

Estudi dels esdeveniments sísmics no identificats corresponents a una àrea propera al Baix Camp (Tarragona)

Autora: Cristina Sánchez Serra

Tutora: Dra. Emma Suriñach Cornet

Cotutora: Dra. Mar Tapia

Màster de Recursos Minerals i Riscos Geològics

Especialitat: Riscos Geològics

Juliol 2016



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

UAB

Universitat Autònoma
de Barcelona

Abstract The aim of this study is to locate and interpret several undetermined events that have been undetected by seismological agencies and have only been recorded at the seismic station VAN2. Since these events were only recorded at one station, their localization can only be determined by the “location method with only a single station”. Moreover, this study seeks to test the validity of this unusual method with respect to the traditional location method. These undetermined events occurred in the Baix Camp area that is characterized by a moderate seismic activity and Quaternary active faults. After selecting the events, they are processed and analyzed with numerical algorithms in “Matlab” language. These programs allow us to study the frequency content of the events and to determine the first arrivals of the P and S waves. Subsequently, the “location method with only a single station” was applied to locate the undetermined events using an appropriate wave speed crustal model for the study area. To ratify this method, some determined seismic events from the “seismic series of Ametlla de Mar” were used. These events were localized with the “location method with only a single station” and the results were compared with the previous localizations from seismological agencies. Eight seismic events were located and the localization of five further events from the “seismic series of Ametlla de Mar” was confirmed. These thirteen seismic events are associated with the faults of the study area. Moreover, two additional events were identified as man-made events. Given the similarity of the locations of the events obtained by the two methods we can conclude that the “location method with only a single station” is a reliable method.

1 INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS DEL TREBALL

Aquest treball neix arran del TFG que vaig realitzar al 2015 amb el títol “Estudi de la Sismicitat de Catalunya: Terratrèmols no determinats de l’estació sísmica de Vandellòs del 2009 al 2014”. En aquest esmentat treball es va realitzar una classificació de 1320 esdeveniments enregistrats a l’estació sísmica de Vandellòs II (VAN2) en el període temporal mencionat. D’aquests 1320 esdeveniments, 304 eren de tipus “no determinat”, és a dir, eren esdeveniments sísmics dels quals no es coneixia l’origen, i per tant, no han estat classificats per les agències sismològiques pertinents. Això és degut a que l’energia alliberada d’aquests esdeveniments és tan petita que les ones sísmiques s’atenuen abans de quedar registrades en suficients sismòmetres per realitzar una localització epicentral tradicional. Analitzant el comportament horari d’aquests esdeveniments indeterminats es va veure que la gran majoria seguien un patró horari de jornada laboral i el seu radi epicentral no coincidia amb estructures tectòniques i sí amb canteres i obres civils, de tal manera que se’ls hi va atribuir un origen antròpic. Dins d’aquests esdeveniments indeterminats n’hi havia 20 que no seguien cap patró horari, per tant se’ls va atribuir un possible origen natural. En base això s’originen els objectius d’aquest treball que són:

- 1) Localitzar l’origen d’aquests 20 esdeveniments presumptament naturals amb el *mètode de localització d’una sola estació* proposat per Alessandrini et al., (1994).
- 2) Comprovar l’origen antròpic dels esdeveniments més representatius amb el mateix mètode. Posteriorment amb altres dades, de sismògrafs relativament propers a la zona, cedides per institucions públiques, i dades d’una sèrie de sismes ocorreguts a les costes de l’Ametlla de Mar, es pretén fer:
- 3) Una *localització tradicional* d’esdeveniments d’origen natural i així fer una *comprovació del mètode d’una sola estació* proposat.
- 4) Localitzar sismes més petits de la sèrie de l’Ametlla de Mar no localitzats per cap agència fins el moment.
- 5) Finalment amb totes les dades treballades s’intentarà relacionar els esdeveniments naturals amb el seu *possible origen tectònic*.

2 CONTEXTUALITZACIÓ DE LA ZONA D'ESTUDI

2.1 Situació geogràfica de les estacions emprades

L'estació de monitoratge sísmic de Vandellòs II (VAN2) presenta les següents coordenades : Latitud $40.9532\text{N} = 40^{\circ} 57' 11.52''\text{N}$, Longitud $0.8266\text{E} = 0^{\circ} 49' 35.76''\text{E}$ i una altitud de 165 m s.n.m. (figura 1). Aquesta estació s'utilitza per l'objectiu 1). En termes geogràfics VAN2 es localitza a Tarragona, concretament a la comarca del Baix Camp, al municipi de Vandellòs. La resta de dades utilitzades en aquest treball han estat cedides per institucions públiques i provenen de les següents estacions sísmiques: CGAR (Garraf), CMAS (Mas de Barberans), EIBI (Ibiza), EMOS (Mosqueruela), EPOB (Poblet), ERTA (Horta de Sant Joan), ETOS (Escorca), ALCN (Costa Valenciana) i ALCX (Costa Valenciana). La seva distribució geogràfica i propietari es poden veure a la figura 1.



Fig. 1 Mapa de la situació geogràfica de les estacions sísmiques de les quals s'extreu informació per realitzar aquest treball. Modificat de © Base cartogràfica del Institut Geogràfic Nacional, disponible a <http://www.ign.es/ign/layout/sismologiaEstacionesSismicas.do>. Informació de posicionament de les estacions extreta de http://www.igc.cat/web/ca/sismologia_xarxa.html i <http://www.proteccioncivil.es/revistadigital/revistaNoticia.php>

2.2 Situació geològica i tectònica de la zona de treball

La zona del Baix Camp es localitza al solc de València i s'emmarca en un context geodinàmic de col·lisió entre la placa Euroasiàtica i Africana. Això va originar l'orogen Pirinenc amb un conseqüent engruiximent de l'escorça al Pirineu i un aprimament d'aquesta en el solc de València (Giménez i García, 2008). Segons Díaz i Gallart (2009) aquest solc es pot definir com una conca originada durant el Neogen com a part d'un sistema general de rift desenvolupat a Europa occidental durant el Cenozoic. Aquest rift es caracteritza per un fort aprimament de

l'escorça que passa de tenir un gruix de 35 km als marges fins a 15-18 km al centre de la conca. La conca està constituïda per una sèrie de horst i grabens de direcció aproximada NE-SW desenvolupats sobre els relleus paleògens de les Cadenes Costaneres Catalanes i la serralada Ibèrica. Aquest sistema és el resultat de la inversió dels principals encavalcaments que havien generat les serralades anteriorment mencionades durant el Paleogen (Perea, 2006). Les serralades es troben constituïdes per roques varisques i una cobertura mesozòica, mentre que les conques es troben reomplertes de materials neògens i dipòsits quaternaris (Perea et al., 2012) tal i com es pot observar a la figura 2. Dins aquest context es pot definir la zona on es troba el Baix Camp com a un domini deformat constituït per una cobertura sedimentària plegada per l'orogènesi alpina amb un nivell de desenganxament basal en materials del Trias (argiles i guixos del Muschelkalk i argiles del Buntsandstein) que faciliten desplaçaments en direcció N-NNW amb estructures tectòniques de distinció neògenes sobreposades. (Robles Orozco, 1975 i Fleta et al., 1996). Les principals falles de la zona són lístriques, tenen lliscaments normals i acumulen desplaçaments quilomètrics, que són els que van produir el considerable aprímadament cortical en l'eix de la conca. Aquestes falles es ramifiquen a un nivell basal de desenganxament a 13-15 km profunditat (Roca i Guimerà, 1992; Roca, 1996; Roca et al., 1999; Vergés i Sàbat, 1999; Roca, 2001; Gaspar-Escribano et al., 2004 en Perea et al., 2012).

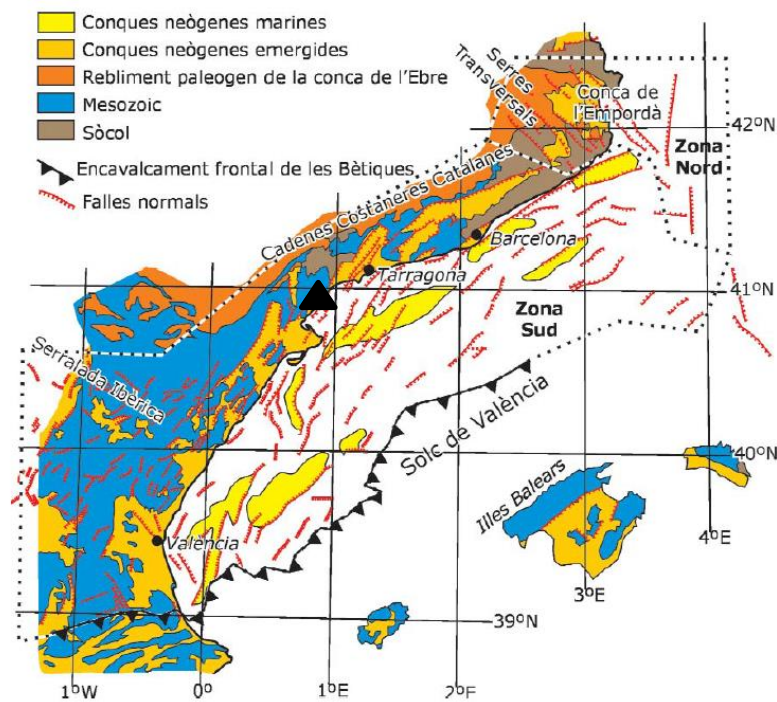


Fig. 2 Mapa geològic del Solc de València i principals estructures que el conformen. Marcada amb un triangle negre la localització de l'estació sísmica de VAN2. Mapa modificat de Roca (1992) i Roca i Guimerà (1992) en Perea (2006).

2.3 Context sísmic de la zona de treball

El marge occidental del solc de València es caracteritza per una activitat sísmica baixa, tant pel que fa la magnitud dels terratrèmols que s'hi produeixen com pel seu nombre. Per altre banda la distribució en profunditat dels sismes, pot ser descrita com una sismicitat poc profunda, ja que el 90% dels esdeveniments ocorren a menys de 15 km de la superfície (Perea, 2006). Tot i així

com puntualitza Perea (2006) en temps històrics s'han produït grans terratrèmols, com el de Tivissa l'any 1845 (I=VII, MSK), que s'han de tenir en compte tot i que no hagin pogut ser enregistrat instrumentalment. Secanell et al., (1999) realitzen un mapa de zonació sísmica de Catalunya associat a intensitats amb un període de retorn de 500 anys. En aquest mapa l'àrea del Baix Camp es troba en un domini d'intensitats màximes esperades igual a VI (MSK). Tot i així en altres models de sismicitat proposats per l'IGN, a la mateixa zona, se li atorga una intensitat màxima de VIII (MSK) i una taxa mitjana de 10 terratrèmols iguals o superiors a V (MSK) cada 100 anys (Giménez i García, 2008). Aquesta problemàtica a l'hora de definir la sismicitat de la zona, tal com esmenten Masana et al., (2001), ve donada per un catàleg sísmic curt o incomplet i la diferència entre el període cobert pel catàleg (no més de 700 anys) i la durada del cicle sísmic de les falles de la zona. Això s'ha de tenir en compte ja que a l'àrea hi ha falles, com la del Camp, que primer es van considerar inactives, però gràcies a diversos estudis com el de Masana et al., (2001) s'han trobat evidències paleosismològiques de la seva activitat. Tal com exposen aquest autors la mateixa falla del Camp, depenent de la longitud de falla que es consideri, podria arribar a generar sismes d'una magnitud d'entre Mw 6.4 i 6.7 (Masana et al., 2001). Això es correspondria amb intensitats MSK que podrien anar de IX a XII. Finalment esmentar que el camp d'esforços presents a la zona és aproximadament perpendicular a la direcció de les principals falles normals. Actualment aquest situació d'esforços és similar a la que va causar les falles normals, per tant actualment les principals falles normals neògenes són potencialment capaces de ser actives i originar terratrèmols (Perea et al., 2012).

