

EL LABORATORI D'ESTUDIS GEOFÍSICS EDUARD FONTSERÈ (INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS): QUINZE ANYS DE VIDA*

Josep Vila i Antoni M. Correig

INTRODUCCIÓ

El mes de novembre d'aquest any 1997 es compliran quinze anys de la constitució del Laboratori d'Estudis Geofísics Eduard Fontserè (LEGEF) i de la Comissió d'Estudis Geofísics, encarregada per part de l'Institut d'Estudis Catalans de gestionar el laboratori. El LEGEF està constituït per investigadors de diferents institucions amb la finalitat comuna de col·laborar, treballar i divulgar estudis en el camp de les ciències de la Terra al nostre país, i els fons de què disposa provenen de subvencions de diverses entitats, a través de convenis específics de col·laboració i del pressupost ordinari de l'IEC. L'estructura del laboratori consta dels següents membres: un director (nomenat per la Comissió d'Estudis Geofísics), un col·laborador científic (que forma part del personal de l'IEC) i diversos col·laboradors de diferents institucions de la mateixa àrea de treball. Actualment, i segons un conveni establert amb la Universitat de Barcelona el novembre de 1994, els professors, investigadors i becaris de la mateixa Universitat adscrits al LEGEF desenvolupen les activitats de recerca al LEGEF i a la UB, i estan autoritzats a fer ús dels serveis de la mateixa UB.

L'objectiu del LEGEF és bàsicament de recerca, tant des del punt de vista experimental (en el sentit de noves tècniques i metodologia d'anàlisi) com de recerca bàsica en geofísica. El treball en aquests objectius s'ha vist reflectit, durant aquests quinze anys, en la publicació de vint-i-nou articles en revistes internacionals i de més d'un centenar d'altres publicacions en l'àmbit nacional o informes interns. Dintre de la disciplina pròpia de treball, durant aquests quinze anys, quatre dels seus col·laboradors han presentat la tesi doctoral basada al cent per cent en dades obtingudes al mateix laboratori. El LEGEF ha organitzat de manera directa tres congressos (dos de nacionals i un d'internacional), ha col·laborat en l'organització de cinc més i és membre cofundador de la Xarxa Temàtica de Sismologia i Enginyeria Sísmica, que agrupa els diversos grups de treball en aquests dos camps i que va ser constituïda l'any 1994.

L'evolució del LEGEF ha estat important tant en projectes d'investigació fonamental com en la part aplicada. El LEGEF ha estat pioner en el desenvolupament i en l'estructuració d'estacions sísmiques no només a Catalunya, sinó també a l'Estat espanyol. En aquest sentit, les estacions sísmiques que gestiona van ser les primeres estacions digitals de tres components i de període curt a Catalunya (actualment hi ha quatre estacions d'aquest tipus a Catalunya, tres de les quals són gestionades pel LEGEF i l'altra per l'Instituto Geográfico Nacional), i l'estació de banda ampla de què disposa actual-

* Article publicat a *Revista de Física*, vol. 2, núm. 3 (2n semestre 1997), p. 44-49.

