



EL RISC D'ESFONDRAMENTS I SUBSIDÈNCIES A CATALUNYA

Ramon Copons

Aquest informe està inclòs al projecte **RISKCAT** encarregat pel CADS (Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible) al Grup de Recerca RISKNAT de la Universitat de Barcelona.

Projecte: **RISKCAT** 2008

Director: Joan Manuel Vilaplana

Coordinadora: Blanca Payàs

Equip d'experts: Ramon Copons, Jorge Guillén, Joan Escuer, María José Jiménez, Mariano García, Joan Martí i Eduard de Ribot

Assessor: Antonio Cendrero

Suport tècnic: Lau de Llobet, Sílvia Panadell i Marta Guinau



ÍNDEX

1. Definició del fenomen

- 1.1. Esfondraments
- 1.2. Subsidiència del terreny
- 1.3. Tubificació

2. Rellevància del fenomen a Catalunya

- 2.1. Historial dels esdeveniments més representatius
 - 2.1.1. Exemple de la conca lacustre de Banyoles
 - 2.1.2. Exemple de la conca potàssica catalana
- 2.2. Estimació de freqüències
- 2.3. Estimació quantitativa de l'impacte
 - 2.3.1. Nombre de víctimes
 - 2.3.2. Impacte sociocultural
 - 2.3.3. Despeses econòmiques
- 2.4. Estimació del perill en el territori

3. Estat actual del coneixement i de la gestió del risc

- 3.1. Estudis, informes i projectes tècnics
- 3.2. Cartografies i zonificacions
- 3.3. Projectes de recerca
- 3.4. Publicacions científiques

4. Valoració de l'estat actual del coneixement i de la gestió del risc

- 4.1. Principals administracions, organismes i entitats que treballen en esfondraments i subsidiències
- 4.2. Valoració de l'estat actual del coneixement científicotècnic
 - 4.2.1. Estudis, informes i projectes tècnics
 - 4.2.2. Cartografies i zonificacions
 - 4.2.3. Aportacions de la recerca
- 4.3. Valoració de les accions en la gestió del risc
 - 4.3.1. Accions en el camp de la prevenció
 - 4.3.2. Accions en el camp de la protecció
 - 4.3.3. Accions en el camp de la predicció
 - 4.3.4. Educació i divulgació
- 4.4. Punts forts i febles

5. Recomanacions per a una gestió sostenible del risc

- 5.1. Bases de dades
- 5.2. Cartografies
- 5.3. Seguiment del risc
- 5.4. Inventari dels sectors amb risc
- 5.5. Zonificacions segons la perillositat
- 5.6. Eines jurídiques
- 5.7. Sistemes de vigilància: auscultacions
- 5.8. Regulació de les activitats que incrementen els moviments verticals del terreny
- 5.9. Anàlisi de la viabilitat d'implantar mesures d'envergadura per reduir el risc
- 5.10. Gestió d'emergències
- 5.11. Educació, divulgació i informació a la societat

Agraïments



1. Definició del fenomen

Aquest informe se centra en els riscos associats a processos que generen un enfonsament de la superfície del terreny: els esfondraments i les subsidències. Un altre procés de dimensions i d'abast reduïts és la tubificació.

1.1. Esfondraments

El procés d'esfondrament genera una depressió o forat format a la superfície del terreny.

Els esfondraments es classifiquen en dos grans tipus segons l'origen:

- **L'esfondrament per dissolució:** és la dissolució en superfície d'una litologia soluble per l'aigua superficial o de la pluja (figura 1C).
- **L'esfondrament per col·lapse:** es produeix pel col·lapse d'una cavitat generada en el subsòl. Hi ha dos tipus d'esfondraments per col·lapse segons la velocitat d'enfonsament:
 - **L'esfondrament gradual:** és la formació d'una depressió a la superfície del terreny a causa del col·lapse progressiu d'una cavitat del subsòl (figura 1A).
 - **L'esfondrament sobtat:** és la formació dràstica d'un forat a la superfície del terreny. En aquest cas, la cavitat existent al subsòl migra cap amunt fins que arriba a trencar dràsticament la superfície del terreny (figura 1B). És el procés d'esfondrament que genera més risc, ja que a mesura que la cavitat migra cap amunt, no hi acostuma a haver indicis a la superfície que alertin sobre aquest procés.

Un esfondrament és antròpic quan les cavitats del subsòl tenen un origen artificial. L'home pot induir la formació d'esfondraments mitjançant diverses activitats: mineria, execució d'obres subterrànies, extracció molt localitzada de l'aigua subterrània, emplaçament de construccions molt pesades damunt de roques amb cavitats, etc. En aquest informe d'expertesa es considera el risc d'esfondraments associats a processos naturals i a activitats antròpiques antigues i heretades en el context social actual. No s'analitzen els esfondraments causats per les obres d'enginyeria actuals, ja que aquests són deguts a problemes estrictament geotècnics i no de perillositat natural.

1.2. Subsidència del terreny

La subsidència del terreny és l'assentament gradual d'extenses superfícies (quilòmetres quadrats) del terreny sense la necessitat que hi hagi cavitats en el subsòl. Les dues causes principals de les subsidències del terreny a Catalunya són la compactació del terreny pel seu propi pes en els deltes i l'extracció de l'aigua subterrània.

1.3. Tubificació

La tubificació és el procés de formació de conductes amb diàmetres de dimensions centimètriques a decimètriques en terrenys detrítics o lutítics. La causa de la tubificació es pot atribuir a l'arrossegament de les partícules de sòl en els llocs on es concentra la circulació de les aigües



subsuperficials. Aquest procés pot causar desperfectes en algunes estructures, com la xarxa de clavegueram, petits assentaments diferencials en edificis amb fonamentacions mal dissenyades, cultius, erosió del sòl, etc.

Les petites dimensions del procés de tubificació fan que comportin un perill poc rellevant.

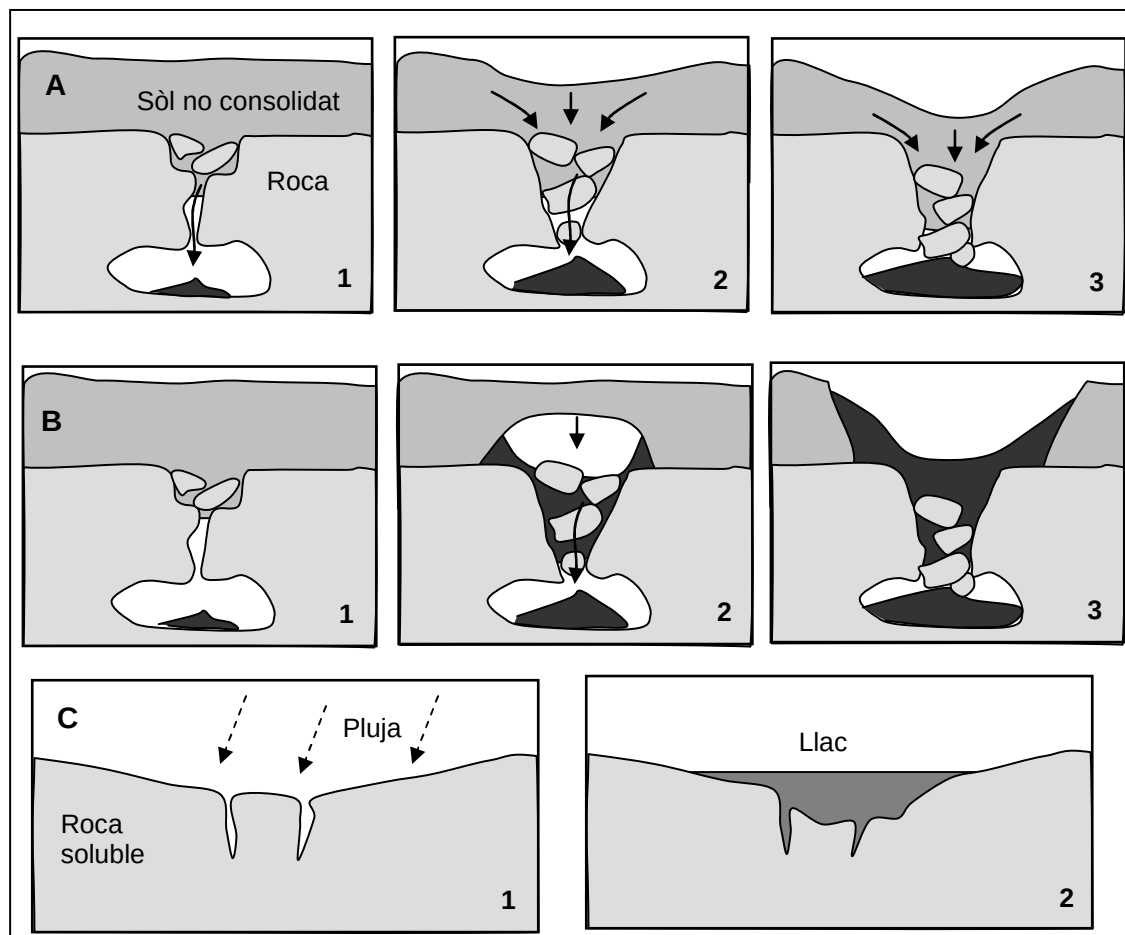


Figura 1: Seqüències esquemàtiques de la formació d'esfondraments: (A) per col·lapse gradual, (B) per col·lapse sobtat, i (C) per dissolució en la superfície del terreny. Figures modificades de <http://www.sinkhole.com>.

2. Rellevància del fenomen a Catalunya

En el territori català, s'han identificat vuit zones afectades per esfondraments i tres per subsidències del terreny (figura 2) que han afectat o afecten zones urbanes. Cal tenir en compte que el nombre de zones afectades es podria incrementar a partir d'estudis específics d'àmbit local.

2.1. Historial dels esdeveniments més representatius

Les localitats més representatives que presenten un registre històric més llarg d'esdeveniments són la conca lacustre de Banyoles i la conca potàssica catalana.



