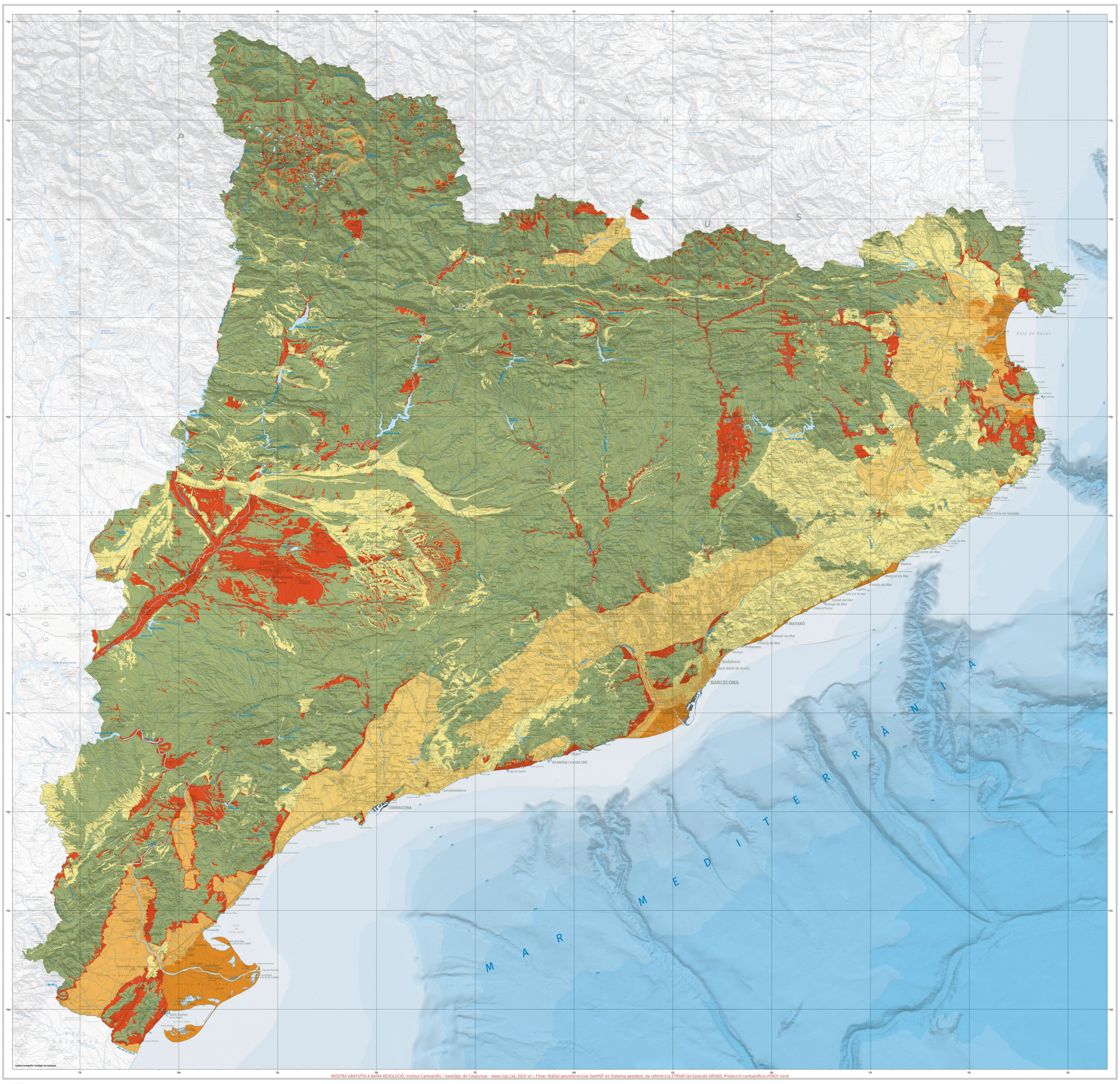
ICGC
Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

Mapa de mesozonació sísmica de Catalunya 1:250 000



Generalitat de Catalunya
Departament de Territori i Sostenibilitat

Escala 1:250 000

CARTOGRAFIA 1:250 000

Mapa de mesozonació sísmica de Catalunya

1:250 000

ICGC
Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

Generalitat de Catalunya
Departament de Territori i Sostenibilitat

LLEGENDA

Classificació del terreny segons la mesozonació sísmica de Catalunya

- A — Roca dura
- B — Roca tova o sòl rígid, amb un gruix menor de 100 m
- B' — Roca tova o sòl rígid, amb un gruix superior a 100 m
- C — Sòl tou, amb un gruix gran (entre 20 i 100 m.)
- D — Sòl molt tou, amb un gruix gran (entre 20 i 100 m.)
- E — Sòl tou o molt tou, amb gruix petit (entre 5 i 20 m.), en contacte amb roca dura (A)
- Sistema hídric — Estanys i pantans
- Sistema antròpic — Construccions portuàries, molls i espigons

Classes de terreny

Classe A: terrenys en els quals aflora la roca ben consolidada o que està recoberta d'un gruix de material més tou inferior a 5m.