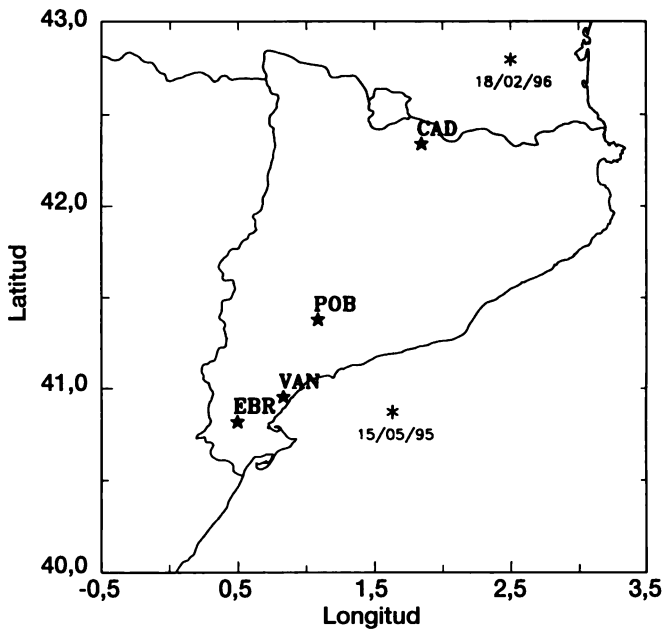


FIGURA 1. Distribució de les estacions sísmiques que gestiona el LEGEF. El control de la sísmicitat a la zona del Baix Ebre es du a terme amb les estacions de període curt instal·lades a la central nuclear Vandellòs II (VAN), al Monestir de Poblet (POB) i a l'Observatori de l'Ebre (EBR). L'estació CAD (túnel del Cadí) és una estació permanent de banda ampla situada al Laboratori de Sismologia de la Cerdanya. Els asteriscs mostren la localització epicentral dels terratrèmols ocorreguts el 15 de maig de 1995 i el 18 de febrer de 1996.

ment (en funcionament des del març de 1995) va ser la primera d'aquest tipus instal·lada a l'Estat espanyol descomptant l'estació de San Pablo (Toledo), instal·lada per un consorci d'universitats nord-americanes (actualment a l'Observatori de l'Ebre hi ha una estació de les mateixes característiques). La investigació que s'ha dut a terme al LEGEF ha culminat amb la creació d'un laboratori d'investigació sísmològica en una de les galeries de reconeixement del túnel del Cadí (CAD), on s'experimenta amb sistemes d'adquisició i de transmissió de dades i es posen a punt les millors del conjunt d'estacions. Dins de les tasques de servei, implícites a tota investigació aplicada, el fet d'haver estat un grup de treball punter en l'adquisició de dades digitals en el camp de la sismologia ha fet que el LEGEF hagi estat la primera institució de l'Estat espanyol a editar en format CD-ROM la recopilació de la seva informació sísmica.

Actualment, el LEGEF gestiona la xarxa sísmica del Baix Ebre des de la instal·lació el 1983 i l'estació sísmica de la Cerdanya des de la instal·lació el 1988 (vegeu la figura 1 per a la seva localització). Com a part d'aquesta gestió, el laboratori elabora (com a funció de servei) informes de funcionament de totes les estacions, entre els quals cal destacar els relacions amb el risc sísmic a la zona de les centrals nuclears. Per entendre millor el paper que ha realitzat i que realitza el LEGEF dins de la investigació científica en general, i més en concret en el camp de les ciències de la Terra, en els punts següents es fa un resum breu dels antecedents, de les activitats actuals i, finalment, una descripció breu de les estacions que gestiona, on té un paper destacat el Laboratori de Sismologia de la Cerdanya.

ANTECEDENTS

Els inicis del LEGEF cal buscar-los l'any 1978, quan es va crear dins la Secció de Física de la Societat Catalana de Ciències Físiques, Químiques i Matemàtiques, de l'IEC, el grup de treball de Geofísica, que estava format per representants de diverses institucions i que tenia la finalitat de coordinar, potenciar i portar a terme la recerca a Catalunya en aquest camp.

El gener de 1981, en unes jornades tècniques organitzades pel Departament d'Indústria i Energia de la Generalitat de Catalunya (Barcelona, 27-29 de gener), en nom del Grup de Treball de Geofísica, un dels autors de la present comunicació (Antoni M. Correig) presentà un primer projecte de xarxa sísmica a Catalunya. Arran d'aquesta comunicació, l'empresa elèctrica FECSA entrà en contacte amb l'IEC per estudiar la possibilitat de col·laboració en temes de sismologia. En aquells moments es debatia al Parlament de Catalunya sobre la seguretat de les centrals nuclears d'Ascó, on el mateix autor va declarar davant la Comissió Parlamentària sobre els aspectes relatius a la perillositat sísmica que podia afectar les centrals. Va quedar clar que, en aquells moments, la informació bàsica procedia de la sismicitat històrica i les dades instrumentals disponibles (sismògrafs dels Observatoris de l'Ebre i Fabra, i del pantà de Susqueda) eren insuficients si es volia realitzar una quantificació rigorosa. Era evident, doncs, la necessitat, i el moment també era adient, d'impulsar la creació d'un Servei de Sismologia de Catalunya i de programar, alhora, un pla de treball rigorós sobre l'estudi de la perillositat sísmica a la zona del Baix Ebre.

