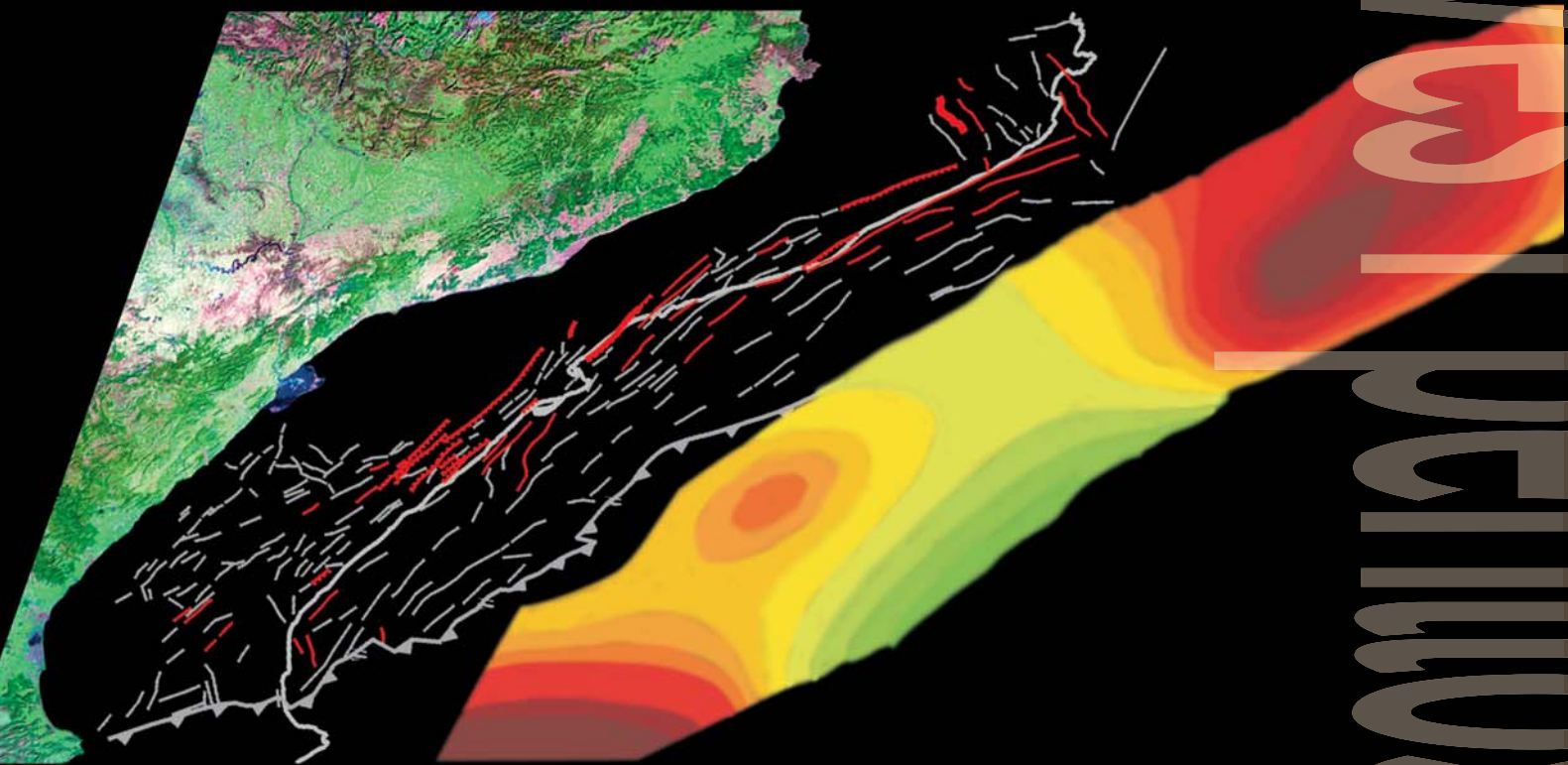


Falles actives i perillositat sísmica al marge nord-occidental del solc de València



Hector Perea Manera

Universitat de Barcelona
RISKNAT - Grup de Riscos Naturals
Departament de Geodinàmica i Geofísica

1 *Introducció.*

1.1. Zones de deformació lenta i perillositat sísmica

1.2. Terminologia

1.3. Objectius

1.4. El marge nord-occidental del solc de València com a zona d'estudi

1.5. Estructura de la tesi

 [Índex](#)

“...el 15 de març de 1427, gairebé a mitjanit, un terratrèmol va derrocar tota la vila (d’Amer) i el monestir (d’Amer), i no va restar cap habitacle i tothom hagué d’acollir-se a tendes i que aquest terratrèmol prosseguia el dia 30 del mateix mes...”

De Teixidor a Fontserè i Iglésies (1971) fent referència al terratrèmol que va tenir lloc el dia 15 de març del 1427 localitzat a Amer.

“En lo dit any (1427) a 15 de maig feu gran terratrèmol que enderrocà en dit Bisbat (Girona), Olot, Castellfollit, Rìdaura, Sta. Pau, lo Mellol, e altres cases honrades, e tots els masos de Bas, hoc encare, que mudà un bosch de verns que era rost en un bon tret de metres, é així mudat visque, é és un mas, quis nomena lo mercadal de Bas, moriren dita jornada en dit lloch de Olot 15 persones, (...) en los altres llochs moriren, pero no tants, com a Olot: apres la gent anatsen a jaurer per les barracas, tornaren a reparar las casas e hervitaren aquelles los demés, e seguísá Castellfollit.”

Del noticiari de Joan Toralles a Fontserè i Iglésies (1971) fent referència al terratrèmol que va tenir lloc el dia 15 de maig del 1427 a Olot.

“...a la jornada o festa de la purificació de nostra dona sancta Maria del mes de febrer, en la qual jornada vers les VIII hores del matí feu una gran percutida del terratrèmol. (...) E mes se sigui cas molt desastrat dintre la Esglea de madona santa Maria del Mar, la qual com lo propdit terratrèmol se segui era plena de poble molts dels quals volqueren eixir per cascuns dels portals de la dita Esglea. E al eixir del portal maior plach a nostre senyor que la O la qual era sobre lo dit portal se desvia per lo dit terratrèmol e caygueren ne diverses pedres, e morihen hi be XXV persones...”