Classe B: terrenys formats per sorra o graves molt denses, argiles molt rígides o roques sedimentàries amb un grau de consolidació mitjà, amb un gruix inferior a 100 m i amb recobriment inferior a 20 m de terrenys tous o molt tous. Per sota d'aquests materials es troba un substrat rocós ben consolidat.

Classe B': terrenys formats per dipòsits de sorres o graves molt denses, argiles molt rígides o roques sedimentàries amb un grau de consolidació mitjà i amb un gruix superior a 100 m.

Classe C: terrenys formats per dipòsits de sorra o graves denses i argiles rígides amb gruixos que oscil·len de 20 a 100 m i que recobreixen un substrat rocós.

Classe D: terrenys formats per dipòsits de sorres fines i llims poc densos o argiles de toves a mitjanament rígides d'un gruix que oscil·la entre 20 i 100 m i que recobreixen un substrat rocós.

Classe E: terrenys formats per dipòsits de sorres fines i llims poc densos o argiles de toves a mitjanament rígides d'un gruix que oscil·la entre 5 i 20 m i que recobreixen un substrat rocós ben consolidat (classe A).

EL MAPA DE MESOZONACIÓ SÍSMICA DE CATALUNYA 1:250 000

Mapa per avaluar l'amplificació del moviment produït per un terratrèmol.

Quan es produeix un sisme, el comportament del sòl pot ser molt diferent en funció de les característiques geomecàniques dels materials que el formen. En aquells casos en què el sòl està compost de materials tous i/o poc consolidats es poden produir amplificacions de les ones sísmiques, tal com es pot veure a la figura 1, produint danys en edificis fins i tot en zones molt allunyades de l'epicentre. També s'han observat increments de l'amplitud i durada del moviment del sòl quan les ones sísmiques es propaguen per determinades geometries del subsòl o en relleus topogràfics. A la majoria de terratrèmols destructius dels darrers anys (Michoacán 1985 (Mèxic), Loma Prieta 1989 (Califòrnia, Estats Units), Kobe 1995 (Japó), Izmit 1999 (Turquia), Aquila 2009 (Itàlia), El Maule 2010 (Xile) i Tohoku 2011 (Japó)) s'ha pogut comprovar la importància de l'amplificació del moviment sísmic per causa dels efectes del sòl en la distribució dels danys. Cal tenir en compte aquest fenomen d'amplificació en la planificació territorial, en el disseny antisísmic d'estructures (normes de construcció sismoresistent) i també en l'avaluació de la seguretat sísmica d'edificis ja construïts.

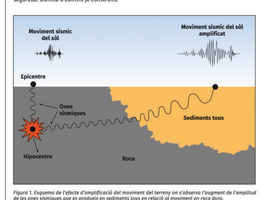


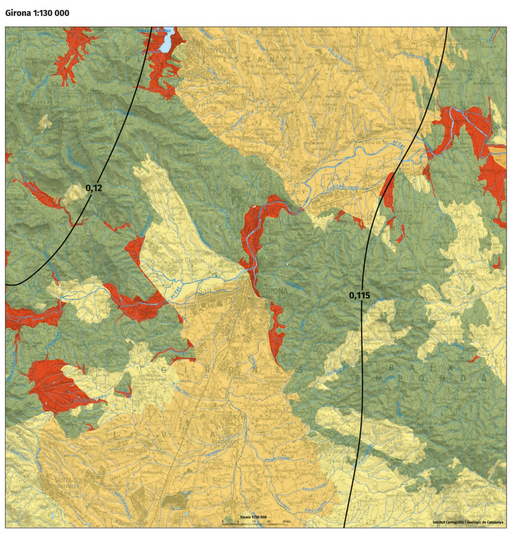
Figura 1. Esquema de l'efecte d'amplificació del moviment del terreny on s'observa l'augment de l'amplitud de les ones sísmiques que es produeix en sediments tous en relació al moviment en roca dura.