3 METODOLOGIA

3.1 *Mètode de localització epicentral amb diverses estacions (mètode tradicional)*

Aquest mètode de localització epicentral clàssic o tradicional és, actualment, el més fiable i per tant és el que s'utilitza en aquest treball per realitzar la comprovació de la validesa i el testeig del mètode de localització d'una sola estació. Aquest mètode és el que utilitzen les agències al localitzar amb les seves xarxes d'estacions sísmiques. Actualment s'utilitzen una sèrie d'algoritmes numèrics per tal de realitzar aquesta localització. El nombre d'algoritmes presents avui en dia és molt gran, però la majoria es basen en ajustos per mínims quadrats del temps d'arribada de les ones P i S, observades en un cert nombre d'estacions (Udías i Mezcua, 1997). Si es disposa de N observacions de temps d'arribada t_i , en estacions de coordenades Φ_i, λ_i , aquests temps es troben en funció de les coordenades de l'estació, el temps origen i del focus $t_i(t_0, \Phi_0, \lambda_0, h)$ (Havskov, 2011). Els temps de recorregut de les ones des del focus a cada estació es dedueixen de les corbes dromocrones o per càlcul directe a partir de models coneguts de la distribució de la velocitat en profunditat (Udías i Mezcua, 1997).

Aquestes equacions tenen 4 incògnites, per tant, es necessiten 4 observacions de temps d'arribada d'almenys 3 estacions per tal de determinar el temps i l'origen. Si es tenen N observacions, hi hauran N equacions i el sistema es trobarà sobre determinat, de tal manera que s'ha de se resoldre d'una manera tal que el desajust de cada estació es redueixi al mínim error (Havskov, 2011). Com la dependència t_i dels paràmetres del focus no és lineal, la solució es busca mitjançant un desenvolupament de Taylor en torn a uns valors inicials aproximats (Udías i Mezcua, 1997).

La precisió d'aquesta localització depèn de: la precisió en la determinació del temps d'arribada de les fases (primeres arribades d'ones P i S), la validesa del model de velocitats de la zona i la

distribució i cobertura d'estacions de monitoratge sísmic al voltant de l'esdeveniment (Miller i Catalan, 2013).

3.2 Mètode de localització amb una sola estació

El mètode de localització amb una sola estació és un mètode de determinació epicentral poc utilitzat que, tal i com el seu nom indica, es pot usar quan es volen localitzar esdeveniments, els quals només estan registrats en una estació. Per tant, no poden estar ben determinats a partir del mètode anteriorment exposat. Aquesta indeterminació pot venir donada perquè són esdeveniments de magnitud petita i molt propers a l'estació de monitoratge sísmic i només queden registrats en aquesta o bé perquè hi ha una manca important de cobertura azimuthal d'estacions sísmiques a la zona on s'ha produït el sisme.

Aquest mètode consta de dues parts importants: *la determinació de la distància epicentral* i *la determinació de l'azimut* on es troba l'epicentre. Primerament es realitza el càlcul de la distància epicentral. Aquest càlcul és semblant al que es realitza en el mètode de localització epicentral tradicional. El que es fa és buscar la diferència de les primeres arribades de les ones P i S. Suposant que es coneix el temps origen T_0 , i T_p i T_s són els temps d'arribada de les ones, aquesta diferència temporal estarà en funció de la distància X i la velocitat de les ones respectives V_p i V_s , és a dir, conèixer la distància només depèn de les arribades de les ones P i S. La distància es pot aïllar seguint l'esquema (1.1).

$$\left. \begin{aligned} T_p - T_0 &= \frac{X}{V_p} \\ T_s - T_0 &= \frac{X}{V_s} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} T_s - T_p &= X \left[\frac{1}{V_s} - \frac{1}{V_p} \right] \\ X &= (T_s - T_p) \cdot \frac{V_s \cdot V_p}{V_p - V_s} \end{aligned}$$

$$X = (T_s - T_p) \cdot 7 \quad (1.1)$$

En aquest cas s'ha escollit un model de velocitats on les velocitats de les ones P (V_p) i de les ones S (V_s) són: $V_p = 5,2$ km/s i $V_s = V_p/\sqrt{3} \approx 3$ km/s, aquestes velocitats han estat proposades per a la zona treballada en l'article de recopilació de dades realitzat per Díaz i Gallart (2009) (Annex 1). Aquest valor per la velocitat de les ones P es pot aplicar únicament en aquest cas ja que es suposa que els esdeveniments treballats són de petita magnitud i molts superficials, de tal manera que s'adquireix un model de velocitats amb una única capa. La relació entre V_p i V_s , és suposant que l'escorça és un sòlid Poisson ($V_p/V_s = \sqrt{3} = 1,75$). Això implica unes distàncies epicentrals curtes. Si això no fos així no es podria aplicar aquest model i les fórmules proposades no serien vàlides perquè s'hauria de tenir en compte que els rajos sísmics travessen una, dos o més capes i per tant les ones P i S adquireixen diferents velocitats a cada part del seu recorregut. Aquesta elecció de model es pot justificar i validar amb el càlcul de la distància crítica (figura 3). Aquesta distància és aquella a partir de la qual existeix l'ona refractada crítica i que coincideix amb l'ona reflectida amb angle crític (Udías i Mezcua, 1997). És a dir és la distància mínima a la qual un sismòmetre pot rebre les ones directes o frontals. De tal manera que si les distàncies epicentrals dels esdeveniments d'aquest treball són menors a la distància crítica calculada (1.2) (Udías, 1999) es compleix el model de velocitats d'una única capa proposat anteriorment. Per fer el càlcul de la distància s'utilitza un gruix per la capa, $H=5$ km i unes velocitats de $V'=5,2$ km/s per la capa i $V=6$ km/s per el medi semi-infinit (seguint les dades proposades per Díaz i Gallart, 2009). La distància crítica resultant és de 17,37 km i com es veurà més endavant totes les distàncies epicentrals dels esdeveniments d'aquest informe són

menors a aquest valor. El gruix de capa escollit, en base a l'article de Díaz i Gallart (2009), és el que més s'adequa a l'escorça pels esdeveniments treballats en aquest estudi, però si es consulten els models fets servir per l'ICGC i l'IGN, els resultats són diferents. Per exemple l'ICGC (que fa models promitjos per Catalunya) utilitza un gruix de capa de 4 km i una velocitat de les ones P de 5,6 km (Butlletí sismològic de l'ICGC, 2014); en canvi l'IGN (que realitza models promitjos de la península Ibèrica) utilitza un gruix de capa de 11 km i una velocitat de les ones P de 6,1 km/s (Mezcua i Martínez Solares, 1983). És a dir, si es calcula la distància crítica (X_c) de l'IGN per la zona d'estudi ($H=11$ km, $V'=6,1$ km/s i $V=6,4$ km/s) don un resultat de $X_c=69,3$ km. En canvi si es calcula la distància crítica de l'ICGC per la zona d'estudi ($H=4$ km, $V'=5,5$ km i $V=6,4$ km) s'obté una $X_c=18,5$ km. Com es pot observar, el model proposat en aquest treball és molt semblant al proposat per l'ICGC.

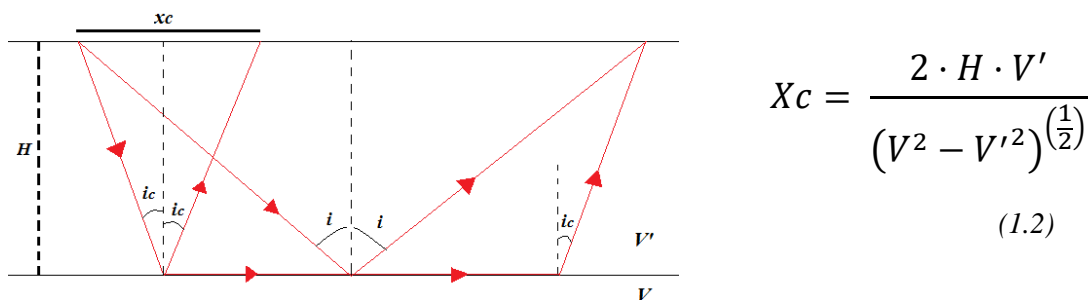


Fig. 3 Esquema de les diferents trajectòries dels raigs sísmics en el model d'una capa sobre un mitjà semi-infinit. i_c = angle crític, i = angle del raig, H =gruix de la cap, x_c =distància crítica, v i v' = velocitats de la capa i el medi semi-infinit. Basat en l'esquema d'Udías (1999).

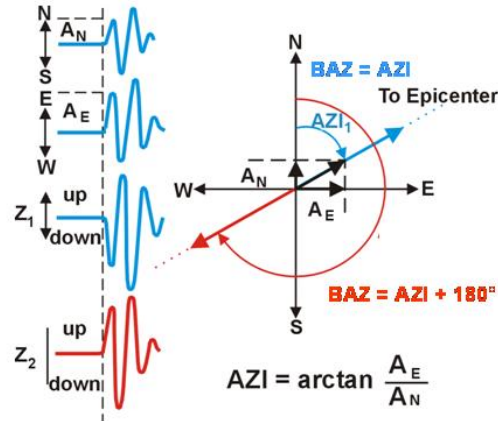
En següents apartats es qüestionarà l'elecció d'aquest model de velocitats de les ones i l'error que pot portar associat.

Amb la diferència de recorregut, les velocitats i l'aplicació de la formula 1.1 s'obté la distància epicentral. Un cop calculada aquesta distància es passa a la determinació de l'azimut. Primer de tot es necessita una estació de monitoratge sísmic que registri els tres components del moviment (E-W, N-S i vertical), en aquest cas l'estació que aporta sismogrames de tres components és la de VAN2. Aquest mètode utilitza la polarització lineal del vector de moviment contingut en el pla vertical de les arribades de les ones P per tal de calcular l'azimut (AZM) de l'epicentre (Alessandrini et al., 1994). Al estar contingut en el pla vertical, el vector de moviment de la ona P es pot descompondre en un component vertical i un radial del moviment. Aquesta descomposició del vector permet el càlcul del Backazimut (BAZ) que es defineix com l'angle de direcció de l'estació cap a l'epicentre, mesurat en sentit horari des del nord (Havskov, 2011). El component radial pot ser reconstruït a partir dels registres dels dos components horitzontals (E-W, N-S) i l'azimut (AZM) del moviment de les partícules pot ser calculat mitjançant la relació d'amplituds dels components horitzontals AE / AN (veure figura 4), de la primera arribada de la fase P (Havskov, 2011).

Aquest angle calculat fins el moment, presenta una indeterminació de 180° ja que la primera arribada de la fase P pot ser cap amunt (compressió) o cap avall (dilatació). Quan el primer moviment de la fase P del component vertical és una compressió es tracte d'un moviment cap a l'exterior de la font (moviment oposat a l'epicentre), i quan el primer que arriba és una dilatació es tracta d'un moviment horitzontal de les partícules cap a la font, és a dir cap a l'epicentre

(Estrada i Golbach, 2011). En el primer cas al ser el moviment oposat el $BAZ = AZM + 180^\circ$ i en el segon cas al ser el moviment cap a l'epicentre $BAZ = AZM$ (Havskov, 2011). Aquest mètode queda esquematitzat a la figura 4.

Fig. 4 Esquema sobre la metodologia utilitzada en la localització d'esdeveniments a partir d'una sola estació. Esquema extret de Havskov, 2011.



