

CONÈIXER ELS

per Agustín Udías

6 (470/agost 1981

ciència 8)

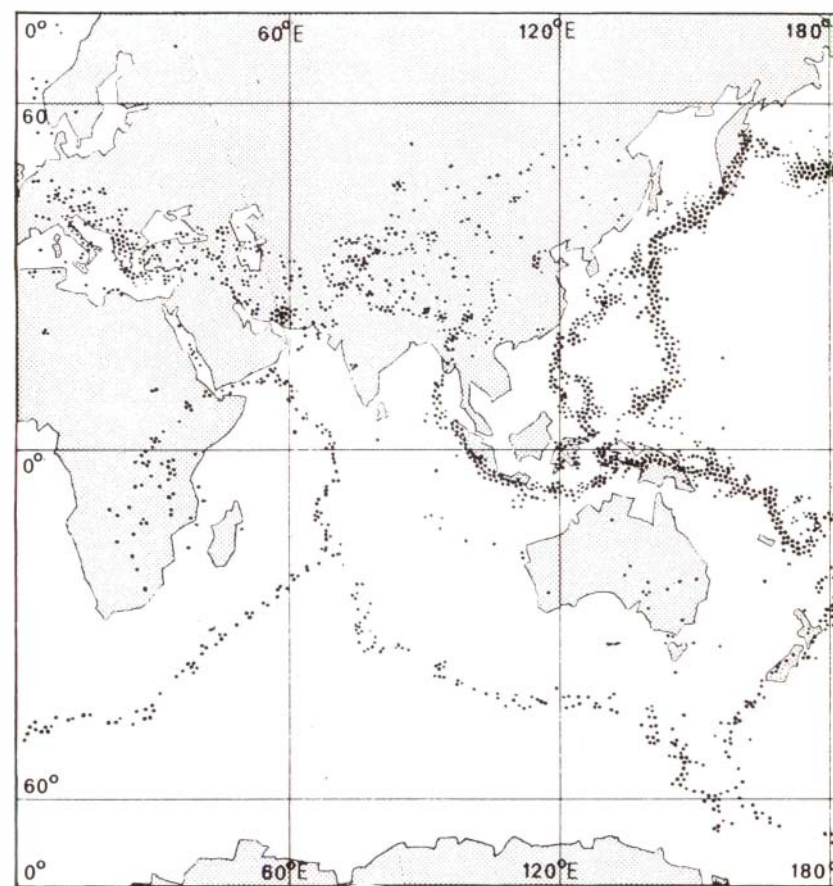
Una de les catàstrofes naturals més terribles que periòdicament assola diverses regions de la Terra és la causada pels terratrèmols. En aquest treball s'aborden les explicacions generals dels moviments sísmics, així com la seva distribució geogràfica al món, amb comentaris especials sobre el cas de l'àrea mediterrània, en la qual es troba la península ibèrica.

Agustín Udías (Santander, 1935) és doctor en ciències físiques per les universitats de Saint Louis (EUA) i Complutense de Madrid. És catedràtic de geofísica de la Universitat Complutense de Madrid des del 1976. Ha realitzat estudis a Saint Louis (Missouri), Berkeley (Califòrnia) i Frankfurt (República Federal d'Alemanya). Ha estat professor de la Universitat de Barcelona. Des del 1974 és coordinador del Grup de treball de perfils sísmics profunds a l'Estat espanyol. Des del 1977 és president de la subcomissió europea per a l'estudi del mecanisme dels terratrèmols. El seu treball constitueix la contribució 155 de la càtedra de geofísica de la Universitat Complutense de Madrid.