Figura 2: Situació dels municipis amb esfondraments (color vermell a la figura) i les zones amb subsidència (color blau a la figura) que han afectat zones urbanes i/o infraestructures.

2.1.1 Exemple de la conca lacustre de Banyoles

L'estany de Banyoles i els seus estanyols s'alimenten de les aigües subterrànies procedents dels Pirineus, més exactament de l'Alta Garrotxa. En aquest sector dels Pirineus aflora una formació potent i extensa de calcàries que continua en profunditat cap al sud fins que queda tallada per una falla vertical a l'alçada de Banyoles. A Banyoles, una formació potent de guixos cobreix aquesta extensa formació de calcàries. L'aigua superficial s'infiltra als Pirineus i, després, circula a través dels conductes càrstics existents a l'interior de la formació calcària fins a arribar al subsòl de Banyoles, lloc on l'aigua puja cap a la superfície. L'ascens de l'aigua dissol els guixos i forma grans cavitats. Els col·lapses d'aquestes cavitats originen esfondraments que s'omplen ràpidament d'aigua i formen estanys i estanyols.

Corominas a *Història Natural dels Països Catalans*¹ cita la presència de diversos esfondraments històrics. El 27 d'octubre de 1904 es va manifestar un esfondrament que va originar un tremolor de les aigües del llac. A les rodalies de Sant Miquel de Campmajor es va formar un estanyol l'any 1908, i un altre el 1982. L'any 1978 es va produir un altre estanyol a tocar del llac de Banyoles. Recentment, s'ha hagut de reparar diverses vegades la carretera de Banyoles a Olot a causa dels esfondraments. També cal esmentar que les obres de les infraestructures dels jocs olímpics de l'any 1992 es van trobar problemes geotècnics per esfondraments del terreny.

¹ COROMINAS, J. "Els riscos geològics", a *Història Natural dels Països Catalans*. Barcelona: Enciclopèdia Catalana, Vol. 3. 1985. pàg. 225-270.



2.1.2 Exemple de la conca potàssica catalana

L'exemple més representatiu en què els esfondraments han causat un risc evident a la població és, sens dubte, la conca potàssica catalana. El sector oriental de la conca potàssica catalana, situada a la comarca del Bages, ha estat intensament explotada al llarg de la història. Hi ha indicis que els romans ja van explotar les sals de les formacions salines del Bages. L'explotació es va intensificar al llarg del segle XX, quan es va descobrir l'existència de potassa a nivells profunds. L'explotació màxima s'ha realitzat entre els anys quaranta i vuitanta. A partir dels anys noranta, l'explotació ha anat minvant tot deixant una densa xarxa de mines susceptibles de col·lapse.

Des de l'inici del segle XX, s'ha percebut la presència d'esfondraments a la superfície del terreny causades pel col·lapse de les cavitats mineres del subsòl. Però és a partir del final del segle XX que els esfondraments han comportat un risc per a la població, afectant zones urbanes i amenaçant la xarxa fluvial.

Tres poblacions són les afectades intensament per esfondraments: Sallent, Súria i Cardona (figura 3).

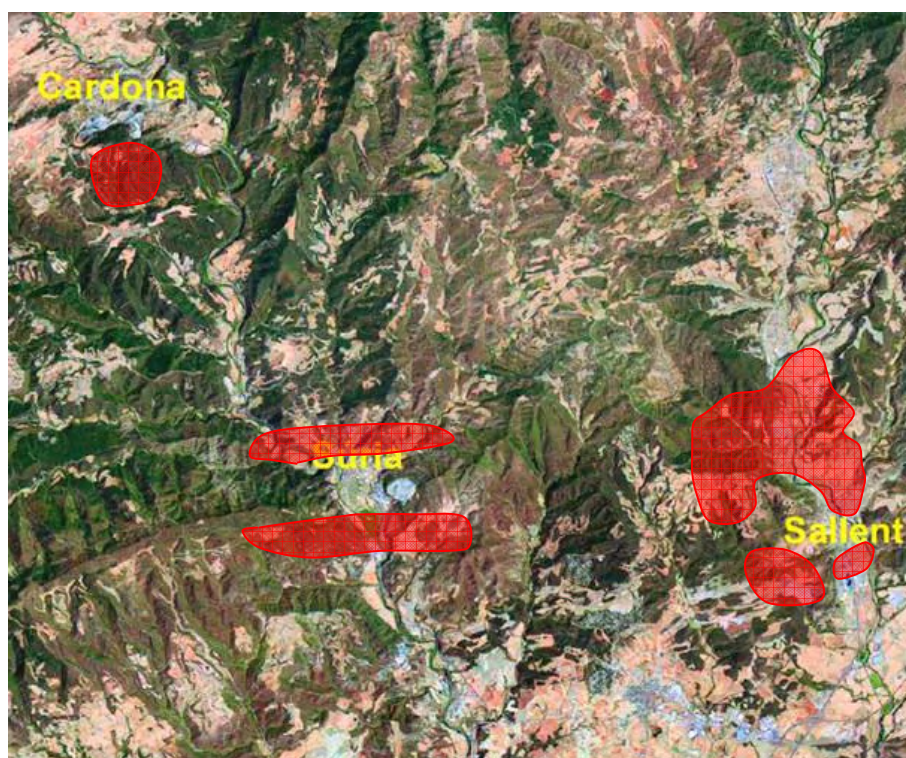


Figura 3: Situació aproximada de les àrees minades en el subsòl del Bages, representada amb una superfície de color vermell. Informació extreta de la pàgina web <http://www.icc.es>.

Sallent

Els barris de l'Estació i de la Rampinya de Sallent es van construir sobre una antiga àrea minada que va iniciar l'explotació de potassa l'any 1932. Les inundacions freqüents de la mina per la infiltració de l'aigua procedent del riu Llobregat van obligar-ne el tancament l'any 1973.



El col·lapse de les mines, ara abandonades, produeix un procés d'esfondrament progressiu del terreny. A més, l'aigua d'infiltració pot dissoldre les sals, eixamplar les cavitats i accelerar el procés d'esfondrament.

A partir de l'any 1996, apareixen esquerdes als edificis del barri de l'Estació que amenacen llurs estructures, fet que obliga a vigilar l'evolució del procés d'esfondrament. La vigilància, duta a terme per l'Institut Geològic de Catalunya, es realitza a partir d'extensòmetres, de mesures de nivellació mensual i la comparació d'imatges mitjançant interferometria de radar (tècnica dinSAR). Els estudis efectuats per l'Institut Geològic mostren un esfondrament gradual màxim de l'ordre de 2,5 cm/any. Aquest esfondrament ha malmès greument diversos edificis, molts dels quals s'han desallotjat i enderrocats.

Súria

Des dels anys vint, la població ha anat observant l'aparició de forats a la superfície del terreny al voltant de la zona urbana de Súria. Aquests forats s'han generat, possiblement, pel col·lapse sobtat de les mines del subsòl.

A la zona de les Hortes, a prop del poble, van aparèixer esfondraments sobtats cap als anys quaranta. Els esfondraments es van intensificar a prop del barri dels Joncarets als anys vuitanta. Fins ara, els esfondraments han afectat només terrenys catalogats com a rústics, però han limitat l'expansió de la zona urbana. Actualment, l'aparició d'esfondraments sobtats és un fet freqüent a Súria.

Cardona

Els esfondraments sobtats han comportat un risc geològic i ambiental evident en el municipi de Cardona. Els esfondraments se solen situar a tocar del riu Cardener i l'amenacen amb l'engoliment de les aigües. Una de les solucions adoptades ha estat desviar el riu Cardener a través d'un túnel, fet que ha generat un important impacte ambiental.

2.2. Estimació de freqüències

Tenint en compte que els esfondraments i les subsidències són continus temporalment, no es pot aplicar estrictament el concepte de freqüència. En el cas particular dels esfondraments es pot fer una estimació aproximada de la mitjana de temps existent entre dos casos d'esfondraments amb danys.

Durant el segle xx s'han registrat 14 esdeveniments, amb una mitjana d'un esdeveniment cada set anys (taula 1). Des de la dècada dels vuitanta fins ara s'han constatat 8 casos d'esfondraments, fet que dona una mitjana d'un esdeveniment amb danys cada tres anys.

El nombre més alt d'esdeveniments registrats en períodes de temps més recents es pot atribuir a diversos aspectes: l'ocupació d'àrees exposades, l'acceleració dels moviments verticals del terreny a causa d'algunes activitats (mineria, extracció d'aigua subterrània, etc.), i la difusió i l'accessibilitat més grans dels esdeveniments per part dels mitjans de comunicació (Internet, TV, premsa, etc.).



Localitat	Esdeveniments
Pantà de Foix	1913
Banyoles	1904, 1908, 1978, 1982 i 1990
Besalú	anys noranta
Sallent	1996
Súria	1920, 1940 i 1980
Cardona	anys noranta
Sant Sadurní d'Anoia	2000
La Bisbal del Penedès	anys vuitanta

Taula 1: Esdeveniments d'esfondraments a les diferents localitats afectades.

2.3 Estimació quantitativa de l'impacte

L'estimació quantitativa de l'impacte es tracta des de tres punts de vista: el nombre de víctimes, les despeses econòmiques i l'impacte sociocultural.

2.3.1 Nombre de víctimes

A la informació consultada per fer aquest informe no s'ha constatat cap víctima atribuïble directament a esfondraments o subsidències.

2.3.2 Impacte sociocultural

La subsidència i l'esfondrament són dos moviments verticals del terreny que presenten un impacte sociocultural diferent.

Subsidència

A l'entorn geogràfic de la Mediterrània occidental, i sobretot a Catalunya, la població s'ha anat desplaçant cap a la costa. És ben evident que durant el segle XX les poblacions costaneres de Catalunya han manifestat una expansió enorme de les zones urbanes i industrials, que han arribat a ocupar àrees litorals exposades a subsidències. La major part d'aquestes subsidències litorals tenen l'origen en l'extracció d'aigua subterrània.