3.3 Errors experimentals

Aquest mètode de localització amb una sola estació presenta una sèrie d'errors experimentals en el càlcul de la distància epicentral i l'azimut, que s'exposaran a continuació. Per calcular l'error de la distància s'utilitza la fórmula (2.1) i per calcular l'error de l'azimut s'utilitza la fórmula (2.2). La deducció de les següents expressions es basa en la teoria general de propagació d'error i es pot consultar a l'annex 2.

$$\varepsilon d = [(t \cdot \varepsilon v)^2 + (v \cdot \varepsilon t)^2]^{(1/2)}$$

d = distància, εd = error de d , v = velocitat, εv = error de v , t = temps, εt = error de t (2.1)

$$\varepsilon_{BAZ} = \left[\left(\frac{1}{\left(AN \cdot \left(\frac{AE^2}{AN^2} + 1 \right) \right)} \cdot \varepsilon_{AE} \right)^2 + \left(\frac{-AE}{\left(AN^2 \cdot \left(\frac{AE^2}{AN^2} + 1 \right) \right)} \cdot \varepsilon_{AN} \right)^2 \right]^{(1/2)}$$

BAZ =backazimut, ε_{BAZ} = error de BAZ , AE = amplitud primera arribada de component E-W, ε_{AE} = error de AE , AN = amplitud primera arribada de component N-S, ε_{AN} = error AN (2.2)

Per realitzar els càlculs de l'error de localització de cada esdeveniment s'ha escollit un error de velocitat de 0,15 km/s doncs segons el model de velocitats escollit (en Díaz i Gallart, 2009) la velocitat de les ones P pot oscil·lar entre 5,2 i 5,3 km/s a la zona, de tal manera que la meitat de la diferència d'aquests dos valors és el 0,15 km/s. L'error de mesura de AE i AN depèn de la resolució de l'equip i de la resolució del programa gràfic de Matlab (Sptool), aquest error s'ha considerat de $5,7e-008$ m/s. L'error de temps depèn de la freqüència de mostreig, ja que l'eina Sptool del programa Matlab el que fa quan es pica la primera arribada de l'ona P i S en un punt del sismograma és marcar la mostra més pròxima al punt picat. S'ha de tenir en compte que quan es pica la primera arribada es pot cometre l'error d'agafar la mostra anterior o la posterior. Així que si el mostreig és de 40 mostres per segons, és a dir de 0,025 (1/40), l'error que s'ha de considerar almenys és de 0,05s (0,025·2).

Aquests errors un cop calculats es representen gràficament en un mapa de localització dels esdeveniments.

3.4 Dades utilitzades

Per realitzar aquest treball s'han utilitzat quatre paquets de dades diferents:

Paquet de dades 1: Corresponent a sismogrames d'esdeveniments indeterminats registrats a l'estació sísmica de VAN2 (dades cedides pel LEGEF) en el període del segon semestre de 2009 al primer semestre de 2014. S'han escollit 20 esdeveniments que no presenten cap patró horari i per tant són candidats a ser d'origen natural. Posteriorment, s'han escollit 6 esdeveniments representatius que sí presenten patró horari i per tant són candidats a ser d'origen antròpic. Les dades dels esdeveniments indeterminats sense patró horari són utilitzades per a la localització de l'epicentre amb el mètode d'una sola estació.

Paquet de dades 2: Corresponent a sismogrames d'esdeveniments determinats i indeterminats registrats a l'estació sísmica de VAN2 (dades cedides pel LEGEF) durant el segon semestre de 2014. En aquest paquet es registren un gran nombre d'esdeveniments localitzats a la zona costanera catalana de l'Ametlla de Mar. Al ser esdeveniments clarament localitzats es poden utilitzar per fer la comprovació del mètode d'una sola estació. A més a més s'han escollit 5 esdeveniments indeterminats (de magnitud més petita que els determinats de la mateixa sèrie, però, amb idèntica morfologia i diferent amplitud) per comprovar si el seu epicentre també es troba a la zona dels de l'Ametlla.

Paquet de dades 3: Corresponent al registre sísmic dels 20 esdeveniments indeterminats presumptament d'origen natural (mencionats anteriorment) de les estacions sísmiques del ICGC: CGAR i CMAS, les estacions del IGN: EIBI, EMOS, EPOB, ERTA, ETOS i de les estacions de l'Observatori de l'Ebre (Obsebre): ALCN, ALCX. Aquestes dades (cedides per les agències anteriorment mencionades) s'utilitzaran per fer la localització epicentral tradicional o clàssica i així comprovar i fer el testeig del mètode de localització d'una sola estació.

Paquet de dades 4: Informacions del ICGC, IGN i LDG (en informe del LEGEF) sobre paràmetres focals (magnitud, coordenades de localització...etc) dels esdeveniments determinats de l'Ametlla de Mar (mencionats al paquet de dades 2) que serviran per fer la comprovació del mètode de localització d'una sola estació.

3.5 Anàlisi amb programari científic

Per realitzar aquest estudi inicialment s'han escollit els candidats a esdeveniments sísmics que han quedat esmentats en l'apartat anterior. Per tal de fer els anàlisis de tots els sismogrames dels esdeveniments seleccionats prèviament han hagut de ser tractats amb el software matemàtic Matlab.

Les dades d'entrada en el Matlab són els registres de les tres components del moviment del terra, és a dir dels sismogrames (E-W, N-S, Z) en format SAC, Seismic Analysis Code, (IRIS, 2014). Aquest és un format dissenyat per l'estudi de senyals seqüencials en el temps. Un únic arxiu SAC conté un únic component de dades registrades en una sola estació sísmica. L'arxiu també conté una capçalera que inclou informacions bàsiques tals com el nombre de punts de registre, el tipus d'arxiu, l'interval de mostreig o l'hora d'inici entre d'altres. És a dir, la capçalera inclou les metadates del registre (Dost et al., 2011).

Primer de tot un cop es tenen les dades SAC es passen a format Matlab en forma de variable i es defineix la freqüència de mostreig o “sampling rate”. En el cas de VAN2 aquesta freqüència és de 40 mostres per segon (40Hz) i en el cas de les estacions de l’ICGC, l’IGN i l’Obsebre aquesta freqüència és de 100 mostres per segon (100Hz). També es realitza una deconvolució instrumental dels esdeveniments registrats a VAN2, ja que les amplituds es registren en “comptes” (counts) i s’han de passar a moviment real del terreny (m/s). Per realitzar aquest canvi s’han de tenir en compte les corbes de resposta absoluta (amplitud i fase) de la instrumentació sísmica (aquestes corbes es poden consultar a l’annex 3). En aquest treball la correcció instrumental de les dades per obtenir el moviment del terreny es realitza dividint simplement els registres dels valors d’amplitud de cada component del sismograma (E-W, N-S i Z), en counts, pel seu factor de conversió d’amplitud corresponent, el que representa corregir només la part plana de les respostes instrumentals ja que es treballarà en aquest rang freqüencial. Aquest factor ve donat per les característiques de la instrumentació de l’estació de monitoratge sísmic de VAN2. Els factors d’amplitud són els següents:

1) Component vertical => $8,9025E+08$ counts/m/s. 2) Component N-S => $9,0197E+08$ counts/m/s. 3) Component E-W => $9,2618E+08$ counts/m/s. (Tapia i Suriñach, 2014)

Seguidament es passa a corregir la línia de tendència i l’offset que es produeixen a causa de la deriva de la instrumentació sísmica. Per fer-ho s’utilitza la funció “detrend” de Matlab, que bàsicament realitza una correcció del pendent i una regressió lineal de les dades corregint ambdós fenòmens d’una tacada. És a dir elimina el valor mig/línia de base i la tendència lineal d’un vector (<http://es.mathworks.com/help/matlab/ref/detrend.html>). Un cop s’ha corregit la línia de tendència es genera un espectre de Fourier (funció fft a Matlab) per a cada component del senyal. L’anàlisi de l’espectre de Fourier permet determinar el contingut freqüencial de les ones sísmiques considerades i realitzar l’anàlisi de la densitat espectral per tal d’estimar i descartar el soroll sísmic de cada sismograma (Bormann et al., 2014). L’anàlisi de l’espectre de Fourier permet acotar el rang de filtratge de la funció “filtfilt” (a Matlab) que s’utilitzarà a continuació per tal d’eliminar la major part del senyal que es correspon amb soroll.

Corregides les dades i realitzat l’espectre de Fourier es passa al filtratge amb la funció “filtfilt” de Matlab i un filtre de tipus “Butterworth”. El filtre permet realitzar un filtrat a l’interval de freqüències desitjat per tal d’evitar el màxim soroll possible i així netejar el senyal sísmic i quedar-se amb la part plana del registre per la correcció instrumental. La freqüència màxima a la qual es pot filtrar és la freqüència de Nyquist que ve definida per la meitat del mostreig inicial. En aquest cas, la freqüència de tall seria de 20 Hz per VAN2 i 50Hz per les estacions de l’ICGC, l’IGN i l’Obsebre. És a dir els sismogrames de VAN2 es podran filtrar en intervals màxims d’entre 1 i 20Hz i la resta d’entre 0,1-1 i 50Hz. Tot i així l’interval de filtratge més utilitzat en aquest treball és de 2 a 18 Hz (pot variar segons els espectres de Fourier de cada sismograma). Un cop definida la tipologia de filtre, s’utilitza la funció “filtfilt”. Aquesta funció evita la distorsió i el desfasament fent coincidir les fases amb les del registre inicial. El que fa la funció és realitzar un filtrat digital de fase-cero mitjançant el processament de les dades d’entrada en ambdós direccions, d’avanç i retrocés. És a dir després de filtrar les dades en la direcció d’avanç, la funció “filtfilt” inverteix la seqüència filtrada i l’executa de nou mitjançant el filtre escollit (<http://es.mathworks.com/help/signal/ref/filtfilt.html>). D’aquesta manera s’obté un registre filtrat on les fases de les ones no es veuen afectades ni desplaçades.

Un cop es tenen totes les dades processades amb Matlab es passa a realitzar el seu anàlisi detallat. Aquest anàlisi es pot realitzar amb l'eina "Sptool" del programa Matlab. L'eina permet visualitzar els tres components del moviment del terra, en conjunt i per separat, alhora que permet anar variant l'escala i l'amplitud de cada un dels eixos dels sismogrames per tal d'observar el registre de la manera més acurada possible. Aquesta eina permet visualitzar i marcar amb precisió la primera arribada de les ones P i S i la seva amplitud corresponent. Amb la informació de la diferència de temps d'arribada de les ones P i S i l'amplitud de les primeres arribades de cada component es pot desenvolupar el mètode de localització amb una sola estació i atribuir una localització a l'esdeveniment indeterminat tal i com s'ha indicat en apartats anteriors.

3.6 Flux de treball

Primerament es realitza l'anàlisi dels 20 esdeveniments indeterminats registrats a VAN2 candidats a ser d'origen natural ja que no presenten un patró horari. Per fer aquest anàlisis s'observen els sismogrames, la seva morfologia de coda (morfologia triangular que adquireix un sismograma quan va decreixent l'amplitud d'ona progressivament amb el temps), la seva amplitud, les possibles arribades de les ones P i S i si el seu espectre de Fourier presenta unes freqüències correctes. Si es presenten tots aquest elements es pot analitzar com un sisme i buscar-li una localització amb el mètode d'una sola estació. No tots els sismogrames presenten una morfologia de coda i una arribada clara de les ones P i S i analitzant els seus espectres de Fourier es pot confirmar que no són esdeveniments sísmics, de tal manera que aquest queden descartats per seguir treballant. També es disposa dels registres d'altres estacions de monitoratge sísmic cedides per l'ICGC, l'IGN i l'Obsebre a la mateixa hora en que es van registrar aquest esdeveniments a VAN2, de tal manera que, es tracta d'analitzar aquest senyals d'altres estacions per veure si els registres de VAN2 també han quedat registrats fora de la zona. Si és així, i els esdeveniments localitzats amb el mètode d'una sola estació a VAN2 també han quedat registrats a més estacions sísmiques d'altres agències (mínim 3), es podrà dur a terme la localització epicentral tradicional, de tal manera que es tindran els esdeveniments indeterminats localitzats per dos mètodes diferents, per tan aquest mètodes es podran comparar entre ells.