Alguns terratrèmols han arribat a causar víctimes per sobre de les dues-centes mil persones i els seus efectes destructors s'han sentit en àmplies zones que comprenen cents de mils de quilòmetres quadrats. Alguns dels terratrèmols més notables dels últims temps són el de Kwanto, al Japó, de l'1 de setembre del 1923, en què Tokyo i Yokohama foren assolades pel foc, que causà més de cent mil morts; els ocorreguts el maig del 1960 a Xile, on s'obrí una esquerda de mil quilòmetres al llarg de la costa del Pacífic; el del Perú del 31 de maig del 1970, en el qual diversos pobles quedaren totalment sepultats sota un esclavissament de terra causat pel terratrèmol dels Andes; el del 27 de juliol del 1976, a la província de Tangshan, a la Xina, on s'estima que moriren més de mig milió de persones.

La causa dels terratrèmols està en les fractures o les falles que es produeixen en l'escorça terrestre degudes a les forces de tensions i compressions que hi estan actuant. Un terratrèmol es produeix quan les pressions excedeixen la resistència del material de l'escorça terrestre, que es fractura desplaçant una part respecte a l'altra. El moviment relatiu produït per un terratrèmol dels dos blocs de l'escorça a ambdós costats d'una falla pot ser vertical, horitzontal o una combinació d'ambdós. Aquestes fractures, o falles, poden reconèixer-se en el terratrèmol. No totes les falles geològiques són actives, és a dir, no totes produeixen terratrèmols. L'estudi de les falles actives és molt important per a determinar el risc de terratrèmols en una determinada regió.

Les fractures produïdes pels terratrèmols no sempre són apreciables a la superfície. En el cas de terratrèmols profunds (entre

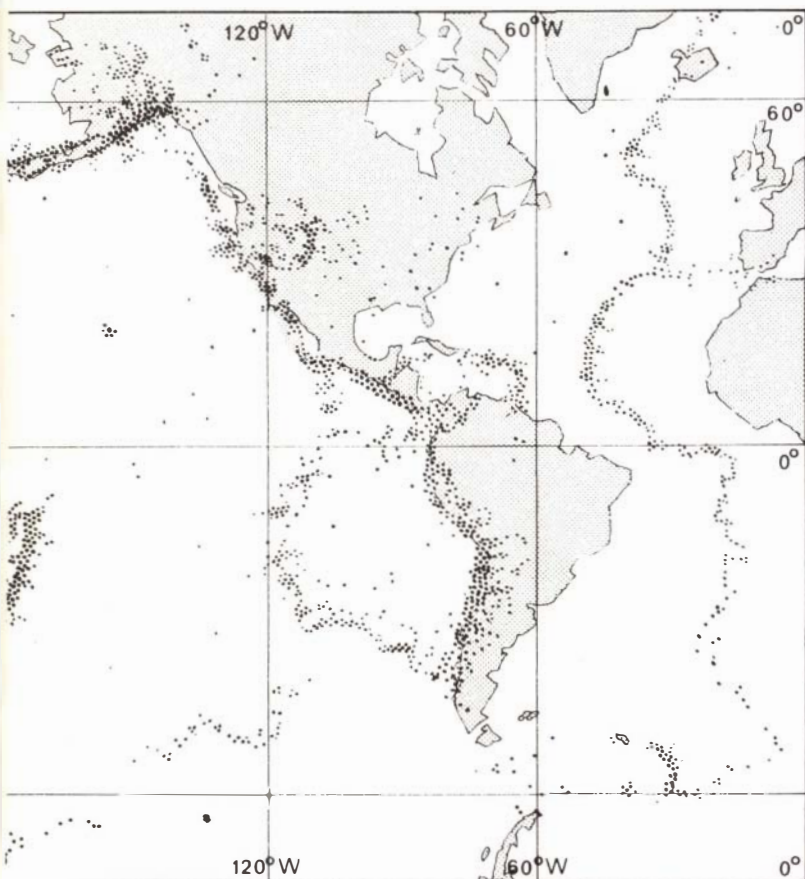


100 i 700 km de profunditat) no es produeixen fractures visibles, mentre que en els molt superficials aquestes fractures es poden observar en el terreny, de vegades al llarg de molts quilòmetres. En el cas del terratrèmol de San Francisco, a Califòrnia, del 1906, es produí una ruptura horitzontal al llarg de més de 300 km amb desplaçaments d'un costat respecte a l'altre de fins 6 metres.

