

**SOCIETAT CATALANA  
DE FÍSICA**

**ELS RISCOS NATURALS:**

**MÈTODES D'ESTUDI**

**I PREVENCIÓ,**

**A CÀRREC D'ANTONI ROCA,**

**DE L'INSTITUT CARTOGRÀFIC**

**DE CATALUNYA**

## INTRODUCCIÓ: RISCOS NATURALS?

Des dels inicis de la humanitat l'home lluita contra els fenòmens naturals que provoquen destrucció de persones i béns. En la creença que aquests fenòmens eren conseqüència de la voluntat dels déus, les societats primitives —i no tan primitives— organitzaven ofrenes, sacrificis, processons..., segons les diferents cultures. L'home veia, en aquelles actuacions envers els déus, la posada en funcionament de tasques de prevenció.

Amb la creixent incorporació de la ciència i la tecnologia a la societat, l'home fa un esforç per comprendre aquests fenòmens de la natura i intenta, en alguns casos, «controlar-los» i defensar-se'n, protegir-se dels seus efectes.

No obstant els avenços científics i tecnològics, s'observa que en les últimes dècades els danys causats per fenòmens naturals han augmentat, la societat en general s'ha fet més vulnerable. Així ho constaten, entre altres fonts, les estadístiques recollides per companyies asseguradores i reasseguradores (Munich Re, 1998; Swiss Re, 2000; Nájera, 1999). Es fa palès, doncs, que hi ha altres factors més determinants que els mateixos esdeveniments geològics o atmosfèrics: l'activitat i el comportament humà. Les catàstrofes naturals revelen que el nostre desenvolupament econòmic és inacceptablement fràgil, massa vulnerable als comportaments normals de la natura. Cal encara treballar perquè la reducció dels desastres, la cultura de la prevenció, formin part intrínseca del desenvolupament.

### PERILLOSITAT, VULNERABILITAT, RISC, DESASTRE I PREVENCIÓ

Un *desastre* és una situació o procés social que es desencadena com a resultat de la manifestació d'un fenomen d'origen natural, tecnològic o provocat per l'ésser humà que, en trobar

condicions propícies de vulnerabilitat en una població, causa alteracions intenses en les condicions normals de funcionament de la comunitat. Aquestes alteracions estan representades per la pèrdua de vida i salut de la població, i la destrucció o pèrdua de béns de la col·lectivitat i danys severes al medi ambient, raó per la qual es requereix una resposta immediata de les autoritats i de la població per atendre els afectats i restablir la normalitat. Un desastre significa un determinat nivell de danys i pèrdues que s'estableix socialment d'acord amb la capacitat d'aquesta societat per enfrontar-los i recuperar-se utilitzant els seus propis recursos i reserves. Això vol dir que hi pot haver danys i pèrdues sense que existeixi desastre per a la societat (Cardona, 2001).

L'existència de desastre o de pèrdues suposa, en general, l'existència prèvia de determinades condicions de *risc*, és a dir, representa la materialització d'aquestes condicions de risc preexistents. Un cop el risc és reconegut per la societat, aquesta ha de fer quelcom per reduir-lo.

El *risc* (R) s'expressa normalment com el producte de la *perillositat* (P) per la *vulnerabilitat* (V) dels objectes exposats:

$$R = P \times V,$$

tenint en compte el temps d'exposició, que es pot considerar com un altre factor específic o, com aquí, implícit dins la vulnerabilitat.

La *perillositat* deguda a un fenomen específic (d'origen natural o no) es defineix, en termes probabilístics, com la probabilitat que un punt concret del territori experimenti una acció d'una magnitud determinada en un cert període de temps.

Seguint dins un esquema probabilista, la *vulnerabilitat* d'un objecte exposat a un fenomen natural específic és la probabilitat que aquest objecte experimenti un cert nivell de dany quan se sotmet a una acció determinada.

Així, el risc s'haurà d'expressar sempre en termes de danys objectivats, en termes de costos econòmics i efectes sobre les persones i, en general, la societat.

Per minimitzar el risc podem actuar, doncs, en cadascun dels dos factors: o bé disminuint la perillositat o bé disminuint la vulnerabilitat. En certs fenòmens naturals serà possible disminuir la perillositat (per exemple, en el cas d'inundacions, fent repeses o altres obres de protecció). En altres tipus de fenòmens, com és el cas dels terratrèmols, les actuacions hauran d'anar destinades sobretot a disminuir la vulnerabilitat dels edificis, les estructures i les infraestructures exposades.

Les accions mitigadores de risc —*prevenció*— que calen són les següents: 1) un conjunt de polítiques relatives a l'ús del territori (planejament territorial, urbanisme); 2) l'establiment i compliment de normatives de construcció, i 3) una adequada preparació mitjançant plans i accions de protecció civil.

Per tal que els responsables corresponents puguin prendre decisions raonables es fa imprescindible disposar d'avaluacions de risc. Les decisions hauran d'estar sustentades per una anàlisi cost-benefici i per a això resulta molt útil poder disposar d'eines adequades per a la generació d'escenaris de danys, simulacions amb avaluacions de danys en les edificacions, costos econòmics i efectes en les persones (possible nombre de víctimes, de ferits).