La subsidència és un fenomen lent que és gairebé imperceptible sobre la superfície del terreny i, per tant, la població afectada no acostuma a adonar-se'n, o bé ja està acostumada a conviure amb aquest fenomen. L'impacte més evident és l'aparició de patologies a les estructures dels edificis i infraestructures que, fins ara, no acostumen a ser molt greus. En alguns casos, l'enfonsament del terreny produeix canvis topogràfics que afavoreixen la inundació freqüent de les zones més



deprimides. No obstant això, tenint en compte que la subsidència no repercuteix en víctimes sinó, bàsicament, en el deteriorament de les estructures dels edificis, aquest fenomen té un impacte social i cultural baix.

En el cas del delta de l'Ebre, tot i que la subsidència prové d'un fenomen totalment natural lligat a la compactació dels mateixos sediments, la població demana actuacions a les administracions perquè la contraresti. Contrarestar la subsidència passa inevitablement per suplir les aportacions de sediments fluvials del Delta. És un problema evident i recent que necessita una coordinació entre diferents administracions, moltes de fora de Catalunya, i proposar tècniques hidràuliques encara poc conegudes.

El baix impacte sociocultural de la subsidència que hi ha en tot l'entorn global de Catalunya, afegit al baix risc que tenen els ciutadans, ha influït en les administracions. Avui, es demanen solucions geotècniques a les noves obres per reduir els efectes de la subsidència. No obstant això, es desconeix l'afecció global d'aquest fenomen i les seves repercussions econòmiques.

Esfondraments per col·lapse

L'esfondrament, brusc o gradual, que experimenta la superfície del terreny pot generar danys molt importants en edificis i infraestructures (carreteres, ferrocarrils, preses, etc.) i, fins i tot, causar víctimes mortals. La rapidesa de la formació d'un esfondrament i la possibilitat que es formi un forat capaç d'ensorrar un edifici alarmen enormement la població afectada.

A Espanya, l'impacte socioeconòmic que tenen els esfondraments és elevat, i Catalunya no n'és l'excepció. A Catalunya, gran part de l'origen dels esfondraments és directament o indirectament antròpic. L'exemple més espectacular és a la conca potàssica catalana. Els esfondraments de la conca potàssica estan causats, bàsicament, per cavitats subterrànies originades per explotacions mineres. El barri de l'Estació de Sallent, la major part dels habitants del qual són d'origen immigrant, es va crear per un creixement urbanístic desmesurat que va ocupar terrenys minats en fondària. En aquest cas, la forta pressió urbanística i l'escàs control per part de l'Administració han conduït cap a aquesta situació, que actualment marca extremadament la població afectada del Bages.

2.3.3. Despeses econòmiques

La subsidència és un fenomen considerat gairebé com a anecdòtic per la població de Catalunya. Per tant, la població acostuma a conviure amb aquest fenomen sense valorar els aspectes econòmics que comporta. Els desperfectes dels edificis en àrees subsidents solen ser costejats pels propietaris i, en casos comptats, per asseguradores. Diferenciar les patologies produïdes per la subsidència respecte d'altres causes (estructural, mala execució geotècnica, obres a la proximitat, etc.) és una tasca tècnica laboriosa. És probable que si es fes un registre adequat d'aquestes pèrdues es podrien obtenir quantitats econòmiques globals considerables.

Respecte als esfondraments, hi ha alguna dada quantitativa quan el fenomen presenta un risc a zones urbanes i les despeses directes recauen en l'Administració. En el cas del barri de l'Estació de Sallent, el Departament de Medi Ambient i Habitatge va decidir desallotjar sis edificis afectats l'any 2004. Un total de 333 llars estaven afectades per esfondraments en aquest barri, de les quals 224 estaven ocupades i els habitants s'han anat reallojant en nous edificis de protecció oficial. En un acord del Govern del 27 de desembre de 2005 es va preveure destinar 14 milions d'euros per



compensar econòmicament 172 propietaris afectats. Les despeses es podrien anar incrementant si es tinguessin dades quantitatives sobre les despeses indirectes dels propietaris, les reparacions efectuades en infraestructures, les pèrdues del valor del terreny edificable, etc. Per tant, és possible que mitjançant un estudi aprofundit s'obtinguessin despeses molt remarcables.

2.4. Estimació del perill en el territori

El mapa de la figura 4 representa, de manera informativa, les àrees del terreny que són susceptibles a la formació d'esfondraments i de subsidències. Aquesta susceptibilitat representa la propensió del terreny a formar esfondraments (graduals o sobtats) i/o subsidències. A partir de les característiques litològiques del substrat s'ha considerat quatre nivells de susceptibilitat: alta (color vermell), mitjana (color taronja), baixa (color groc) i no detectada (color blanc).

La **susceptibilitat alta** està representada per:

- Guixos i/o sals de la conca potàssica catalana, de Banyoles i de l'anticlinal de Barbastro.
- Deltres recents: de l'Ebre, del Llobregat, del Besòs, de la Tordera i la plana de l'Empordà.

La **susceptibilitat mitjana** representa les àrees del terreny on afloren formacions lutítiques potents. En aquests llocs, l'extracció desmesurada d'aigua subterrània pot comportar la formació d'esfondraments graduals i subsidències. Aquestes zones són la depressió central, la depressió del Vallès-Penedès, l'Alt Camp, el Gironès, la Cerdanya, el Baix Camp, el Maresme i el Barcelonès, entre d'altres.

Les zones de **susceptibilitat baixa** representen les formacions calcàries potents i conglomerats. Aquestes zones són els massissos calcaris prepirinencs, gran part de la serralada Prelitoral i el massís del Garraf, entre d'altres. Cal tenir en compte que en algunes zones de susceptibilitat baixa hi pot haver un karst subterrani que, localment, pot afavorir la formació de dolines, o bé generar problemes geotècnics importants quan hi ha una sobrecàrrega al terreny (instal·lació d'edificis, grans indústries, etc.).

A les **zones de susceptibilitat no detectada**, o negligible, afloren formacions granítiques i metamòrfiques que difícilment formaran esfondraments i/o subsidències. Aquestes zones són l'eix axial del Pirineu i gran part dels massissos de la serralada Litoral (la Selva, Montnegre-Corredor, Collserola i Priorat, entre d'altres).

En el mapa de la figura 4 es pot apreciar que més del 80 % del territori català pot ser susceptible, amb més o menys grau, a la formació d'esfondraments i/o subsidències. El 40 %, aproximadament, està catalogat amb nivells alt i mitjà de susceptibilitat. Gairebé el 10 % del territori està catalogat amb una susceptibilitat alta.

Cal destacar que gran part de les zones més intensament urbanitzades ocupen terrenys catalogats amb una susceptibilitat mitjana i alta, com és el cas dels deltes del Llobregat i del Besòs.

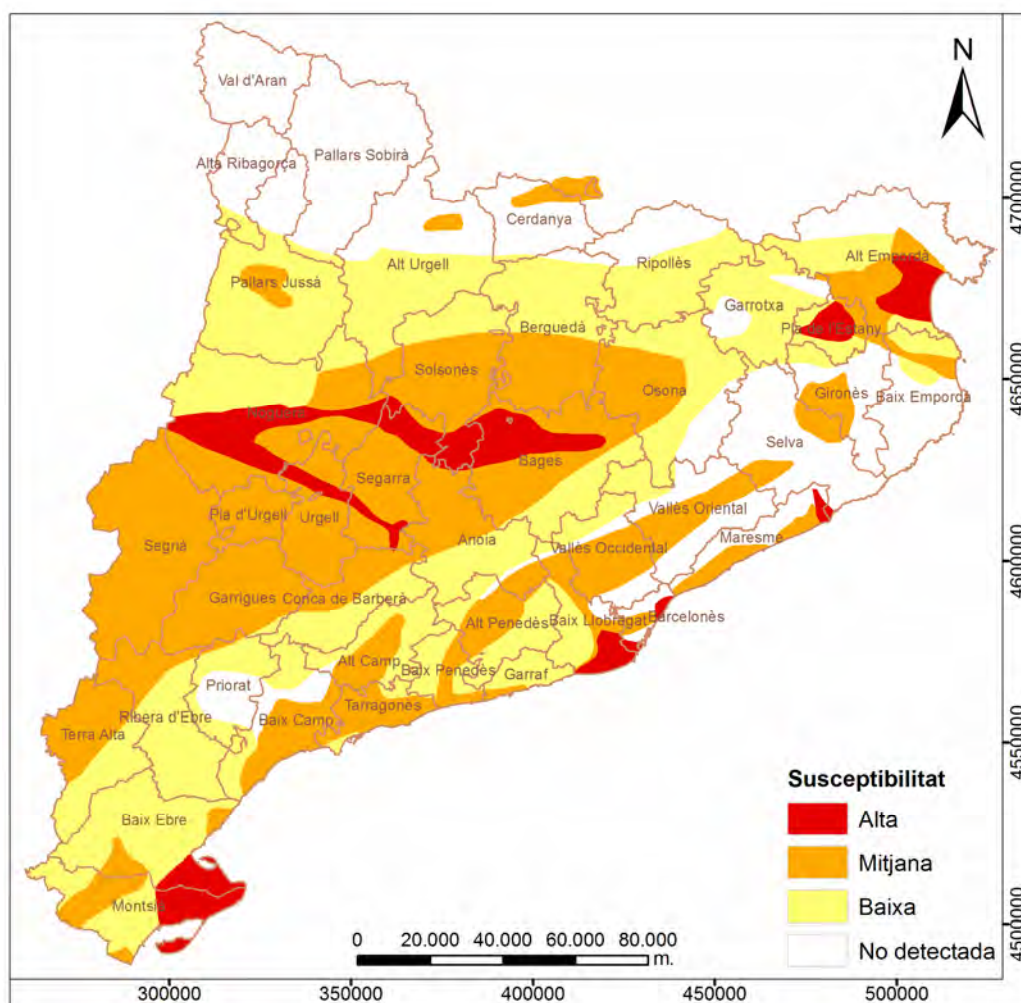


Figura 4: Mapa de la susceptibilitat per generar esfondraments i subsidències del terreny a Catalunya. La definició de les classes de susceptibilitat està exposada al text.