La grandària d'un terratrèmol se sol mesurar principalment de dues maneres. Una mesura ens dona la *intensitat* amb la qual se sent un terratrèmol en cada punt de la superfície i es mesura pels efectes produïts sobre edificis i terreny. L'escala utilitzada actualment a l'Estat espanyol és la MSK, que és una modifica-

TERRATRÈMOLS

*Distribució dels terratrèmols.
Observeu les alineacions i les zones
que es delimiten, les quals corresponen
a les plaques de l'escorça terrestre.*



ció de l'escala proposada per G. Mercalli el 1902. Aquesta escala té 12 graus que es designen per números romans de I al XII. A partir del grau VIII, un terratrèmol es considera destructor. Una altra mesura la dona la *magnitud*, que representa el logaritme de l'energia dissipada en el focus d'un terratrèmol. L'escala de magnitud fou proposada per primer cop per C.F. Richter el 1935 en el seu estudi dels terratrèmols de Califòrnia. La major magnitud que s'ha observat en els terratrèmols és 8.7 i són sentits per les persones a partir del grau 4.

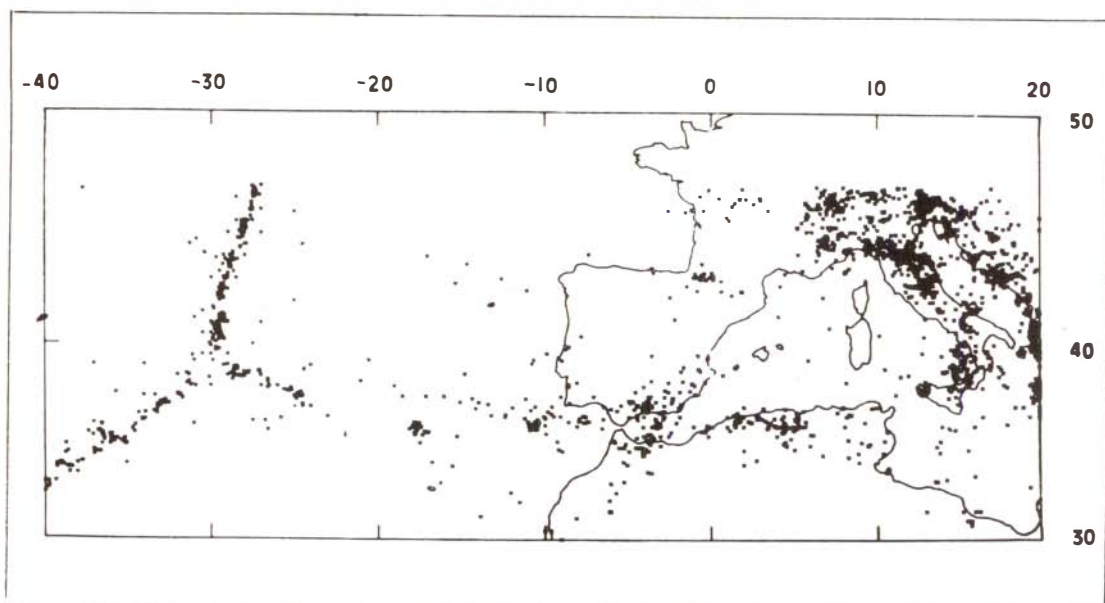
Les dues mesures són necessàries, ja que algun cop un terratrèmol de magnitud relativament moderada pot produir grans

danys, és a dir, pot tenir una intensitat alta. Aquest fou el cas del terratrèmol d'Agadir (Marroc) el 1960, que causà la destrucció gairebé total de la ciutat i més de deu mil morts, encara que la seva magnitud fos només 5.7.