#### AVALUACIÓ DEL RISC I REPRESENTACIÓ CARTOGRÀFICA

Els fenòmens naturals susceptibles de produir danys tenen la seva expressió en els mapes de risc i en els sistemes de generació d'escenaris de danys, eines bàsiques i imprescindibles per a l'establiment de les polítiques de prevenció. Però l'estat de coneixement dels fenòmens naturals i dels seus possibles

efectes en un determinat territori assoleix nivells molt diversos en diferents països, i aquestes diferències queden reflectides en la major o menor disponibilitat de mapes temàtics específics.

Així, hom es pot referir a diferents nivells de coneixement, a diferents fases en l'avaluació del risc, a diferents estadis en les cartografies dels fenòmens naturals inductors de risc:

- En primer lloc, es tracta de descriure, conèixer els fenòmens i la seva dinàmica; localitzar els llocs d'ocurrència; georeferenciar els successos; descriure els fenòmens mitjançant models físics simplificats o més o menys complexos. Així, podem disposar d'unes primeres *cartografies d'esdeveniments*. Un exemple d'aquest tipus d'expressió cartogràfica són els mapes de sismicitat, on es representen els epicentres dels terratrèmols produïts en un determinat període de temps; o un mapa on es representarien els punts o àrees on es té constància que s'hi han produït esllavissades.
- Un altre pas consistiria a determinar, mitjançant l'aplicació d'hipòtesis diverses, les àrees *susceptibles* de ser origen dels fenòmens, possibles zones font. D'aquesta anàlisi en sortiria una primera zonació del territori.
- Per a l'elaboració dels mapes de *perillositat* cal quantificar l'acció del fenomen en cada punt del territori (exemples: mapa d'acceleracions del moviment del sòl produït per terratrèmols o mapa amb la pressió d'impacte de les allaus, per a un determinat període de retorn).
- En les avaluacions de vulnerabilitat dels elements exposats cal considerar, a més dels edificis d'habitatge, les edificacions essencials (aquelles d'espe-

cial importància en l'emergència, com són els hospitals, parcs de bombers, escoles, edificis estratègics, de comandament, centres d'equipaments bàsics, etc.), i també les línies vitals (vies de comunicació, de transport d'energia, etc.). Aquestes avaluacions constitueixen capes d'informació que també donen lloc a cartografies.

- Finalment, la combinació de la perillositat amb la vulnerabilitat, quan aquestes han estat avaluades, permetrà generar mapes de risc i escenaris de danys.

Més endavant es descriuran alguns exemples d'aquestes cartografies, en particular referides al risc sísmic, del qual s'han fet avaluacions a diferents escales (Roca *et al.*, 1999).

Per a l'avaluació del risc cal utilitzar una gran quantitat de dades referides al territori i, per tant, els sistemes d'informació geogràfica són molt útils per al procés d'anàlisi i de representació i, en particular, per a la generació dels escenaris de danys.

#### EINES, MÈTODES, TÈCNiques

Sota la denominació de riscos naturals es poden considerar aquells de tipus geològic i hidrològic l'origen dels quals és la geodinàmica interna (terratrèmols i tsunamis, erupcions volcàniques) o l'externa (inundacions, torrentades, erosió i desertització, esllavissaments, esfondraments, allaus...); de tipus estrictament meteorològic (fortes pluges, huracans, ciclons...); i uns altres d'origen extern a la Terra, com són les tempestes magnètiques o la caiguda de meteorits. En aquesta comunicació ens referirem només a alguns riscos geològics i, sols de passada, hidrològics: inundacions, moviments de massa (caigudes de blocs, esllavissades, esfondraments), allaus i terratrèmols.

Per a l'estudi dels riscos naturals i la realització de les cartografies corresponents tenim al nostre abast una gran quantitat d'eines, diferents depenent del fenomen natural a estudiar. Cal combinar diverses tècniques de geologia, geotècnia, hidrogeologia, hidràulica, geofísica, geodèsia, teledetecció i enginyeria, per resoldre problemes específics.

A continuació es descriuen, de manera sintètica, alguns diferents tipus de treballs que es porten a terme i les tècniques que es fan servir usualment, il·lustrant-los mitjançant exemples d'actuacions recents; en particular, es resumeixen els treballs realitzats per a la redacció del Pla d'Emergències Sísmiques de Catalunya (SISMICAT), que constitueixen un exemple de com, mitjançant l'ús de mètodes simplificats, s'arriba a fer una primera avaluació del risc sísmic i es generen escenaris de danys.

#### RISC D'INUNDACIONS. RISCOS HIDROLÒGICS

El risc d'inundacions és el més freqüent al nostre país. En els últims anys diferents organismes, en particular els competents en matèria de l'aigua (Agència Catalana de l'Aigua) i de Protecció Civil (Departament d'Interior) han portat a terme una sèrie de treballs per conèixer i mitigar el risc d'inundacions, per redactar el Pla Especial d'Emergències per a Inundacions a Catalunya (INUNCAT), d'acord amb la *Directriz básica* (febrer 1995). S'han elaborat una sèrie de mapes on es delimiten les zones inundables i, entre altres aspectes, es relacionen els anomenats punts crítics (<http://www.gencat.net/aca>). Aquestes cartografies són una primera aproximació que està en procés de millora.