Un cop fixats els objectius, l'IEC va participar en la redacció del Projecte de llei sobre la creació del Servei de Sismologia, que va ser aprovat per unanimitat al Parlament (DOGC 31/XII/81). Posteriorment aquest servei es reconvertí en la Secció de Sismologia i Geofísica integrada en el Servei Geològic de la Generalitat de Catalunya. Al començament de l'any 1982 l'IEC firmà un conveni de col·laboració amb les companyies elèctriques propietàries de les centrals nuclears d'Ascó I i II i de Vandellòs II per a la instal·lació d'una xarxa sísmica local amb la finalitat primera d'estudiar la perillositat sísmica a la zona on es troben ubicades. Per dur a terme els treballs, l'IEC va aprovar el mateix any la constitució del LEGEF i la Comissió d'Estudis Geofísics amb l'encàrrec de gestionar-lo. Ambdues institucions (LEGEF i Servei de Sismologia) realitzen tasques complementàries (l'una com a servei i l'altra portant a terme investigacions bàsiques), participen en projectes comuns i comparteixen les dades obtingudes.

Les línies d'investigació en el camp de la sismologia digital van sofrir una expansió important quan a mitjan 1985, en col·laboració amb la Universitat de Saint Louis (St. Louis, Missouri, EUA), es va iniciar un treball d'investigació, subvencionat en part pel Comité Conjunto Hispano-Norteamericano para la Investigación Científica y Tecnológica, sobre el risc sísmic potencial a la zona dels Pirineus orientals. El fet de triar la zona de la Cerdanya va ser per un motiu molt simple: el 2 de febrer de 1428 va haver-hi un gran terratrèmol, anomenat el «terratrèmol de la Candelera» per la data en què va succeir, que en aquells temps va ocasionar prop de mil víctimes mortals; l'epicentre, amb una intensitat estimada entre IX i X segons l'escala MSK, quedaria localitzat entre Puigcerdà, el Canigó i la vall de Núria. La Cerdanya va ser una de les zones més afectades (però no l'única) i es va triar per instal·lar-hi les estacions sísmiques per les facilitats de comunicació.

La Universitat de St. Louis va aportar, en règim d'exportació temporal, cinc estacions sísmiques analògiques enllaçades mitjançant telemetria ràdio a un lloc central de recepció, mentre que el LEGEF completà l'equipament i es va fer càrrec del manteniment de la xarxa i de l'anàlisi de dades, en col·laboració amb el Museo Nacional de Ciencias Naturales del CSIC. El CSIC va aportar instrumental digital, el qual va obrir les portes a tècniques d'anàlisi més noves i a poder utilitzar al màxim la informa-