El Mapa de mesozonació sísmica de Catalunya a escala 1:250 000 presenta l'amplificació sísmica en funció del terreny per a tot el territori.

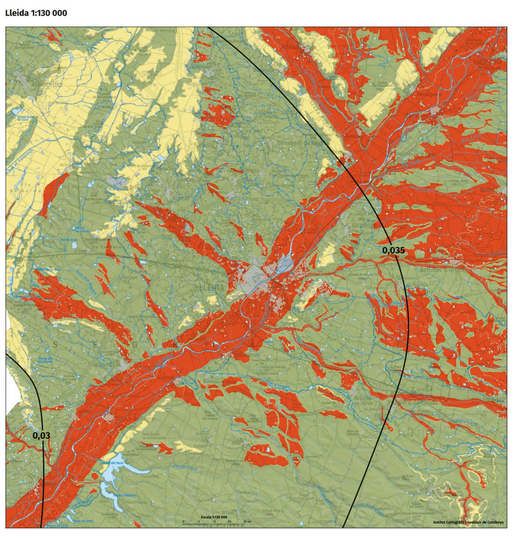
La llegenda del mapa es basa en una classificació del terreny (ZFA a E) inspirada en la normativa europea de construcció sismoresistent, anomenada Eurocodi 8 (CEN, 2004). La classificació dels sòls en la mesozonació sísmica de Catalunya té en compte la resistència del terreny superficial, el seu gruix i el contrast amb la resistència del terreny subjacent, factors que permeten estimar els efectes d'amplificació de les ones sísmiques. Al revers del mapa es descriu el seu procés de realització, amb indicacions de quines són les característiques mecàniques de cada classe de terreny i els diferents gruixos considerats. Es mostra també la caracterització de l'amplificació sísmica de cada classe de sòl, tant en termes de graus d'intensitat macrosísmica com d'espectres de resposta en acceleració utilitzats en el càlcul d'estructures.

ICGC
Produït, editat i publicat per: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC)
Base temàtica i base topogràfica MTC5M, MTC250m, MTC500m, MTC50m:
Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC)
Sistema geodèsic de referència: ETRS89 (el·lipsoide GRS80). Projecció cartogràfica UTM 31 nord.
Advertiment: El contingut d'aquest mapa és de caràcter informatiu i no substitueix, en cap cas, els estudis específics i de detall necessaris per a aplicacions concretes en zones puntuals.
Primera edició: octubre 2018
Dipòsit Legal: B. 30 365-2018
ISBN: 978-84-393-9832-0 (Impresa)
ISBN: 978-84-393-9836-7 (GeoPDF)