La delimitació de les zones inundables per un període de retorn determinat (cinquanta, cent, cinc-cents anys) es realitza mitjançant tècniques de modelització hidrològica de

pluviometries, càlcul de cabals i modelització hidràulica per a la qual és important disposar de models digitals d'elevacions del terreny amb la precisió i resolució adequada. Cal esmentar la utilitat per a aquest tipus d'estudis de la informació topogràfica obtinguda amb el suport de la tècnica d'altimetria LÀSER aerotransportada (LIDAR), recentment posada al punt a l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), mitjançant la qual es poden generar models d'elevació del terreny d'alta precisió, d'ordre decimètric (Ruiz, 2002) sobre el qual s'efectua la modelització hidràulica (vegeu la figura 1). Aquesta tècnica s'ha començat a aplicar de manera sistemàtica per al projecte de delimitació de l'espai públic hidràulic, en col·laboració amb l'Agència Catalana de l'Aigua.

L'anàlisi dels efectes geomorfològics associat als aiguats és un component important dins l'estudi dels riscos hidrològics.

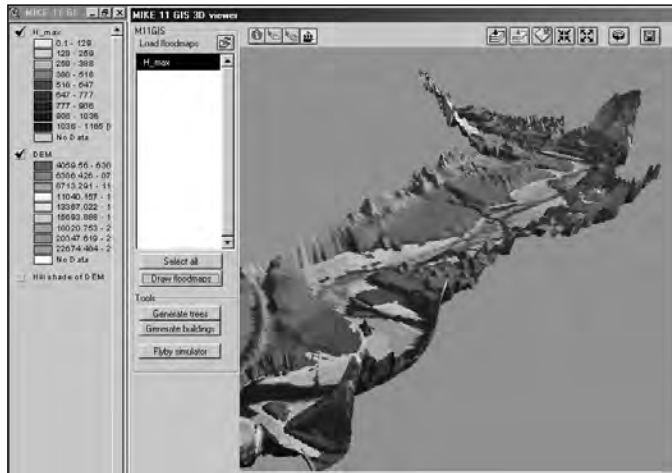


FIGURA 1. Modelització hidràulica 3D sobre un model d'elevacions del terreny obtingut mitjançant LIDAR.



Es consideren dins els moviments de massa les caigudes de blocs, les esllavissades, les subsidències, els col·lapses. En general, al nostre país, aquests fenòmens solen tenir unes àrees d'afecció més reduïdes que els espais inundables o les àrees potencialment sotmeses a moviments sísmics, però la intensitat del fenomen en indrets concrets pot ser elevada i produir danys força importants.

En el cas de les *caigudes de blocs*, a partir de l'observació, l'anàlisi i la modelització, amb l'ajut dels models digitals del terreny, es poden determinar les trajectòries, velocitat, energia, alçades del rebot dels blocs. A partir d'aquí es pot efectuar la cartografia de perillositat, que permet prioritzar les actuacions que cal portar a terme quant a mesures correctores i de reducció del risc.

En el cas de les *esllavissades*, cal actuar tant des dels aspectes referents a la cartografia de risc, destinada a delimitar i avaluar les zones afectades per aquests processos, com en l'anàlisi d'estabilitat, mitjançant mètodes d'equilibri límit i amb propostes de projectes per a l'estabilització de vessants, talussos i terraplens, per als quals es realitzen estudis geotècnics.

En el cas del risc de subsidència i d'esfondrament sobtat (col·lapse), en general es tracta d'avaluar-ne l'extensió i possible evolució. S'apliquen diferents tècniques de mesura i anàlisi amb l'objectiu d'obtenir la informació necessària per adoptar les mesures preventives i correctores més adequades i, en definitiva, proporcionar una eina que permeti efectuar una correcta planificació i ordenació de les activitats que s'esdevenen en els territoris afectats per aquests processos.

Per a la mesura de les subsidències (vegeu la figura 2) s'apliquen tècniques d'anivellació d'alta precisió en superfície, s'auscullen els moviments a l'interior del terreny

mitjançant extensòmetres instal·lats en diferents profunditats a l'interior de sondeigs. També s'han aplicat tècniques d'interferometria radar, a partir d'imatges de satèl·lit efectuades al llarg de diferents anys (Hanssen, 2001; Crosetto *et al.*, 2002).



FIGURA 2. Mesures de subsidència mitjançant tècniques convencionals d'anivellació d'alta precisió (esquerra) i interferometria radar (dreta).

Es porten a terme estudis geològics, hidrogeològics, sondeigs geotècnics, assaigs penetromètrics i pressiomètrics *in situ*, extracció de mostres per fer-ne l'assaig al laboratori, etc. També esdevenen molt útils les tècniques de prospecció geofísica, en particular la sísmica d'alta resolució (Teixidó, 2000; Teixidó i Benjumea, 2002). Amb tota la informació recopilada es pot caracteritzar la geometria i característiques del subsòl i efectuar una anàlisi tensodeformacional del terreny mitjançant mètodes numèrics d'elements finits, amb l'objectiu de preveure i quantificar la possible evolució del fenomen.

Al Pirineu, en les últimes dècades, l'ús i l'ocupació de les zones d'alta muntanya susceptibles de sofrir allaus ha anat en augment. El consegüent increment de la vulnerabilitat (i, en el cas dels excursionistes, el temps d'exposició acumulat) suposa un increment important del risc. Per tal de reduir aquest risc es treballa en dues línies fonamentals: la *predicció* del perill d'allaus i la *cartografia* de zones d'allaus.