3. Estat actual del coneixement i de la gestió del risc

L'objectiu d'aquest apartat és recollir, inventariar i catalogar informació, materials i accions respecte a l'estat actual del coneixement i de la gestió del risc sobre esfondraments i subsidències a Catalunya. El treball de recopilació queda representat a la base de dades RISKCAT en format electrònic.

Els materials d'aquest inventari s'agrupen en quatre grans conjunts: informes, cartografies, projectes i publicacions.

No s'ha trobat cap base de dades relacionada directament amb el perill d'esfondraments ni de subsidències.



3.1. Estudis, informes i projectes tècnics

El conjunt d'informes recull els treballs efectuats des del principi dels anys noranta. A grans trets, es poden diferenciar els tipus d'informes següents:

- **Estudis i informes tècnics relacionats de manera directa o indirecta amb la subsidència del terreny.** Són treballs encarregats per empreses, institucions i administracions locals que tenen com a objectiu avaluar la subsidència del terreny induïda per l'execució d'una obra o per extraccions d'aigua. Aquests treballs, realitzats a la Universitat Politècnica de Catalunya i a l'Institut Jaume Almera (CSIC), se centren en els deltes del Llobregat i del Besòs. Alguns d'aquests estudis analitzen directament la subsidència del terreny abans de la implantació d'una obra especialment sensible. Els exemples els trobem als deltes de l'Ebre, del Besòs i del Llobregat, i en l'execució del Sincrotró al Vallès.
- **Informes tècnics i estudis que analitzen el perill de l'esfondrament del terreny** a la conca potàssica catalana, realitzats per l'Institut Geològic de Catalunya conjuntament amb l'Institut Cartogràfic de Catalunya.
- **Informes tècnics relacionats amb el monitoratge o l'auscultació de l'esfondrament del terreny** en els sectors de més risc de la conca potàssica catalana, especialment a Sallent, realitzats per l'Institut Geològic de Catalunya i l'Institut Cartogràfic de Catalunya.
- **Estudis indirectament relacionats amb la tubificació del terreny.** Com a representació, hi ha un estudi encarregat per FECSA a la Universitat de Barcelona que detecta el perill de la presa de Sant Llorenç de Montgai per l'efecte de la tubificació sota la presa.
- **Dictàmens preliminars d'identificació del perill per a plans d'urbanisme municipals (POUM).** Per encàrrec de la Direcció General d'Urbanisme (DGU), l'Institut Geològic de Catalunya (IGC) fa dictàmens tècnics d'identificació de les zones exposades al perill geològic en els municipis que tenen un pressupost econòmic baix per redactar el seu POUM. En aquests treballs s'analitzen els esfondraments, entre altres fenòmens d'origen natural.

3.2. Cartografies i zonificacions

Les cartografies que representen les zones exposades a esfondraments es troben en el Mapa comarcal de prevenció de riscos geològics, a escala 1:50.000. Fins al 2005 s'han fet els mapes de 13 comarques de muntanya. S'hi representen diferents fenòmens naturals entre els quals hi ha els esfondraments. Els ha fet l'Institut Geològic de Catalunya i són de consulta restringida.

3.3. Projectes de recerca

Amb relació als projectes, hi ha dos grans grups dirigits a desenvolupar projectes de recerca: l'Institut de Geomàtica i l'Institut Cartogràfic de Catalunya.

- Durant els anys 2000, l'**Institut de Geomàtica** ha desenvolupat quatre grans projectes, tots dirigits a analitzar la fiabilitat i les possibles millores de l'aplicació de tècniques de sensors remots per monitoritzar zones subsidents del terreny. La zona metropolitana de Barcelona, la conca potàssica catalana, el Vallès i el delta del Llobregat han estat, bàsicament, les zones



pilot estudiades en aquests projectes. La principal tècnica aplicada ha estat la Interferometria de radar mitjançant satèl·lit (dinSAR)

- En el marc del projecte interregional RISCMASS, l'Institut Cartogràfic de Catalunya ha estat monitoritzant la superfície del terreny de Sallent i Cardona mitjançant Interferometria radar, estudis geofísics i l'establiment d'una xarxa d'anivellació. La finalitat és definir models de moviments del sòl, elaborar mapes de riscos i analitzar les polítiques d'assegurances.

3.4. Publicacions científiques

S'han catalogat 14 publicacions des del final de la dècada dels vuitanta fins ara (figura 5). Aquestes publicacions són, bàsicament, articles a revistes especialitzades i llibres, que es poden agrupar en dues classes:

- **Anàlisi del perill d'esfondraments a l'àrea de Banyoles i Besalú.** Aquests articles, realitzats bàsicament per la Universitat de Girona i l'Institut Jaume Almera (CSIC), mostren un inventari dels fenòmens i, alguns, mapes de perill.
- **Anàlisi de l'aplicació de la metodologia d'interferometria de radar mitjançant satèl·lit (dinSAR) per a la detecció de zones urbanes amb subsidència i esfondraments graduals.** Aquestes publicacions, realitzades per l'Institut de Geomàtica i l'Institut Cartogràfic de Catalunya, tenen com a objectiu bàsic l'anàlisi de la potencialitat del mètode més que no pas l'anàlisi del perill existent. Els llocs analitzats es troben bàsicament al delta del Llobregat, a la ciutat de Barcelona i a alguns nuclis urbans del Vallès.

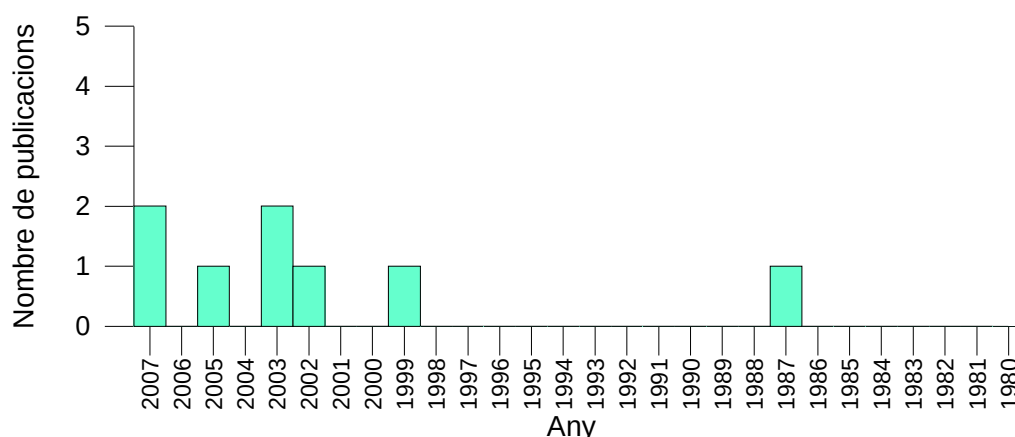


Figura 5: Registre del nombre de publicacions sobre esfondraments i subsidències a revistes especialitzades i llibres.

4. Valoració de l'estat actual del coneixement i de la gestió del risc

Aquest apartat té com a objectiu discutir i valorar el treball que s'està efectuant amb relació als fenòmens de la subsidència i de l'esfondrament, com també de la gestió del seu risc.



4.1 Principals administracions, organismes i entitats que treballen en esfondraments i subsidències

Hi ha diversos organismes i institucions que han treballat o treballen en el camp de la subsidència i els esfondraments. Els més destacables són:

- Organismes i entitats de la Generalitat de Catalunya:
 - **Institut Geològic de Catalunya (IGC)**, integrat en el Departament de Política Territorial i Obres Públiques (DPTOP). Segons la Llei 19/200, publicada al DOGC 4543, té competències per estudiar i donar suport a la Generalitat en aspectes relacionats amb els riscos geològics.
 - **Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC)**, integrat en el DPTOP. Ha analitzat els moviments verticals del terreny de la conca potàssica catalana a partir de tècniques geomàtiques.
 - **Institut de Geomàtica (IG)**, que és un consorci públic entre la Generalitat de Catalunya i la Universitat Politècnica de Catalunya. Comença a treballar a partir de l'any 1999 en el desenvolupament tecnològic d'eines dirigides a detectar i mesurar terrenys amb subsidència i esfondraments graduals.
 - **Direcció General d'Urbanisme (DGU)**, integrada en el DPTOP. La DGU redacta els plans d'ordenament urbanístic municipals (POUM) per als petits municipis. La DGU encarrega a l'IGC els informes dirigits a identificar i delimitar les zones afectades per riscos geològics necessaris per a la redacció dels POUM.
- Empreses públiques de la Generalitat de Catalunya:
 - **Gestió d'Infraestructures, SA (GISA)**, del DPTOP. És l'empresa gestora de la construcció d'infraestructures promocionades per la Generalitat. La redacció dels estudis i projectes i l'execució de les obres es liciten a partir de concurs públic. Fa recerca per desenvolupar metodologies de treball per controlar el risc geotècnic i estructural associat a esfondraments.
 - **Geocat GP** (abans RSE Aplicaciones Territoriales). Empresa gestora i redactora de zonificacions, estudis i projectes tècnics per encàrrec de l'IGC.
- Administracions locals: Sant Adrià de Besòs i Barcelona, entre d'altres.
- Centres públics i empreses privades que fan recerca:
 - **Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica (DETCG)** de la Universitat Politècnica de Catalunya. Ha fet diversos projectes de recerca i estudis



tècnics hidrogeològics en què puntualment s'estudia la subsidència del terreny per l'extracció d'aigua subterrània. També fa recerca en tècniques d'auscultació geomàtica.