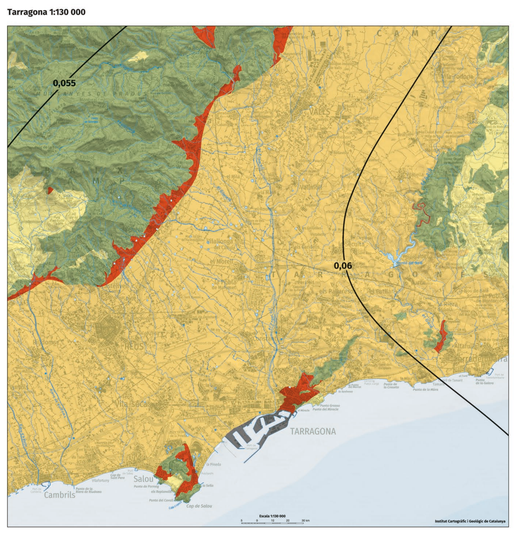
Girona 1:130 000



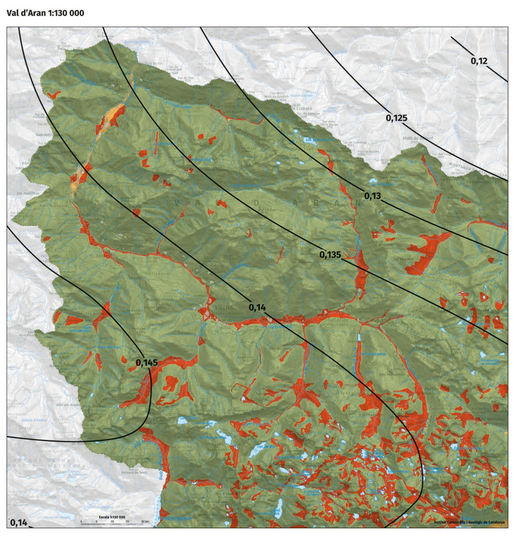
Lleida 1:130 000



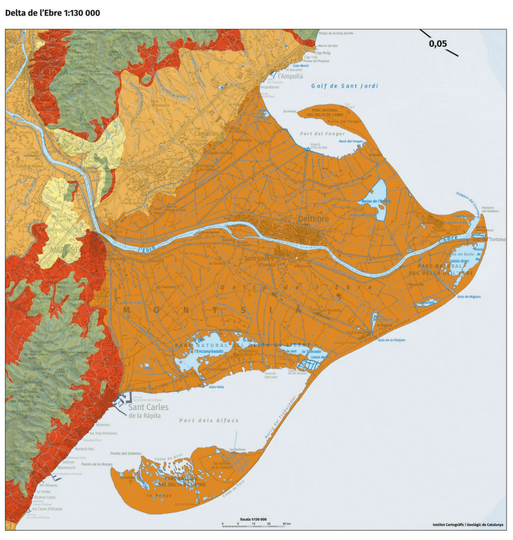
Tarragona 1:130 000



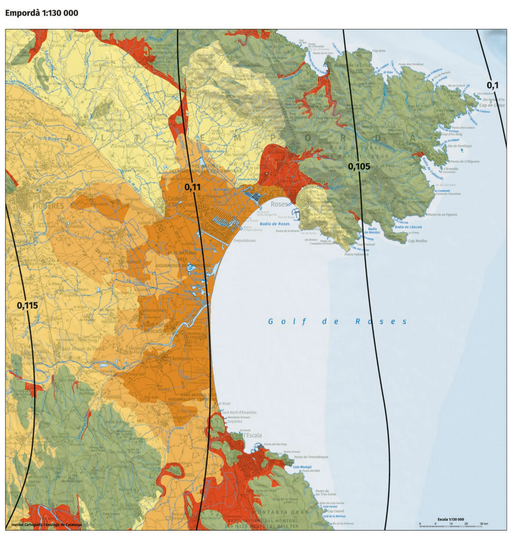
Val d'Aran 1:130 000



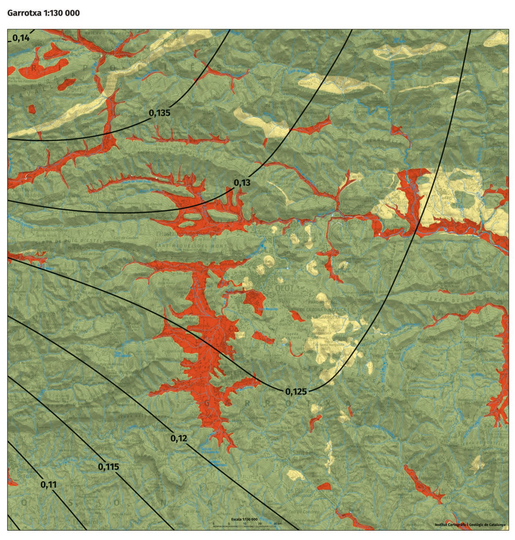
Delta de l'Ebre 1:130 000



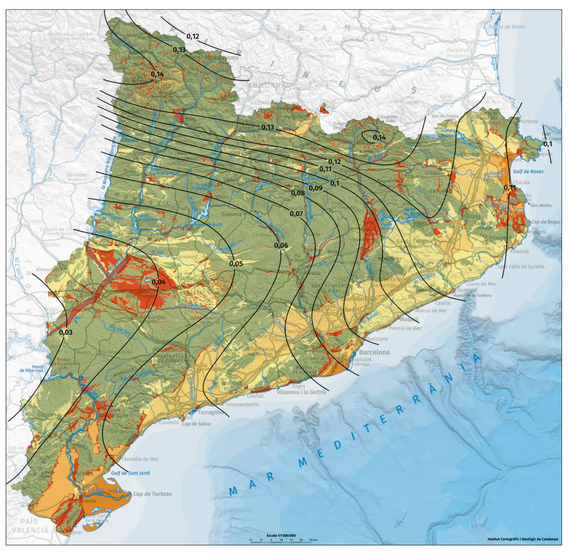
Empordà 1:130 000



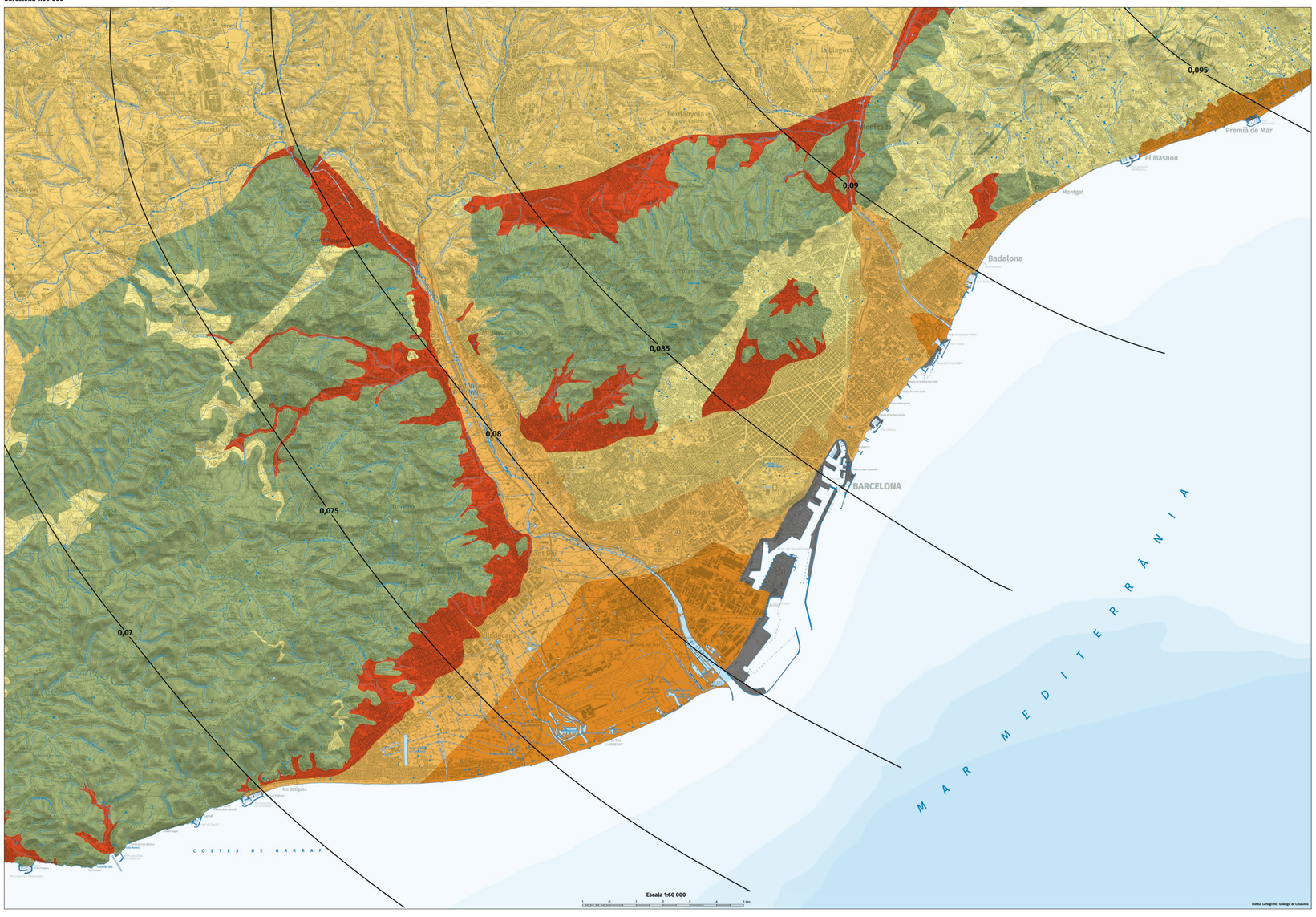
Garrotxa 1:130 000



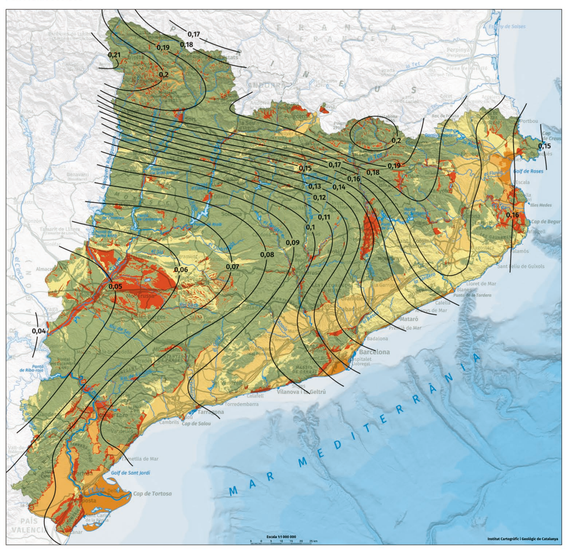
PGA 475 1:1 000 000



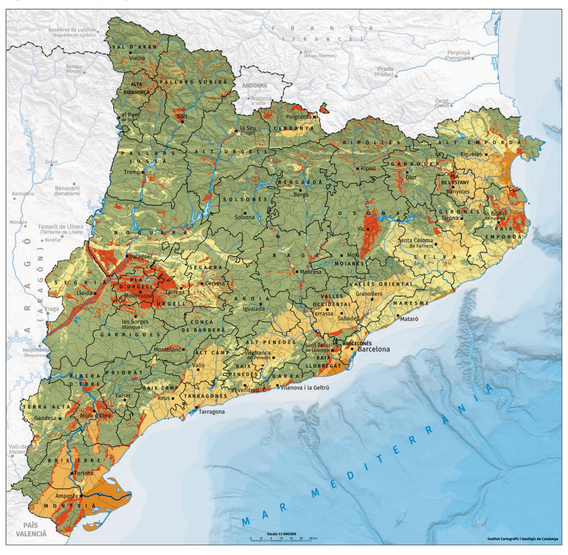
Barcelona 1:60 000



PGA 975 1:1 000 000



Mapa administratiu de Catalunya 1:1 000 000



Procés de realització

El mapa s'ha realitzat a partir d'una modificació de la classificació de l'Eurocodi 8 (CEN, 2004) adaptada a les particularitats de Catalunya. En primer lloc s'han assignat característiques litològiques a les unitats del Mapa geològic de Catalunya 1:50 000 de l'ICGC partint de la classificació geomecànica de superfície proposada per Fleta et al. (1998), completada per Saula (2015) i revisada en funció de les dades geotècniques disponibles. Posteriorment, s'han assignat gruixos a les unitats quaternàries i neògenes. Finalment, s'ha creuat tota la informació a fi de classificar els terrenys segons les classes contemplades en la mesozonació sísmica de Catalunya (IGC, 2013).