L'objectiu de la predicció temporal del perill d'allaus als Pirineus de Catalunya (Garcia *et al.*, 1996) és l'emissió i la difusió pública d'un butlletí de perill d'allaus (BPA) que es va començar a emetre durant la temporada 1990-1991 i que es fa públic durant els mesos de desembre a maig i de dilluns a dissabte (amb la predicció per al cap de setmana). En aquest butlletí s'informa del grau de perill previst, segons l'escala europea unificada en les immediates 24 hores, per a les set zones delimitades als Pirineus de Catalunya (vegeu la figura 3), de la distribució i l'estat del mantell nival i de la tendència per a les subsegüents 48 i 72 hores. La informació nivològica és vàlida fora de les pistes d'esquí i zones controlades. El BPA es difon públicament diàriament per Internet (<http://www.icc.es/allaus>), per contestadors telefònics automàtics i pel teletext de TV3. A més, s'elaboren avisos especials en cas de situacions crítiques, adreçats als responsables de la protecció civil i als mitjans de comunicació.

La predicció del perill es fa sobre la base de l'anàlisi de les dades procedents de dues xarxes d'observació nivome-teorològica d'alta muntanya, una de manual o convencional i una altra d'automàtica, l'objectiu de les quals és obtenir dades sobre la velocitat i la direcció del vent, la temperatura i la humitat de l'aire, la radiació solar incident, el gruix total de neu, la precipitació, la temperatura de l'interior del mantell nival a diferents alçades, i dades corresponents a l'estratigrafia i a la resistència del mantell nival.



FIGURA 3. Zones nivoclimàtiques en què s'han regionalitzat els Pirineus de Catalunya, a les quals hi ha referida una predicció concreta.

La xarxa d'observadors nivometeorològics va començar a implantar-la el Servei Geològic de Catalunya l'hivern de 1987-1988 davant la manca d'estacions meteorològiques a l'alta muntanya suficients per possibilitar el seguiment de l'estat del temps i del mantell nival. Les dades es prenen en zones situades entre els 1.800-2.500 m d'altitud, cotes en què s'inicien gran part de les allaus. D'altra banda, la implantació de la xarxa d'estacions nivometeorològiques automàtiques es va iniciar l'hivern de 1997-1998 per tal de complementar la xarxa manual (García *et al.*, 2002). El seu establiment suposa una millora quantitativa i qualitativa de les dades corresponents a les condicions de la neu i a l'evolució meteorològica per sobre dels 2.000 m d'altitud. Transmeten les dades al cen-

tre de recepció, a la seu de l'ICC, mitjançant enllaços de radiofreqüència, telefonia mòbil GSM i satèl·lit (Iridium). Es tracta de l'única xarxa d'observació automàtica en alta muntanya de l'Estat espanyol. Les dades recollides són distribuïdes diàriament al Servei de Meteorologia de Catalunya perquè les utilitzin en la predicció meteorològica d'abast nacional, així com al Servei de Prevenció d'Incendis en la lluita contra el foc.



FIGURA 4. Estació nivometeorològica automàtica situada a la Bonai-gua (2.200 m). Aquestes estacions permeten un seguiment continuat de l'evolució dels paràmetres d'interès.

D'altra banda, totes les dades de les xarxes nivometeorològiques de l'ICC són trameses diàriament a Meteo-France per tal d'alimentar un model de predicció numèrica que proporciona els resultats d'una anàlisi del grau de perill i que suposa una eina d'ajut en l'elaboració del BPA.

Pel que fa a la cartografia, des de 1997 es publica la sèrie *Mapa de zones d'allaus de Catalunya a escala*

1:25.000, composta per catorze fulls, que representa les zones dels Pirineus de Catalunya que poden ser afectades per allaus. L'elaboració d'aquesta cartografia, juntament amb la base de dades associada, gestionada a través d'un sistema d'informació geogràfica, permet localitzar i distingir les zones afectades per allaus, compilar dades històriques i efectuar diverses anàlisis (Martí *et al.*, 1997; 2000).

Es considera *zona d'allau* l'àrea en què al llarg del temps s'han produït desencadenaments d'allaus de diferents dimensions. El seu límit és donat per la màxima allau que actualment permeten determinar els indicis existents (geomorfològics, de vegetació i històrics). En cas d'absència d'indícis de vegetació i històrics, es defineixen les possibles zones d'allaus a partir de les seves característiques geomorfològiques.

L'elaboració temàtica d'aquests mapes consta de tres fases: 1) fotointerpretació: interpretació de fotografies aèries verticals i d'ortofotomapes fetes en absència de neu, ja que és quan s'observa millor la morfologia dels vessants i els diferents tipus de vegetació afectats per les allaus; amb l'observació de les característiques morfològiques, de la rugositat del terreny i de la vegetació, i amb l'ajuda de mapes de pendents, obtinguts a partir de la base de dades altimètrica, es determinen els límits de les zones afectades per les allaus; 2) interpretació de camp: identificació i descripció de les zones d'allaus determinades prèviament per fotointerpretació; l'observació al camp permet acabar de delimitar aquestes zones, especialment pel que fa a la seva zona d'arribada; 3) enquesta a la població: s'enquesta la població per obtenir informació sobre els diferents episodis d'allaus (tipus, freqüència, època en què es produeixen, etc.) i els seus límits; tota aquesta informació és també incorporada a la base de dades d'allaus.