Els terratrèmols es donen a l'interior de la litosfera terrestre. Aquesta constitueix els 100 km més superficials de la Terra i inclou l'escorça i part del mantell superior d'ella. Els focus sísmics, tanmateix, poden localitzar-se fins a uns 700 km de profunditat en zones on la litosfera s'enfonsa en l'interior de la Terra. La projecció sobre la superfície de la Terra del focus sísmic s'anomena *epicentre*. S'acostuma a parlar de la distribució d'epicentres i representar-los al mapa quan hom parla dels llocs on es produeixen terratrèmols.

Geografia dels terratrèmols

Els terratrèmols no es donen en qualsevol lloc de la Terra, sinó que es concentren en certes zones. Aquestes zones hom les anomena *zones sísmiques actives*. Fora d'elles, la probabilitat que succeeixi un terratrèmol és molt petita. Les zones sísmiques més importants formen unes franges estretes que divideixen la superfície de la Terra en àrees a l'interior de les quals els terratrèmols es donen amb molt poca freqüència. Aquestes franges coincideixen, en els oceans, amb les grans serralades oceàniques. Un exemple d'aquestes serralades és la del centre l'Atlàntic, que s'estén en direcció nord-sud des d'Islàndia fins a l'Antàrtida, passant per les illes Açores, on la serralada aflora per sobre el nivell del mar. Les altures d'aquestes serralades poden arribar a 2.000 o 3.000 metres sobre el fons de l'oceà i s'hi produeixen freqüents erupcions volcàniques. Altres franges sísmiques coincideixen amb les vores dels continents, que s'anomenen en aquest cas vores actives. Des d'aquest punt de vista, la vora occidental d'Amèrica del Sud és activa, mentre que la vora oriental no ho és. La vora entre el continent d'Euràsia i el d'Àfrica, que inclou la regió de la Mediterrània, constitueix també una vora activa. De vegades es donen regions sísmiques actives a l'interior dels continents, com ara a la regió de l'Himàlaia i al nord de la Xina. Un tipus de zona sísmicament activa molt important és la formada pels arcs d'illes, és a dir, els arxipèlags en forma d'arc. Aquests arcs d'illes es troben sobretot al marge oriental d'Àsia, des de les illes Aleutianes i les Kurils, al nord, fins a les illes Tonga i Fiji, al sud. En conjunt, les zones de terratrèmols divideixen la Terra en un mosaic de grans peces set de les quals són les més importants: Amèrica, Euràsia, Àfrica, Índia-Austràlia, Nazca, Pacífic i Antàrtida. Aquestes peces estan formades per plaques litosfèriques, el reajustament i moviment de les quals produeix els terratrèmols a les seves vores. Segons la teoria anomenada de "tectònica de plaques", fa aproximadament uns dos-cents milions d'anys tots els continents estaven units en un de sol que al llarg de la



Distribució de terratrèmols a la regió de les Açores i del Mediterrani occidental, tenint en compte els succeïts entre 1910 i 1977.

història geològica s'ha anat dividint i separant per formar l'actual distribució de continents i oceans. Aquest moviment que originà la separació dels continents continua actiu avui dia i és el responsable que es produeixin forces a les vores de les plaques, el que dona origen als terratrèmols. Les regions situades a les vores de les plaques són zones essencialment actives en les quals el risc de terratrèmols destructors és gran.

La zona activa, des de les Açores fins a l'oest de la Mediterrània

Des del punt de vista de les zones actives de terratrèmols, la península ibèrica està situada pràcticament al centre d'una línia que va des de les illes Açores fins a Itàlia. Al llarg d'aquesta línia es donen terratrèmols que arriben a ésser freqüentment destructors. Els més importants succeïts en aquesta zona el 1980 són el de l'1 de gener a les Açores, que causà danys molt greus a l'illa de Terceira, el del 10 d'octubre a Algèria, amb la destrucció de la ciutat d'El Asnam, i el més recent del 23 de novembre al sud d'Itàlia, que ha assolat la regió entre Nàpols i Potenza. Aquest terratrèmols suposen una activitat inusual a la part occidental de la Mediterrània.