Aquest mapa s'ha realitzat en el marc del Pla Especial d'Emergències Sísmiques a Catalunya (SISMICAT) en el qual l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) ha treballat activament des de la seva implementació.

Assignació de característiques mecàniques a les unitats litològiques

Les unitats del Mapa geològic de Catalunya 1:50 000 s'han classificat en 4 grups en funció del rang de velocitats de propagació de les ones de cisalla. Per a la caracterització litològica de cada unitat s'ha realitzat una revisió emprant criteris geotècnics. S'han utilitzat correlacions de la velocitat V_s amb els valors de l'*Standard Penetration Test* (SPT) (N_{30}) i de resistència al tall no drenada (C_u) (Tàsials).

Classificació litològica	Velocitat de cisalla V_s (m/s)	SPT (N_{30})	Resistència al tall no drenada C_u (KPa)
Roca dura (HR)	>800	-	-
Roca tova i sòl dur (SR)	360-800	>50	>250
Sòl tou (SS)	180-360	15-50	70-250
Sòl molt tou (VSS)	<180	<15	<70

Taula 1. Classificació geomecànica a partir dels valors de les velocitats de propagació de les ones de cisalla, correlacionats amb valors de l'SPT i valors de resistència al tall no drenada (Cu).

A continuació es defineixen les classificacions litològiques:

HR - Roca dura: granits, pissarres, calcàries, gresos, etc. Roques generalment d'edat paleozoica, mesozoica o terciària paleocena.

SR - Roca tova i sòl rígid: gresos i limolites amb grau de consolidació baix o argiles molt rígides. Generalment d'edat terciària neògena o quaternària pliocena.

SS - Sòl tou: dipòsits d'argiles, sorres i graves denses i argiles lleugerament carbonatades. Generalment d'edat quaternària paleocena.

VSS - Sòl molt tou: dipòsits de sorres, llim i argiles recents en ambients deltaics. Generalment d'edats quaternària holocena.

Caracterització del gruix de les capes

En la determinació del gruix de les diferents capes que formen l'estructura vertical del terreny s'han pres com a referència els quatre intervals de gruix que es mostren a la taula 2.

Classe	Rang de gruixos (m)
Molt petit	0 - 5
Petit	5 - 20
Gran	20 - 100
Molt gran	> 100

Taula 2. Rang de gruixos considerats.

L'assignació dels intervals de gruix de les capes s'ha realitzat a partir de dades bibliogràfiques i de dades de sondatges, considerant el tipus de dipòsits i la seva localització.