És fonamental considerar les allaus en la planificació urbanística i projectes d'edificació i vies de comunicació en alta muntanya. Els estudis corresponents han d'incloure una

cartografia de detall de l'àrea afectada (1:5.000, 1:10.000) i una anàlisi dinàmica de les allaus amb el càlcul dels límits màxims i les pressions d'impacte; i, consegüentment, l'estudi dels sistemes de protecció més adequats per a les infraestructures afectades i l'establiment dels corresponents plans de prevenció.

## TERRATRÈMOLS

Per redactar el Pla d'emergències sísmiques de Catalunya (SISMICAT), la Direcció General d'Emergències de la Generalitat de Catalunya, d'acord amb les directrius bàsiques de l'Estat (*Directriz básica*, maig 1995), va realitzar una sèrie de treballs tècnics que comprenen una avaluació de la perillositat, la vulnerabilitat i el risc sísmic al territori català, incloent la generació d'escenaris de danys. Constitueix, per tant, un exemple d'avaluació dels diferents components del risc que es comentaven abans i per això, a continuació, se'n presenta un resum.

51

## AVALUACIÓ DE LA PERILLOSITAT SÍSMICA

Un element fonamental per avaluar correctament la perillositat dels fenòmens naturals és disposar d'una sèrie de dades que cobreixi un període de temps el més llarg possible; en el cas dels terratrèmols, es tracta de disposar d'un catàleg sísmic fiable i complet. El nou «Catàleg de sismicitat» (Susagna i Goula, 1999; Susagna *et al.*, 2001) recull i unifica la informació sísmica que prové de diverses fonts existents fins al moment, inclosos els diferents treballs efectuats de revisió de la sismicitat històrica (Olivera *et al.*, 1994; 1998, entre altres). També s'ha realitzat una nova zonació sismotectòni-

ca basada en criteris geològics i sismològics. L'avaluació de la perillositat sísmica s'ha dut a terme combinant mètodes deterministes i probabilistes que tenen en compte aquestes noves dades (Secanell, 1999; Secanell *et al.*, 1998).

El procés seguit per aquests tipus de models es pot resumir de la manera següent:

- En cadascuna de les zones sismotectòniques considerades, i d'acord amb les dades disponibles en cada zona proporcionades pel catàleg sísmic, s'ajusten els paràmetres característics al model d'ocurrència de terratrèmols usat.
- Una vegada s'han deduït totes les distribucions de probabilitat d'ocurrència de terratrèmols de cada zona sismotectònica, es propaguen els efectes de la sismicitat de cada zona sismotectònica a cada punt del territori, d'acord amb unes lleis d'atenuació de la intensitat sísmica amb la distància ajustades específicament per a Catalunya.
- En cadascun dels punts del territori s'estudien els efectes sísmics que provenen de cada zona sismotectònica i es calcula la probabilitat d'excedir una intensitat determinada en un període de temps donat.

A la figura 5 es presenta el mapa de zones sísmiques resultant, basat en el mapa probabilista i modificat parcialment pel mapa determinista en els llocs on la diferència d'intensitats és important, per a un període de retorn de cinc-cents anys. Per confeccionar aquest mapa s'han fet coincidir els límits de les zones sísmiques amb límits municipals.

Aquest mapa està referit a un sòl de tipus mitjà, que segons la classificació geotècnica que es presenta a continuació correspon a un sòl de tipus A (correspon al 45 % dels municipis).



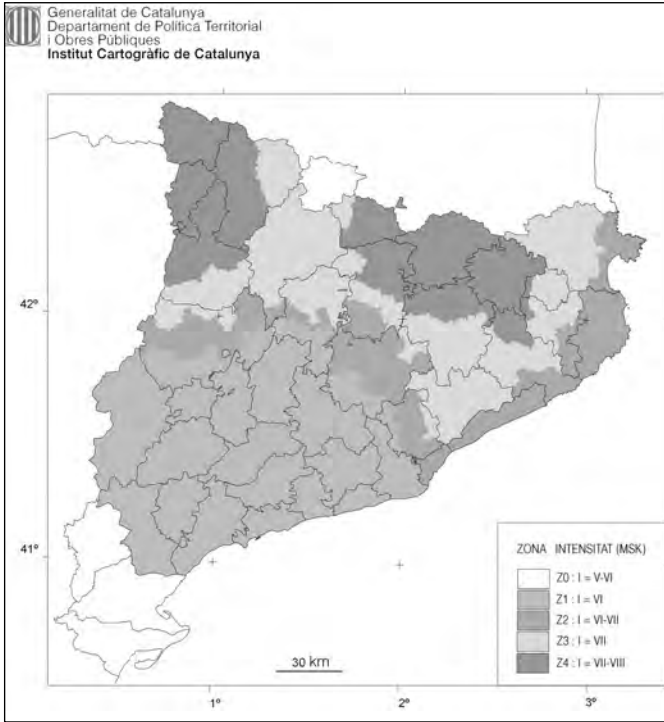


FIGURA 5. Mapa de zones sísmiques per a un sòl mitjà (ICC 1997).