Aquesta línia passa pel sud de la península ibèrica, on defineix

una regió sísmica que ocupa l'àrea al sud del Guadalquivir. En aquesta regió es donen continus terratrèmols de petita magnitud. Un exemple d'aquest tipus d'activitat tingué lloc a la regió de Granada entre el juny i l'agost del 1979, un període en el qual la població sentí més de trenta terratrèmols. De tard en tard també es donen en aquesta regió terratrèmols destructors, entre els quals podem destacar el de 1504 a Carmona (Sevilla), que n'aterrà les muralles, el del 1680 a Màlaga, el del 1804 a Granada, el del 1829 a Torrevella (Alacant), població que hagué d'ésser reconstruïda totalment i el del 1884 a Alhama (Granada), en el qual alguns pobles foren totalment destruïts i en què el nombre de morts ascendí a prop de mil.

Un focus sísmic important prop de la península és el situat en el golf de Cadis davant el cap de San Vicente, on se suposa que estigué situat l'epicentre del terratrèmol que el febrer del 1969 fou sentit a tot l'Estat espanyol. D'una manera aproximada es pot dir que el sud d'Espanya es veu afectat per un terratrèmol destructor cada cent o cent cinquanta anys. Una altra zona sísmicament activa de la península està situada a la regió del Pirineu i Catalunya. En aquesta zona s'ha de destacar la llarga sèrie de terratrèmols destructors que tingueren lloc el 1428 i que causaren greus danys i víctimes a gairebé tot Catalunya, especialment a la zona propera a Olot.

(Agustín Udías)

MAGNITUD I INTENSITAT DELS TERRATRÈMOLS

La *magnitud* d'un terratrèmol és una mesura *instrumental* de la seva grandària; la magnitud es relaciona amb l'energia que transporten les ones sísmiques. S'expressa en nombres decimals.

La *intensitat* és indicativa dels efectes d'un terratrèmol. A la majoria dels països europeus s'ha adoptat una modificació de l'escala de *Mercalli*, l'anomenada escala *MSK*, proposada el 1964 per S.V. Medvedev, W. Sponhauer i V. Karnik en col·laboració amb un grup de treball constituït per la tretze assemblea general de l'UGGI (Berkeley, Califòrnia, 1963). Aquesta escala ha estat adoptada oficialment a l'Estat espanyol i s'inclou en la norma sismoresistent publicada al BOE, 21-IX-1974, decret 3209/1974.

Efectes que defineixen els graus d'intensitat MSK

a) Fenòmens sentits per la població; b) Danys produïts a les construccions; c) Canvis advertits en la natura.

Tipus de construccions

Tipus A: construccions amb murs de maçoneria en sec o amb

fang.

Tipus B: construccions amb murs de fabrica de totxo, de blocs de morter, etc.

Tipus C: construccions amb estructura metàl·lica o de formigó armat.

Termes de quantitat utilitzats

Quan es diu *alguns* vol dir un 5 per cent; *molts*, un 50 per cent; *la majoria*, un 75 per cent.

Classificació dels danys en les construccions

Classe 1: danys lleugers. Fissures als revestiments, caiguda de petits trossos de revestiment.

Classe 2: danys moderats. Fissures a les parets, caiguda de teules, esquerdes i fins esfondraments parcials de les xemeneies de fabrica.

Classe 3: danys greus. Esquerdes als murs, caiguda de xemeneies de fabrica o d'altres elements externs.

Classe 4: destrucció. Esquerdes a les parets resistents amb enderrocament parcial i amb pèrdua d'enllaç entre diferents parts de la construcció.

Classe 5: col·lapse. Runa completa de la construcció.

Descripció dels graus d'intensitat MSK

Grau I: El sacsejament no és percebut pels sentits humans, però els sismògrafs el detecten i el registren.