- **Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica (DGPP)** de la Universitat de Barcelona. Aplica tècniques per detectar cavitats subsuperficials i subterrànies.
- **Departament de Ciències Ambientals (DCA)** de la Universitat de Girona. Ha estudiat els esfondraments de Besalú.
- Algunes empreses privades i entitats han redactat informes tècnics i cartografies relacionats amb esfondraments i subsidències (Grup de recerca GEOCAMP, Altamira, DETGC...).
- Diverses plataformes no governamentals fan activitats divulgatives per fomentar la sensibilitat de la població i proposen mesures d'actuació. La plataforma **Monsalat** fa activitats de difusió sobre la problemàtica ecològica i geològica de les extraccions mineres de la comarca del Bages. Les **plataformes cíviques de les Terres de l'Ebre** manifesten que la velocitat de regressió i subsidència del delta de l'Ebre es poden reduir amb una diferent gestió del pantans del tram inferior del riu Ebre.

4.2. Valoració de l'estat actual del coneixement científicotècnic

En aquest apartat s'analitza l'aplicació dels coneixements científics i tècnics en la realització dels estudis tècnics i les zonificacions.

4.2.1. Estudis, informes i projectes tècnics

Els estudis tècnics i informes són de diferents tipus en funció de l'entitat que els ha redactat:

- Els estudis de l'IGC estan dirigits a analitzar la causa dels esfondraments i a aplicar tècniques de seguiment. El treball es desenvolupa des de diferents punts de vista: geològic, geomorfològic i geomàtic. L'aplicació de tècniques geomàtiques s'ha desenvolupat conjuntament amb l'ICC.
- El DGPP ha utilitzat criteris geològics, conjuntament amb l'aplicació de tècniques geofísiques, per detectar cavitats subterrànies (vegeu l'apartat 4.2.3.).
- El Dr. Jesús Carrera, des del DETCG, ha elaborat molts estudis que analitzen la compactació del terreny a causa de l'extracció d'aigua subterrània. Aquesta compactació provoca la subsidència del terreny, que parcialment es restableix quan es recarrega un altre cop l'aquífer. El treball es desenvolupa des d'un punt de vista hidrològic i geotècnic, aplicant modelitzacions numèriques.
- Dictàmens preliminars d'identificació del perill geològic que efectua l'IGC per a la redacció dels plans d'ordenació urbanística municipal.



Els fenòmens d'esfondraments i subsidències s'han treballat aplicant diferents tècniques: geològiques, geotècniques, hidrològiques, geofísiques i geomàtiques (anivellament topogràfic, teledetecció mitjançant imatges de satèl·lit, etc.). En molts treballs hi ha hagut un lligam estret entre la recerca, el desenvolupament tecnològic i les necessitats tècniques. Malgrat tot, manquen mètodes d'anàlisi d'avaluació de la perillositat d'esfondraments i de subsidències, així com la quantificació del risc en els sectors urbanitzats.

4.2.2. Cartografies i zonificacions

La cartografia internacional més usual, inclòs Catalunya, és la de les velocitats de subsidència a partir de l'aplicació de la tècnica d'interferometria de radar (dinSAR) mitjançant la comparació d'imatges de satèl·lit seriadades de diferents anys.

L'IGC ha elaborat entre els anys 2002 i 2005 el Mapa comarcal de riscos geològics a escala 1:50.000, que cobreix parcialment Catalunya. En aquest mapa es consideren els esfondraments i les subsidències, a més d'altres fenòmens geològics que comporten risc. Per a la identificació de les zones exposades al perill d'esfondraments i subsidències s'utilitzen criteris geològics (formacions susceptibles de generar esfondraments i subsidències) i geomorfològics, però no se n'analitza la perillositat. També hi integren els resultats d'estudis tècnics i de les auscultacions realitzades en els sectors més problemàtics.

Tenint en compte el material existent, hi ha una escassetat de mètodes d'anàlisi de la perillositat d'esfondraments i de subsidències.

A partir de l'any 2007, l'IGC ha començat un conjunt de cartografies i zonificacions a escala 1:25.000 de tot Catalunya en 12 anys, que s'anomenen "geotreballs". Un dels mapes previstos en els geotreballs és el Mapa de prevenció de risc geològic (MPRG), que considera el perill d'esfondraments i de subsidències. Aquestes zonificacions són una oportunitat immillorable per desenvolupar tècniques i mètodes de treball dirigits a avaluar la perillositat dels esfondraments i de les subsidències.

4.2.3 Aportacions de la recerca

A Catalunya, la recerca en esfondraments i subsidències es desenvolupa en institucions de la Generalitat i en centres de recerca.

D'una banda, l'IGC i l'ICC fan treballs de recerca que tenen una aplicació tècnica en el sector del Bages (conca potàssica catalana), en el marc del projecte RISCMASS. Un dels objectius d'aquest treball de recerca és aplicar tècniques (mesures d'anivellament topogràfic, extensometria, interferometria de radar mitjançant satèl·lit...) per mesurar la velocitat del moviment i fer un seguiment del risc.

D'altra banda, l'IG analitza l'aplicació de la tecnologia dinSAR per detectar moviments verticals del terreny (esfondraments graduals i subsidències) dels darrers 15 anys en zones urbanes. Els sectors estudiats, fins ara, són la zona metropolitana de Barcelona (especialment els deltes del Llobregat i del Besòs), alguns sectors del Vallès, i la conca potàssica catalana.



El DGPP desenvolupa treballs amb un gran lligam entre una solució tècnica i la recerca a fi de detectar cavitats. Han aplicat diverses tècniques amb èxit: Mètode EM-34 que emet ones de ràdio al subsòl basat en el mètode FDEM (**Frequency Domain Electromagnetic Method**), radar de subsòl, tomografies elèctriques i microgravimetria. Les reunions d'aquest grup consideren un èxit en aquesta recerca la detecció d'un procés de tubificació sota la presa de Sant Llorenç de Montgai, ja que la detecció és una anticipació de l'esfondrament per dissolució de guixos.

El DCA de la Universitat de Girona ha desenvolupat una recerca a l'àrea de Besalú per zonificar el terreny segons la perillositat.

L'empresa pública GISA està treballant en el marc del projecte europeu SANY, amb els objectius següents: (a) validar metodologies d'auscultació d'esfondraments i de subsidències, (b) desenvolupar mètodes de treball aplicables a casos reals, i (c) facilitar el contacte de les empreses catalanes amb els centres de recerca i les empreses estrangeres.

És evident que les línies de recerca van dirigides a analitzar l'aplicabilitat de les noves tecnologies per detectar i mesurar els esfondraments i la subsidència. Cal destacar com a punt fort que, a Catalunya, la recerca en esfondraments i la subsidència va molt lligada a casos reals; cosa que permet d'avançar en l'obtenció de tècniques i mètodes de treball aplicables als estudis tècnics. D'altra banda, hi ha una recerca escassa en l'avaluació de la perillositat i el risc dels esfondraments i la subsidència.

4.3. Valoració de les accions en la gestió del risc

Es pot entendre per acció el conjunt de treballs que tenen com a objectiu evitar l'augment del risc i/o contribuir a la reducció d'aquest risc. Les accions dutes a terme per gestionar el risc d'esfondraments i de subsidències s'han agrupat en diverses estratègies: la prevenció, la protecció, la predicció i l'educació.

4.3.1. Accions en el camp de la prevenció

La prevenció, o defensa no estructural, es basa a anticipar-se a l'aparició del risc. En el cas dels esfondraments i les subsidències hi ha dos tipus d'accions de prevenció bàsiques:

- La delimitació i caracterització de les àrees del terreny exposades al perill. Els resultats se solen exposar en cartografies o zonificacions, que són especialment útils per a la gestió dels usos del sòl.
- La prevenció, el cessament o el control d'algunes actuacions humanes que provoquen o acceleren els fenòmens de subsidència i/o d'esfondraments.

Cartografies

D'una banda, l'IGC ha identificat les zones exposades al perill d'una part de Catalunya a partir dels mapes comarcals de riscos geològics a escala 1:50.000 (d'ús restringit). En principi, aquestes cartografies han estat utilitzades pels plans territorials, però es desconeix si s'han utilitzat per decidir l'emplaçament d'infraestructures. L'escala i el cobriment parcial del territori en dificulten la utilització com a eina de gestió del risc.



D'altra banda, el DCA ha publicat en un article divulgatiu un mapa de perillositat d'esfondraments de l'àrea de Besalú. Es desconeix si s'ha arribat a utilitzar per a la gestió dels usos del sòl.

Actualment, manca una cartografia del perill d'esfondraments i de subsidències que abasti tot Catalunya i que tingui una difusió pública. Aquesta mancança es podrà solucionar mitjançant el Mapa de prevenció de risc geològic (MPRG) a escala 1:25.000 que desenvolupa l'IGC des de l'any 2007, i que necessitarà 12 anys per ser complet. Aquesta zonificació oferirà una primera informació sobre les zones exposades al perill d'esfondraments i de subsidències en tot el territori a una escala idònia. Per tant, serà una eina de prevenció indispensable per a la gestió del risc.

Control d'activitats que accelerin el procés

Les actuacions humanes, esdevingudes tant recentment com en el passat, són els principals factors que han provocat o accelerat els moviments verticals del terreny.

En el cas de la conca potàssica catalana, la principal causa de l'aparició d'esfondraments és l'explotació minera subterrània. El control de l'explotació minera podria restringir l'àrea afectada per esfondraments i desaccelerar-ne el moviment.

En el cas dels deltes del Llobregat i del Besòs, entre altres sectors, la subsidència és causada principalment per l'explotació dels aqüífers subterranis per al consum industrial. La disminució recent de l'activitat industrial ha comportat la recuperació parcial dels aqüífers, com és el cas del Besòs, però no ha comportat el restabliment del nivell original de la superfície del terreny, ja que un cop els sediments queden compactats en disminueix la porositat efectiva.

En un altre exemple, el delta de l'Ebre manifesta un procés de subsidència per la mateixa compactació natural dels sediments, que s'ha contrarestat durant força anys per la mateixa sedimentació dels aportaments del riu. Les preses construïdes al curs fluvial de l'Ebre han fet de trampa dels sediments transportats pel riu i, per tant, no hi ha una compensació de la subsidència al Delta. Aquesta subsidència accelera el retrocés de la línia de costa.

