

ESTUDI DE LA SISMICITAT DE CATALUNYA

per Antoni Roca Adrover i
Emma Suriñach Cornet

18 (482 / agost 1981

ciència 8)

Quines són les probabilitats d'ocurrència d'un terratrèmol de grandària important al Principat? Les dades de la sismologia històrica juntament amb el catàleg de terratrèmols de l'època instrumental són la base necessària per a un estudi de la sismicitat. Els resultats dels primers treballs referents a Catalunya són el contingut principal del present article.

Antoni M. Roca i Adrover (Ciutat de Mallorca, 1951) es llicencià en física a Barcelona l'any 1974. La seva tesina de llicenciatura fou: *Sismicidad de Catalunya 1907-1974 y relación señal-ruido en una estación para el estudio de sismicidad*. Ha realitzat treballs i publicacions relacionats amb la sismicitat i el risc sísmic i la instrumentació. Féu una estada a la

Universitat de Califòrnia, a Berkeley. Actualment treballa a OFITECO (Madrid) sobre temes relacionats amb sismicitat i enginyeria sísmica. Emma Suriñach i Cornet (Barcelona, 1951) es llicencià en física a Barcelona l'any 1975 i obtingué el doctorat a Madrid el 1980. És membre del grup de perfils sísmics profunds. És professora ajudant a la càtedra de geofísica de la Universitat

Complutense de Madrid des del 1976. El seu camp de recerca és el tractament matemàtic dels registres sísmològics, mitjançant processos d'inversió. Actualment ambdós autors s'ocupen de la revisió i la posada al dia dels terratrèmols catalans. Aquest article és la contribució 156 de la càtedra de geofísica de la Universitat Complutense de Madrid.

magnituds recopilats a partir de documents històrics. Darrerament els petits terratrèmols d'Anglès (els majors de la sèrie es van sentir amb una intensitat màxima V), que s'esdevingueren el mes de maig del 1979, el que tingué lloc al sud de França (Tarbes) l'11 de març del 1980, que fins i tot fou notat a Barcelona i, més darrerament, el de Sant Celoni (Vallès Oriental) del 14 de desembre del 1980 ens han recordat un cop més que malgrat que Catalunya no té un grau elevat de sismicitat, els terratrèmols no han deixat mai de manifestar-s'hi al llarg dels segles.

La industrialització d'un país fa que augmentin les pèrdues, tant a nivell econòmic com de vides humanes, quan s'esdevé un terratrèmol destructor. Un sisme moderat pot arribar a provocar danys en estructures singulars com rescloses, centrals nuclears, ponts, aqueductes, vies de comunicació que constitueixen artèries vitals, fàbriques de processament de materials perillosos, etc., el que podria desencadenar conseqüències desastroses. Per això per a decidir l'emplaçament de construccions com les esmentades cal considerar especialment el risc sísmic de la zona. La societat industrial ha de ser conscient d'aquest i d'altres riscos que ocupen un dels plats de la balança del progrés. En lloc de defugir-los cal quantificar-los i adoptar les mesures possibles, amb la tecnologia de què es disposa, per a la seva mitigació. En el cas que tractem, cal el desenvolupament i l'aplicació del disseny antisísmic i un control continu que inclou l'adequada instrumentació.