Grau II: El sacsejament és perceptible només per *algunes* persones en repòs, en particular als pisos superiors dels edificis.

Grau III: El sacsejament és percebut per *algunes* persones a l'interior dels edificis. La vibració percebuda és semblant a la causada pel pas d'un camió lleuger. Observadors molt atents poden notar balanceigs lleugers d'objectes penjats, sobretot als pisos més alts.

Grau IV: El sisme és percebut per *moltes* persones a l'interior dels edificis i per *algunes* persones a l'exterior. Algunes persones que dormen es desperten però no arriben a espantar-se. La vibració és comparable a la produïda pel pas d'un camió pesant amb càrrega. Les finestres, les portes i la vaixel·la vibren. El mobiliari es comença a moure. Els objectes penjats es balancegen lleugerament.

Grau V: a) El sisme és percebut a l'interior dels edificis per *la majoria* de les persones i per *moltes* de l'exterior. *Moltes* persones que dormen es desperten i algunes fugen al carrer. Les construccions trontollen amb una vibració general. Els objectes penjats es balancegen àmpliament. En alguns casos els rellotges de pèndol s'aturen. Les portes i les finestres baten amb violència. Els líquids continguts en recipients oberts i plens vessen lleugerament.

b) A les construccions de *tipus A* són possibles *danyos lleugers*.
c) En certs casos es modifica el cabal de les fonts.

Grau VI: a) *La majoria* de les persones senten el sacsejament, dintre i fora dels edificis. *Moltes* persones surten al carrer esporuguides. *Algunes* persones arriben a perdre l'equilibri. En algunes ocasions, la vaixel·la i la cristalleria es trenquen, els llibres cauen dels prestatges i els quadres es mouen. Els mobles feixucs poden arribar a moure's. Les campanes petites poden sonar.

b) Es produeixen *danyos moderats* en *algunes* construccions del *tipus A*. S'originen *danyos lleugers* en *algunes* construccions del *tipus B* i en *moltes* del *tipus A*.

c) En sòls humids, poden obrir-se esquerdes de fins 1 cm. Hi ha canvis al cabal de les fonts i al nivell dels pous.

Grau VII: a) *La majoria* de les persones s'esporgueixen i corren cap al carrer. *Moltes* tenen dificultats a mantenir-se dretes. Les persones que condueixen automòbils senten les vibracions. Les campanes grans sonen.

b) *Moltes* construccions del *tipus A* sofreixen *danyos greus* i *algunes, destrucció*. *Moltes* construccions del *tipus B* sofreixen *danyos moderats*. *Algunes* construccions del *tipus C* experimenten *danyos lleugers*.

c) En alguns casos, es produeixen desplaçaments a les carreteres. S'originen danys a les juntes de les canalitzacions. S'aprecien ones als llacs i l'aigua es torna tèrbola. Canvia el nivell dels pous i el flux de les fonts.

Grau VIII: a) Por i pànic general, fins entre els conductors. En alguns casos es desprenen branques dels arbres. Els mobles, fins els més pesats, es mouen o es tomben. Els llums penjats sofreixen danys parcials.

b) *Moltes* construccions del *tipus A* sofreixen *destrucció* i, *algunes, col·lapse*. *Moltes* construccions del *tipus B* sofreixen *danyos greus* i, *algunes, destrucció*. *Moltes* construccions del *tipus C* sofreixen *danyos moderats* i, *algunes, greus*. Les estàtues i els monuments es mouen de lloc.

c) Esquerdes d'uns quants centímetres al sòl. Apareixen noves fonts. En molts casos canvia el cabal de les fonts i el nivell d'aigua dels pous.

Grau IX: a) Pànic general. Danys considerables al mobiliari.
b) *Moltes* construccions del *tipus A* sofreixen *col·lapse*. *Moltes* construccions del *tipus B* sofreixen *destrucció* i, *algunes, col·lapse*. Cauen monuments i columnes. En alguns casos els rails del ferrocarril es corben i les carreteres queden fora de servei.

c) S'obren esquerdes en el terreny de fins 10 cm i més a les fal·des de les muntanyes. Hi ha esclavissaments de roques i allaus. Hi ha grans onades en llacs i embassaments.