En l'avaluació del risc sísmic és important considerar les possibles amplificacions del moviment degut als efectes del sòl. Per això és recomanable la realització d'estudis de detall de microzonació sísmica, especialment en zones urbanes (Roca *et al.*, 1999; Cid *et al.*, 2001). Quan es tracta de fer una avaluació de caràcter general, com la que aquí es comenta, cal considerar models simplificats a escala regional, com el proposat per Fleta *et al.* (1998), que realitzen una primera caracterització dels nuclis urbans dels 944 municipis de Catalunya. Aquesta classificació es fa segons quatre tipus

de sòls: R, A, B i C, amb una resposta particular enfront del fenomen sísmic, associada a la velocitat que tenen les ones S en travessar-los. El sòl tipus R correspon a una roca dura on la velocitat de les ones S és superior a 800 m/s. El tipus A correspon a roques compactes amb una velocitat de les ones S d'entre 800 i 400 m/s. El tipus B correspon a materials semicompactats tous amb velocitats de les ones S d'entre 400 i 150 m/s. A l'últim, el tipus C correspon a material no cohesionat i sorres toves, amb una velocitat de les ones S inferior a 150 m/s.

#### AVALUACIÓ DE LA VULNERABILITAT

Per a l'avaluació de la vulnerabilitat sísmica dels edificis d'habitatge o assimilats s'aplica una metodologia estadística (Chávez, 1998; Chávez *et al.*, 1998) que permet fer estimacions encara que es disposi de poca informació sobre els edificis i sense haver de portar a terme un treball de camp llarg i costós. Això implica, entre altres coses, que els resultats que s'obtenen per a cada municipi, que és la unitat de treball escollida, es refereixin sempre a valors globals, sense poder donar resultats amb detall per a edificis individuals. En el cas que ens interessi per a edificis individuals, com són els edificis amb serveis imprescindibles per a la comunitat, la metodologia només permetrà obtenir un resultat probabilista per traduir l'aspecte estadístic de l'anàlisi.

Així, la classificació dels edificis d'habitatge de Catalunya (prop d'un milió) segons les classes de vulnerabilitat definides en l'EMS-98 (Grünthal, 1998) s'ha dut a terme partint de les dades del cens d'edificis realitzat l'any 1990 per l'Institut d'Estadística de Catalunya (IEC): edat, alçada i situació geogràfica dels edificis. L'edat i l'alçada estan clara-

ment associades a la vulnerabilitat sísmica dels edificis. L'edat, no només té importància pel seu efecte sobre el procés de deteriorament de la resistència de l'edifici, sinó que és indicativa de les diferents tècniques constructives, variables al llarg del temps. Segons les informacions recollides per experts en els temes constructius, s'han pogut fer tres grups d'edificis segons el període de construcció: anteriors a 1950; entre 1950 i 1970 i posteriors a 1970. I, segons la seva alçada s'han definit amb els límits següents: 12 m (menys de cinc plantes), que formen el primer grup i 18 m (més de cinc plantes), que formen el segon grup. Els edificis d'alçades intermèdies (cinc plantes) formen un tercer grup. Finalment, s'ha tingut en compte si l'edifici pertany al nucli urbà o si es tracta d'un edifici aïllat.

A la taula 1 es presenta la distribució dels edificis d'habitatge de Catalunya (aprox. 935.000), segons els tres paràmetres assenyalats. A la taula 2 es mostra la matriu que relaciona els paràmetres considerats amb la probabilitat de pertinença a les classes de vulnerabilitat A, B, C i D de l'escala EMS-98.

TAULA 1. *Distribució dels edificis d'habitatge de Catalunya segons l'alçada, l'any de construcció i la situació (cens de l'Institut d'Estadística de Catalunya, 1990)*

Data de construcció	Fins a 1950		1951-1970		Posterior a 1970	
	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
Àrea de situació						
< 5 plantes	232.740	31.119	212.070	16.304	315.504	37.346
Alçada = 5 plantes	7.065	9	14.083	24	11.937	22
> 5 plantes	12.699	2	21.963	33	22.028	44

TAULA 2. *Classificació dels edificis de Catalunya agrupats segons edat, alçada i situació urbana en diferents percentatges de classes de vulnerabilitat de l'EMS-92*

Alçada	Any de construcció					
	Fins a 1950		1951-1970		Posterior a 1970	
	Àrea		Àrea		Àrea	
	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
< 5 plantes	20% A	30% A	5% A	15% A		5% A
	80% B	70% B	50% B	70% B		20% B
			45% C	15% C	85% C	65% C
				15% D	10% D	
= 5 plantes	20% A	40% A	10% A	20% A	5% A	10% A
	80% B	60% B	60% B	70% B	20% B	30% B
			30% C	10% C	65% C	55% C
				10% D	5% D	
> 5 plantes	40% A	60% A	15% A	30% A	8% A	15% A
	60% B	40% B	70% B	65% B	27% B	45% B
			15% C	5% C	60% C	40% C
				5% D		

Aplicant aquesta classificació a tots els edificis de Catalunya s'ha obtingut que la majoria corresponen a les classes de vulnerabilitat B i C, amb un 40 i un 45 %, respectivament. Per tant, els percentatges més baixos corresponen a les classes de vulnerabilitat, més i menys vulnerable, A i D, amb una representació d'un 9 i 6 % cadascuna. La mateixa classificació fou també aplicada a cadascun dels municipis de Catalunya, amb la qual cosa s'obtingueren els percentatges de les classes de vulnerabilitat A, B, C i D presents en cada municipi.

Com a exemple, a la figura 6 es mostra la distribució de la classe C per a tots els municipis de Catalunya. Arriba a percentatges que oscil·len entre 65 % i 81 %, els quals s'observen en més de cinquanta municipis. El rang observat en la majoria de municipis està comprès entre 33 % i 48 %.