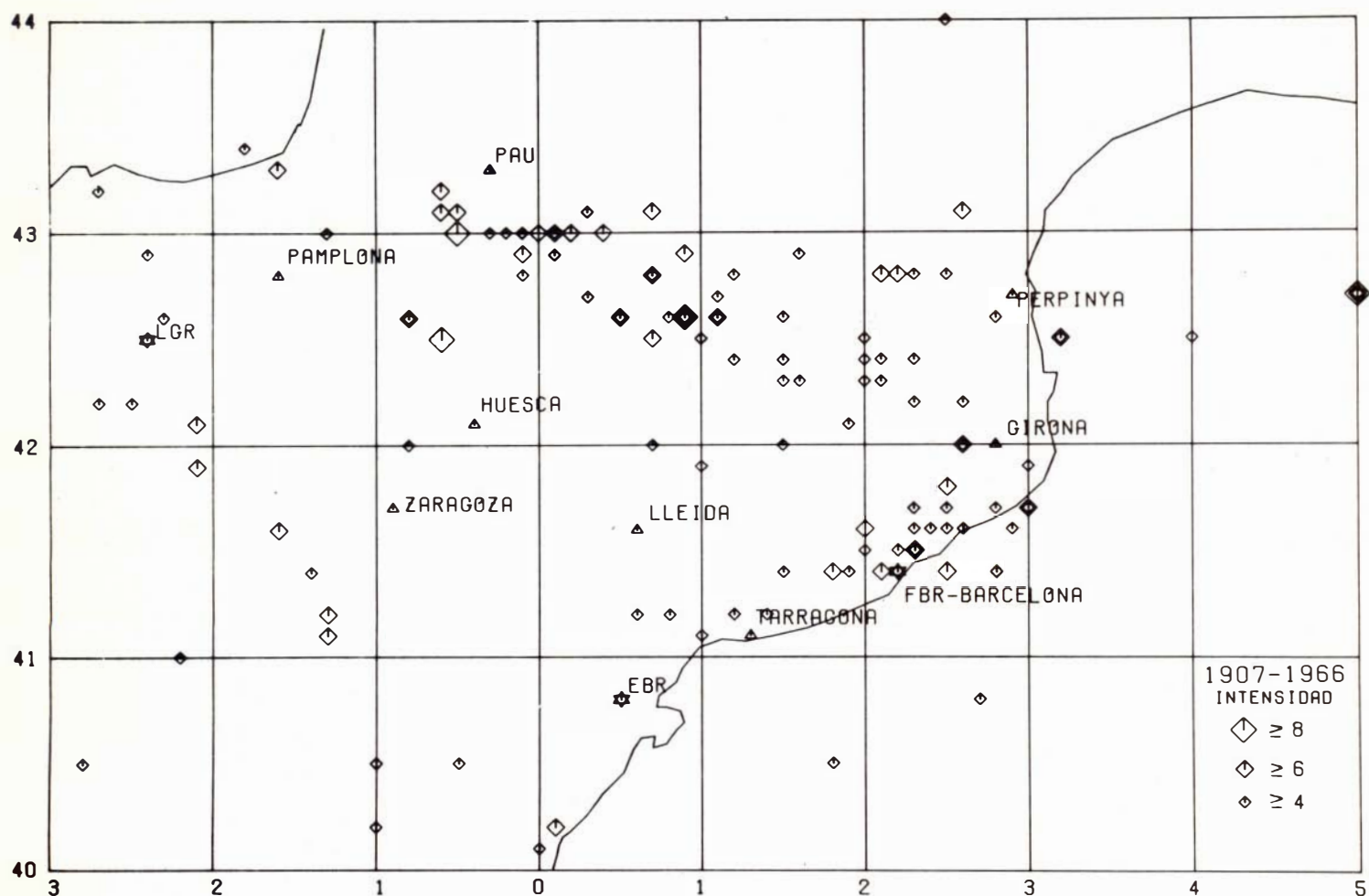
Per a avaluar el risc sísmic d'un emplaçament s'han de conèixer, en primer lloc, les probabilitats d'ocurrència de terratrèmols de diferent grandària dins d'una àrea relativament extensa entorn del lloc d'interès. Per a calcular-les, cal tenir el màxim de dades sobre el passat i el present pel que fa a la sismicitat, a més d'altres elements bàsics per a una interpretació idònia d'una tal informació.

Com es caracteritza la sismicitat?