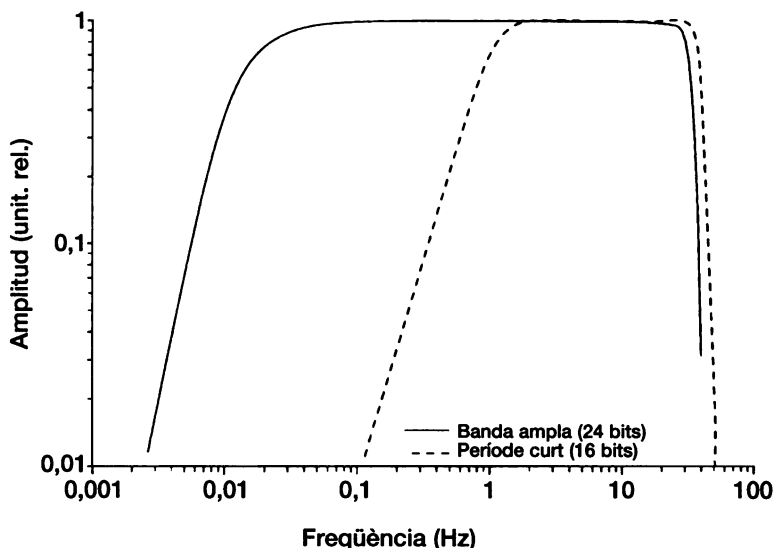


FIGURA 2. Corbes de resposta en velocitat de les estacions de la figura 1 (l'amplitud està normalitzada per facilitar la comparació). En traçat continu hi ha representada la corresponent a CAD (el rang dinàmic de la qual és de 24 bits), i en discontinu la de les estacions VAN, POB i EBR (en aquest cas el rang dinàmic és de 16 bits).

ció continguda en els registres. El fet més destacable del projecte cal buscar-lo en l'establiment d'una relació d'investigació amb una empresa privada (Túnel del Cadí-CESA) que va oferir les instal·lacions per situar-hi la central de recepció, i una col·laboració tant des del punt de vista tècnic com logístic que assegurava totalment la vigilància dels sistemes receptors.

CONTINUÏTAT DELS TREBALLS: L'ESTACIÓ DE BANDA AMPLA

Al principi del 1986 la xarxa funcionava al 100 % i va romandre així durant un any i mig fins que, per imperatius administratius inherents a una importació temporal, va ser tornada als seus propietaris. Tot i aquest fet, la col·laboració amb Túnel del Cadí no només no va finalitzar, sinó que va incrementar-se. Els resultats obtinguts durant els divuit mesos anteriors, tot i que no es va poder caracteritzar d'una manera clara la sismicitat de la zona, sí que van posar de manifest les zones sismogenèticament més singulars, així com les característiques més importants de les estructures corticals, caracteritzades per una gran atenuació i per una forta dispersió, la qual cosa podia generar ressonàncies importants. Aquest fet ens va portar a fer-nos la pregunta de com respondria el medi en un punt determinat si hi hagués un terratrèmol d'unes característiques determinades. Després de la retirada de la xarxa sísmica, l'any 1989 el LEGEF va instal·lar una estació digital de tres components i de període curt que va posar de manifest un moderat i complex, però continu, nivell de sismicitat, fet que va portar l'IEC a adquirir un equip de banda ampla dels més avançats que existien en el mercat (la figura 2 mostra la corba de resposta de l'instrument).

De tota manera, aquest equip perdria molt l'efectivitat si no fos per la ubicació. El sensor de CAD es troba situat a la galeria de reconeixement nord del túnel del Cadí. Es tracta d'un túnel de prospecció perforat prèviament a la construcció del túnel definitiu, una galeria tancada de 490 metres de llargada

