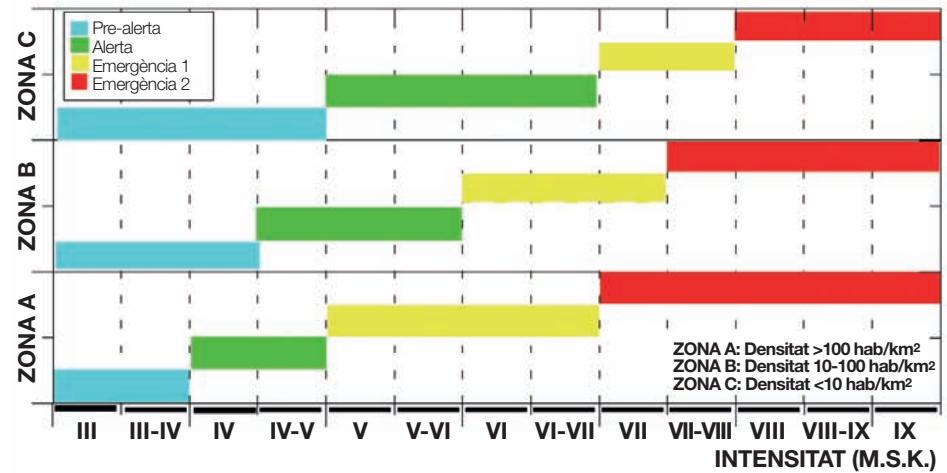
■ Activació del Pla SISMICAT

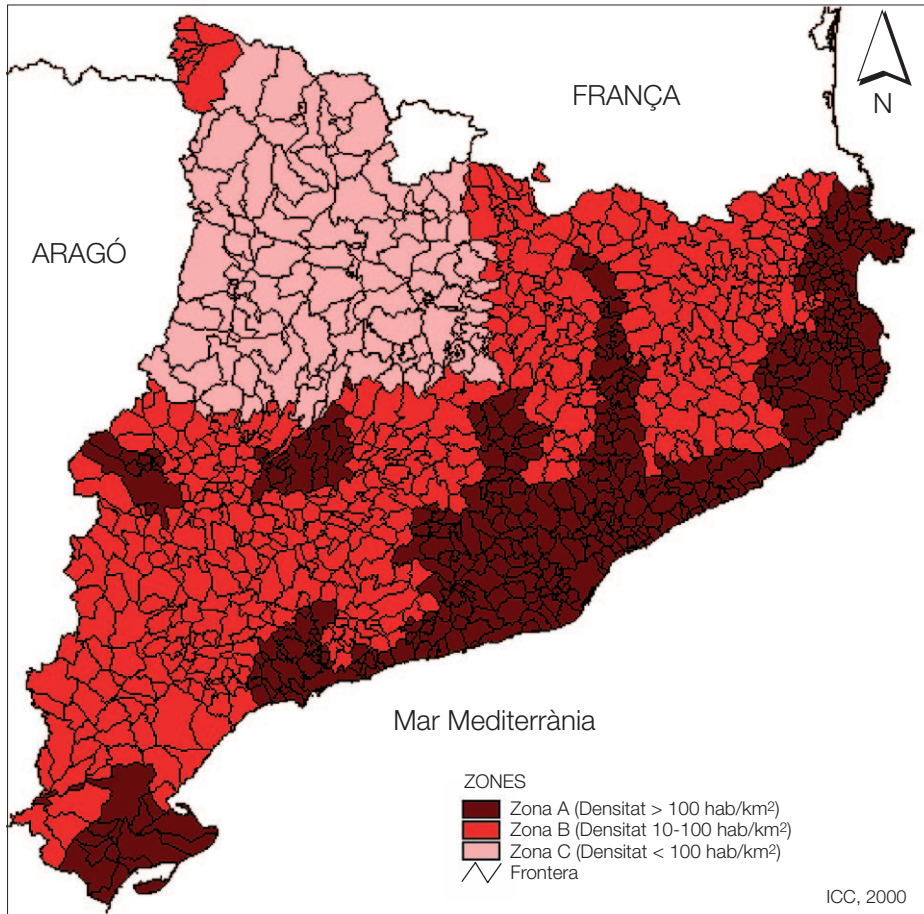
El Pla preveu tres nivells d'activació en funció de la gravetat del terratrèmol:

ALERTA - EMERGÈNCIA 1 - EMERGÈNCIA 2

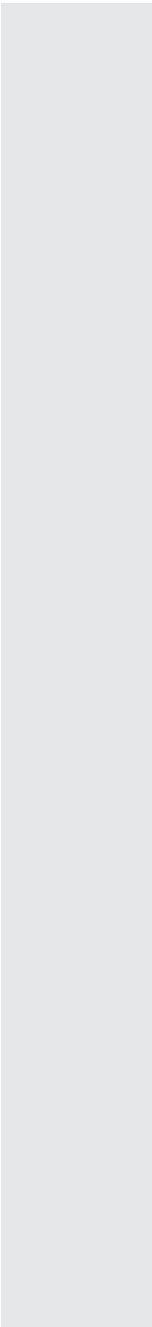
Es distingeixen 3 zones en funció de la densitat de població.

Nivells d'actuació del Pla segons la zona i el grau d'intensitat percebuda.





Mapa de zonificació dels municipis de Catalunya en funció de la densitat de població.



Amb la breu descripció del contingut del Pla Sísmic, acabem el recorregut que ja havíem anunciat en la Introducció. Tal com ja s'ha dit anteriorment, l'estratègia adequada per mitigar el risc sísmic, és a dir, prevenir el seus efectes, exigeix tenir un bon coneixement del fenomen, fer una correcta avaluació del risc existent, tant pel que fa a la probabilitat d'ocurrència de futurs terratrèmols, com a la vulnerabilitat de les construccions existents, prendre mesures a l'hora de projectar i construir nous edificis i infraestructures o rehabilitar edificis antics, per tal que siguin resistents als terratrèmols que puguin tenir lloc i organitzar plans d'emergència, amb la finalitat de tenir preparats els mitjans necessaris per fer front a una possible crisi.

La consideració i aplicació del conjunt de les mesures que s'han exposat, contribueix a una bona gestió del risc sísmic des de diferents àmbits professionals i des de les administracions responsables.

A continuació, es detalla una breu bibliografia, amb referències de llibres i pàgines web, en què la majoria dels conceptes exposats es troben més desenvolupats i en els quals el lector podrà aprofundir en el coneixement dels diferents àmbits pluridisciplinars que estan involucrats en el risc sísmic.

Per saber-ne més

Exposem a continuació una llista de referències sobre publicacions i pàgines web en què es poden completar molts dels conceptes i idees exposats en aquest llibre.

LLIBRES

- BOLT, B.A. (1981). *Terremotos*. 1 ed. Barcelona. Editorial Reverté. ISBN 9788429146028.
- BOLT, B.A. (1985). *Terremotos*. Orbis, cop. (Biblioteca de divulgació científica Muy interesante: núm. 38). ISBN: 8476344392 (cart.).
- CAPOTE DEL VILLAR, R.; MARTÍNEZ DÍAZ, J.J. (2001). *El riesgo sísmico: prevención y seguro*. Madrid. Consorcio de Compensación de Seguros.
- HOUGH, S.E. (2004). *Finding fault in California: an earthquake tourist's guide*. Missoula, Mont.: Mountain Press Pub. Co. ISBN: 0878424954 (pbk.: alk. paper).
- HOUGH, S.E. (2002). *Earthshaking science: what we know (and don't know) about earthquakes*. Princeton, N.J.: Princeton University Press. ISBN: 0691050104 (cloth: alk. paper).
- SCHICK, R. (2002). *The Little Book of Earthquakes and Volcanoes*. New York: Springer. (Little Book Series). ISBN 978-0-387-95287-1.
- SOUSA OLIVEIRA, C.; ROCA, A.; GOULA, X. (2006). *Assessing and managing earthquake risk*. Dordrecht, The Netherlands. Springer (Vol. 2). ISBN -13 978-1-4020-3524-1.
- PHILIP, H.; BOUSQUET, J.C.; MASSON, F. (2007). *Séismes et risques sismiques*. Paris: Dunod. ISBN 978-2-10-049581-8.
- SISMICAT. *Pla especial d'emergències de Catalunya*. DOGC Núm 3912-26.6.2003.

LLOCS WEB

<http://www.igc.cat>
<http://www.geo.ign.es>
<http://www.ign.es>
<http://www.emsc-csem.org>
<http://earthquake.usgs.gov>

ISBN 978-84-393-8161-7



9 788439 381617