Classificació dels sòls segons la mesozonació sísmica de Catalunya

El creuament de la informació provinent de la classificació litològica obtinguda a partir de les ones de cisalla (V_s) i del gruix de les capes, ha donat com a resultat una columna de sòl representativa amb un màxim de 3 capes (figura 2).

En el Mapa de mesozonació sísmica de Catalunya 1:250 000 s'ha modificat la classificació proposada per l'Eurocodi 8 (EC8) tenint en compte els resultats dels treballs duts a terme en el projecte SISPYR (IGC, 2013), obtenint 6 classes de terreny. Aquesta classificació de la mesozonació sísmica de Catalunya no té en compte les classes S1 i S2 considerades a l'EC8, ja que no són presents en el territori; i introdueix la classe B', que inclou les roques toves amb una potència superior als 100 m. La figura 2 mostra els esquemes de les columnes litològiques de les diferents classes de terreny de la mesozonació sísmica de Catalunya.

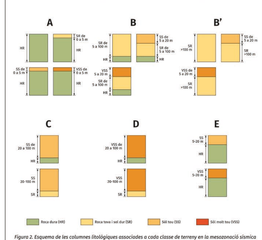


Figura 2. Esquema de les columnes litològiques associades a cada classe de terreny en la mesozonació sísmica de Catalunya.

Amplificació del moviment sísmic del sòl segons la mesozonació sísmica de Catalunya

Aquesta amplificació es mostra en termes d'espectres de resposta en acceleració i d'increments d'intensitat macrosísmica.

a) Espectres elàstics de resposta en acceleració normalitzats

Els espectres de resposta en acceleració es poden obtenir amb la següent formulació proposada en l'Eurocodi 8:

$$Sae(T) = \begin{cases} S\cdot\left[1+\frac{T}{T_B}\cdot(2.5\cdot\eta-1)\right] & SI\ 0 \le T \le T_B \\ 2.5\cdot S\cdot\eta & SI\ T_B \le T \le T_C \\ 2.5\cdot S\cdot\eta\cdot\left(\frac{T_C}{T}\right) & SI\ T_C < T < T_D \\ 2.5\cdot S\cdot\eta\cdot\left(\frac{T_C\cdot T_D}{T^2}\right) & SI\ T_D \le T \le 4s \end{cases}$$

on:

Sae (T) = espectre elàstic de resposta en acceleració normalitzat
T = període de vibració d'un sistema lineal d'un grau de llibertat
S = factor d'amplificació corresponent a cada classe de sòl
η = factor de correcció per esmortelment (1,0 si l'esmortelment és del 5%)

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{(5+\xi)}} \ge 0.55$$

ξ = percentatge d'esmortelment
T_B, T_C i T_D = constants que controlen la forma de l'espectre de resposta

S'ha caracteritzat l'efecte d'amplificació de les diferents classes de sòls proposats per la mesozonació sísmica de Catalunya mitjançant espectres elàstics de resposta en acceleració amb un 5% d'esmortelment. La taula 3 mostra els diferents paràmetres que defineixen la forma de l'espectre per a cada classe de sòl. Aquests espectres (figura 3) estan normalitzats respecte al valor màxim d'acceleració del terreny (PGA) i es basen en la definició dels espectres tipus 2 de l'EC8 modificats durant els treballs duts a terme en el projecte SISPYR (IGC, 2012b).

Classe de terreny	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,00	0,05	0,25	1,20
B	1,35	0,05	0,25	1,20
B'	1,20	0,05	0,25	1,20
C	1,50	0,10	0,30	1,20
D	1,60	0,10	0,30	1,20
E	1,60	0,05	0,25	1,20

Taula 3. Valors proposats dels paràmetres dels espectres elàstics de resposta en acceleració normalitzats. S: factor d'amplificació; TB-TC: períodes que defineixen la part plana de l'espectre; TD: període que indica el canvi de pendent de la corba.

Figura 3. Espectres de resposta en acceleració normalitzats per les diferents classes de terreny de la mesozonació sísmica de Catalunya.