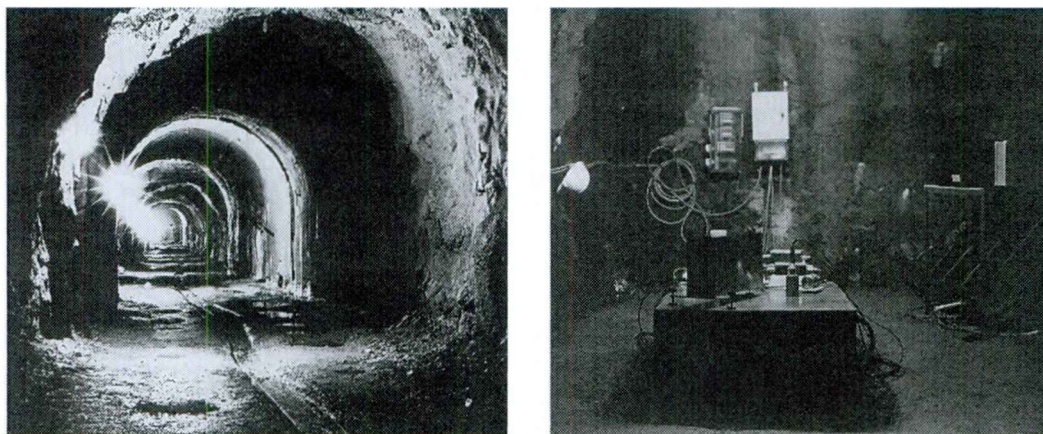


FIGURA 3. Galeria de reconeixement nord del túnel del Cadí, a l'interior de la qual es troben situats els sensors de l'estació CAD. *a)* Panoràmica del túnel; *b)* pilar sísmic. Aquesta ubicació comporta una reducció molt important del soroll de fons.

i a aproximadament 80 metres per sota del nivell del terreny, que ofereix una estabilitat de temperatura que difícilment es pot aconseguir en altres condicions. De fet, la variació màxima pic a pic observada durant tot l'any 1996 ha estat de $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, cosa que fa totalment innecessària qualsevol correcció de temperatura dins el funcionament normal de l'estació. Les figures 3a i 3b mostren dues panoràmiques de la situació dels sensors.

La configuració de CAD presenta tres blocs: el primer és la combinació sensor + digitalitzador (ambdós a la galeria); després, les dades es transmeten digitalment via RS422 *burr-brown modn* a través de 900 metres de cable fins al segon bloc (sistema d'adquisició), situat a la sala de control del túnel del Cadí. Les dades, un cop enregistrades, són accessibles mitjançant el sistema d'anàlisi (tercer bloc) via TCP/IP Slip o TELNET, ubicat al Departament d'Astronomia i Meteorologia de la Universitat de Barcelona. El fet que el sistema d'adquisició estigui sota vigilància permanent les vint-i-quatre hores del dia fa que puguem gaudir d'una efectivitat del 95 % en registre continu.

L'estació de banda ampla del túnel del Cadí presenta dues característiques que la fan diferent de les altres estacions que gestiona el LEGEF: resposta en velocitat plana en quasi 4 dècades i rang dinàmic superior en 8 bits als altres instruments. Aquest fet s'ha pogut comprovar fàcilment durant els més de dos anys que porta en funcionament, en part mercès al fet que han ocorregut dos terratrèmols importants que ens han permès fer una valoració de l'instrument. Aquests terratrèmols són el del 15 de maig de 1995 amb epicentre al sud de Barcelona ($m_b=4,0$) i el del 18 de febrer de 1996 ($m_b=5,0$) a Sant Pau de Fenollet (vegeu la figura 1 per la seva localització). En ambdós casos, CAD ha estat l'única estació de Catalunya capaç d'enregistrar els events sense saturació. A la figura 4 es mostra el registre del terratrèmol del 18 de febrer de 1996 a les estacions CAD (A) i EBR (B). Tot i que EBR es troba situada a 275 km de l'epicentre, el registre presenta saturació, mentre que CAD (situada a només 75 km) està encara 80 dB per sota del fons d'escala. Per tant, i pel cap alt, CAD és capaç d'enregistrar events de magnitud $m_b=6,0$ a distàncies de 50 km sense saturar-se, i pel cap baix, el baix nivell de soroll ha permès treballar amb rèpliques de l'event del 18 de febrer de 1996 de magnitud 1,7, és a dir, una energia uns 65 milions de vegades més petita.