Entenem per sismicitat la localització dels terratrèmols en l'espai i en el temps. Això ens ve determinat per les coordenades geogràfiques, la profunditat i l'hora origen dels sismes, a més d'un paràmetre que proporciona informació sobre la seva grandària. Els paràmetres més utilitzats per a caracteritzar-la són la magnitud i la intensitat. La *intensitat* és una mesura dels danys causats pel sisme i es dedueix de les dades macrosísmiques, és a dir, les obtingudes de l'observació dels efectes sobre

Des del segle XV, quan van succeir els famosos moviments sísmics a l'àrea d'Olot (tractats en aquest mateix número), no han sobrevingut al Principat de Catalunya gaires terratrèmols destructors. Però, si mirem enra en el temps, ens trobem d'una manera més o menys contínua que els sismes s'hi han anat deixant sentir amb intensitats no gens menyspreables. Així, per exemple, l'any 1515, un terratrèmol difícil de localitzar geogràficament provocà danys a alguns edificis de Lleida i Juneda. El segle XVII es van sentir diversos terratrèmols d'epicentre pirenaic en una gran extensió de Catalunya. Al Canigó, el 16 d'octubre del 1763, un sisme d'intensitat VII, com a màxim, destruï algunes edificacions. El 24 d'abril del 1776, un terratrèmol important provocà efectes seriosos en l'àrea pròxima a la vila de Gerri de la Sal... Al recull d'Eduard Fontserè i Josep Iglésies (*Recopilació de dades sísmiques de les terres catalanes entre 1100 i 1906*, Barcelona, Fundació Salvador Vives Casajuana, 1971), es troben descripcions de sismes de diferents

Figura 1. Mapa de sísmicitat a la zona del Principat en el període 1907-1966, segons el catàleg d'A. Roca del 1975, corregit. La mida diferent dels símbols correspon a les diferents intensitats. Els estels representen els observatoris. Observeu l'alineació dels epicentres entorn dels Pirineus, les serralades Litoral i Prelitoral catalanes, l'alineació paral·lela a la costa i la del Sistema Ibèric ("Plotier" d'E. Surinach i A. Roca).



els terrenys, les persones i les estructures. És un paràmetre que està relacionat amb l'acceleració del sòl al pas de les ones elàstiques produïdes pel terratrèmol. Per estudiar els efectes d'un sisme es determina la intensitat I a diferents punts, i quan hi ha dades suficients, es dibuixen mapes d'isosises (és a dir, les línies que separen zones en les quals el terratrèmol s'ha sentit amb el mateix grau d'intensitat); la intensitat màxima observada I_0 (o intensitat epicentral) es dona com a paràmetre característic del moviment sísmic. La *magnitud* és una mesura instrumental i constitueix una estimació de l'energia alliberada per un terratrèmol en forma d'ones elàstiques. Per calcular-la es mesura l'amplitud màxima de diferents fases dels registres dels sismògrafs.

En el paràmetre d'intensitat, a més de la grandària del terratrèmol, influeixen altres factors, com ara les condicions geològiques, les característiques del terreny, etc. I_0 és l'única mesura raonable de la grandària dels terratrèmols antics, dels quals no