Grau X: b) *La majoria* de les construccions del *tipus A* sofreixen *col·lapse*. *Moltes* construccions del *tipus B* sofreixen *col·lapse*. *Moltes* construccions del *tipus C* sofreixen *destrucció*, i, *algunes, col·lapse*. Danys perillosos als embassaments; danys seriosos en ponts. Les vies de tren es desvien i s'ondulen. El paviment dels carrers i l'asfalt formen grans ondulacions.

c) Esquerdes d'algunes desenes de centímetres, que poden arribar a un metre, al sòl. Es produeixen esquerdes paral·leles als cursos d'aigua. L'aigua dels canals i dels rius és llançada fora del seu curs.

Grau XI: b) Danys importants en les construccions, fins en ponts, rescloses i línies de ferrocarril. Les canalitzacions subterrànies queden destruïdes.

c) El terreny queda considerablement deformat. Moltes caigudes de roques.

Grau XII: b) Es destrueixen o queden greument danyades totes les estructures, fins les subterrànies.

c) La topografia canvia. Grans esquerdes en el terreny. Es tanquen les valls i es transformen en llacs. Apareixen cascades i es desvien els rius.

TERRATRÈMOLS NOTABLES AL MÓN

Any	Data	Regió	Morts	Magnitud	Comentaris
856	desembre	Corint, Grècia	45.000		
1038	9 gener	Shensi, Xina	23.000		
1057		Chihli, Xina	26.000		
1268		Sicília i Asia Menor	60.000		
1290	27 setembre	Chihli, Xina	100.000		
1293	20 maig	Kamakura, Japó	30.000		
1531	26 gener	Lisboa	30.000		
1556	23 gener	Shensi, Xina	830.000		
1663	5 febrer	Riu Sant Llorenç, Canadà			intensitat màxima X
1667	novembre	Shemaka, Caucas	80.000		
1693	11 gener	Catània, Itàlia	60.000		
1737	11 octubre	Calcuta, Índia	300.000		
1755	7 juny	Nord de Pèrsia	40.000		
1755	1 novembre	Lisboa	70.000		gran tsunami
1783	4 febrer	Quito, Equador	40.000		
1811	16 desembre	New Madrid (Missouri)	molts		intensitat XI n'hi hagué també el 23 de gener i el 7 de febrer de 1812
1812	21 desembre	Costa Santa Bàrbara (Califòrnia)			intensitat màx. X tsunami incert
1819	16 juny	Cutch, Índia	1.543		
1822	5 setembre	Aleppo i Àsia Menor	22.000		
1828	18 desembre	Echigo, Japó	30.000		
1857	9 gener	Fuerte Tejón (Califòrnia)			trencament de la falla de San Andreas, intensitat X-XI
1868	13 agost	Perú i Bolívia	25.000		
1868	16 agost	Equador	40.000		
		Colòmbia	30.000		
1872	26 març	Vall d'Owens (Califòrnia)	aprox. 50		
1886	31 agost	Charleston-Summerville (Carolina del Sud)	aprox. 60		
1891	28 octubre	Mino-Owari, Japó	7.000		
1896	15 juny	Riku-Ugo, Japó	22.000		tsunami
1897	12 juny	Assam, Índia	1.500	8.7	
1899	3 i 10 setembre	Badia de Yakutat (Alaska)		7.8 i 8.6	
1906	18 abril	San Francisco (Califòrnia)	700	8.25	
1908	28 desembre	Messina, Itàlia	120.000	7.5	
1915	13 gener	Avezzano, Itàlia	30.000	7	
1920	16 desembre	Kansu, Xina	180.000	8.5	
1923	1 setembre	Kwanto, Japó	143.000	8.2	gran foc a Tokyo
1932	26 desembre	Kansu, Xina	70.000	7.6	
1935	31 maig	Quetta, Índia	60.000	7.5	
1939	24 gener	Chillan, Xile	30.000	7.75	