Del Libre de les Solemnitats a Fontserè i Iglésies (1971) fent referència als desperfectes que va produir a Barcelona el terratrèmol que va tenir lloc el dia 2 de febrer del 1428 a la zona del Ripollès i la Cerdanya.

“... lo dia de nostra dona candeler del segon any que torna fer tant gran terratrèmol que torna enderrococar Castellfollit e Olot, e tota la vall de Vianya, é la Real, é Camprodon, e Puigcerdà, e molt altre mal feu, que no fas menció: moriren en Castellfollit vuitantasinch personas, sens molts nefrats, a la Real nou persones, a Camprodon sent persones, a Snt. Joan sas Badesas que enderrocà, moriren quaranta persones entre dins e defora: a Puigcerdà sent quaranta persones, a dejus Castellfollit morí una gran dona ab buit persones, deyan la Madona Blanca de Vellpuig...”

De Joan Toralles a Fontserè i Iglésies (1971) fent referència al terratrèmol que va tenir lloc el dia 2 de febrer del 1428 a la zona del Ripollès-Cerdanya.

“On March 30, 1986, an earthquake of surface-wave magnitude (Ms) 5.8 generated about 13 km of surface ruptures in the remote northern part of South Australia. This earthquake is significant because it occurred in the interior of the tectonically stable Precambrian shield (craton) of the Australian plate, about 2000

km from the nearest plate margin. (...) It cause no significant damage in the mostly unpopulated region, although several small communities and settlements are within about 50 km of the earthquake epicenter. Prior to 1986, the Marryat Creek region was virtually aseismic and no historical earthquakes had been felt in the area. Our discussions with Pitjantjatjara people indicate that they do not have an aboriginal word or expression for earthquake. (...) The Marryat Creek earthquake generated a boomerang-shaped surface rupture approximately 13 km long. (...) The maximum surface offset that we measured in 1990 was 0.6 m near the apex of the surface ruptures. This offset diminishes to 0.1 m or less at the most distant points where we could clearly identify 1986 deformation.”

De Machette et al. (1993) fent referència al terratrèmol del 30 de març del 1986 a Marryat Creek, Australia.

“At 10:06 a.m. local time on the morning of January 22, 1988, the remote mining town of Tennant Creek in the Northern Territory of Australia was shaken by a Ms 6.3 earthquake. In the next 20 hours, two more major earthquakes (Ms 6.4 and 6.7) and a large aftershock (Ms 5.0) rattled the town, continued to alarm residents, but did little damage. The earthquakes produced about 32 km of surface rupture in an essentially unpopulated area of arid to semiarid rangeland about 30 km southwest of the town of Tennant Creek. Soon after the earthquakes, some trees, bushes, and bunch grass (*Spinifex triodia* sp.) along the rupture died because their roots were severed by faulting. (...) Prior to 1987, the region around Tennant Creek was virtually aseismic. No instrumentally recorded or historically felt earthquakes of magnitude 5 or greater had occurred within 500 km of Tennant Creek.”

De Crone et al. (1992) fent referència al terratrèmol del 22 de gener del 1988 a Tennant Creek, Australia.

1.1. Zones de deformació lenta i perillositat sísmica

Els terratrèmols d'Amer (sèrie de març del 1427), Olot (15 de maig del 1427), Queralbs (2 de febrer del 1428), Marryat Creek (30 de març del 1986) i Tennant Creek (22 de gener del 1988) estan localitzats en zones d'intraplaca que es caracteritzen per presentar una deformació lenta, poca activitat tectònica (terratrèmols i vulcanisme) i estar allunyades de les vores de placa. Les zones d'intraplaca, a causa de la poca deformació que acumulen, mostren una baixa sismicitat, el que implica, normalment, un baix nombre de terratrèmols, la majoria de magnitud o intensitat entre baixa i moderada, a diferència de les zones de vora de placa que és on es concentren la major part de la sismicitat terrestre i els sismes més importants. No obstant, com mostren les cites anteriors, a les zones d'intraplaca també s'hi poden produir terratrèmols que poden causar considerables pèrdues econòmiques i de vides humanes. El desconeixement del potencial sísmic d'aquests tipus de zones, i la conseqüent manca de regulacions adients, és en bona part la causa d'aquestes pèrdues.

El gran problema al que ens enfrontem els geòlegs que treballem en el camp de la geologia de terratrèmols i la tectònica activa és haver d'establir quines són les falles que han produït terratrèmols de certa entitat durant el Quaternari i predir quan podrien tenir lloc els pròxims. Aquesta tasca presenta especials complicacions quan s'ha de realitzar en zones de deformació lenta, degut a que les falles localitzades en aquestes zones es caracteritzen per tenir taxes de lliscament d'entre 0.1 i 0.01 mm/any. El fet de que les taxes de lliscament siguin tan baixes provoca que els períodes de recurrència dels grans terratrèmols siguin molt llargs, d'entre 10^3 i 10^5 anys (Villamor i Berryman, 1999). Aquestes llargues recurrències es tradueixen en una manca d'informació sobre l'activitat sísmica de les falles, ja que els catàlegs sísmics cobreixen només una part molt petita del cicle sísmic d'una falla. Això significa que per la gran majoria de falles no es coneix quan van produir l'últim gran terratrèmol, conseqüentment, no se sap si n'han produït mai i, per tant, si són falles que realment poden produir terratrèmols destructius.