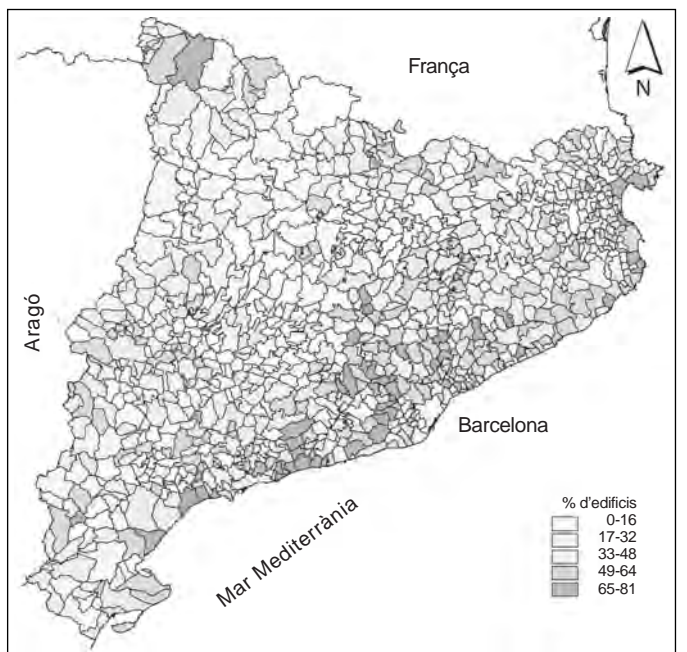


FIGURA 6. Distribució per comarques del percentatge d'edificis de la classe de vulnerabilitat C.

## RISC I ESCENARIS DE DANYS

L'estimació del dany que podrien experimentar les edificacions d'habitatge dels diferents municipis es realitza considerant per a cada municipi la intensitat determinada en el mapa de zones sísmiques, tenint en compte l'efecte del sòl, mitjançant unes matrius de probabilitat de danys que han estat determinades per a les classes de vulnerabilitat A, B, C, D, E i F, els graus de danys de 0 (no dany) a 5 (col·lapse total) i els graus d'intensitat (de VI a X) de l'escala EMS-98.

Com a resultat de l'avaluació del dany físic s'obté el nombre d'edificis de cada municipi distribuït segons els diferents graus de danys. Així es poden fer estimacions del nombre d'edificis que podrien quedar en condicions inhabitables, avaluacions de les pèrdues econòmiques i, mitjançant correlacions obtingudes en diferents àrees del món, es pot fer una estimació del possible nombre de ferits i de víctimes. Tot això constitueix l'avaluació del risc, necessari per a la planificació.

D'altra banda, quan es produeix un terratrèmol, per organitzar l'emergència és important disposar d'una estimació ràpida de les possibles conseqüències sobre persones, serveis i edificis. Per això s'ha posat al punt un procés de càlcul automàtic basat en el coneixement de la posició i magnitud del sisme i en les dades bàsiques del cens d'edificis i de població, que permet una avaluació de les possibles intensitats percebudes als diferents municipis, del possible nombre de persones que han percebut el sisme i de l'àrea afectada per cada intensitat. Si el terratrèmol tingués una intensitat suficient per produir danys, el mètode també permet realitzar una estimació dels danys als edificis, dels possibles danys personals i de les pèrdues econòmiques. Aquest mètode, en combinació amb el sistema automàtic de localització de la nova xarxa sísmica (<http://www.icc.es/sismes>) amb transmissió de dades en temps real, via satèl·lit, tindrà molta utilitat en la gestió d'emergències.

## CONCLUSIONS

S'ha presentat un breu resum sobre els riscos naturals, s'han definit i comentat els conceptes bàsics per analitzar-los i s'han presentat alguns exemples de les metodologies i eines que s'utilitzen.

Els estudis de risc que aquí s'han enumerat requereixen una estreta col·laboració d'equips científics que cobreixin

diferents disciplines (geologia, sismologia, enginyeria, arquitectura, cartografia, etc.). També és molt important comptar amb la participació activa dels tècnics de les administracions, en particular en els àmbits d'edificació, infraestructures i gestió d'emergències, perquè no només subministrin dades o promulguin directrius, sinó que s'integrin en els equips de treball. Aquesta aproximació ha estat la pauta seguida en els últims anys per portar a terme la major part dels treballs aquí exposats.

Actualment tenim a la nostra disposició els coneixements científics i la tecnologia suficient per poder posar en pràctica les mesures de prevenció i mitigació del risc adequades. Però cal aprofundir més en la cultura del risc (de la reducció del risc) i abandonar definitivament la incultura del desastre. Aquest ha de ser un procés en el qual tots els agents socials han d'estar compromesos i en el qual l'educació és un factor fonamental.