Tot i ser interessant, el rang dinàmic és un aspecte més aviat lligat als dispositius de les unitats d'adquisició que al tipus d'estació en si, cosa que no passa amb l'amplada de banda, que està més relacionada amb els sensors. L'efecte de l'amplada de banda sobre un registre es pot veure a la figura 5A, on hi ha representades més de dues hores del registre d'un event de magnitud $m_b = 6,8$, ocorregut a les illes Kurils (a 9.700 km de CAD), juntament amb la simulació del mateix registre en una de les altres estacions gestionades pel LEGEF. El factor d'escala en ambdues traces és el mateix i, per fer-lo més apreciable, s'ha multiplicat la traça simulada per un factor 10. Són, doncs, evidents les possibilitats d'anàlisi que ofereixen els registres de banda ampla, on la informació és molt superior en tots els aspectes als registres obtinguts amb sistemes estàndard de període curt. A tot això cal afegir que a períodes llargs la velocitat del moviment del terreny pot presentar valors superiors als observats en events propers, tot i que en estar fent referència a períodes llargs, aquests no són apreciables des del punt de vista humà. Per veure aquest fet només cal fixar-nos en la figura 5B, on hi ha representat el registre del terratrèmol del 15 de maig de 1995, amb epicentre al sud de Barcelona (a 160 km de CAD), a la mateixa escala que el de la figura 5A. És evident que la velocitat del moviment del terreny a CAD provocada per un terratrèmol a 9.700 km (que evidentment ningú no va notar i que és un fet que passa gairebé cada dia) és més gran que la d'un event ocorregut a només 160 km i que molts de nosaltres tenim encara present. L'explicació està en la freqüència de les ones elàstiques que ens han arribat i que, gràcies al rang dinàmic de l'estació del túnel del Cadí, ara estem en condicions de poder-les observar.

LÍNIES DE TREBALL ACTUALS

Actualment, el LEGEF centra la seves tasques en estudis orientats cap a l'obtenció de l'estructura de l'escorça i de respostes locals del medi induïdes per ones elàstiques, treballs que es duen a terme a partir de les dades obtingudes amb les estacions que gestiona. Ambdues línies de treball van dirigides a mirar de conèixer, amb més precisió, la localització d'events sísmics i la resposta del terreny, temes necessaris per a treballs posteriors de perillositat sísmica, tant pel que fa a neotectònica i enginyeria civil (disseny d'estructures antisísmiques) com a risc sísmic. Per dur a terme aquests projectes es treballa fent servir tècniques de la física de l'estat sòlid i considerant la propagació d'ones sísmiques com a sistema dinàmic. Les línies d'investigació bàsiques són el tractament digital de senyals, l'atenuació d'ones sísmiques, els estudis de ressonàncies locals (*scattering* múltiple en cavitats ressonants), la cinemàtica de propagació d'ones internes i el mecanisme de la font sísmica. De tota manera, per poder dur a terme aquestes línies, cal també mantenir l'apartat d'adquisició de dades, on els projectes del LEGEF van endavant en el sentit d'actualitzar de manera periòdica les estacions sísmiques.

AGRAÏMENTS

La realització dels treballs que ha dut a terme el LEGEF ha estat possible mercès a moltes persones i institucions. En primer lloc volem esmentar l'Institut d'Estudis Catalans, i de manera molt especial el Dr. Enric Casassas (president de l'IEC quan es va constituir el LEGEF), per l'empenta que va donar als projectes proposats pel LEGEF. També volem agrair als senyors Bernardo Monclús i Joan Deu, directius de la Societat Túnel del Cadí-CESA/TABASA, a la comunitat del monestir de Poblet i a l'Observatori de l'Ebre, les facilitats donades en la instal·lació i en el manteniment de les diferents estacions sísmiques.