Una de les principals branques d'investigació dins de la geologia de terratrèmols i la tectònica activa és la paleosismologia. La paleosismologia estudia els terratrèmols prehistòrics a partir del registre geològic que aquests hagin pogut deixar i procura donar respostes a les principals preguntes que es plantegen els investigadors i enginyers que treballen en el camp de la perillositat sísmica: és activa aquesta falla?, quin és el màxim terratrèmol que pot produir? cada quant temps es produeix aquest terratrèmol?, amb quina recurrència tenen lloc? i, quan es va produir l'últim? En un principi la paleosismologia es va desenvolupar com una eina per a la investigació de les falles actives en zones sísmicament actives de cara a millorar el coneixement sobre aquestes falles i al mateix temps millorar i refinar les anàlisis de perillositat sísmica. Un dels factors que van impulsar el desenvolupament de la paleosismologia va ser la demanda d'estudis de perillositat sísmica a llarg termini a les normatives de construcció d'instal·lacions crítiques (tals com centrals nuclears, grans preses,...). El fet que en zones de deformació lenta la informació sísmica que es disposa no cobreixi la totalitat del cicle sísmic d'una falla fa que els estudis de paleosismicitat esdevinguin fonamentals per poder determinar si les falles que presenten un comportament

pràcticament asísmic en el període de temps cobert pels catàlegs de terratrèmols són falles actives que poden produir grans terratrèmols i, en cas que ho siguin, poder arribar a definir els seus paràmetres sísmics per què siguin incloses dins dels estudis de perillositat sísmica, sobretot en aquells que consideren períodes de retorn llargs. Clàssicament, els estudis de perillositat sísmica s'han basat únicament en els catàlegs de sismicitat. Aquests catàlegs, depenent de la zona geogràfica, seran més o menys extensos, per exemple a la Xina s'arriben a cobrir més de 3000 anys o aproximadament 2000 a alguns països europeus, mentre que als Estats Units o a Nova Zelanda només cobreixen els últims 250 anys. El fet que a les zones d'intraplaca hi hagi falles actives que no han produït cap gran terratrèmol durant el període de temps cobert pels catàlegs de sismicitat a causa dels llargs períodes de recurrència, implica que aquestes falles o els terratrèmols que aquestes puguin generar no es tinguin en compte en els estudis de perillositat sísmica. De la mateixa forma, aquesta curta durada dels catàlegs sísmics fa pensar que a la majoria de les zones no es té constància del màxim terratrèmol que s'hi pot produir. Aquests dos fets poden conduir a estimacions de la perillositat sísmica en aquestes zones inferiors als valors que s'obtidrien amb la introducció de la informació paleosismològica i, per tant, fer que les normes de construcció sísmoresistent puguin ser ineficaces en cas de grans terratrèmols.

1.2. Terminologia

Dins del món de la tectònica activa i la geologia de terratrèmols la terminologia utilitzada pot variar segons la zona on s'hagi desenvolupat o els interessos que tinguin els diferents grups de treball. En aquest apartat es procedirà a definir els diferents termes, que aniran apareixent al llarg de la tesi, i clarificar quin serà el significat que aquí tindrà quan hi hagi més de una definició possible.

1. Neotectònica: al Glosary of Geology (Bates i Jackson, 1987) es defineix neotectònica com l'estudi de les estructures i la història estructural post-miocena de l'escorça terrestre. Però aquesta definició planteja el problema que moltes estructures formades o reactivades durant el Miocè i el Pliocè són clarament inactives avui en dia. Es per això que la definició més acceptada actualment indica que la neotectònica és l'estudi dels moviments i deformacions corticals iniciats en un passat geològic recent i que continuen a l'actualitat (Mörner i Adams, 1989; Stewart i Hancock, 1994; Riba, 1997; Stewart, 2005). De totes formes aquesta segona definició també és ambigua al fer referència a un passat geològic recent no precís, però aquesta ambigüitat queda justificada ja que l'activitat tectònica actual es pot haver iniciat en moments diferents a diferents zones objecte d'estudi. Relacionats amb el concepte de neotectònica hi ha dos termes que també convindria definir:

Estructura neotectònica: fa referència a una estructura que s'ha anat propagant o reactivant sota un camp d'esforços o de deformació que ha persistit fins l'actualitat sense canvis significatius d'orientació (Stewart, 2005).

Falla neotectònica: fa referència a una falla que s'ha format o reactivat durant el règim d'esforços actual o similar a l'actual, que també és el responsable dels terratrèmols i la deformació superficial recent a la zona (Machette, 2000; Stewart, 2005).

2. Tectònica activa: fa referència a l'estudi dels moviments tectònics que es poden produir dins d'un període de temps d'interès per a la societat (Wallace, 1986). Aquests estudis tenen com objectiu la mitigació de la perillositat i, a causa d'aquest fet, fan especial èmfasi en l'obtenció de les taxes, els estils i les característiques de la deformació.
3. Paleosismologia: és una subdisciplina dins dels estudis de tectònica activa on les tècniques geològiques s'utilitzen per identificar i avaluar terratrèmols prehistòrics (Wallace, 1986; McCalpin, 1996). A diferència dels estudis de neotectònica i tectònica activa on les taxes de deformació que s'obtenen són mitjaneres per a tot el període de temps sense diferenciar si són deguts a petits moviments periòdics recurrents (creep) o a activitat sísmica, als estudis paleosismològics es pot veure si els desplaçaments estan relacionats amb terratrèmols i obtenir les seves característiques sísmiques (magnitud del terratrèmol màxim, salt per terratrèmol, interval de recurrència i temps transcorregut des de l'últim terratrèmol), fet que pot ajudar a establir amb més fiabilitat la perillositat sísmica a una zona.

Paleoterratrèmol: terratrèmol prehistòric, ocorregut amb anterioritat a l'existència de documentació escrita on es fan observacions relacionades amb els efectes dels terratrèmol (McCalpin, 1996).

4. Falla activa: segons Wallace (1986) una falla activa és una falla que s'està movent a l'actualitat. De totes formes la utilització del terme "actualitat" també és ambigu en aquesta definició. Això ha portat que, per exemple, a l'estat de Califòrnia una falla activa sigui aquella que té associat un terratrèmol que ha trencat en superfície durant els últims 11000 anys, mentre que per als grups que es dediquen a la realització de càlculs de perillositat sísmica a curt termini una falla activa sigui aquella a la que s'ha associat un terratrèmol històric (Machette, 2000). Per resoldre aquest fet el *Western States Seismic Policy Council* (WSSPC, 1997) dels Estats Units ha proposat per la zona del *Basin and Range*, zona caracteritzada per la presència de falles amb unes taxes de lliscament moderadament baixes i llargs períodes de recurrència (Machette, 1998), la diferenciació de tres categories de falles actives segons el moment en què les falles s'hagin mogut:

Falla activa durant l'Holocè: falla que s'ha mogut durant els darrers 10000 anys.