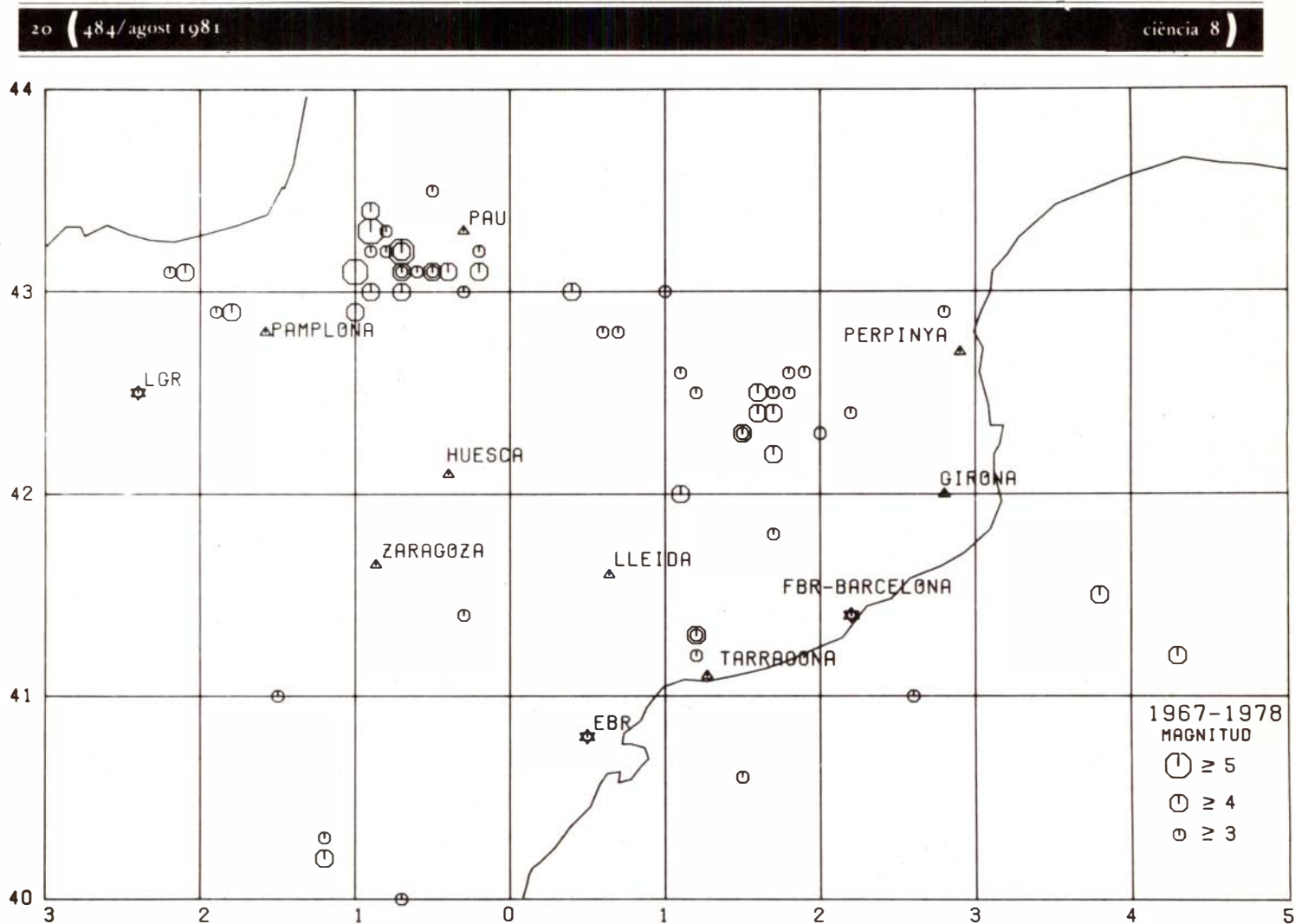
es tenen dades experimentals.

El cas del Principat

A Catalunya, l'etapa instrumental comença entorn dels anys 1906-1907, quan es posen en operació els sismògrafs de l'Observatori de l'Ebre, al Baix-Ebre —l'estació fou inaugurada el 1905—, i el de la secció sísmica de l'Observatori Fabra, a Barcelona, el 1907. Així i tot, gran part dels terratrèmols que tingueren lloc en aquesta primera etapa no es registren instrumentalment, i per a localitzar-los s'ha de recórrer a la informació macrosísmica proporcionada per la xarxa d'observadors, molts d'ells voluntaris, una xarxa que fou organitzada per l'Observatori Fabra i que arribava arreu de Catalunya. Per tant, s'ha d'utilitzar la intensitat per a indicar-ne la grandària. Els anys 1966-67 es modernitza l'instrumental d'ambdós ob-