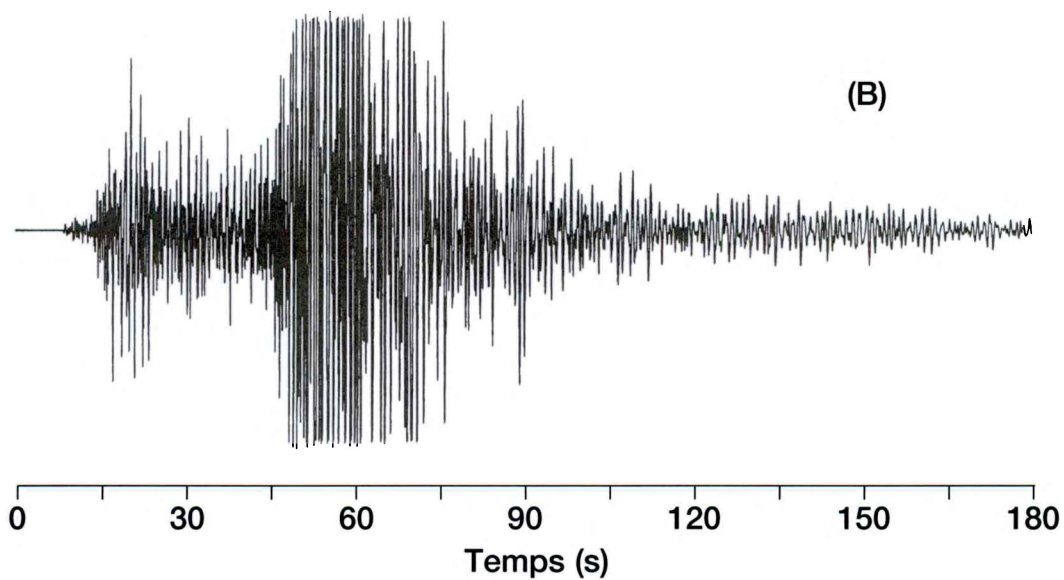
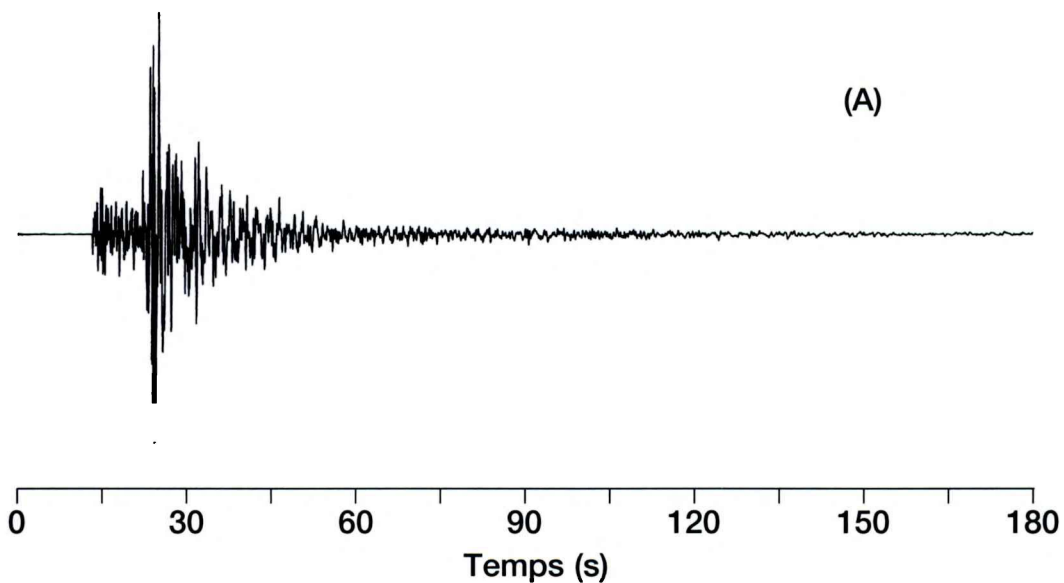


FIGURA 4. Registres del terratrèmol del dia 18 de febrer de 1996 obtinguts a l'estació de banda ampla del túnel del Cadí (A) i a la de període curt de l'Observatori de l'Ebre (B). Es pot apreciar de manera clara que, tot i estar l'epi-centre relativament proper a CAD, aquest registre està a -80dB de la saturació, mentre que EBR està saturat.