Falla activa durant el Quaternari recent: falla que s'ha mogut durant els darrers 130000 anys.

Falla activa durant el Quaternari: falla que s'ha mogut durant els darrers 1600000 anys.

5. Falla capaç: segons la *Nuclear Regulatory Commission* (NRC, 1997), organisme encarregat de donar les llicències per a la construcció de centrals nuclears i magatzems de residus nuclears als Estats Units, una falla capaç (*capable fault*) és una falla que mostra una o més de les següents característiques:

Moviment (deformació) a o prop de la superfície del terreny com a mínim un cop durant els últims 35000 anys o moviment amb una naturalesa recurrent durant els darrers 500000 anys.

Macrosismicitat instrumental determinada amb enregistraments de suficient precisió per demostrar una relació directe amb la falla.

Una relació estructural amb una falla capaç, que mostri alguna de les característiques anteriors, fent que sigui raonable esperar que el moviment d'una vagi acompanyat pel moviment de l'altra.

6. Falla potencialment activa: aquest és un terme utilitzat a Califòrnia per designar una falla que està associada amb terratrèmols que han trencat en superfície durant el Quaternari (Machette, 2000).
7. Falla sismogènica: fa referència a una falla que ha generat un gran terratrèmol, ja sigui a l'actualitat, en el període històric o en el prehistòric.

Gran terratrèmol: terratrèmol que té una magnitud suficientment gran perquè la ruptura al llarg del pla de falla arribi a produir deformació superficial i, fins i tot, trencament de la superfície. S'ha de tenir en compte que el fet que es produeixi o no deformació o trencament en superfície també està relacionat amb la profunditat a la que es localitzi l'hipocentre del terratrèmol, les característiques de la falla, les condicions superficials de

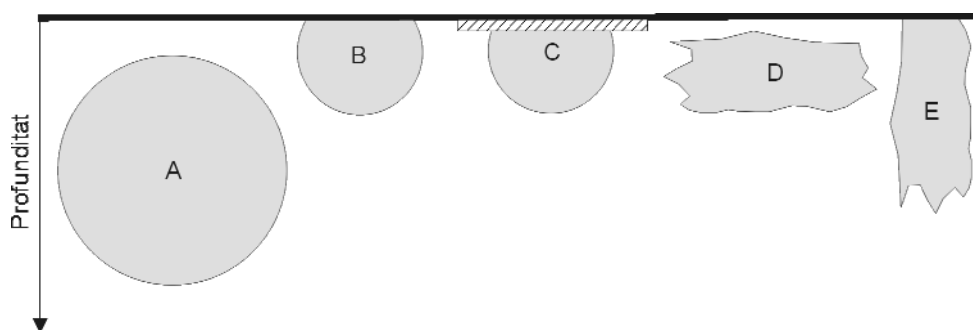


Figura 1.1. Diagrama d'una secció vertical que mostra com la profunditat i les característiques de la ruptura de la falla condicionen el fet que es produeixi trencament en superfície. Les àrees grises representen la zona de trencament de la falla durant diferents terratrèmols (A-E) i la línia horitzontal gruixuda representa la superfície del terreny. El terratrèmol A és més gran que el B però no arriba a trencar en superfície a causa de la major profunditat a la que s'ha produït. La superfície de ruptura de la falla i la profunditat de C són similars a B però els materials superficials (zona ratllada) absorbeixen o difonen la ruptura, fent que no es produeixi trencament en superfície o que aquest no es pugui observar. La ruptura produïda pel terratrèmol D és de les mateixes dimensions i té el límit inferior localitzat a la mateixa profunditat que B i C, però a causa de la seva forma no arriba a trencar la superfície del terreny. El trencament a E té les mateixes dimensions i forma que D però el vèrtex inferior situat a més profunditat, tot i això a causa de la forma del trencament arriba a trencar la superfície del terreny (modificat de Bonilla, 1988).

Vertical section diagrammatically showing how depth and configuration of rupture surface can influence surface faulting. The shaded areas represent the area of fault rupture in events labeled A-E, and the ground surface is represented by heavy line. Event A is much larger than B but in contrast to B the rupture does not reach the ground surface because of its greater depth. The rupture in event C is similar to B in size and depth but the near-surface material (cross-hatched area) absorbs or diffuses the rupture, concealing it from the field investigator. The rupture in event D is the same size as and its lower edge is at the same depth as B and C but because of its shape it does not reach the ground surface. The rupture in event E have essentially the same size and shape as in D but a greater depth at its lower edge, nevertheless reaches the ground surface (modified from Bonilla, 1988).

la zona, les propietats de les roques adjacents a la falla i el règim tectònic (McCalpin i Nelson, 1996). Per exemple, un terratrèmol molt superficial pot produir deformació en superfície tenint una magnitud més petita que un de més profund que no en produeixi, o dos terratrèmols amb magnitud similar i localitzats a una mateixa profunditat poden produir o no deformació en superfície depenent de si els materials més superficials difonen més o menys l'energia del terratrèmol (figura 1.1). Tot i així, les compilacions de dades històriques indiquen que molt rarament terratrèmols amb magnituds inferiors a 5 poden arribar a trencar en superfície (Bonilla, 1988; McCalpin i Nelson, 1996) i és per magnituds entre 5.5 i 6.0 quan aquest trencament comença a ser observable i reconeixible al camp (figura 1.2). Segons les lleis empíriques de Wells i Coppersmith (1994) que relacionen la longitud de la ruptura d'una falla amb la magnitud del terratrèmol (equació 1.1), les falles que poden començar a produir trencament en superfície tenen longituds compreses entre 5 i 8 km.

$$\log(\text{SRL}) = -3.22 + 0.69 M$$

equació 1.1

SRL: longitud de la ruptura superficial
M: magnitud del terratrèmol

De tots els termes aquí definits el de falla activa és el més ambigu, ja que a part d'aquest mateix terme, els termes de falla capaç, falla potencialment activa i falla sismogènica fan referència a falles actives però des de diferents punts de vista o amb diferents interessos. El més raona-