## REFERÈNCIES

- CARDONA, O. D. (2001). *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. 322 p. [Tesi doctoral]
- CID, J.; SUSAGNA, T.; GOULA, X.; CHAVARRÍA, L.; FIGUERAS, S.; FLETA, J.; CASAS, A.; ROCA, A. (2001). «Seismic zonation of Barcelona based on numerical simulation of site effects». *Pure appl. geophys.*, núm. 158, p. 2559-2577.
- CHÁVEZ, J. (1998). *Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico a escala regional: aplicación a Cataluña*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. 343 p. [Tesi doctoral]
- CHÁVEZ, J.; GOULA, X.; ROCA, A.; MAÑÀ, F.; PRESMANES, J.;

- LÓPEZ-ARROYO, A. (1998). «Preliminary risk assessment for Catalonia (Spain)». A: *Proc. 11th European Conference on Earthquake Engineering*. París. [CD-ROM]
- CROSETTO, M.; TSCHERNING, C. C.; CRIPPA, B.; CASTILLO, M. (2002). «Subsidence monitoring using SAR interferometry: reduction of the atmospheric effects using stochastic filtering». *Geophysical Research Letters*, vol. 29, núm. 9, p. 26-29.
- «Directriz básica de planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones». *Boletín Oficial del Estado* (14 febrer 1995).
- «Directriz básica de planificación de Protección Civil ante el riesgo sísmico». *Boletín Oficial del Estado* (25 maig 1995).
- FLETA, J.; ESTRUCH, I.; GOULA, X. (1998). «Geotechnical characterization for the regional assessment of seismic risk in Catalonia». A: *Proc. 4th Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society*. Barcelona, p. 699-702.
- GARCÍA, C.; GAVALDÀ, J.; JARA, J. A.; MARTÍNEZ, P. (2002). «An automatic snow and weather stations network for the avalanche prediction in the Catalan Pyrenees». *Proc. Tercer Congreso Internacional de Estaciones Meteorológicas Automáticas*. [En premsa]
- GARCÍA, C.; OLLER, P.; MARTÍ, G. (1996). *Guia d'utilització del Butlletí de Perill d'Allaus*. Institut Cartogràfic de Catalunya. 39 p.
- GRÜNTAL, G. [ed.] (1998). «European Macroseismic Scale 1998». *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Sismologie* [Luxemburg], vol. 15. [99 p.]
- HANSEN, R. F. (2001). *Radar Interferometry*. Holanda: Kluwer, Dordrecht. 308 p.
- MARTÍ, G.; MASES, M.; OLLER, P.; PAZ, A. de; MARTURIÀ, J. (1997). «The avalanche cadastre management using GIS in the Catalan Pyrenees». A: *Proc. 2nd Congress on Regio-*



- nal Geological Cartography and Information Systems*.  
Barcelona: ICC, p. 205-210.
- MARTÍ, G.; OLLER, P.; GARCÍA, C.; MARTÍNEZ, P.; ROCA, A.  
(2001). «The avalanche paths cartography in the Catalan  
Pyrenees». A: *Proc. II High Mountain Cartography Work-  
shop*. Àustria: Rudolfshütte, p. 255-264.
- MUNICH Re. (1998). *Topics*.
- NÁJERA, A. (1999). *Las catástrofes naturales y su cobertura  
aseguradora. Un estudio comparativo*. Madrid: Consorcio  
de Compensación de Seguros. 263 p.
- OLIVERA, C.; RIERA, A.; LAMBERT, J.; BANDA, E.; ALEXANDRE, P.  
(1994). *Els terratrèmols de l'any 1373: efectes a Espanya  
i França*, mem. núm. 3. Barcelona: Servei Geològic de  
Catalunya. 220 p.
- OLIVERA, C.; REDONDO, E.; RIERA, A.; LAMBERT, J.; ROCA, A.  
(1998). «Problems in assessing focal parameters to earth-  
quake sequences from historical investigation: the 1427  
earthquakes in Catalonia». A: *Proc. I Asambleu Hispano-  
Portuguesa de Geodesia y Geofísica*. [CD-ROM]
- ROCA, A.; GOULA, X.; SUSAGNA, T. (1999). «Zonación sísmica  
a diferentes escalas. Microzonación». *Física de la Tierra*,  
núm. 11, p. 203-236.
- SECANELL, R. (1999). *Avaluació de la perillositat sísmica a  
Catalunya: Anàlisi de sensibilitat per a diferents models  
d'ocurrència i paràmetres sísmics*. Barcelona: Universitat  
de Barcelona. 335 p. [Tesi doctoral]
- SECANELL, R.; GOULA, X.; SUSAGNA, T.; FLETA, J.; ROCA, A.  
(1998). «Analysis of seismic hazard in Catalonia (Spain)  
through different probabilistic approaches». A: *Eleventh  
European Conference on Earthquake Engineering*. París.  
[CD-ROM]
- SUSAGNA, T.; GOULA, X. (1999). «Catàleg de sismicitat». *Atlas  
Sísmic de Catalunya*. Vol. I. Institut Cartogràfic de Cata-  
lunya. 436 p.

- SUSAGNA, T.; GOULA, X.; ROCA, A. (2001). «A new macroseismic catalogue for Catalonia». A: GLADE, T. [*et al.*] [ed.]. *The use of historical data in natural hazard assessments*. Kluwer, p. 71-79.
- SWISS RE. (2000). *Sigma*, núm. 2.
- TEIXIDÓ, T. (2000). *Caracterització del subsòl mitjançant sísmica de reflexió d'alta resolució*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. 248 p. [Tesi doctoral]
- TEIXIDÓ, T.; BENJUMEA, B. (2002). «Utilización de configuraciones alternativas frente a la técnica CMP para la detección de cavidades en una zona urbana». A: *Proc. Primer Centenario del Observatorio de Cartuja*. Granada: Universidad de Granada. [CD-ROM]