ESTUDI DE LA SISMICITAT DE CATALUNYA

Figura 2. Mapa de sismicitat a la zona del Principat en el període 1967-68. La mida diferent dels símbols representa les diferents magnituds. S'observa la mateixa alineació que al mapa d'intensitats. (Elaborat segons el catàleg d'A. Roca "Plotter", d'E. Surinach i A. Roca).



servatoris i passen del registre mecànic a sismògraf electromagnètic. Els observatoris de l'Ebre i el Fabra, però, continuen essent les dues úniques estacions de què es disposa a Catalunya per al control de la sismicitat, ja que les més properes són les de Logronyo i Alacant. Darrerament, l'any 1977, s'instal·là a la resclosa de Susqueda (prop d'Amer) un sismògraf, propietat d'Hydroelèctrica de Catalunya. El 1980 s'ha posat en servei un altre instrument portàtil de la Universitat de Barcelona al Pirineu, prop d'Esterrri d'Àneu.

A partir del catàleg de Roca (*Sismicidad de Catalunya 1907-1974 y relación señal-ruido en una estación para el estudio de sismicidad local*. Tesi de llicenciatura. Universitat de Barcelona, 1975), corregits alguns errors i ampliat fins al 1978, hem elaborat els mapes de sismicitat que es troben a les figures 1 i 2. En el primer (Fig. 1) representem els epicentres del període 1907-1966. La grandària dels símbols és funció de la intensitat. A l'altre mapa (Fig. 2) es troba representada, també amb

símbols relacionats amb la magnitud, en aquest cas, la localització actual dels terratrèmols registrats instrumentalment dins el període 1967-1978. Cal dir que, donada la manca d'observatoris, és impossible detectar i localitzar els terratrèmols de petita magnitud. Fins i tot les localitzacions dels grans moviments sísmics tenen una alta imprecisió i és gairebé impossible determinar llur profunditat.

Què podem dir a partir de les dades sísmiques de què disposem?

L'observació de les figures 1 i 2 fa palesa la distribució dels terratrèmols dins d'unes zones força determinades: al llarg dels Pirineus, amb un augment de la densitat a la zona d'Arret i d'Olot; una segona alineació al llarg de les serralades Litoral i Pre-litoral, amb una concentració més gran en les proximitats

de Barcelona; una altra línia de terratrèmols marins paral·lela a la costa i a uns seixanta quilòmetres d'ella; i, finalment, uns quants epicentres que segueixen la línia del sistema Ibèric des del Cantàbric fins a la Mediterrània.

Ja hem indicat que la xarxa actual de sismògrafs és insuficient per a determinar la profunditat dels terratrèmols, essent aquest darrer un paràmetre important a l'hora de fer una interpretació sismotectònica de la situació. Tanmateix, expliquem la sismicitat de Catalunya dins el següent esquema:

Els terratrèmols són fenòmens lligats a un alliberament bruscat de l'energia acumulada en una zona. On hi ha terratrèmols hi ha o hi ha hagut tensions, o, millor dit, acumulació d'esforços. Podem dir, doncs, que a la zona de Catalunya hi ha esforços acumulats. Es pot considerar l'àrea aproximadament triangular delimitada per les alineacions abans esmentades com un subbloc a part del bloc sísmicament estable de la península ibèrica. Aquest subbloc actua com una frontera entre el límit sud-oest de la gran placa euroasiàtica i la placa parcialment independent de la península ibèrica. Ja és ben sabut que el Pirineu representa la línia de contacte entre aquestes dues plaques. És a les vores d'aquest subbloc on tenen lloc els terratrèmols.

La imprecisió de les observacions dona inseguretats a la interpretació

Ja hem assenyalat un dels motius de les imprecisions en la determinació dels epicentres: la manca d'estacions i la poca sensibilitat dels aparells. Ara bé, si és imprescindible tenir una bona xarxa d'estacions sísmiques entorn de la zona que interessa, hi ha un altre factor molt important per a portar a terme una bona determinació: el coneixement de l'estructura de l'escorça terrestre de la zona. Dit amb altres paraules: necessitem conèixer la velocitat de propagació de les ones generades pels terratrèmols al llarg del seu trajecte des de l'epicentre fins a les estacions de registre, per tal de relacionar el temps d'arribada amb la distància recorreguda.