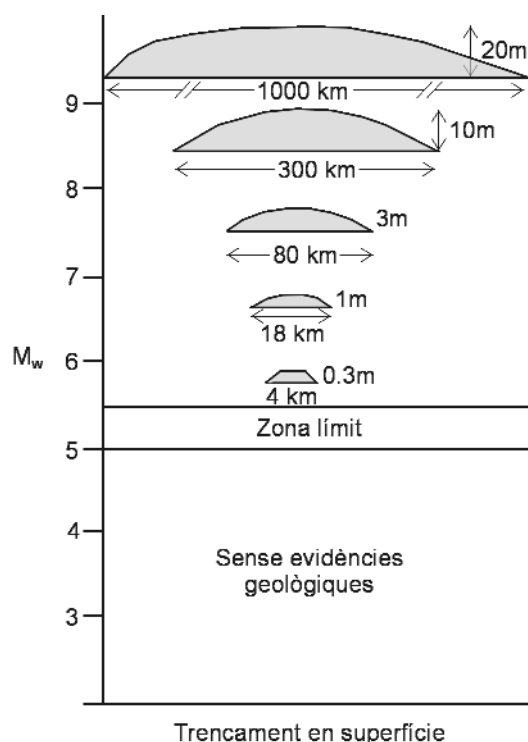


Figura 1.2. Diagrama esquemàtic que mostra l'increment de la mida i de l'extensió del trencament en superfície amb l'increment de la magnitud (M_w) del terratrèmol. Les àrees grises representen les dimensions de la deformació superficial (no estan a escala). Els valors a sota de l'àrea grisa corresponen a la longitud del trencament, mentre que els que estan a la seva dreta corresponen al màxim desplaçament vertical (modificat de McCalpin i Nelson, 1996).

Schematic diagram showing the increase in size and extent of of surface rupture with increasing earthquake magnitude (M_w) of the earthquake. Shaded areas schematically represent the dimensions of surface deformation but are not to scale. Values beneath shaded areas yields the rupture length, whereas the values to the right yields the maximum vertical displacement (modified from McCalpin and Nelson, 1996).

ble, tal i com proposen WSSCP (1997) i Machette (2000), i com serà utilitzat al llarg d'aquesta tesi, és la determinació d'un període de temps durant el qual aquestes falles hagin estat actives i que inclogui entre 2 i 5 cicles sísmics. Tal i com comenta Machette (2000), per a la zona de *Basin and Range* on les falles actives tenen períodes de recurrència compresos entre 20000 i 50000 anys, el període de temps a considerar estaria comprès entre els 50000 i els 100000 anys, correspondria al Quaternari recent. En aquest cas es podria dir que el Basin and Range es caracteritza per la presència de falles actives durant el Quaternari recent. En zones de vora de placa on la recurrència dels terratrèmols és molt més curta es podria parlar de falles actives durant l'Holocè, mentre que en zones d'intraplaca amb velocitats de deformació molt baixes, caracteritzades per períodes de recurrència de 10^5 anys (Villamor i Berryman, 1999), es podria parlar de falles actives durant el Quaternari. Tot i això, en zones de deformació lenta la determinació del cicle sísmic d'una falla és una tasca difícil que necessita de la realització d'estudis paleosismològics, els quals a causa dels seus requeriments no sempre es poden realitzar. És per això que no sempre és possible la determinació temporal de l'activitat d'una falla activa en una zona de deformació lenta. Quan el terme falla activa es faci servir a la tesi significarà que la falla ha estat activa durant el Plio-Quaternari, en qualsevol dels altres casos s'especificarà la temporalitat de l'activitat.

1.3. Objectius

Els objectius de la tesi han estat dos:

1. Proposar diferents aproximacions que permeti localitzar falles que puguin produir grans terratrèmols en zones de deformació lenta i obtenir els seus paràmetres sísmics, quan això sigui possible. Per assolir aquest objectiu s'han seguit una sèrie de passos:

a) A tota la zona:

Localitzar i dimensionar les falles neotectòniques a partir de la realització d'un estudi sismotectònic.

Relacionar les falles neotectòniques amb la sismicitat tant històrica com instrumental, per veure quines d'aquestes falles són responsables tant dels grans terratrèmols històrics com de l'activitat sísmica enregistrada instrumentalment.

b) A terra:

Recopilar les dades paleosismològiques existents i realització d'aquest tipus d'estudi a alguna de les falles neotectòniques amb evidències d'activitat recent.

Realitzar un estudi geomorfològic i morfomètric dels fronts de muntanya associats o no a falles neotectòniques amb la finalitat de determinar les característiques que permetin distingir els fronts de les falles neotectòniques dels fronts sense falla, i entre les falles neotectòniques aquelles que són actives -i poden produir grans terratrèmols- de la resta.

c) A mar: analitzar perfils de sísmica de reflexió per localitzar les falles neotectòniques situades a mar que estan afectant als nivells sedimentaris del Plio-Quaternari.

d) I finalment, obtenir els paràmetres sísmics utilitzant els estudis paleosismològics quan aquests s'hagin realitzat o a partir de relacions matemàtiques establertes que permeten obtenir el terratrèmol màxim i el seu període de recurrència a partir de les dimensions i les característiques geomorfològiques de les diferents falles.

2. Realitzar un estudi de perillositat sísmica en una zona de deformació lenta i analitzar, per una banda, les diferències entre els resultats en funció de la introducció o no de la informació referent a les falles individuals i, per una altra banda, la influència dels diferents paràmetres sísmics quan les falles s'utilitzen com a fonts sismogèniques. Els passos seguits per assolir aquest segon objectiu han estat:

a) Realitzar un estudi de perillositat sísmica basat en el mètode probabilista assumint un comportament poissonià de les fonts sismogèniques (Cornell, 1968), on la recurrència dels terratrèmols a cada zona s'obté a partir dels terratrèmols presents al catàleg sísmic

i on les falles individuals no es tenen en compte com a fonts de terratrèmols.

b) Realitzar un estudi de perillositat sísmica introduint les falles com a fonts sismogèniques, assumint el model renovat (Schwartz, 1988; McGuire, 1993) que té en compte el terratrèmol característic (Schwartz i Coppersmith, 1984; Youngs i Coppersmith, 1985). En aquest cas, degut al marge d'incertesa del valor dels paràmetres sísmics de les falles actives obtingudes a partir de les diferents aproximacions proposades a aquesta tesi, s'han realitzat una sèrie de models per comprovar com influeixen les variacions d'aquests paràmetres en els valors de perillositat finals i veure quin sembla ser el paràmetre que més influència hi té i, per tant, el que s'hauria de determinar amb més precisió.

c) I, finalment, s'han comparat els resultats obtinguts a partir de l'aplicació de les diferents assumpcions per veure com la introducció de les falles afecta els valors finals de la perillositat sísmica.