Per altre banda, es disposa de dues series de registres més de VAN2, els corresponents a registres amb patró horari i per tant candidats a ser antròpics i els registres de la sèrie de terratrèmols de l'Ametlla de Mar. Els registres de l'Ametlla de Mar estan formats per esdeveniments determinats i indeterminats. Aquest indeterminats es poden identificar com de l'Ametlla perquè són idèntics als determinats només que amb amplituds molt més baixes i no surten en els butlletins. Els esdeveniments determinats ja compten amb informació de localització i de paràmetres focals d'altres agències com l'ICGC, l'IGN i el LDG, de tal manera que al tenir ja una localització fixa, si s'analitzen amb el mètode d'una sola estació es podrà veure la diferència entre les localitzacions de cada mètode i així fer una comparativa. Finalment resten per analitzar els esdeveniments indeterminats, representatius, candidats a ser d'origen antròpic ja que presenten un patró horari clar. Aquest esdeveniments s'analitzaran amb el mètode d'una sola estació i l'objectiu del seu anàlisis és confirmar el seu origen antròpic i comprovar la seva localització (allunyats d'estructures tectòniques). Totes aquestes localitzacions presenten un error que ha estat calculat i s'especificarà en propers apartats. Un cop es tenen totes les localitzacions amb el programa ArcGIS, es realitzen mapes de distribució dels esdeveniments i mapes de distribució de les estructures tectòniques de la zona. Tots els esdeveniments utilitzats en aquest treball es poden consultar a l'annex 4. El flux de treball realitzat queda sintetitzat a la figura 5.

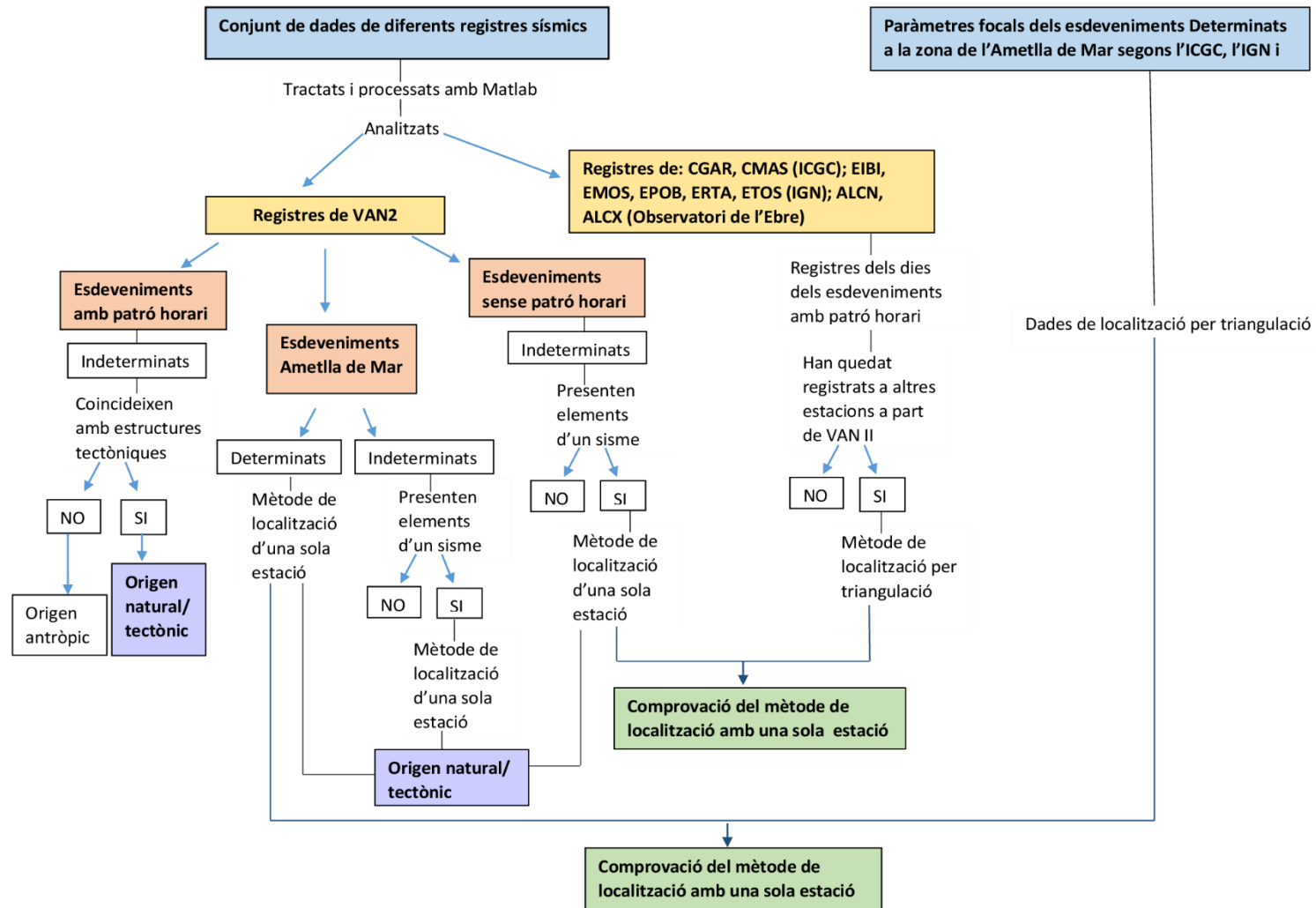


Fig. 5 Esquematització del flux de treball que s'ha dut a terme per desenvolupar aquest estudi.

4 ANÀLISI I RESULTATS

4.1 Localització dels sismes amb una sola estació

(a) Registre de VAN2 sense patró horari

Aquestes dades són del paquet 1 i estan constituïdes per 20 registres sísmics d'entre el segon semestre de 2009 i primer semestre de 2014. Aquest 20 sismogrames a simple vista presenten una morfologia típica de sisme amb dues arribades d'ones més o menys clares i un morfologia de coda. En major o menor grau tots presenten un soroll de fons. Aquest 20 esdeveniments s'han intentat localitzar amb el mètode d'una sola estació. Però només s'han pogut localitzar i confirmar com a sismes clars 4 esdeveniments. Els altres 16 han estat descartats com a tal tot i que a primera vista semblaven iguals que els 4 sismes.

La primera gran diferència entre aquests esdeveniments són els seus rangs freqüencials. Això es pot observar únicament realitzant l'espectre de Fourier. L'espectre dels 4 esdeveniments identificats com a sismes mostren un rang ampli de freqüències que solen oscil·lar entre els 1 i els 18 Hz amb diversos pics de freqüència corresponents a les diverses fases que conformen el senyal (ones P, S, superficials i soroll de fons). A més a més els tres components del sismograma (E-W, N-S i Z) tot i no ser iguals solen ser molt semblants i presenten el mateix ordre de magnitud d'amplitud al voltant de 10^{-6} m/s.

En canvi els espectres de Fourier dels altres 16 esdeveniments són monofreqüencials i presenten un únic pic de freqüències que oscil·la entre 8 i 12 Hz. Les amplituds d'aquests 16 esdeveniments són molt semblants i van des de $6 \cdot 10^{-5}$ m/s a $5 \cdot 10^{-6}$ m/s. Aquests esdeveniments no presenten els tres components del sismograma i els espectres iguals. Dels 16 esdeveniments n'hi ha 9 que únicament presenten amplituds en el component N-S. I 3 que presenten amplituds en components E-W i N-S però en canvi no en la vertical (veure els espectres a l'annex 5). A aquests 12 esdeveniments se'ls hi ha atribuït un origen natural però no tectònic sinó meteorològic. Fent una cerca s'ha vist que la direcció predominant de les ratxes més potents de vent a la zona de VAN2 són en direcció N-S (raó per la qual alguns sismogrames només presenten el component N-S) i la direcció predominant en temps estable és NE-SW (raó per la qual alguns sismogrames presenten component N-S i E-W). Per això no es registra cap amplitud en la component Z. Per recolzar aquesta hipòtesi a la figura 6 es poden observar les direccions de vent predominants.

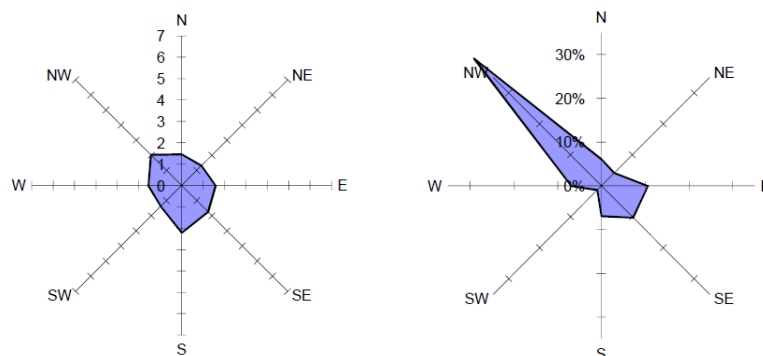


Fig. 6 El gràfic de l'esquerra mostra la direcció i velocitat puntual de les principals ratxes de vent. El gràfic de la dreta mostra la direcció del vent predominant a la zona de VAN2. Gràfics extrets del servei meteorològic de Catalunya (2010).

Finalment resten 4 esdeveniments monofreqüencials, dintre d'aquest 16, que presenten un únic pic entre 10 i 12 Hz i tenen els 3 components iguals. El seu origen és incert ja que no poden ser sismes naturals (són monofreqüencials) ni ratxes de vents ja que tenen un clar component vertical.

Pel que fa els 4 esdeveniments classificats com a sismes n'hi ha un que presenta una morfologia clara de terratrèmol regional, ja que la diferència de temps entre les primeres arribades de les ones P i S és molt gran. Buscant a les diferents agències s'ha trobat aquest esdeveniment i sí està localitzat prop de Puigcerdà, al Pirineu francès. Els altres tres esdeveniments (271, 116 i 334, la taula amb els nombres identificadors dels esdeveniments es pot consultar a l'annex 4) són sismes locals clars amb un rang freqüencial molt més ampli i una clara arribada de les ones P i S. Tots presenten uns ordres de la magnitud d'amplitud molt semblants al voltant de $1 \cdot 10^{-6}$ m/s, en cap moment presenten amplituds d'orde 10^{-5} m/s com els altres senyals. La diferència de temps entre les ones P i S oscil·la entre 0,7s i 1,9s de tal manera que les distàncies epicentrals no són superiors a 13 km. La localització exacte d'aquests esdeveniments es pot consultar a la figura 8. Tots els espectres de Fourier i les dades de cadascun dels 3 esdeveniments sísmics es poden consultar a les fitxes de l'annex 6.

(b) Registres de VAN2 amb patró horari

Aquest esdeveniments formen part del paquet de dades 1 i es van registrar en el període que va del segon semestre de 2009 al primer semestre de 2014. En total hi havien 320 esdeveniments candidats a ser antròpics però en aquesta memòria s'han escollit els 6 més representatius (de diferents grups i amb diferents característiques per cobrir totes les possibilitats) per fer-ne l'anàlisi detallat i la localització amb el mètode d'una sola estació. Aquests esdeveniments presenten una morfologia de coda típica d'un sisme natural i també si poden identificar les ones P i S. La gran diferència amb els anteriors esdeveniments naturals és que aquests presenten un patró horari clar. És a dir aquests esdeveniments succeeixen en un marc temporal constant en dies laborables (de dilluns a dissabte) i en un horari restringit només al matí (a partir de les 7h del matí fins les 16h). Quan s'analitzen més en detall aquests esdeveniments i es tracten en Matlab es poden observar una sèrie de canvis en alguns esdeveniments respecte els sismes d'origen natural analitzats per aquest mateix període.

Primerament totes les amplituds d'aquests esdeveniments es troben al voltant de $1 \cdot 10^{-5}$ m/s, és a dir, presenten un ordre de magnitud més que els d'origen natural analitzats fins el moment, tot i així, no es pot dir que això sigui una diferència significativa. A més a més si s'analitza en detall el contingut freqüencial es pot veure que tot i que aquest és divers es distingeixen alguns patrons. Hi ha dos esdeveniments (062 i el 072, annex 4 i 6) que presenten un espectre de Fourier amb menys rang freqüencial que el d'un sisme normal. Les freqüències d'aquest dos esdeveniments es concentren per sota de 6 Hz, a més a més presenten distàncies epicentral molt semblants al voltant del 8 km. Aquests dos esdeveniments succeeixen el mateix mes i quasi a la mateixa hora (12:08 i 12:07 respectivament).