Malgrat que la prevenció o el control d'algunes actuacions poden frenar l'augment de les zones del terreny afectades per esfondraments i subsidències, a més de desaccelerar-ne el moviment, no hi ha reglamentació ni normativa estrictes a aquest respecte.

4.3.2. Accions en el camp de la protecció

Les estratègies de protecció tenen com a objectiu reduir el risc dels elements exposats mitjançant l'execució d'estructures.

Hi ha diverses mesures de protecció estructurals per a esfondraments i subsidències que depenen de la magnitud del fenomen, de la velocitat i de la fondària a què es troba la formació geològica o estructura antròpica que causa el problema.

En el cas de les zones subsidents de la zona metropolitana de Barcelona, s'han executat fonamentacions profundes, injecció de formigó especial al subsòl (**jet-grouting**), compactacions prèvies del terreny abans de l'edificació, etc. Aquestes mesures, aplicades convenientment, són



suficients per disminuir el risc de les estructures emplaçades en terrenys amb subsidència, però poden no ser-ho en terrenys amb esfondraments, sobretot en esfondraments sobtats.

Algunes plataformes cíviques proposen mesures de gran envergadura de cara a reduir el perill. D'una banda, a la comarca del Bages es proposa el reompliment de les cavitats mineres mitjançant el runam i/o materials inerts. En el cas del retrocés i la subsidència del delta de l'Ebre, es proposa el buidat dels sediments que reomplen els embassaments o l'aplicació de sistemes de derivació (*bypass*). Hi ha alguna experiència similar en altres països amb problemàtiques similars però no exactament iguals. No obstant això, es desconeix si hi ha estudis tècnics sobre la viabilitat d'aquestes propostes en els casos concrets catalans.

4.3.3. Accions en el camp de la predicció

L'estratègia de predicció es basa en l'alerta temporal sobre **quan** hi pot haver una probabilitat més gran de desencadenar-se o d'accelerar el procés d'esfondraments i de subsidències.

Sallent és el lloc on s'han aplicat més tècniques per a la predicció i el control del moviment vertical del terreny. Arran del moviment de l'any 1995, l'IGC i el ICC han col·locat quatre extensòmetres, mesures d'anivellació topogràfica mensual i l'aplicació de tècniques de teledetecció (dinSAR).

L'estratègia de predicció per excel·lència a l'Institut de Geomàtica (IG) és la interferometria de radar (dinSAR), a partir de la comparació de les imatges satèl·lit de l'Eumetsat en els darrers 15 anys. Fins ara, han detectat subsidències a les rodalies de les mines de Súria (velocitats màximes de 4 cm/mes), al sud de Sabadell, a Sant Quirze del Vallès, a Santa Perpètua de Mogoda (aquests amb velocitats aproximades d'1 cm/any), el delta del Llobregat, especialment a Molins de Rei (entre 0,5 i 0,9 mm/any en el període comprès entre el novembre del 1995 i l'agost del 2000) i en sectors puntuals de la ciutat de Barcelona.

GISA està treballant conjuntament amb l'IG i l'empresa Altamira en un projecte que té per objectiu identificar els sectors de més subsidència i esfondraments graduals a les línies L9 i L5 del metro de Barcelona.

La Xarxa d'instrumentació oceanogràfica i meteorològica (XIOM), propietat de la Generalitat de Catalunya, és una xarxa de boies instal·lades a diferents punts de la costa catalana que ofereixen informació sobre l'onatge. La XIOM té punts de mesura en els sectors marins a tocar dels deltes de la Tordera, el Llobregat i l'Ebre, i del golf de Roses. Un dels objectius d'aquesta xarxa de boies és l'auscultació de la subsidència a llarg termini en el sector marí d'aquests deltes que mostren una subsidència per sobre de la línia de costa.

4.3.4. Educació i divulgació

En els continguts del currículum de la matèria "Ciències de la terra i del medi ambient" (modalitat "Ciències de la naturalesa i de la salut" de Batxillerat), que ha elaborat el Departament d'Educació, es consideren els riscos naturals i es fa menció específica dels esfondraments. A més, en alguns plans d'estudi universitaris es consideren els riscos geològics en la formació de professionals. En el cas de



l'ensenyament de ciències ambientals de la UdG es fa una menció especial als esfondraments de Besalú i Banyoles.

Com a exemple de països amb una important tasca divulgativa i educativa en esfondraments i subsidències hi ha els Estats Units. En aquest país, el Servei Geològic (USGS) desenvolupa una important tasca educativa escolar, amb l'edició de vídeos i llibres, conferències, etc.

L'educació i la divulgació a la població poden ser una estratègia eficient a llarg termini per fomentar l'autoprotecció i fer prendre consciència que algunes activitats poden accelerar els fenòmens de subsidència i esfondrament. Aquesta campanya educativa i divulgativa és recomanable que es faci en l'àmbit de l'escolarització obligatòria, a fi d'arribar i sensibilitzar tota la població més jove de les comarques més afectades.

4.4. Punts forts i febles

A partir de la valoració de l'estat actual del coneixement i de la gestió del risc s'ha extret una relació de punts forts (o oportunitats) i punts febles (o reptes), que s'exposen a la taula 2.

	Punts forts i oportunitats	Punts febles i amenaces
Estudis tècnics, Informes i projectes	La Generalitat ha documentat rigorosament l'esfondrament gradual dels barris de l'Estació i Rampinya de Sallent, del qual s'ha obtingut molta informació i experiència. Diverses administracions locals de la zona metropolitana de Barcelona encarreguen estudis per minimitzar el risc de subsidències per obres noves.	Manquen estudis sistemàtics de documentació d'esfondraments i de subsidències que incloguin l'impacte social, les despeses econòmiques i els danys. Fins ara, no hi ha metodologies homologades que permetin d'estandarditzar i assegurar la qualitat tècnica dels treballs.
Recerca	Mitjançant la recerca desenvolupada per l'IGC, l'ICC i l'IG s'ha obtingut un bon nivell de coneixement científicotècnic sobre mètodes de cartografia quant al perill i el seguiment dels moviments verticals del terreny.	La recerca dirigida a analitzar la perillositat i el risc encara és escassa.
	Punts forts i oportunitats	Punts febles i amenaces
Cartografies i zonificacions	L'IGC ha desenvolupat cartografies i zonificacions de la perillositat d'esfondraments a escala 1:50.000 en els mapes comarcals de risc geològic (MCRG).	Els mapes comarcals de risc geològic són d'ús restringit. S'han realitzat els MCRG de 13 comarques. Per tant, la cartografia no cobreix tot el territori.



	L'any 2007, l'IGC va iniciar la confecció del Mapa de prevenció de riscos geològics dins del programa "Geotreballs" a escala 1:25.000. En aquest mapa es poden incloure els esfondraments. El Mapa de prevenció de riscos geològics (1/25.000) té un calendari d'execució fixat. El Mapa de prevenció de riscos geològics (1/25.000) cobrirà tot el territori i substituirà el MCRG desenvolupat parcialment a una escala menys detallada.	Calen cartografies addicionals de la perillositat a escales més detallades de les zones urbanes més exposades que es puguin aplicar als POUM.
Bases de dades	Està en procés de confecció la base de dades de l'IGC (CEDAG), que recull tots els treballs relacionats amb esfondraments graduals i sobtats de Catalunya.	
Legislació	La Llei d'urbanisme considera els riscos geològics en els lplans d'ordenació urbanística municipal (POUM). Dins dels riscos geològics es consideren els esfondraments graduals i sobtats.	No hi ha una metodologia homologada que permeti l'homogeneïtzació de totes les zonificacions de perillositat efectuades en qualsevol municipi exposat. Manca un reglament que ofereixi significats als nivells de perillositat de cara a la urbanització i l'edificació.
Gestió i governança	L'IGC és la institució de la Generalitat que, per llei, té plena competència en els riscos geològics, en els quals es consideren els esfondraments. Hi ha un pla d'emergència local a Sallent del qual s'ha obtingut experiència.	No s'ha elaborat encara un pla especial d'emergències centrat en esfondraments que sigui útil per a la protecció civil en qualsevol punt exposat de Catalunya.
Divulgació i educació	L'educació sobre el risc d'esfondraments es preveu a l'ESO i en una matèria d'una de les modalitats de Batxillerat.	Falta sensibilitzar sistemàticament els nuclis de població exposada a esfondraments, per fomentar l'autoprotecció.

Taula 2: Punts forts i febles relacionats amb l'estat actual del coneixement científicotècnic i de les accions de gestió del risc.

5. Recomanacions per a una gestió sostenible dels riscos

Les recomanacions que s'exposen en aquest apartat estan dirigides a gestionar el risc d'esfondraments (graduals i sobtats) i subsidències de la forma més sostenible possible. Aquesta



sostenibilitat implica: la disminució i el control de la població exposada al risc (sostenibilitat social), la millor relació cost/benefici (sostenibilitat econòmica) i el respecte al medi ambient (sostenibilitat ambiental).

Per a una gestió sostenible del risc d'esfondraments i subsidències es considera adient de portar a terme els estudis tècnics, els plans de treball i les actuacions següents, bastants dels quals ja els està desenvolupant la Generalitat de Catalunya:

- Bases de dades de difusió pública.
- Cartografies informatives, principalment.
- Seguiment del risc.
- Inventari dels sectors amb risc.
- Zonificacions segons la perillositat.
- Establiment d'eines jurídiques.
- Implantació de proteccions estructurals i sistemes de vigilància
- Gestió d'emergències.
- Educació, divulgació i informació a la societat.

Tots aquests estudis, plans de treball i actuacions s'integren dins d'una proposta de pla de gestió del risc d'esfondraments i subsidències a Catalunya (figura 6). Els treballs es poden agrupar en funció de l'objectiu principal: (a) aportar un coneixement de les zones exposades i del risc existent, i (b) prevenir i mitigar el risc. Tres tipus d'accions de prevenció i mitigació es poden considerar: (a) les accions tècniques que requereixen la realització d'estudis tècnics i/o projectes per a la implantació, (b) la gestió d'emergències que estableixen els avisos, l'organització i els procediments d'actuació per fer front a emergències per esfondraments, i (c) les accions a la societat basades en l'educació, la divulgació i la informació.