El marge nord-occidental del solc de València ha estat la zona escollida per a: 1) validar la utilitat de les diferents aproximacions proposades per localitzar falles actives en zones de deformació lenta, i 2) realitzar l'estudi de perillositat sísmica per veure quins resultats s'obtenen quan aquestes falles es tenen en compte. En aquest sentit la tesi també té com objectiu localitzar les falles actives en aquesta zona i veure quines són les variacions que la incorporació de les falles produeix als estudis de perillositat sísmica.

1.4. El marge nord-occidental del solc de València com a zona d'estudi

S'ha escollit el marge nord-occidental del solc de València per la realització d'aquesta tesi principalment per dos motius:

1. És una zona de deformació lenta, caracteritzada per una sismicitat entre baixa i moderada, tant pel que fa a la magnitud com al nombre de terratrèmols, i s'hi ha demostrat l'existència de paleoterratrèmols.
2. La seva alta vulnerabilitat, a causa de la presència d'una alta densitat de població i de nombroses instal·lacions crítiques, la fan interessant de cara a la realització d'aquest estudi.

El solc de València és una estructura neògena que es localitza a la zona nord-oriental de la Península Ibèrica. Concretament, la península és la zona continental localitzada més cap al sud-oest de la placa euroasiàtica i està pròxima a la zona de convergència entre aquesta placa i l'africana. La majoria dels terratrèmols localitzats a la zona de contacte entre aquestes dues grans plaques es disposen en una franja força estreta que indicaria el límit entre ambdues (figura 1.3). De totes formes, aquesta franja de sismicitat a la zona de l'estret de Gibraltar i al mar d'Alboran es fa més ampla fent que el reconeixement del límit entre les dues plaques no sigui tant clar i es parli d'un límit difús. A la Península Ibèrica s'observen dues franges de sismicitat, una localitzada al sud que coincideix amb la localització de les serralades Bètiques i una altra al nord que coincideix amb els Pirineus la qual es va fent més difusa cap al oest en direcció a la serralada Cantàbrica. Entre aquestes dues franges amb una densitat de terratrèmols remarcable hi ha una gran zona on quasi no n'hi ha. Dins d'aquesta zona queda englobada la part central del solc de València. En general la sismicitat localitzada a la península i zona del nord d'Àfrica és força superficial, tot i que a la zona del mar de Alboran i l'estret de Gibraltar també s'hi han produït terratrèmols intermedis (verds a la figura 1.3) i alguns profunds (vermells a la figura 1.3).

El marge nord-occidental del solc de València està limitat a grans trets pels Pirineus al nord, la serralada Bètica al sud, la conca de l'Ebre i la serralada Ibèrica al oest i el centre submergit del mateix solc a l'est (figura 1.4). Orogràficament el marge occidental del solc de València es caracteritza per una sèrie de serres i depressions, que al nord, a la zona de les Serres Transversals i conques de l'Empordà, tenen una direcció principal NW-SE, mentre que a la zona de les Cadenes Costaneres Catalanes, les conques del Maestrat i la depressió de València la seva direcció varia de NE-SW a N-S de forma paral·lela a la costa. Totes aquestes serralades i depressions estan relacionades amb falles extensives que han funcionat com a tals principalment durant el Neogen (Banda i Santanach, 1992; Roca, 1996; Roca, 2001). La sismicitat actual i la presència d'alguns grans terratrèmols al registre històric i geològic fan pensar que algunes d'aquestes falles, principalment les de major entitat, encara serien actives.