**CONÈIXER ELS
TERRATRÈMOLS**

(ciència 8

agost 1981/475) 11

1939	27 desembre	Erzincan, Turquia	23.000	8.0	
1948	28 juny	Fukui, Japó	5.131		
1949	5 agost	Delileo, Equador	6.000		
1960	29 febrer	Agadir, Marroc	14.000	5.9	
1960	21-30 maig	Sud de Xile	5.700	8.5	
1962	1 setembre	Nord-oest de l'Iran	14.000	7.3	
1963	26 juliol	Skopje, Iugoslàvia	1.200	6.0	
1964	28 març	Alaska	131	8.6	tsunami a la badia Prince William
1968	31 agost	Iran	11.600	7.4	falla superficial. Pèrdues de 530 milions de dòlars
1971	9 febrer	San Fernando (Califòrnia)	65	6.5	550 milions de dòlars en pèrdues
1972	23 desembre	Managua, Nicaragua	5.000	6.2	
1975	4 febrer	Província de Liaoning, Xina	pocs	7.4	predit
1976	4 febrer	Guatemala	22.000	7.9	trencament de 200 km. a la falla de Motagua
1976	6 maig	Friüli, Itàlia	965	6.5	importants danys. No hi hagué falles superficials importants danys, 780.000 ferits, no predit danys a Bucarest
1976	27 juliol	Tangshan, Xina	650.000	7.6	
1977	4 març	Vrancea, Romania	2.000	7.2	
1979	15 abril	Montenegro, Romania			
1979	12 desembre	Colòmbia	600	7.9	
1980	1 gener	Açores			
1980	10 octubre	El Asnam, Algèri			
1980	23 novembre	Sud d'Itàlia			

TERRATRÈMOLS DESTRUCTORS MÉS DESTACATS A LA PENÍNSULA IBÈRICA

1428, 2 de febrer

Catalunya. Culinació de la sèrie de terratrèmols iniciada el maig del 1427. Afectà Olot, Puigcerdà, Camprodon, Sant Joan de les Abadesses... Provocà danys greus i uns 800 morts.

1504, 5 d'agost

Carmona (Sevilla), destrucció de la ciutat i les murades.

1680, 9 d'octubre

Màlaga. Danys molt greus, 1.000 cases enderrocades i prop de 80 morts.

1755, 1 de novembre

Lisboa. Destrucció de la ciutat, danys a tot Portugal i a l'Estat espanyol. Es comptabilitzaren prop de 20.000 morts. El terratrèmol fou seguit per un gran tsunami.

1829, 21 de març

Torrevella (Alacant). 3.000 cases destruïdes i més de 400

morts.

1884, 24 de desembre

Entre Granada i Màlaga. Alguns pobles totalment destruïts. 800 morts aproximadament.

Terratrèmols d'intensitat mitjana entre 1910-1970

1911,	21 de març	Cotillas (Múrcia)	VIII
1919,	10 de setembre	Jacarilla (Múrcia)	VIII
1923,	19 de novembre	Viella (Vall d'Aran)	VIII
1930,	5 de juliol	Montilla (Còrdova)	VIII
1948,	23 de juny	Cehegin (Múrcia)	VIII
1951,	10 de març	Bailèn (Jaén)	VIII
1951,	19 de maig	Alcaudete (Jaén)	VIII
1954,	8 de gener	Arenas del Rey (Granada)	VII-VIII
1954,	29 de març	Durcal (Granada)	V
1956,	19 d'abril	Albolote-Atarfe (Granada)	VIII
1961,	4 de setembre	Cervera del Río Alhama (Logronyo)	VIII
1964,	9 de juny	Orce-Galera (Granada)	VII-VIII