En canvi la resta d'esdeveniments (092, 256, 264 i 266, annex 4 i 6) presenten un rang de freqüències molt més ampli, semblant al dels esdeveniments naturals, d'entre 1 i 18 Hz. Una dada remarcable és que si s'observa la localització d'aquests 4 esdeveniments, es pot observar que es troben localitzats sobre una mateixa línia recta que s'orienta pràcticament ENE-WNW (figura 8). La distància epicentral d'aquest 4 esdeveniments també és molt semblant i està entre 5-6 km. Finalment esmentar que tan l'esdeveniment 092 com 266 es localitzen a mar, la qual cosa fa difícil pensar que els seu origen sigui antròpic. És a dir dels 6 esdeveniments analitzats només es pot confirmar la procedència antròpica de dos (062 i 072), ja que per les seves

característiques freqüencials i la localització, els 4 restants, podrien ser interpretats com a sismes d'origen natural.

(c) Registres de VAN2 de la sèrie sísmica de l'Ametlla de Mar

Aquests esdeveniments formen part del paquet de dades 2 i es registren durant el segon semestre de 2014 on es van registrar una sèrie d'esdeveniments sísmics, localitzats per diverses agències, propers a la costa de l'Ametlla de Mar. A part dels esdeveniments sísmics localitzats, a VAN2 també es van registrar una sèrie d'esdeveniments menors indeterminats amb una morfologia idèntica a la dels sismes determinats però amb menor amplitud i per tan menor magnitud. Motiu per el qual només es van poder registrar a VAN2. El que s'ha fet ha sigut un anàlisi de 5 dels sismes (240, 287, 304, 305_1, 308, annex 4 i 6) ja localitzats prèviament per les agències. S'han escollit aquest 5 en concret perquè presenten diferents magnituds i així es podrà fer una comparació de les amplituds i les magnituds. Posteriorment també s'han analitzat i localitzat amb el mètode d'una sola estació 5 esdeveniments menors indeterminats (258, 262, 284, 303, 305, annex 4 i 6) per tal de localitzar-los i així identificar-los també com a sismes de la sèrie de l'Ametlla de Mar.

Primerament s'analitzen i localitzen amb el mètode d'una sola estació els sismes determinats. El fet de que siguin esdeveniments ja localitzats per altres agències i s'origini a mar (figura 8) confirma el seu origen tectònic, ja que a mar difícilment es poden generar activitats o explosions antròpiques que pugin ser confoses amb sismes naturals. Aquest esdeveniments solen presentar molt poc soroll de fons, el seu contingut freqüencial és divers i va de 1 a 18 Hz, amb pics més importants entre els 6 i els 12 Hz. Pel que fa les amplituds de cadascun, aquestes són més diverses, ja que les magnituds també ho són. Quan més grans són les amplituds més grans són les magnituds que cada agència proposa pels diferents sismes, tal i com es pot veure a la taula 1.

Taula 1: Taula-resum de les amplituds màximes presentades per cada esdeveniment determinat de l'Ametlla de Mar registrat a VAN2 i la magnitud assignada per a cada esdeveniment sísmic segons el ICGC. (Numeració i esdeveniments consultables als annexos 4 i 6).

ID	Amplitud màx. (m/s)	MI. ICGC
308	2,7176E-04	2,7
240	6,3237E-05	2,4
304	1,8285E-05	1,8
287	8,5788E-08	1,1
305_1	2,4248E-06	0,8

Com es pot observar a la taula 1, amplituds d'ordre de magnitud 10^{-4} m/s ja donarien MI superiors als 2,5. Amplituds d'ordre 10^{-5} m/s es correspondrien amb MI al voltant de 2. Finalment les amplituds més petites d'ordre 10^{-6} i 10^{-8} m/s ja es correspondrien amb MI mínimes al voltant de 1. Tenint la correspondència entre amplitud-magnitud s'ha pogut generar la gràfica de la figura 7 que permetrà fer una aproximació de la magnitud dels esdeveniments sísmics indeterminats. Aquesta aproximació bàsica es pot realitzar perquè es tracte de sismes de la mateixa família a distàncies molt similars. No es podria utilitzar aquest gràfic per sismes que estiguessin a altres distàncies o amb altres azimuts ja que l'atenuació de les seves amplituds serà diferent. L'expressió matemàtica de les magnituds dels sismes de l'Ametlla extreta de la figura 7 seria: $M=0,45*\log A+4,19$

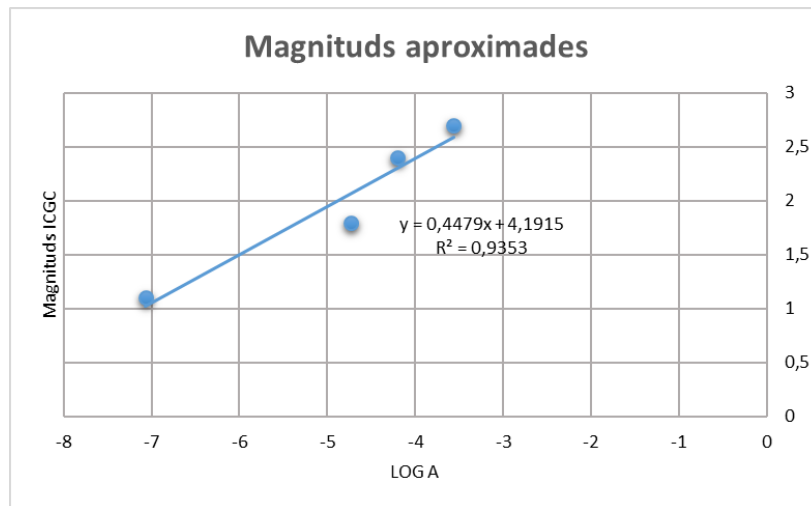


Fig. 7 Gràfic de la recta de regressió que permet relacionar les amplituds amb les magnituds i fer una aproximació d'aquestes últimes. L'expressió de la magnitud és: $M=0,45 \cdot \log A + 4,19$.

La distància epicentral d'aquests esdeveniments determinats es troba entre 10 i 16 km i tots es localitzen a mar, la qual cosa coincideix amb les localitzacions de les agències. La localització d'aquests sismes amb el mètode d'una sola estació es pot observar a la figura 8.

En segon lloc es va realitzar l'anàlisi dels 5 esdeveniments indeterminats (258, 262, 284, 303 i 305, annexos 4 i 6). Aquest presenten la mateixa morfologia que els esdeveniments determinats a l'Ametlla. L'anàlisi del seu contingut freqüencial amb l'espectre de Fourier mostra una diversitat de freqüències (de 2 a 18 Hz) típica dels sismes naturals i semblant a l'espectre dels sismes determinats anteriors. Alguns espectres mostren una gran densitat de pics entre 0 i 2 Hz que es corresponen amb soroll que ha hagut de ser filtrat. Una fet remarcable és que mentre que els esdeveniments 262, 284, 303 i 305 presenten els tres components del sismograma molt semblants, l'esdeveniment 258 no. Aquest presenta els components E-W, N-S molt semblants i el component vertical és visiblement menor.

La diferència més remarcable entre els esdeveniments sísmics determinats de l'Ametlla i els indeterminats són els rangs d'amplituds, ja que tots els indeterminats presenten amplituds menors, de l'ordre de 10^{-6} m/s, en contrast a les amplituds de fins a 10^{-4} m/s que presenten alguns determinats. Per tant les seves magnituds també seran menors que les dels sismes determinats. Si es fa una aproximació de les magnituds d'aquests esdeveniments indeterminats en funció de la seva amplitud màxima amb el gràfic de la figura 7, dona com a resultat unes magnituds d'aquests sismes del voltant de 1,5 MI. Pel que fa a la localització dels esdeveniments indeterminats, amb el mètode d'una sola estació, dona una distribució geogràfica semblant a la distribució dels sismes determinats.

D'aquests 5 esdeveniments 4 es localitzen a mar, a una zona propera on s'han produït els sismes determinats de l'Ametlla. Tot i la semblança, els indeterminats són lleugerament més propers a la costa ja que les seves distàncies epicentrals es troben al voltant de 8-9 km. En canvi l'esdeveniment 258, que ja d'entrada es diferenciava de la resta per una component vertical menor no es localitza a mar sinó a terra.

És a dir, els 5 esdeveniments indeterminats, segons indiquen les seves característiques freqüencials i la seva morfologia, podrien ser sismes d'origen natural, tot i que no s'originen a la mateixa zona. Els sismes 262, 284, 303 i 305 es localitzen a mar i per tan es pot confirmar la seva pertinença a la sèrie sísmica de l'Ametlla de Mar, en canvi el sisme 258 es localitza a terra i per tant no pertany a la mateixa sèrie. La localització geogràfica d'aquest esdeveniments sísmics es pot consultar a la figura 8.

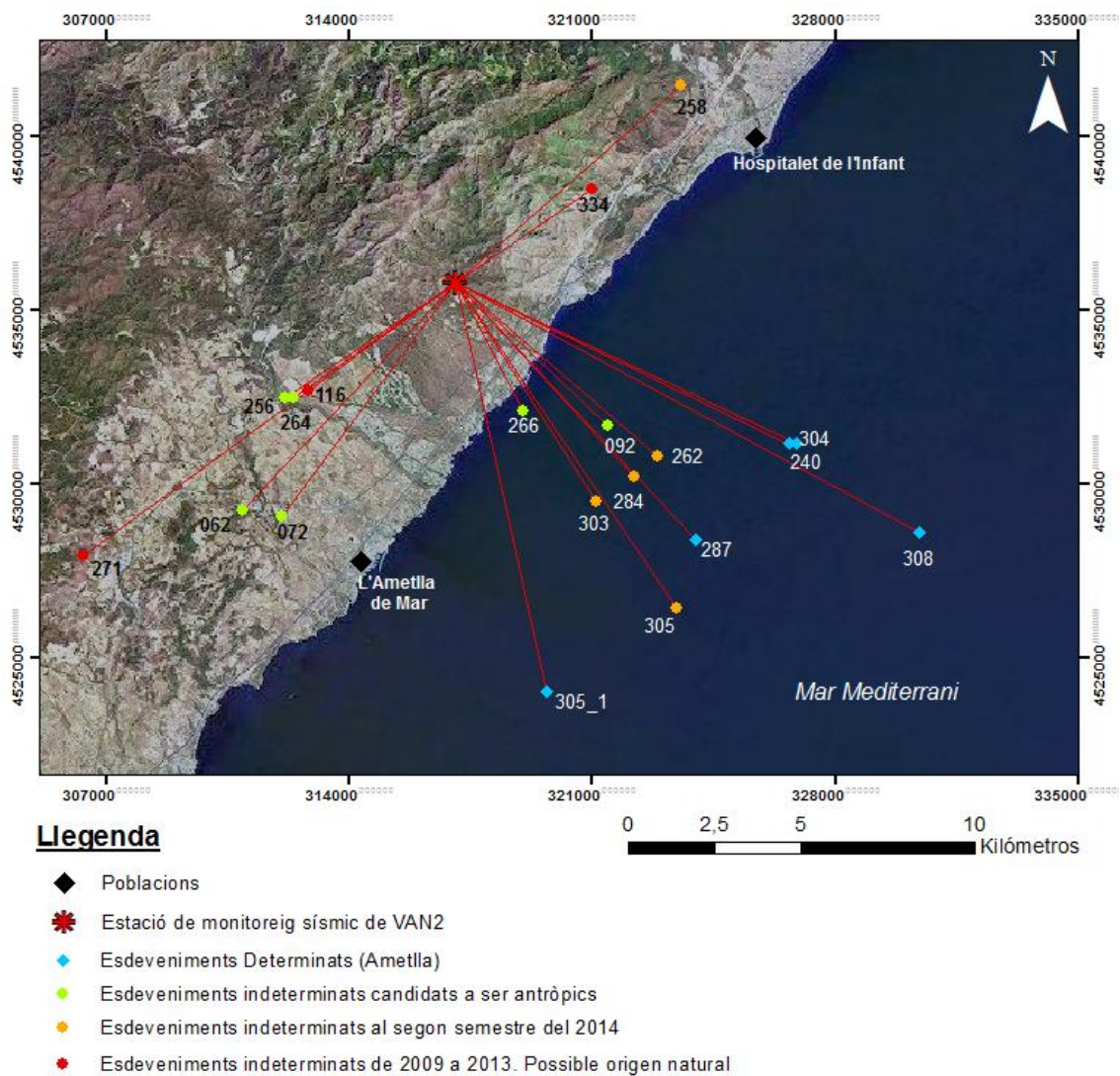


Fig. 8 Mapa, realitzat amb ArcGIS, de localització i distribució de tots els esdeveniments considerats en aquest treball. La localització de tots aquests esdeveniments (identificats amb els nombres corresponents utilitzats en el text i consultables a la taula de l'annex 4) ha estat realitzada amb el mètode d'una sola estació. Modificat de © Base cartogràfica (ortofoto 1:25.000) propietat de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, disponible a www.icgc.cat