5.1 Bases de dades

Els articles 38 i 39 del Projecte de reglament de desenvolupament parcial de la Llei 19/2005 de l'Institut Geològic de Catalunya, estableixen que aquesta entitat té l'objectiu de desenvolupar diverses bases de dades integrades a l'anomenat "Bases de dades del sistema d'informació geològica, edafològica i geotemàtica de Catalunya" (SIDEG). Una de les bases de dades és la informació relacionada amb riscos geològics; és el lloc on s'haurien d'integrar els esfondraments i les subsidències. Dins de l'IGC també hi haurà el Centre de Documentació i Arxiu Geològic (CEDAG), que recollirà la informació i documentació generada pel mateix IGC, per administracions i particulars sobre riscos geològics, entre altres aspectes.

Les bases de dades SIDEG que desenvoluparà l'IGC són les adequades per portar a terme una gestió sostenible dels riscos d'esfondraments i de subsidències. Mitjançant una bona difusió pública, la SIDEG serà de gran ajuda als professionals (privats i administratius).

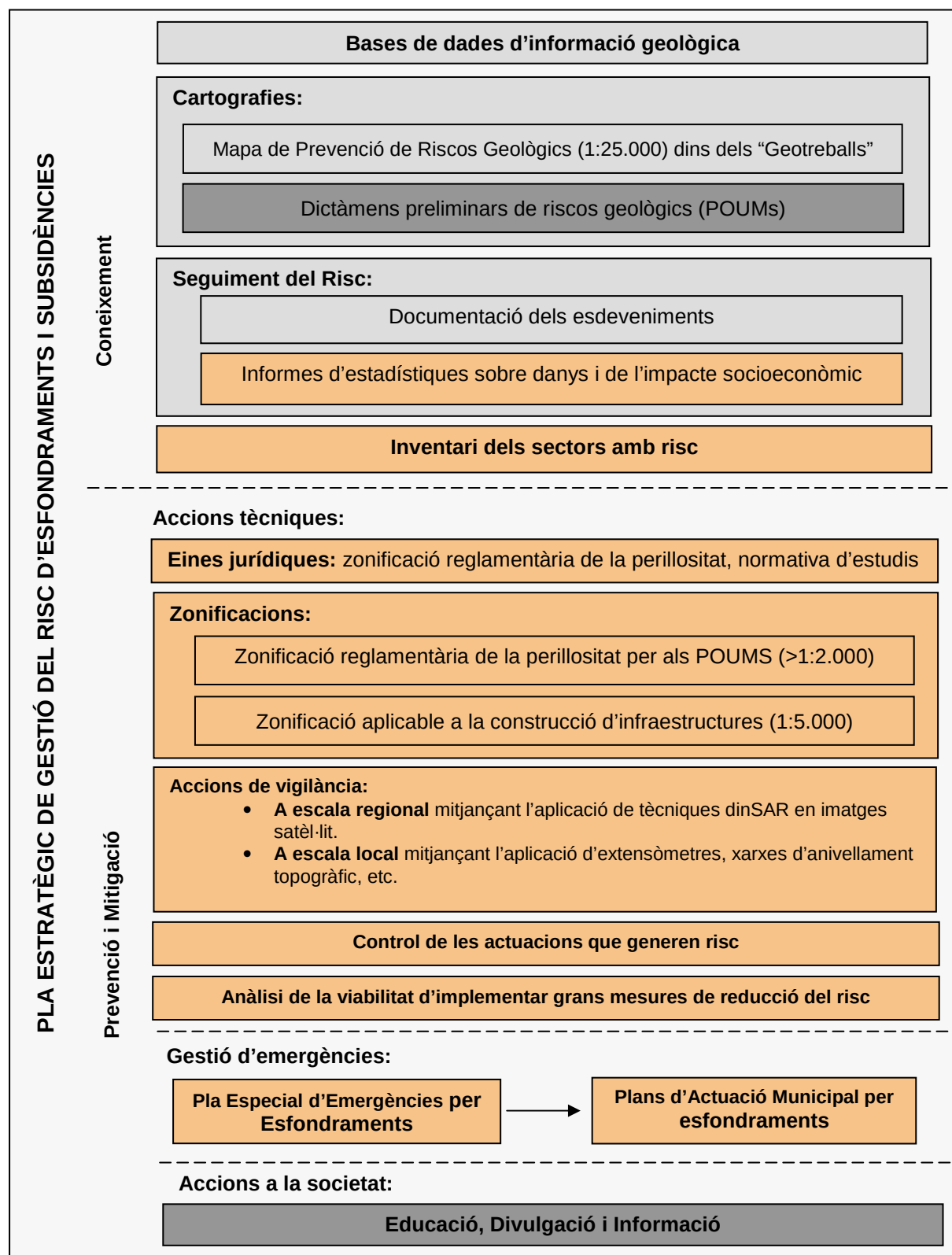


Figura 6: Relació dels treballs tècnics recomanats per a una gestió sostenible dels riscos.

1: Treballs que les administracions han desenvolupat o que estan vigents. 2: Treballs que les administracions han desenvolupat parcialment. 3: Propostes a partir d'aquest informe d'esfondraments i de subsidències del projecte RISKCAT.



5.2. Cartografies

Actualment, hi ha dues cartografies que preveuen el perill d'esfondraments: el Mapa comarcal de riscos geològics i les zonificacions incloses als dictàmens preliminars de riscos geològics. Tots dos treballs es basen en metodologies utilitzades a les dècades dels vuitanta i noranta, i cobreixen parcialment el territori català.

És recomanable de disposar d'una única cartografia mesoescalar sobre el perill d'esfondraments i de subsidències que cobreixi tot el territori català i que utilitzi mètodes i tècniques desenvolupats més recentment. En aquest sentit, el Mapa de prevenció de riscos geològics a escala 1:25.000, que desenvolupa l'IGC a partir de l'any 2007 (esmentat a l'apartat 4.2.2.), és una bona oportunitat per incloure els esfondraments i les subsidències. És recomanable, també, d'establir una metodologia adient als propòsits del mapa (abast, escala i utilitat) des de l'inici dels treballs, i que sigui aplicable de forma homogènia a tot el territori.

És important que la població pugui consultar el Mapa de prevenció de riscos geològics a mesura que els fulls es vagin enllestint.

El Mapa de prevenció de riscos geològics a escala 1:25.000 és adequat per donar una informació de tot el territori sobre el perill d'esfondraments i de subsidències. És una de les eines adequades per desenvolupar una bona gestió global dels riscos d'ambdós fenòmens a Catalunya.

5.3. Seguiment del risc

El Programa de seguiment del risc d'esfondraments i de subsidències està format per un conjunt d'informes que tenen per objectiu documentar tots els esdeveniments que vagin succeint.

Aquests informes de seguiment del risc haurien de documentar les característiques més rellevants dels fenòmens (tipologies, dimensions, causes, etc.). La informació proporcionada podrà ser molt útil per validar les cartografies efectuades (per exemple, el Mapa de prevenció de risc geològic). És convenient quantificar, o semiquantificar, les despeses directes i indirectes dels danys, comptabilitzar les víctimes i fer una llista de les solucions possibles per corregir el problema.

Després d'un temps prou llarg, d'uns deu anys per exemple, és recomanable de redactar un estudi d'estadístiques que quantifiqui els danys i les víctimes i que faci una valoració sociocultural del fenomen. Aquesta informació permetria de formular escenaris raonables de danys en funció de la intensitat dels fenòmens, tenir una aproximació de la magnitud i rellevància dels problemes que causen els esfondraments i les subsidències, i verificar si la gestió del risc que s'està desenvolupant és adient i sostenible.

5.4. Inventari dels sectors amb risc

Es proposa d'efectuar un inventari dels sectors amb risc, format per un conjunt de mapes que posin de manifest els elements humans exposats al perill, estiguin protegits o no. També és convenient d'estimar la fiabilitat de les accions correctores adoptades en els sectors especialment vulnerables, i de valorar si s'ha reduït realment el risc fins a un nivell assumible.



Aquest treball posaria de rellevància els punts crítics, que es podrien agrupar en funció del nivell de risc existent. Aquest nivell de risc permetria de programar els treballs d'actuació posteriors, coordinats entre diferents organismes i entitats i amb una planificació de diversos anys.

5.5. Zonificacions segons la perillositat

La zonificació és l'eina de prevenció del risc per excel·lència. És recomanable de considerar, com a mínim, tres tipus de zonificacions en la prevenció del risc d'esfondraments i de subsidències a Catalunya:

- Zonificacions a escala més gran de 1:2.000 en els plans d'urbanisme.
- Zonificacions a escala 1:5.000 en els projectes d'infraestructures.
- Zonificacions mesoescalars, a escala 1:25.000, que donin a conèixer les àrees exposades del terreny a tot el territori. Aquesta zonificació ja es preveu a l'apartat 5.2.

Zonificacions a escala 1:2.000 en els plans d'urbanisme

L'article 9 de la Llei d'urbanisme prohibeix d'urbanitzar i edificar en zones inundables i en altres zones de risc. Aquest article fa preceptius els estudis i les zonificacions que informin sobre les zones exposades a esfondraments i subsidències en una escala prou detallada perquè es puguin aplicar en els plans d'urbanisme. Es recomana que aquestes zonificacions es facin a una escala mínima de 1:2.000.

Les zonificacions s'haurien de realitzar a partir de l'anàlisi de la perillositat. Vinculat als nivells de perillositat cal un reglament dels usos del sòl que determini les prohibicions i prescripcions reglamentàries per a la urbanització. Aquestes zonificacions serien la base de la gestió del risc d'esfondraments i de subsidències en zones urbanes.

Tenint en compte que els promotors d'aquests treballs poden ser les administracions locals per compte propi (article 14 referent a l'exercici de competències urbanístiques de la Llei esmentada), és recomanable que s'estableixi una normativa legal que especifiqui la metodologia a utilitzar, l'escala de treball, els graus de perillositat que cal considerar i les reglamentacions.