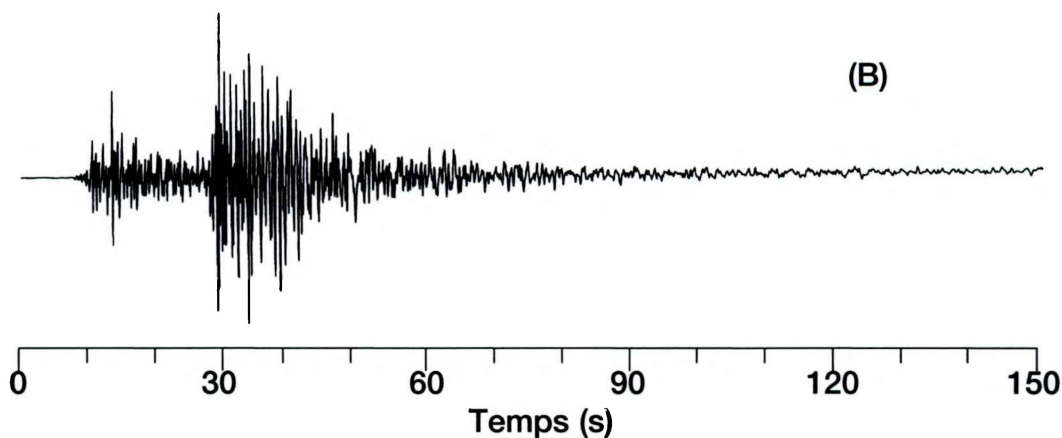
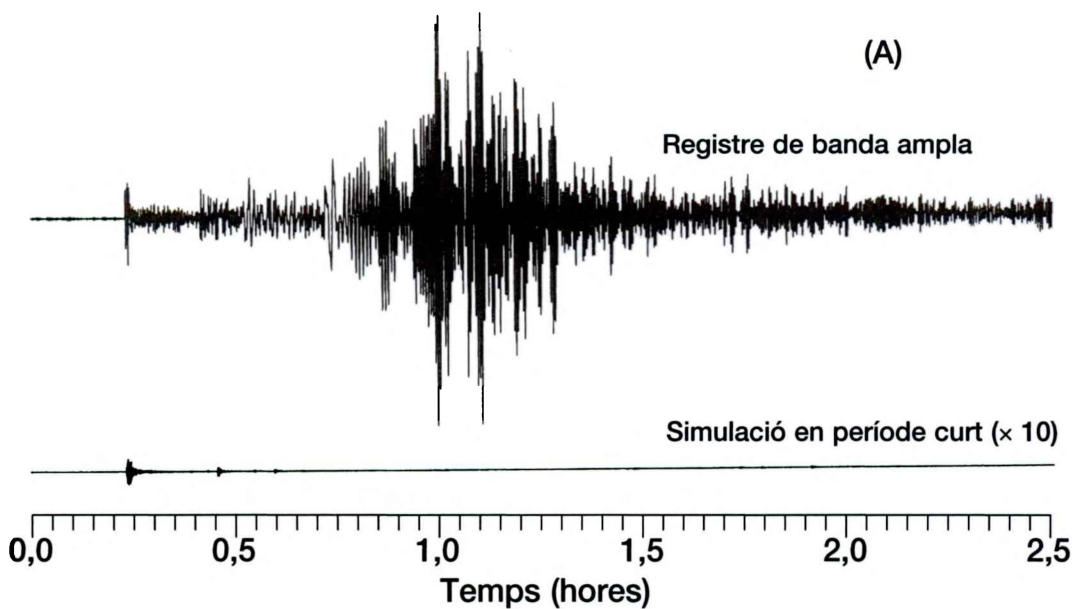


FIGURA 5. (A) Registre d'un telesisme de magnitud $m_b=6,8$, localitzat a les illes Kurils, obtingut a CAD, juntament amb la simulació del mateix registre en una de les altres estacions de període curt (en la mateixa escala però amplifcat deu vegades). (B) Registre del terratrèmol del dia 15 de maig de 1995 (magitud $m_b=4,0$ i localitzat al sud de Barcelona) obtingut a l'estació CAD. Tant (A) com (B) estan dibuixades a la mateixa escala.