4.2 Comparació de les localitzacions amb ambdós mètodes i errors

Per tal de realitzar la comprovació del mètode d'una sola estació es pretén realitzar una localització epicentral tradicional dels 3 esdeveniments considerats naturals (del registre de VAN2 sense patró horari) i dels 5 esdeveniments determinats de VAN2 de la sèrie sísmica de l'Ametlla de Mar (aquests 8 esdeveniments sísmics ja han estat localitzats prèviament amb el mètode d'una sola estació). Per fer la localització epicentral clàssica tal com s'ha explicat anteriorment s'han demanat els registres temporals equivalents als 3 esdeveniments naturals de diverses estacions sísmiques de l'ICGC, l'IGN i l'Obsebre. El sismogrames d'aquestes estacions s'han tractat amb Matlab amb el mateix procediment que els registres de VAN2 i s'ha vist que cap dels 3 esdeveniments ha quedat registrat en estacions de monitoratge sísmics d'altres agències. Bàsicament en els sismogrames de l'ICGC, l'IGN i l'Obsebre el que apareix és un soroll constant de fons sense cap indicatiu de trencament de la seqüència que indiqui un registre sísmic. A més a més els espectres de Fourier són monofreqüencials i únicament presenten freqüències de 0 a 1 Hz. Després d'analitzar tots els registres de totes les estacions es

van descartar aquest tres esdeveniments per realitzar la comprovació del mètode per falta de dades externes a VAN2. Finalment s'ha realitzat la comprovació del mètode únicament amb els 5 esdeveniments determinats de la sèrie de l'Ametlla de Mar. Al ser determinats ja hi ha disponibles les seves coordenades a les diferents agències sísmiques i no fa falta realitzar una nova localització amb mètode tradicional, perquè ja ha sigut fet per aquestes agències. Amb les coordenades i els 5 sismes localitzats amb el mètode d'una sola estació s'ha realitzat el mapa de la figura 9.

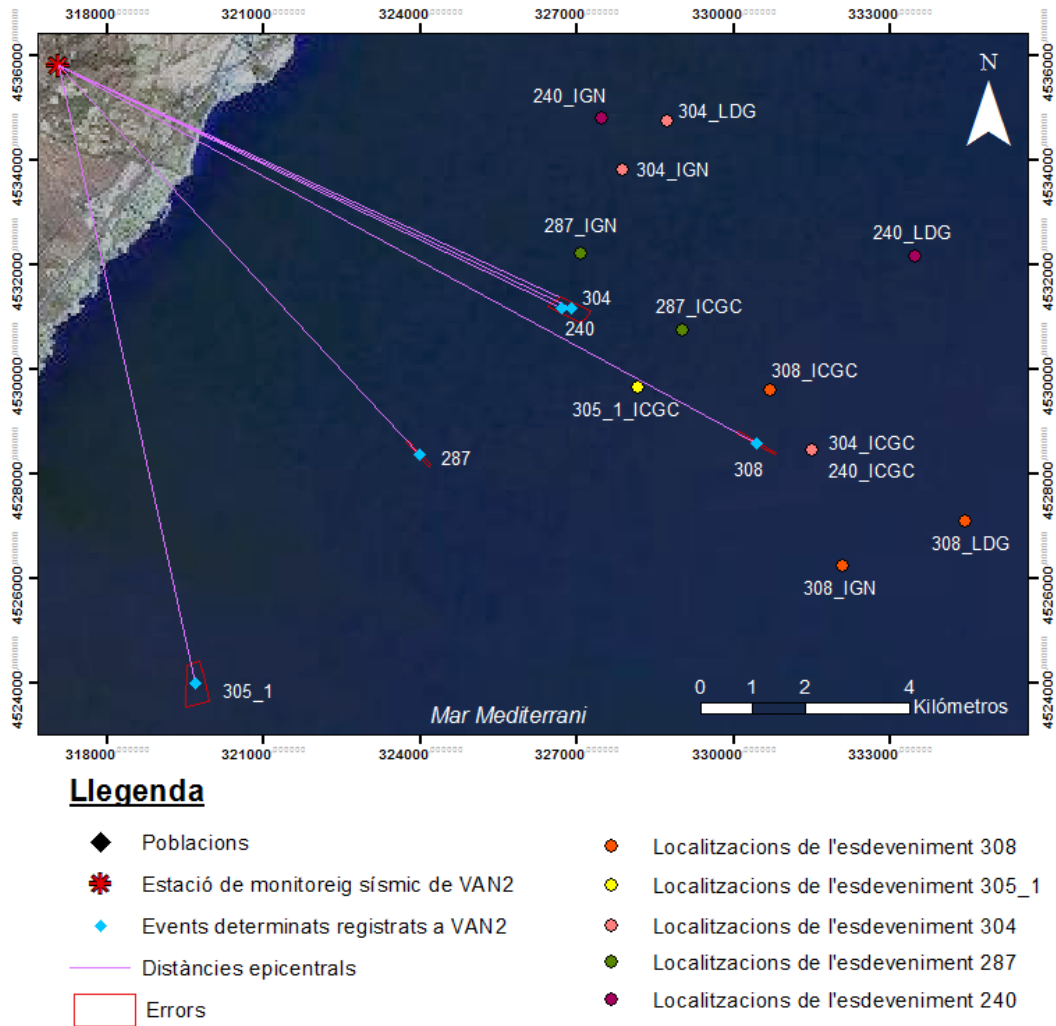


Fig. 9 Mapa, realitzat amb ArcGIS, de localització dels esdeveniments sísmics determinats de l'Ametlla de Mar a VAN2 mitjançant el mètode d'una sola estació, i distribució geogràfica de les localitzacions proposades per diferents agències pels mateixos sismes. Cada color i nombre del mapa representa les diferents localitzacions d'un mateix sisme. Modificat de © Base cartogràfica (ortofoto 1:25.000) propietat de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, disponible a www.icgc.cat

Com es pot observar a la figura 9 tot i que la localització dels esdeveniments no és del tot exacta, sí que es pot apreciar una certa precisió en el mètode d'una sola estació alhora de localitzar. Totes les localitzacions coincideixen a la mateixa zona costanera i les distàncies epicentrals són força semblants. La diferència més gran entre les distàncies epicentrals calculades amb els dos mètodes és de tot just 4 km. Per tan el mètode d'una sola estació es pot considerar vàlid per localitzar esdeveniments de caràcter local. L'error més gran al comparar els dos mètodes és l'azimut de l'epicentre respecte el nord. Com es pot observar tots les localitzacions de les agències es troben al NE, mentre que els esdeveniments localitzats amb el

mètode d'una sola estació a VAN2 es troben desplaçats al SW. Això pot ser degut a una lleugera desorientació dels sensors de l'estació sísmica de VAN2 respecte el N que provoquen un error constant en el registre sísmic. Així mateix també podria ser que hi hagués un error o una imprecisió en els diferents models d'escorça i de velocitats escollits en aquest treball com també podria haver-hi errors en els models de velocitats de les agències pertinents. Aquest diferents models de velocitats, condicionen el càlcul de la distància epicentral i tenen una conseqüència directa en la localització tradicional, ja que com es pot observar les localitzacions de les agències presenten també una imprecisió important entre elles. No hi ha un model fix de velocitats establert per a cada zona de l'escorça terrestre de tal manera que cada agència estableix una velocitat en funció de les dades geofísiques de la zona que considerin més adequades. Les velocitats escollides depenen de la densitat i de les propietats elàstiques del terreny. Per exemple l'ICGC pren un model de velocitat de les ones P de 5,5 km/s, en canvi l'IGN pren unes velocitats de 6,1 km/s. Tan l'ICGC com l'IGN utilitzen una relació $V_p/V_s = 1,75$, és a dir consideren l'escorça un sòlid Poisson. El model de velocitats escollit per cada agència es pot consultar a la taula 2 i 3. Mentre que l'ICGC considera un model de velocitat mig per a la zona catalana, l'IGN considera un model mig per a la península Ibèrica.

Profunditat (km)	V_p (km/s)
0,0	5,5
1,0	5,6
4,0	6,1
11,0	6,4
34,0	8,0
70,0	8,2

Taula 2: Model de velocitats en funció de la profunditat utilitzat per l'ICGC (dades extretes del Butlletí sismològic de l'ICGC, 2014).

Profunditat (km)	V_p (km/s)
0-11	6,1
11-24	6,4
4-31	6,9
>31	8,0

Taula 3: Model de velocitats en funció de la profunditat utilitzat per l'IGN (dades extretes de Mezcua i Martínez Solares, 1983).

A part de les imprecisions derivades del model de velocitats escollit. El mètode de localització amb una sola estació també presenta un error relacionat amb la mesura de les ones P i S i la mesura de les amplituds de la primera arribada. Partint d'aquí, cada esdeveniment porta associat el seu error en el càlcul de la distància i el seu error en el càlcul de l'azimut, els errors dels sísmes determinats de l'Ametlla es poden observar a la figura 9, i la resta d'errors de cada esdeveniment analitzat en aquest treball es pot consultar gràficament a les fitxes de cada esdeveniments de l'annex 6.

4.3 Localització dels sísmes i falles de la zona

Com s'ha explicat inicialment (apartats 2.2 i 2.3) la zona tractada en aquest treball és tectònicament activa i presenta una sèrie de falles, que tot i ser considerades com a lentes o fins i tot inactives, generen sísmes a la zona. El que s'ha fet en aquest treball és superposar les localitzacions de tots els esdeveniments localitzats amb el mètode d'una sola estació en un mapa amb les principals falles de la zona (figura 10).