En relació amb el primer punt, disposar d'una bona xarxa, la solució és teòricament senzilla: augmentar el nombre d'estacions i la seva sensibilitat.

Observant la distribució espacial de la sismicitat, un bon lloc d'emplaçament per a les noves estacions seria el nord de Girona i el Pirineu de Lleida. D'aquesta manera es podrien localitzar millor els terratrèmols del Pirineu i detectar més bé la sismicitat del Vallès i del Penedès. D'altra banda, una estació a Mallorca faria possible controlar els epicentres marins, l'estudi dels quals és de gran importància per a entendre la tectònica d'aquesta part de la Mediterrània.

En relació amb el segon punt, el coneixement local de l'estructura de l'escorça, no solament és imprescindible per a la determinació dels epicentres, sinó un ajut important per a la sismotectònica de la zona.

A l'àrea de Catalunya ja s'han començat a fer treballs i estudis per a conèixer la distribució de la velocitat de les ones sísmiques en relació amb la profunditat en l'escorça i el mantell superior. Aquests estudis formen part d'un projecte més general d'estudi de tota l'escorça i el mantell superior de la península ibèrica en el qual participen diverses institucions de l'Estat espanyol i d'altres països (vegeu A. Udías ed.: *Perfiles sísmicos profundos en España (1974-1975)*. Madrid, Comisión Española del Proyecto Geodinámico, Instituto Geográfico Nacional, 1977). Aquests estudis, anomenats correntment perfils sísmics profunds, consisteixen en l'estudi de les diverses arribades de les ones generades per explosions controlades, unes ones que després d'haver-se propagat per l'interior de la Terra són registrades en estacions portàtils en superfície. Mitjançant la interpretació de les arribades s'obtenen models d'escorça i mantell superior compatibles amb les observacions.

Els models obtinguts per a la zona de Catalunya (Fig. 4) mostren una escorça amb inhomogeneïtats laterals i amb variacions de gruix des de la costa fins als Pirineus, a la zona del pic de la Maladeta. Actualment estem revisant les dades dels terratrèmols de l'etapa instrumental amb l'objectiu de realitzar una nova localització dels epicentres utilitzant el model d'escorça recentment obtingut. Tot i això, aquests models són el resultat d'un estudi de refracció sísmica profunda molt general a tota la zona dels Pirineus (vegeu: Explosion Seismology Group Pyrenees: *Seismic reconnaissance of the Structure of the Pyrennes*. "Annales de Geophysique", volum 36, fascicle 2, pàgs. 135-140, 1980). Són necessaris, tanmateix, investigacions d'aquest tipus a un nivell més local i amb més detall, el que donaria idea de les diferències que pot haver-hi a l'escorça, no tan sols a nivell superficial, sinó també en profunditat, com ja es pot entreveure en els estudis preliminars, per a comptar amb elles en una posterior localització dels epicentres.

Risc sísmic i període de retorn

Amb les dades de què es disposa actualment s'han calculat els períodes de retorn de terratrèmols de diferents graus d'intensitat epicentral (I_e) per a tota l'àrea representada en les figures 1 i 2. (S'anomena període de retorn d'un sísmic d'intensitat epicentral I_e l'interval de temps T tal que la probabilitat que s'esdevingui un terratrèmol d'aquesta intensitat en un temps $t \leq T$ és igual al 63 per cent).