Per a obtenir l'espectre elàstic de resposta en acceleració d'un emplaçament caldrà determinar en el mapa la classe de terreny i escalar-lo al valor del PGA corresponent a roca dura associada a l'emplaçament o municipi estudiat. Els valors de PGA s'obtenen a partir d'un anàlisi de perillositat regional calculat per a un sòl de referència de tipus A amb una velocitat d'ones de cisalla superior a 800 m/s (CEN, 2004a), com el realitzat a Catalunya l'any 2008 (CGC-GEOTER, 2008), sempre que aquests valors de PGA siguin iguals o superiors als recomanats per la Norma Sismoresistent actual (NCSE-02, 2002).

b) Increments d'intensitat macrosísmica (ΔI)
A la taula 4 es proposen els increments d'intensitat macrosísmica respecte a la intensitat en roca per a cada classe de terreny de la mesozonació sísmica de Catalunya, segons els resultats del projecte SISPYR (IGC, 2012a; IGC, 2012b) i l'estudi de Macau (2008).

Classe de terreny	A	B	B'	C	D	E
ΔI	0	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5

Taula 4. Increments d'intensitat per a les diferents classes de terreny de la mesozonació sísmica de Catalunya segons IGC (2012) i Macau (2008).

Mapes de mesozonació sísmica i perillositat sísmica

En aquesta part del document es presenten una sèrie de mapes on les isolínies dels valors màxims d'acceleració (PGA, en g) obtinguts a la darrera actualització del mapa de perillositat sísmica d'Espanya (Martínez Solares et al., 2017) se superposen al Mapa de mesozonació sísmica de Catalunya. Es presenten dos mapes de tot Catalunya on es mostren les isolínies del PGA corresponents als períodes de retorn de 475 anys (10% de probabilitat de superació en 50 anys) i de 975 anys (5% de probabilitat de superació en 50 anys). També es mostren finestres de detall per a 8 zones de Catalunya amb els PGA corresponents al període de retorn de 475 anys. Els valors de PGA que es mostren han de servir de base per a la nova Norma de Construcció Sismoresistente Espanyola.

Aquests mapes aporten informació sobre característiques geològiques i paràmetres físics del terreny i són d'utilitat per als estudis de risc sísmic a escala municipal. La classificació de sòls de la mesozonació representa una primera estimació dels efectes de sòl, molt útil en cas de no disposar d'estudis més detallats. Aquesta primera aproximació permet incloure els possibles efectes del sòl en escenaris de dany sísmic tant a un àmbit regional com inframunicipal. D'aquesta manera es poden identificar les zones que poden quedar més afectades a causa d'un terratrèmol i contribuir a la redacció de plans de planificació urbana i d'actuació en cas d'una emergència sísmica.

Referències

CEN (2004). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings European Committee for Standardization, EN 1998-1:2004.

Fleta, J.; Estrich, I. i Goula, X. (1998). Geotechnical characterization for the regional assessment of seismic risk in Catalonia, Proc. 4th Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society, pp. 699-702. Barcelona.

ICGC-GEOTER (2008). Càlcul probabilista de la perillositat sísmica a Catalunya en acceleracions espectrals. Document GTB/IGC/0508-001. Institut Geològic de Catalunya.

IGC (2012a). Microzonació sísmica de nivell avançat a l'àrea urbana de Girona. SYSPIR, Informe IGC-GA-009/12, 67pp.

IGC (2012b). Shake-Map: Site effect corrections, Institut Geològic de Catalunya Informe IGC-GS-021/12, 182pp http://bit.ly/2ryclRMA, Darrera consulta: 23/octubre/2018.

IGC (2013). Mapa de Mesozonació sísmica de Catalunya (1:100000), adaptat a la classificació EC8 (versió 2013). Institut Geològic de Catalunya, Informe IGC-GS-021/13, 46pp més annexos.

Macau, A. (2008). Microzonación sísmica. Contribución a los estudios de peligrosidad sísmica a escala local en zonas rurales y urbanas. Tesi Doctoral, UPC, 328pp.

Martínez Solares, J. M., Cabañas, L., Benito, M. B., Rivas, A., Gaspar, J. M., Ruiz, S., i Rodríguez, Q., (2017). Actualización de mapas de peligrosidad sísmica de España 2012, Centro Nacional de Información Geográfica i Instituto Geográfico Nacional, Madrid, Espanya, https://bit.ly/2ako1Vh, Darrera consulta: 23/octubre/2018

NCSE-02 (2002). Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, por el que se aprueba la norma de construcción sismoresistente: parte general y edificación (NCSR-02). Ministerio de Fomento. Fecha de publicación: 11-10-2002. BOE: 244-2002, pp. 35898-35966.

Saula, E. (2011). Mapa de propietats geomecàniques per a la consideració de l'amplificació del moviment sísmic del sòl a escala 1:250 000, Institut Geològic de Catalunya, Informe IGC-GS-030/10.