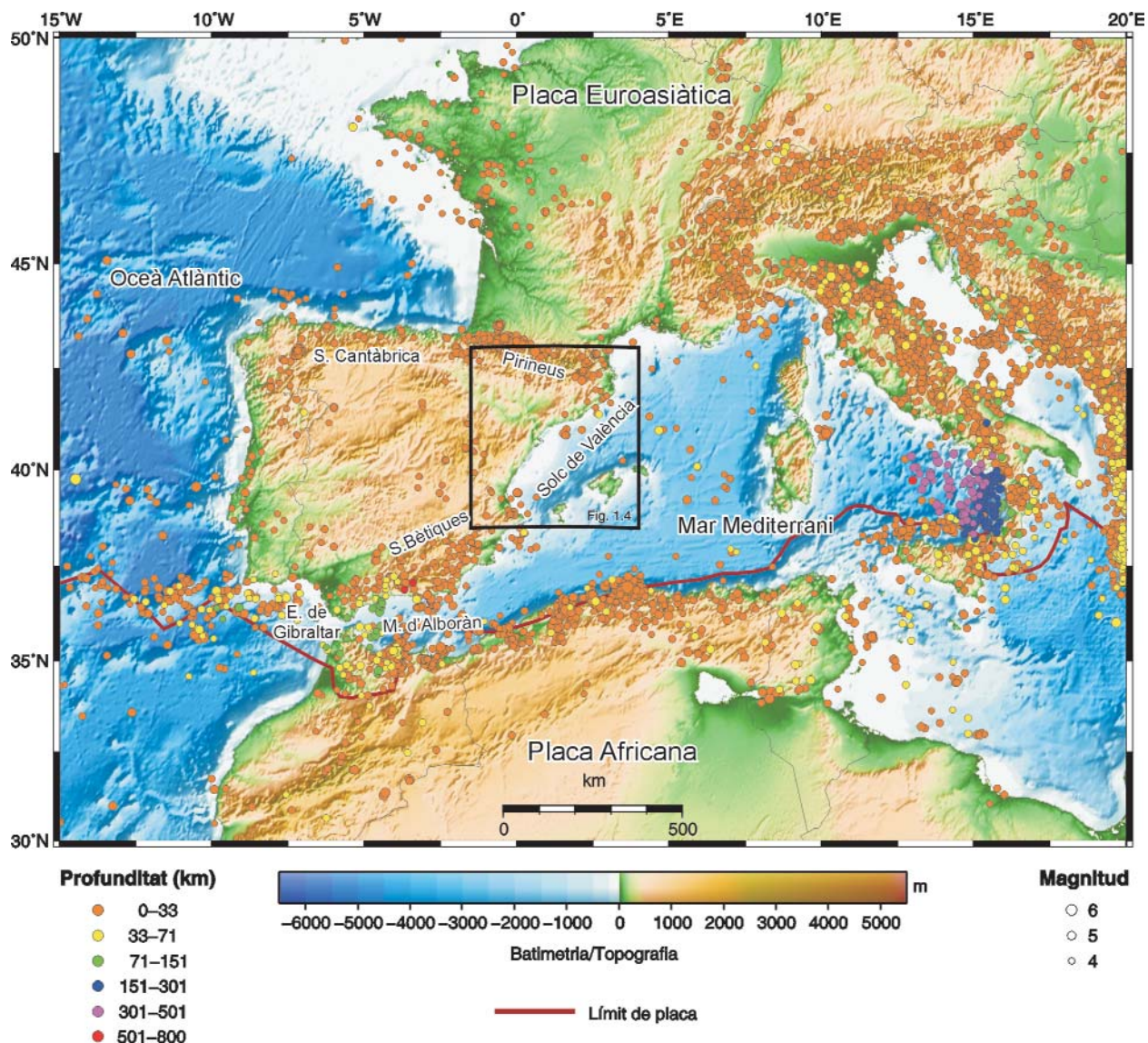


Figura 1.3. Mapa del Mediterrani occidental amb la situació dels terratrèmols de magnitud igual o superior a 3.5 obtinguts del catàleg de ANSS dels Estats Units (Advanced National Seismic System: <http://quake.geo.berkeley.edu/cnss/>) des de gener del 1980 i fins al maig del 2005, on la mida del cercle està en relació a la magnitud i el color a la profunditat a la qual el terratrèmol s'ha localitzat. Amb una línia vermella es localitza el límit entre les plaques Euroasiàtica i Africana segons Bird (2003). Amb un requadre negre es mostra la localització geogràfica de la figura 1.4. Les línies negres fines marquen les fronteres dels diferents països de la zona.

Western Mediterranean map showing the location of earthquakes with magnitude equal or above 3.5 obtained from the catalog of the ANSS from the United States (Advanced National Seismic System: <http://quake.geo.berkeley.edu/cnss/>) from January 1980 until May 2005, where the circle size is related to the earthquake magnitude and the color to the depth of the earthquake. The red line shows the location of the plate boundary between Eurasia and Africa from Bird (2003). The black rectangle shows the geographical location of figure 1.4. The black lines correspond to the borders of the different countries of the zone.

El marge occidental del solc de València és una zona que presenta una alta densitat de població. S'hi compten uns 15 milions d'habitants i hi destaquen grans nuclis de població, com les ciutats de Barcelona i València i les seves àrees metropolitanes que superen amb escreix el milió de persones cadascuna. A més, és una zona principalment costanera i amb importants enclavaments

turístics (Costa Brava, Costa Daurada, Costa del Azahar i Costa de València), cosa que fa que en determinades èpoques de l'any la població de la zona sigui encara molt més elevada. A part de ser una zona turística, també és una zona eminentment industrial i d'una gran importància econòmica. El fet de ser una zona densament poblada i industrial ha provocat la construcció de grans infraestructures per a l'abastiment d'energia elèctrica, com són quatre centrals nuclears i nombroses preses hidroelèctriques, les quals requereixen de la realització d'estudis de perillositat sísmica específics per a llargs períodes de retorn. Per tant, si es té en compte que els principals estudis de perillositat sísmica realitzats a la zona només han utilitzat la sismicitat històrica i instrumental per calcular els màxims terratrèmols i la seva recurrència, ens trobem que en alguns casos es podria estar desestimant l'ocurrència de grans terratrèmols, fet que es traduiria en l'aplicació de normes de construcció sismoresistents que podrien no ser adients per a algunes àrees i/o per algunes infraestructures crítiques.