Processant les dades es fa patent la forta dependència dels mètodes estadístics utilitzats i de la finestra de temps considerada en els resultats obtinguts. A la figura 4 es mostren els períodes de retorn obtinguts per ajustament de diferents mostres de les dades disponibles a la distribució d'extrems tipus III de Gumbel. Així, per exemple, si considerem la mostra 1901-1978 obtenim un període de retorn d'uns catorze anys pel grau d'intensitat VIII, és a dir, hi ha una probabilitat d'aproximada-

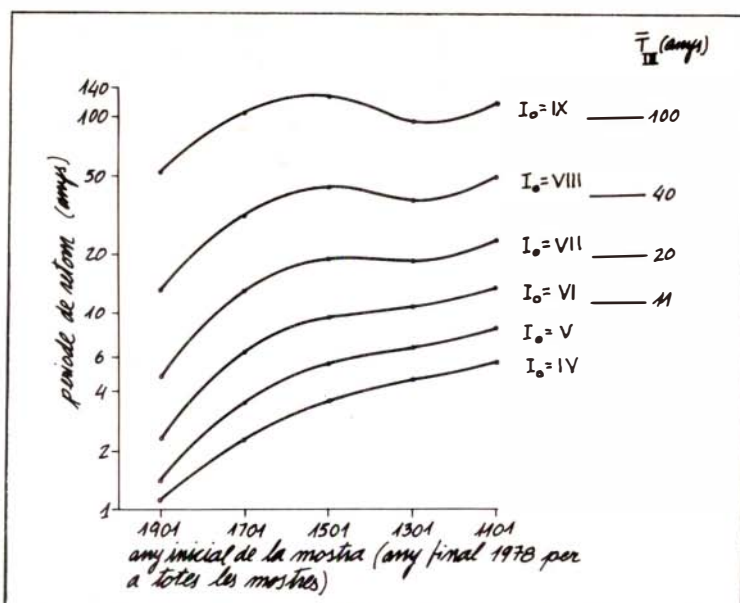


Figura 4. Períodes de retorn de terratrèmols de diferents intensitats, deduïts de la distribució d'extremes tipus Gumbel III en funció de la longitud de la mostra per a tota l'àrea considerada. Al marge dret de la figura es troben indicats els períodes de retorn corresponents a la zona més estable de les corbes. (Font: A. Roca, A. López Arroyo: Problemas en la evaluación del riesgo sísmico en Cataluña, dins Seminario sobre criterios sísmicos para instalaciones nucleares y obras públicas. Madrid, Instituto Geográfico Nacional, 1979).