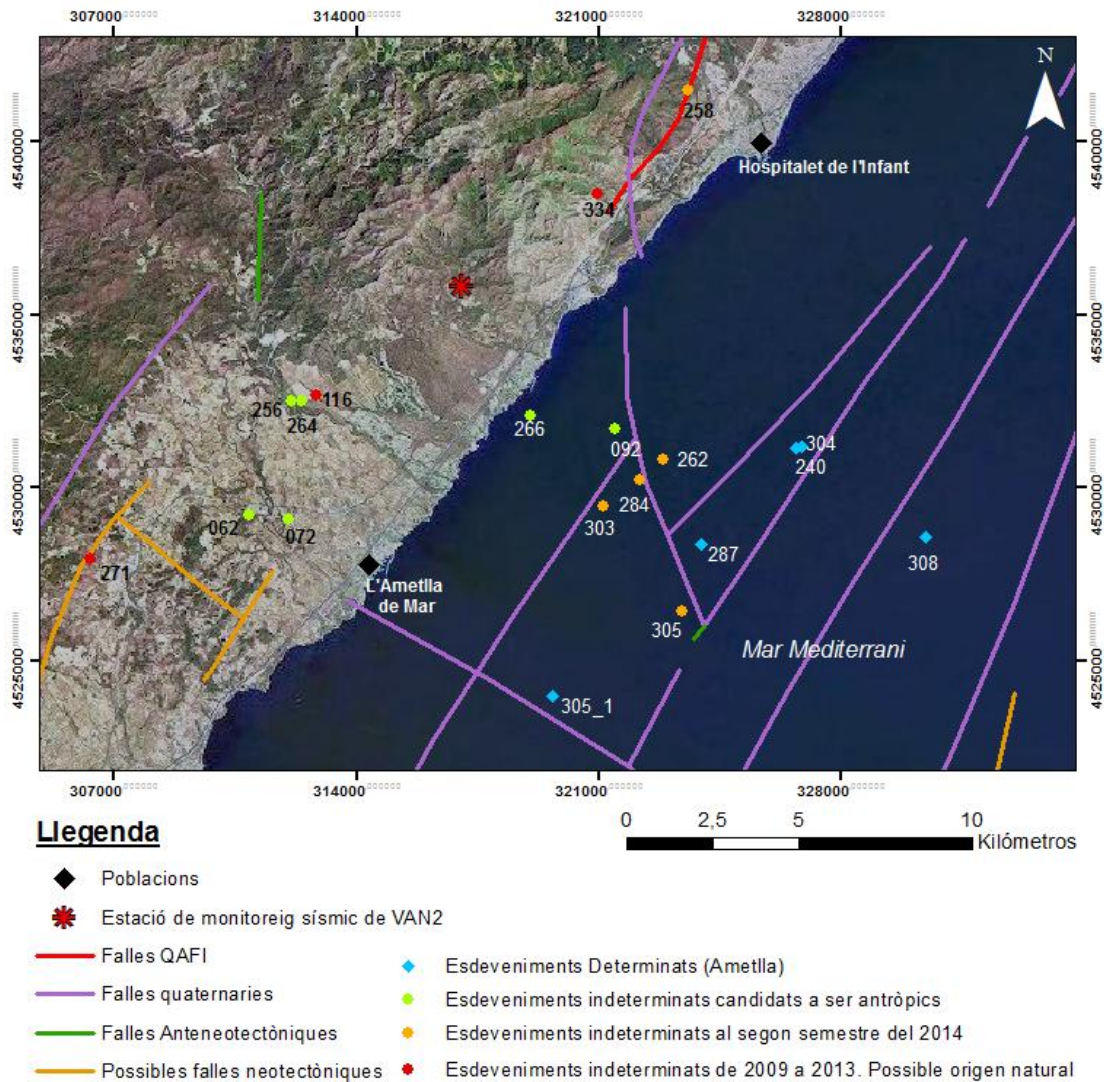


Fig. 10 Mapa realitzat amb ArcGIS on es superposen els esdeveniments localitzats amb una sola estació (identificats amb un numero sobre el mapa) i les principals falles de la zona. Les falles QAFI han estat extretes de la QAFI “Quaternari Active Faults Database of Iberia” a <http://info.igme.es/QAF>). La resta de traces de falles són comunicació personal de la Dra. Maria Ortuño. Modificat de © Base cartogràfica (ortofoto 1:25.000) propietat de l’Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, disponible a www.icgc.cat

Tal i com es pot observar tots els esdeveniments determinats (304, 240, 287, 305_1, 308, fig. 10, annexos 4 i 6) i els 4 indeterminats (303, 284, 262 i 305, fig. 10, annexos 4 i 6) del segon semestre del 2014 que pertanyen a la sèrie de l’Ametlla de Mar es situen prop de la costa, a la zona de falles quaternàries marines. Aquestes falles predominants en direcció NE a ENE poden estar induïdes per fortes subsidències d’origen tectònic (IGME i ENRESA, 1998). Seguidament al N es poden veure dos esdeveniments sísmics indeterminats d’origen natural (258 i 334, fig. 10, annexos 4 i 6) que es localitzen molt propers a la zona de la falla del Camp. Aquesta falla, com s’ha explicat en apartats anteriors, es pot considerar tectònicament activa i es pot descriure com una sèrie de fractures agrupades que funcionen com a límit de la fossa del Camp pel NW. Aquesta falla a principis del Neogen va patir una inversió tectònica i fins avui en dia s’ha comportat com una falla normal (Masana i Guimerà, 1992). L’últim esdeveniment indeterminat d’origen natural que es localitza prop d’una zona de fractura activa és el 271 (fig.10, annexos 4 i 6) que es troba prop d’un conjunt de possibles falles neotectòniques. Finalment resten 6

esdeveniments (062, 072, 256, 264, 116, 266 i 092, fig.10, annexos 4 i 6) amb una localització més problemàtica. El 062 i 072 són els dos esdeveniments confirmats d'origen antròpic per tant té sentit que es trobin, en zones de camp, lluny de zones de fractura, ja que no hi tenen cap relació. Per altre banda resten els esdeveniments 256, 264, 266, 092 i 116. Els quatre primers podrien ser naturals o no, en canvi en apartats anteriors s'ha confirmat l'origen natural del 116. Si s'observa la disposició geogràfica d'aquests 5 esdeveniments es pot veure que es troben formant una línia aproximadament NNW-ESE, la qual cosa podria ser indicador d'una possible estructura tectònica no identificada fins el moment. Així mateix al trobar-se al mar tan el 266 com el 092 podrien originar-se com a conseqüència del sistema de les falles quaternàries marines de la zona.

5 DISCUSSIÓ

5.1 *Problemàtiques del mètode de localització amb una sola estació*

El principal problema que presenta aquest mètode és el de l'elecció del model d'escorça i de velocitats. Tal com esmenta Alessandrini et, al (1994), el número de dades del model tradicional de mínims quadrats li aporta més solidesa i estabilitat tècnica a aquest tipus de localització, i la variació del model de velocitats no afecta tan a la localització. En canvi la variació del model de velocitats en el mètode de localització epicentral amb una sola estació presenta una sensibilitat més alta a aquesta variabilitat. Això també s'ha pogut confirmar en aquest treball on tot i la imprecisió de les localitzacions per mínims quadrats, totes les localitzacions tradicionals dels sismes determinats de l'Ametlla (localitzats per les agències) han quedat agrupats al NE, en canvi els sismes localitzats amb el mètode d'una sola estació presenten més dispersió. Per exemple un mateix esdeveniment localitzat amb el mètode d'una sola estació i variant la velocitat de les ones P pot donar distàncies epicentrals de 10,85 km per una $V_p=5,2$ km/s i distàncies epicentrals de 12,4 km per una $V_p=5,9$ km/s, és a dir un mateix sisme pot presentar un error de 1,5 km si no s'escull un model correcte. Això contant que s'escull un model senzill d'una sola capa. Si els sismes fossin més profunds s'hauria d'escollir un model multicapa on hi hauria una variació de velocitats en profunditat i aquest error seria més gran. Això implica que el model de velocitats s'ha d'incorporar a la localització i s'ha de tenir un bon coneixement de l'escorça de la zona que s'estudia i de les seves heterogeneïtats per tal de realitzar una localització el més acurada possible. Tot i que l'article d'Alessandrini et la., (1994) realitza una localització completa, calculant, també l'hipocentre, en aquest informe ha quedat demostrat que el mètode també és vàlid per calcular únicament la distància epicentral. També s'ha de dir que en aquest cas es tracta de sismicitat molt poc profunda (5 km de profunditat màxima) i per tant l'aproximació epicentral en aquesta situació serà bastant bona, tot i així, això també pot ser una font de diferències entre la localització amb una sola estació i les localitzacions tradicionals. Per altre banda com s'ha mencionat anteriorment a part de l'error que el propi mètode d'una sola estació presenta és possible que les dades presentin un error afegit degut a una possible desorientació dels sensors de l'estació sísmica de VAN2. Això pot comportar un lleuger error sistemàtic a tots els sismogrames i per tant a totes les mesures extreïdes d'aquests i les seves localitzacions. A més, s'ha de tenir en compte que tot i fer-se el més acurat possible, pot haver-hi un error humà en la identificació i determinació de les fases (primeres arribades d'ones P i S).

5.2 *Utilitats del mètode de localització amb una sola estació*

Tot i les problemàtiques que aquest mètode presenta també s'ha de dir que pot arribar a ser molt útil en uns casos determinats. Aquest mètode permet obtenir una localització geogràfica aproximada d'una sèrie d'esdeveniments sísmics dels quals no es té cap informació prèvia i

únicament han quedat registrats a una estació sísmica. És a dir tot i la seva imprecisió, el mètode és capaç de situar esdeveniments petits en zones i sèries sísmiques que d'altre manera quedarien incompletes a causa de la baixa escala de magnituds d'alguns sismes.

També s'ha de tenir en compte que tot i que les localitzacions tradicionals cada cop són més fiables, aquest fiabilitat també depèn del nombre d'estacions que hagin pogut registrar un determinat esdeveniment sísmic. De tal manera que quan es produeixen sismes de petita magnitud, menys deteccions sísmiques es produeixen a les estacions i per tan la localització tradicional es torna més imprecisa. Per exemple si només hi ha informació de registre sísmic a una única estació les agències no poden localitzar el sisme. Aquest mètode permet reduir aquesta manca d'informació i així completar els butlletins sísmics.

5.3 Millores per futurs estudis

Per futurs estudis relacionats amb l'aplicació d'aquesta metodologia es recomana en la mesura de lo possible incorporar el càlcul de l'hipocentre seguin el model proposat per Alessandrini et al., (1994) mitjançant l'angle immersió. Tot i així s'ha de dir que la determinació de l'hipocentre ja presenta molts problemes amb el mètode tradicional i per tan amb el mètode d'una sola estació encara en presentaria més de problemes i els errors de la determinació hipocentral serien importants. També s'hauria de tenir en compte les condicions dels sensors de l'estació de monitoratge sísmic de la qual s'extreuen les dades i revisar la seva orientació per evitar possibles errors sistemàtics. Un cop es tenen les distribucions geogràfiques del esdeveniments sísmics si hi ha alguna distribució geogràfica característica de sismes que no coincideixen amb estructures tectòniques seria adient realitzar una visita de camp a la zona per revisar possible estructures tectòniques que hagin passat desapercibudes.

En aquest treball s'ha pogut confirmar la validesa del mètode proposat per Alessandrini et al., (1994) i a més a més s'han proposat i posat a prova diverses pautes metodiques per processar dades sísmiques (amb Matlab) i analitzar esdeveniments indeterminats mitjançant espectres de Fourier, morfologies, amplituds i localitzacions.

6 CONCLUSIONS

- ❖ Alhora de determinar l'origen sísmic d'un esdeveniment indeterminat és fonamental l'anàlisi freqüencial dels seus espectres de Fourier i la seva morfologia. Un sisme natural presenta una diversitat freqüencial important, en canvi els senyals d'origen no sísmic solen ser monofreqüencials o amb poca diversitat freqüencial.
- ❖ De tots els esdeveniments indeterminats analitzats s'ha pogut concretar l'origen natural de 8 sismes (4 d'ells s'han pogut identificar com a components de la sèrie sísmica de l'Ametlla de Mar) i s'ha pogut confirmar la localització feta per les agències sismològiques pertinents dels 5 esdeveniments determinats de l'Ametlla de Mar.
- ❖ Per altre banda dels 6 esdeveniments amb possible origen antròpic, s'ha pogut confirmar l'origen de dos. El 4 restants segueixen tenint un origen ambigu.
- ❖ Aquest mètode de localització amb una sola estació no pretén ser una alternativa a les tècniques de localització tradicionals. Tot i així permet trobar unes coordenades epicentrics aproximades.
- ❖ El mètode de localització amb una sola estació pot ser molt útil en situacions problemàtiques en les quals els esdeveniments sísmics han quedat registrats en poques estacions o hi ha una manca de cobertura azimutal a la xarxa sísmica.