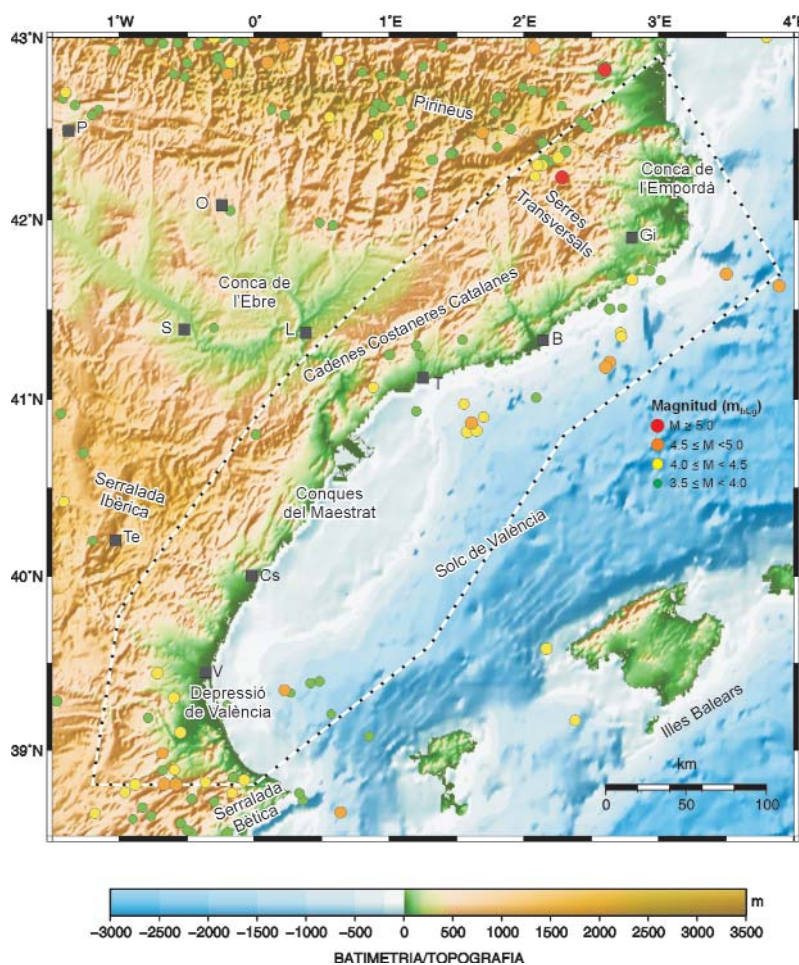


Figura 1.4. Mapa del NE de la Península Ibèrica amb la situació dels terratrèmols de magnitud (m_{BLg}) igual o superior a 3.5 del catàleg de l'Institut Geogràfic Nacional fins al 2001. S'hi han situat les principals ciutats (B: Barcelona; Cs: Castelló; Gi: Girona; L: Lleida; O: Osca; P: Pamplona; S: Saragossa; T: Tarragona; Te: Terol; V: València), així com els principals trets orogràfics. Amb una línia de punts s'ha delimitat l'àrea d'estudi, el marge nord-occidental del solc de València.

NE Iberian Peninsula map showing the location of the earthquakes with magnitude (m_{BLg}) equal or higher to 3.5 from the Instituto Geográfico Nacional catalog until 2001. The situation of the main cities (B: Barcelona; Cs: Castelló; Gi: Girona; L: Lleida; O: Huesca; P: Pamplona; S: Zaragoza; T: Tarragona; Te: Teruel; V: València) and orographic features inside the study zone are shown. The dotted line localizes the zone corresponding to the study area, the north-western margin of the València trough.

1.5. Estructura de la tesi

La tesi s'ha dividit en 4 capítols, a part d'aquest capítol introductori. S'ha mirat de mantenir un lligam entre els diferents capítols, però al mateix temps també s'ha buscat que cada un d'ells sigui independent i no es necessiti de la resta de capítols per a la seva total comprensió.

Al capítol 2 es realitza un estudi sismotectònic del marge occidental del solc de València on s'analitza la zona d'estudi des de diferents punts de vista. En primer lloc es fa una síntesi de la informació geològica que es té per tal de veure quina ha estat l'evolució geològica de la zona al llarg del temps i quines són les principals característiques de les falles que hi ha a la zona i que podrien se actives (tipus de falla, direccions principals que presenten, nivells de desenganxament,...). Posteriorment, es fa una anàlisi del camp d'esforços actual, a partir de la síntesi de diversos treballs que sobre aquest tema s'han publicat, per veure l'orientació del camp d'esforços actual. Finalment, es presenta la sismicitat de la zona, tant històrica com instrumental, per caracteritzar-la, tant des del punt de vista de la intensitat i/o magnitud dels terratrèmols, com de la seva distribució espacial, ja sigui en superfície com en profunditat i la seva relació amb les grans estructures regionals.

Al capítol 3 s'expliquen les diferents aproximacions seguides per localitzar les falles actives en zones de deformació lenta i es mostren tant el procediment com els resultats obtinguts pel marge nord-occidental del solc de València. La primera aproximació és l'associació dels terratrèmols instrumentals a les falles neotectòniques de tota la zona, cosa que permetrà obtenir les falles responsables de part de la sismicitat actual. A terra, la segona aproximació correspon a l'associació dels grans terratrèmols històrics amb les falles que els hagin pogut originar. La tercera aproximació fa referència als estudis paleosismològics; es comenta la informació que se'n pot obtenir i es mostren les noves dades obtingudes a la falla del Camp, que, a més, es comparen amb les dades ja publicades per aquesta mateixa falla. La quarta aproximació descriu l'anàlisi geomorfològica i morfomètrica dels fronts de muntanya de la zona amb l'objectiu de determinar les diferències i similituds morfològiques entre els fronts no associats i els associats a falles neotectòniques, i entre els relacionats amb falles neotectòniques caracteritzar les diferències entre els corresponents a falles actives -que podrien produir grans terratrèmols- i els que no. A les zones marines, la segona aproximació consisteix en l'anàlisi de perfils de sísmica de reflexió per obtenir les falles que mostren els reflectors plio-quadernaris desplaçats, fet que pot significar que aquestes falles podrien ser actives actualment. Amb tota la informació obtinguda es suggereix una classificació de les falles i, finalment, es comenten els passos a seguir per obtenir els paràmetres sísmics (magnitud del terratrèmol màxim, interval de recurrència i temps transcorregut des de l'últim terratrèmol) de cada falla a partir de la informació geològica, es comenten les limitacions d'aquests càlculs i es mostren els resultats obtinguts per a les falles del marge nord-occidental del solc, en els casos on aquests s'han pogut obtenir.

El capítol 4 està dedicat a la perillositat sísmica. S'hi expliquen els passos seguits per realitzar els estudis de perillositat sísmica sense tenir en compte i tenint en compte les falles com a fonts sismogèniques per tal de veure quina és la variació del resultat final de perillositat en zones de

deformació lenta. En primer lloc, es presenta l'anàlisi de la perillositat sísmica al marge nord-occidental del solc de València seguint el mètode probabilista i assumint un comportament poissonià de les diferents fonts sismogèniques (Cornell, 1968). Després es realitzen una sèrie de models introduint les falles com fonts sismogèniques, on s'assumeix que aquestes presenten un comportament de terratrèmol característic (Schwartz i Coppersmith, 1984; Youngs i Coppersmith, 1985). En aquests models s'introdueixen diferents valors dels paràmetres sísmics que caracteritzen les falles, per analitzar la seva influència en els resultats. Finalment, es comparen els resultats obtinguts, primer per mostrar la influència de la introducció de les falles en l'anàlisi de la perillositat sísmica i després per veure quin és el paràmetre sísmic que més fa variar els valors finals de perillositat sísmica.

Finalment, al capítol 5 es discuteixen els resultats obtinguts i es presenten les conclusions finals de l'estudi a la zona del marge nord-occidental del solc de València.