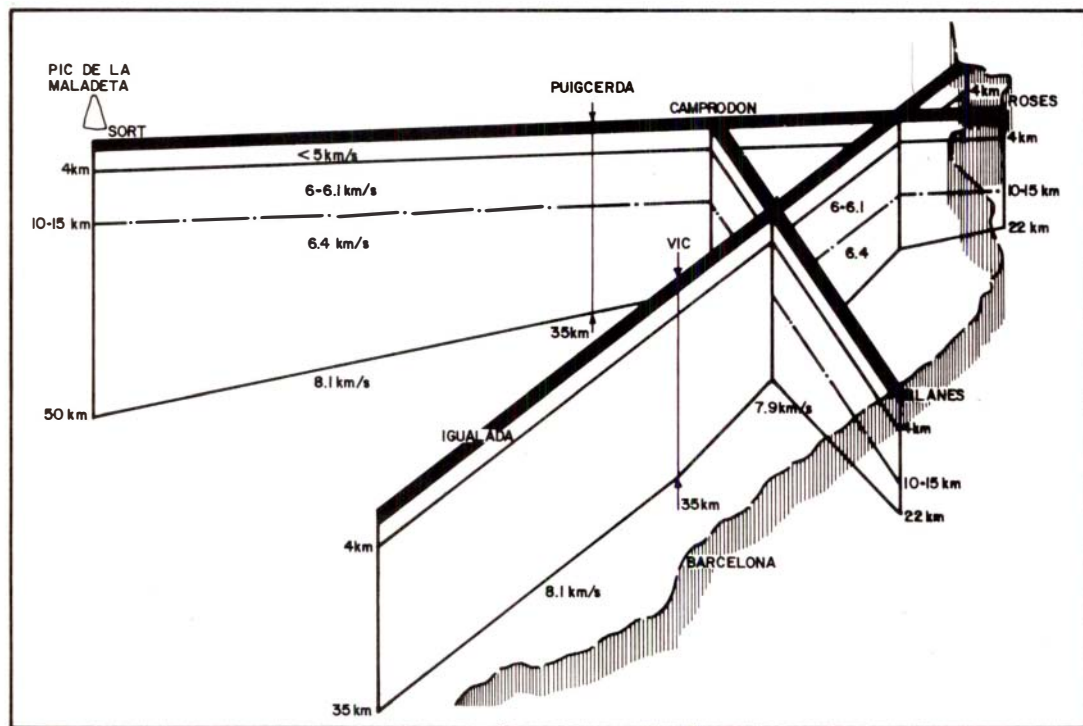


Figura 3. Estructura mitjana de l'escorça. (Font: A. Roca, E. Suriñach, A. Udías i E. Banda al volum de commemoració de l'aniversari de l'Observatori de l'Ebre, en premsa).

ment el 63 per cent que s'esdevingui un terratrèmol d'intensitat VIII en un període de catorze anys; en canvi, per al mateix grau d'intensitat, si prenem la finestra del 1101 al 1978, obtenim un període de retorn de més de quaranta anys. A la mateixa figura, sota l'encapçalament T_{III} es troben els períodes de retorn corresponents a la zona més estable de les corbes. Així, treballant en aquesta part de les corbes, podem dir que el període de retorn d'un terratrèmol d'intensitat IX en algun lloc de l'àrea considerada, és a dir, el rectangle comprès entre els meridians 3° O i 5° E i els paral·lels 40° N i 44° N, és d'uns cent anys; per a la intensitat VIII, quaranta anys i per a la intensitat VI, onze anys...

Aquestes anàlisis ens posen davant un problema no gens fàcil de resoldre, lligat a la inhomogeneïtat i incompletesa de les dades disponibles i del mètode interpretatiu utilitzat. Fins ara, quan parlàvem de períodes de retorn ens hem referit només a probabilitats que esdevingui un terratrèmol d'una determinada intensitat en una zona, en el nostre cas, prou extensa. Per a caracteritzar el risc sísmic d'un emplaçament concret, el que vol dir donar les acceleracions i les freqüències (espectres) esperades per a diferents graus de probabilitat, és necessari un tractament diferent de l'abans esmentat. En el càlcul del risc d'un emplaçament s'han de considerar molts més factors, com són les regions sismogèniques, la macro i microtectònica i les lleis d'atenuació

que regeixen la propagació de les ones sísmiques per a la regió que es tracti.

(Antoni Roca Adrover i Emma Suriñach Cornet)

Materials de lectura

- Deriva continental y tectónica de placas.* Selecció d'articles del "Scientific American". Madrid, Ed. Blume, 1974.
- Eduard Fontserè: *La sismicitat de Catalunya.* Conferència inaugural del curs 1953-54 de la Societat de Geografia. Barcelona, Institut d'Estudis Catalans, 1954.
- E. Fontserè i J. Iglésies: *Recopilació de dades sísmiques de les terres catalanes entre 1100 i 1906.* Barcelona, Fundació Salvador Casajuana, 1971.
- UNESCO: *Terremotos. Evaluación y mitigación de su peligrosidad.* Barcelona, Ed. Blume, 1980.
- E. Rosenblueth i N.M. Newmark: *Fundamentos de ingeniería sísmica.* Mèxic, Ed. Diana, 1976.
- Bruce A. Bolt: *Terremotos.* Barcelona, Ed. Reverté, en premsa (versió anglesa: *Earthquakes, a primer.* San Francisco, W.H. Freeman and Company, 1978).
- Antoni Roca i Adrover: *Sismicidad de Catalunya 1907-1974 y relación señal-ruido en una estación para el estudio de sismicidad.* Tesi de llicenciatura a la Universitat de Barcelona, 1975.