- ❖ S'ha de tenir coneixements de l'escorça i escollir un bon model de velocitats de la zona per tal obtenir la localització epicentral més acurada possible amb el mètode d'una sola estació.
- ❖ Pel que fa la comparació d'ambdós mètodes (el de localització tradicional i el de localització amb una sola estació) es pot veure que les localitzacions realitzades amb els dos són força semblants. La distància epicentral entre els dos mètodes és força acurada i la diferència més gran que presenten entre ells és la de la determinació de l'azimut. Les localitzacions azimutals dels esdeveniments calculats amb una sola estació presenten un lleuger desfasament cap el SW (depenent de l'orientació del sensor) respecte les localitzacions azimutals de la localització tradicional de les agències.
- ❖ La distribució geogràfica de les localitzacions dels esdeveniments sísmics, considerats en aquest treball, amb el mètode d'una sola estació coincideix en gran mesura amb falles neògenes i quaternàries de la zona.

Agraïments Primer de tot voldria agrair a la meva tutora, la Dra. Emma Suriñach, i a la meva cotutora, la Dra. Mar Tapia, tot el seu, suport, dedicació i paciència alhora de transmetre'm els seus coneixements i idees per tal de que pogués realitzar aquest treball i millorar-lo en tot moment. Aquest treball sense elles no hagués estat possible.

Agrair al LEGEF-IEC (Laboratori d'Estudis Geofísics Eduard Fontserè), l'ICGC (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya), l'IGN (Instituto Geográfico Nacional) i l'Observatori de l'Ebre el haver-me cedit i permès utilitzar la informació sísmica registrada a les seves estacions. Donar les gràcies també, a la Dra. Maria Ortuño per haver-me proporcionat informació sobre traçats de falles a la zona.

I finalment un agraïment molt especial a "ells". No fa falta dir els seus noms, ja saben qui són, tota la gent del meu voltant, la que sempre es queda al meu costat per donar-me una abraçada, animar-me, entendre'm i fer-me ser qui sóc.

7 REFERÈNCIES

Articles i Llibres

- Alessandrini, B., Cattaneo, M., Demartin, M., Gasperini, M. i Lanza, V. 1994. A simple P-wave polarization analysis: its application to earthquake location. *Annali di Geofisica*, Vol XXXVII, N 5. 883-897 pp.
- Bormann, P., Klinge, K. i Wendt, S. 2014. Capítol 11. *Data analysis and seismogram interpretation*. A: Bormann, P. 2014. *New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP-2)*, IASPEI, GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam. 52 pp.
- Díaz, J. i Gallart, J. 2009. Crustal structure beneath the Iberian Peninsula and surrounding waters: a new compilation of deep seismic sounding results. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 173 (1-2). 181-190 pp.
- Dost, B., Zednik, J., Havskov, J., Willemann, R.J. i Bormann, P. 2011. Capítol 10. *Seismic data formats, archival and exchange*. A: Bormann, P. 2012. *New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP-2)*, IASPEI, GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam. 1-19 pp.
- Estrada, L. i Golbach, J. 2011. *Localización de epicentros*. Facultad de ciencias exactas y tecnología, departamento de geodesia y topografía. Universidad nacional de Tucumán. 2-6 pp.

- Fleta, J., Escuer, J., Goula, X., Olivera, C., Combes, Ph., Grellet, B. i Granier, Th. 1996. Zonación Tectónica, primer estadio de la zonación sismotectónica del NE de la península Ibérica (Cataluña). *Geogaceta*, 20 (4). 853-856 pp.
- Gaspar-Escribano, J.M., García-Castellanos, D., Roca, E. i Cloetingh, S. 2004. Cenozoic vertical motions of the Catalan Coastal Ranges (NE Spain): The role of the tectonics, isostasy, and surface transport. *Tectonics* 23 pp.
- Giménez, M.J. i García, M. 2008. *El risc de terratrèmols a Catalunya*. Dins de l'informe Riskcat 2008. Encarregat pel CADS (Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible). Director: Joan Manuel Vilaplana. Grup d'investigació Risknat Universitat de Barcelona. 1-17 pp.
- Havskov, J., Bormann, P. i Schweitzer, J. 2011. *Seismic source location*. GeoForschungs Zentrum GFZ. 1-36 pp.
- ICGC (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya). 2014. *Butlletí sismològic 2012*. Generalitat de Catalunya. Departament de territori i sostenibilitat. 5 pp.
- IGME (Instituto tecnológico Geominero de España) i ENRESA (Empresa nacional de residuos radioactivos S.A). 1998. *Mapas Neotectónico y Sismotectónico de España 1:1.000.000*. Memòria, Vol. I. 129-133, 207-212 pp.
- IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology). 2014. *Seismic Analysis Code*. User's Manual Versió 101.6a. 9-11 pp.
- Masana, E. i Guimerà, J. 1992. Escarpe de falla del Cuaternario reciente en la falla del Camp (Cadenas Costeras Catalanas). *Geogaceta*, 11. 56-58 pp.
- Masana, E., Villamarín, J.A. i Santanach, P. 2001. Paleoseismic results from multiple trenching analysis along a silent fault : The El Camp fault (Tarragona , northeastern Iberian Peninsula). *Acta geológica hispánica*, 36 (3-4). 329-354 pp.
- Mezcua, J. i Martínez Solares, J. M. 1983. *Sismicidad del area Ibero-Mogrebi*. Sección de sismologia. Instituto Geográfico Nacional. Madrid. 10 pp.
- Miller, M. i Catalan, N. 2013. *Localización de terremotos. Curso de Sismología Aplicada y de Exploración*. Universidad de Concepción, departamento de Geofísica. 27-36 pp.
- Perea, H. 2006. *Falles actives i perillositat sísmica al marge nordoccidental del solc de València*. Tesi Doctoral. Universitat de Barcelona, Barcelona. 21-45 pp.
- Perea, H., Masana, E. i Santanach, P. 2012. An active zone characterized by slow normal faults, the north-western margin of the València trough: (NE Iberia): a review. *Journal of Iberian Geology* 38 (1). 31-52 pp.
- Robles Orozco, S. 1975. Síntesis de la evolución estratigráfica y tectónica de los materiales secundarios del bloque del Cardó y sectores adyacentes. (Provincia de Tarragona). *Acta geológica hispánica*. 10 (2). 59-66 pp.
- Roca, E. 1996. La evolución geodinámica de la Cuenca Catalano-Balear y áreas adyacentes desde el Mesozoico hasta la actualidad. *Acta Geológica Hispánica* 29 (1), 3-25 pp.
- Roca, E. 1992. *L'estructura de la conca Catalano-Balear: paper de la compressió i de la distensió en la seva gènesi*. Tesi Doctoral, Universitat de Barcelona, 330 pp.

- Roca, E. 2001. The north-western Mediterranean basin (Valencia trough, Gulf of Lions and Liguro-Provençal basins): Structure and geodynamic evolution. A: Ziegler, P.A., Cavazza, W., Robertson, A.H.F., Crasquin-Soleau, S. (ed.), *Peri-Tethys Memoir 6: Peri-Tethyan rift - Wrench basins and passive margins*. Mem.Mus.National Hist.Nat. Paris. 671-706 pp.
- Roca, E. i Guimerà, J. 1992. The Neogene structure of the eastern Iberian margin: structural constraints on the crustal evolution of the Valencia trough (western Mediterranean). *Tectonophysics* 203. 203-218 pp.
- Roca, E., Sans, M., Cabrera, L. i Marzo, M. 1999. Oligocene to middle Miocene evolution of the central Catalan margin (northwestern Mediterranean). *Tectonophysics* 315 (1-4). 209-233 pp.
- Secanell, R., Goula, X., Susagna, T., Fleta, J. i Roca, A. 1999. Mapa de zones Sísmiques de Catalunya. *1er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*. Murcia. 251-253 pp.
- Servei meteorològic de Catalunya. 2010. *Resums meteorològics per estació*. Anuari de dades meteorològiques 2010. 39 pp.
- Tapia, M. i Suriñach, E. 2014. *Informe del funcionamiento de la estación sísmica de la Central Nuclear Vandellòs II (VAN2) Período: Del 1 de Julio de 2014 al 31 de Diciembre de 2014*. Informe nº 59: Report LEGEF nº 2014-2. 5-9 pp.
- Udías, A. 1999. *Principles of Seismology*. Capítol 15. Cambridge University Press, UK. 274-289 pp.
- Udías, A. Mezcua, J. 1997. *Fundamentos de Geofísica*. Capítols 8-13. Alianza Universidad textos, Madrid. 141-253 pp.
- Vergés, J. i Sàbat, F. 1999. Constraints on the Neogene Mediterranean kinematics evolution along a 1000 km transect from Iberia to Africa. A: Durand, B., Jolivet, L., Horváth, F., Séranne, M. (ed.), *The Mediterranean basins: Tertiary extension within the Alpine Orogen*. Special Publications, Geological Society, London. 63-80 pp.

WEBS

- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Terratrèmols. Xarxa sísmica i acceleromètrica. [en línia]. Textinfo. ICGC. 2016. [Consultat 1 Juny 2016]. Disponible a: <http://www.igc.cat/web/ca/sismologia_xarxa.html>
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Vissir 3, Ortofoto 1:25.000 (2016). [en línia] [Consultat 15 Maig 2016]. Disponible a <<http://www.icc.cat/vissir3/>>
- Instituto Geográfico Nacional. Información sísmica [en línia]. Mapa d'estacions. IGN. Juliol 2016. [Consultat 1 Juny 2016]. Disponible a: <<http://www.ign.es/ign/layout/sismologiaEstacionesSismicas.do>>
- Mathworks, documentation, Zero-phase digital filtering [en línia]. Textinfo. The MathWorks, Inc. 2016. [Consultat 29 Maig 2016]. Disponible a: <<http://es.mathworks.com/help/signal/ref/filtfilt.html?searchHighlight=filtfilt>>
- Mathworks, documentation, Remove linear trends [en línia]. Textinfo. The MathWorks, Inc. 2016. [Consultat 29 Maig 2016]. Disponible a: <<http://es.mathworks.com/help/matlab/ref/detrend.html?searchHighlight=detrend>>
- QAFI v.3: Quaternary Active Faults Database of Iberia. Accessed "DATE" [en línia]. IGME. 2015. [Consultat 9,13,14 Maig 2016] Disponible a: <<http://info.igme.es/QAF>>

Reducción del riesgo de desastres. Dirección general de protección civil y emergencias. [en línia]. Revista digital. Torta, M. Altadill, D. Blanch, E. i Quintana, P. Observatori de l'Ebre. 2016. [Consultat 30 Maig 2016]. Disponible a : <[http://www.proteccioncivil.es/revistadigital/revistaNoticia .php](http://www.proteccioncivil.es/revistadigital/revistaNoticia.php)>

ANNEXOS

Els annexos d'aquest treball es troben a continuació dins el CD-ROM adjunt i en format digital PDF. El contingut d'aquest CD és el següent:

ANNEX 1: Perfils de models de velocitat de la península Ibèrica i el Solc de València segons Díaz i Gallart (2009).

ANNEX 2: Desenvolupament de les fórmules per realitzar el càlcul dels errors.

ANNEX 3: Corbes de resposta absoluta de la instrumentació sísmica de VAN2, segons Tapia i Suriñach (2014).

ANNEX 4: Taula identificadora i informació sobre els esdeveniments treballats.

ANNEX 5: Comparació d'espectres de Fourier d'un esdeveniment sísmic i de vent.

ANNEX 6: Fitxes individuals de cada esdeveniment on es pot consultar la següent informació:

- *Sismograma sense cap tipus de filtratge*
- *Espectre de Fourier a partir del qual es decideix el rang de filtratge del senyal.*
- *Component E-W (SHE) en detall (diferència d'ones P i S i diferència d'amplituds).*
- *Component N-S (SHN) en detall (diferència d'ones P i S i diferència d'amplituds).*
- *Component vertical (SHZ) en detall (diferència d'ones P i S i diferència d'amplituds).*
- *Dades i resultats*
- *Localització concreta*