A la Comissió d'Urbanisme (integrada per persones de prestigi professional o acadèmic reconegut en urbanisme, habitatge i medi ambient, segons l'article 17 de la Llei), convindria d'integrar-hi també especialistes en riscos geològics (de l'Administració o de centres de recerca).

Zonificacions a escala 1:5.000 en projectes d'infraestructures

És convenient d'incloure zonificacions a escala detallada 1:5.000, segons la perillositat dels projectes de construcció d'infraestructures. Aquestes zonificacions convenen per delimitar amb exactitud les zones problemàtiques i avaluar la possibilitat d'implantar mesures correctores, o bé per descartar-ne l'ocupació.



La gestió de contractació d'aquestes zonificacions podria seguir perfectament els requeriments que estableix la Llei 3/2007, de 4 de juliol, de l'obra pública (en endavant, LOP).

5.6. Eines jurídiques

És convenient el desenvolupament d'un marc legal més complet en esfondraments i subsidències. En aquest marc legal s'haurien d'incloure les zonificacions reglamentàries en la redacció dels POUM, de cara a l'aplicació efectiva de l'article 9 de la Llei d'urbanisme, i les metodologies per a l'elaboració d'estudis tècnics.

Zonificacions reglamentàries en la redacció dels POUM

L'article 9 de les Directrius per al planejament urbanístic del Reglament de la Llei d'urbanisme, "prohibeix urbanitzar i edificar en zones inundables i en altres zones de risc". Tenint en compte aquesta Llei, cal disposar d'una zonificació amb validesa legal que mostri les zones de risc d'esfondraments (graduals i sobtats) vinculada directament a la Llei.

Com a primera eina de cara a la prevenció cal donar validesa legal al mapa de prevenció del risc geològic a escala 1:25.000 (apartat 5.2), que identificarà les àrees en les quals no es podrà urbanitzar. Una zonificació posterior a escala 1:2.000, aplicable als POUM, hauria de verificar el grau de perill i precisar amb més detall els límits de les zones altament exposades.

Segons el context legislatiu i de competències administratives actuals, les zonificacions per perillositat que cal incloure als POUM es poden elaborar mitjançant dues vies: (a) per l'IGC a través de la DGU, i (b) per les pròpies administracions locals, com preveu l'article 14 referent a "l'exercici de competències urbanístiques" de la Llei d'urbanisme. Tenint en compte que legalment cada administració local pot elaborar les zonificacions de perillositat pel seu compte, cal donar una validesa legal a una metodologia i uns procediments d'anàlisi de la perillositat, amb la finalitat que tots els treballs siguin homogenis.

També cal legislar sobre els usos del sòl, les prohibicions i les prescripcions reglamentàries per a noves edificacions i les ja existents atès el nivell de perillositat. Aquesta és la manera idònia perquè les zonificacions siguin utilitzades fàcilment pels usuaris d'aquests treballs (dirigents, gestors, tècnics, propietaris i població en general).

Estudis tècnics

És recomanable de pensar en la idoneïtat de donar validesa legal a una metodologia sobre la redacció dels estudis tècnics relacionats amb esfondraments i subsidències. Els mètodes i les tècniques de treball podran ser específics en funció del tipus de fenomen vertical (esfondrament o subsidència). Aquesta proposta fomentarà l'homogeneïtzació i la qualitat dels estudis.

L'elaboració d'estudis uniformes facilitaria la revisió dels òrgans de supervisió de projectes (article 27 de la Llei) i l'atribució de figures responsables en cas de litigi.



5.7. Sistemes de vigilància: auscultacions

Com ja estan fent les entitats competents de la Generalitat en els sectors més vulnerables de Catalunya, cal fer vigilàncies de les zones especialment sensibles identificades a l'inventari de sectors amb risc (apartat 5.4). La vigilància es podria desenvolupar mitjançant dos àmbits a partir del nivell de detall: el regional i el local.

Vigilància a escala regional: aplicació de tècniques dinSAR en imatges satèl·lit

Regionalment, la Generalitat (per mitjà de l'Institut Cartogràfic de Catalunya) i l'Institut de Geomàtica tenen experiència en la detecció de les zones amb subsidències i esfondraments mitjançant l'aplicació de tècniques dinSAR i LIDAR. La tècnica dinSAR compara diferents imatges de satèl·lit existents des dels anys noranta fins ara i, per tant, pot estimar si ja hi ha un enfonsament del terreny.

Vigilància a escala local: aplicació d'extensòmetres, xarxes d'anivellament topogràfic, etc.

Cal l'auscultació en l'àmbit local en els sectors urbans en què la velocitat d'enfonsament del terreny sigui elevada i mostri un risc evident per a la població. En aquests casos, és convenient l'aplicació de tècniques addicionals segons la importància del problema (extensometria, LIDAR, xarxes d'anivellament topogràfic, etc.). Aquest treball s'està efectuant en els sectors més exposats de la ccnca potàssica catalana (Sallent i Súria) i en alguns sectors de la zona metropolitana de Barcelona.

5.8. Regulació de les activitats que incrementen els moviments verticals del terreny

En els sectors de risc evident per a la població, en els quals cal una auscultació a escala local, convé d'analitzar la causa principal de l'enfonsament del terreny. En el cas que la causa tingui una incidència humana directa o indirecta, s'ha d'analitzar la possibilitat de regular l'activitat que incrementa el moviment vertical del terreny. Cal tenir en compte que deixar de controlar algunes activitats (mineria, extraccions d'aigua subterrània...) significa traslladar el cost de les mesures correctores cap al futur i que, inevitablement, aquest s'incrementarà.

5.9. Anàlisi de la viabilitat d'implantar mesures d'envergadura per reduir el risc

Hi ha diverses propostes de gran envergadura de plataformes cíviques, empreses i entitats que intenten solucionar i/o controlar el problema en grans àrees del terreny (com és el cas del Bages i del delta de l'Ebre, vegeu l'apartat 4.3.2.). És convenient d'analitzar des dels punts de vista científic, tècnic i socioeconòmic la viabilitat de les propostes raonables (com és el cas de buidar els embassaments del tram baix de l'Ebre, reomplir algunes cavitats mineres amb el runam i/o materials inerts, etc.) tot coordinant les administracions involucrades.



5.10. Gestió d'emergències

Tot i que l'Administració ja té un pla d'emergències per a esfondraments centrat en el municipi de Sallent, no hi ha un pla especial d'aquest fenomen aplicable a tots els municipis exposats. Cal la protecció civil davant de catàstrofes relacionades amb esfondraments sobtats a tot el territori exposat, encara que tinguin un efecte bastant local, mitjançant la redacció d'un pla especial (Llei de protecció civil, BOE 2/1985).

La redacció del pla especial ha d'identificar les situacions en què un esfondrament sobtat pugui generar un gran risc a la població, i preveure els avisos corresponents, l'organització i els procediments d'actuació per fer front a l'emergència.

Es pot valorar la possibilitat que en un únic pla especial es puguin integrar els fenòmens d'esfondraments i les esllavissades (despreniments, esllavissaments, corrents d'arrossegalls, etc.). Respecte de les subsidències del terreny (definides a l'apartat 1.2), tenint en compte que el risc humà (risc traduït en vides humanes) és pràcticament irrellevant, es pot analitzar la possibilitat d'exclusió d'aquest fenomen en el pla d'emergència especial proposat.

Posteriorment a la redacció d'un pla d'emergències especial per a esfondraments, cal redactar plans d'actuació municipals (PAM) d'esfondraments. Com a proposta, els municipis es podrien agrupar en tres categories seguint el mateix sistema que el Pla INUNCAT: obligats (aquells en què, per exemple, una part de la zona urbana està exposada al perill d'esfondraments sobtats), recomanats (aquells que, per exemple, tenen una petita part de la zona urbana exposada al perill d'esfondraments bàsicament graduals) i sense necessitat (aquells que, per exemple, no es troben exposats a esfondraments).

5.11. Educació, divulgació i informació a la societat

Per tal de facilitar la gestió del risc d'esfondraments i subsidències cal portar a terme les accions següents: fomentar la cultura d'autoresponsabilitat davant del risc, controlar els interessos especulatius del sòl i informar la població exposada sobre la seva seguretat. D'aquesta forma es facilitarà la gestió del risc per part de l'Administració a llarg termini.

La tasca educativa és relativament econòmica i té resultats molt positius a la llarga. Per tant, cal fomentar-la per evitar que la gestió del risc triï el camí d'insostenibilitat i es relegui el problema a les generacions futures. És convenient que tothom sigui conscient que és més econòmic evitar el risc que no pas ocupar terrenys exposats.

La tasca educativa s'hauria de desenvolupar mitjançant activitats en l'àmbit de l'escolarització obligatòria (primària i/o secundària): exposicions itinerants, xerrades, webs, etc. És convenient que es treballi especialment als municipis exposats al risc d'esfondraments i/o subsidències.

Una altra tasca important davant de catàstrofes és la tasca informativa. Una informació correcta a partir dels mitjans de comunicació facilitarà la gestió de l'emergència i tranquil·litzarà la població en situació de risc. El tipus d'informació i el mitjà podrien estar desenvolupats en un pla d'emergències específic d'esfondraments (apartat 5.10).



Agraïments

Per a la redacció d'aquest treball ha calgut d'entrevistar diversos professionals que –potser– no comparteixen els resultats presentats:

Jordi Amigó (Eurogeotécnica, SA)
David Brusi (Universitat de Girona)
José Maria Carmona (Universitat de Barcelona)
Jesús Carrera (Institut Jaume Almera, CSIC)
Michelle Crossetto (Institut de Geomàtica)
Pere Martínez (Institut Geològic de Catalunya)
Joan Palau (Geocat Gestió de Projectes)
Manel Pardo (Direcció General de Protecció Civil)
Carles Roqué (Universitat de Girona)
Hening Schwarz (GISA)
Mari Àngels Trèmols (Direcció General d'Urbanisme)