

# Els esfondraments per carstificació al terme municipal de Besalú

*Carles Roqué*

*Lluís Pallí*

*Ignasi Capellà*

*Rogelio Linares*

*David Brusi*

42

**E**n aquest treball s'analitzen les característiques generals i particulars dels esfondraments per carstificació que es produeixen al terme municipal de Besalú, i s'examinen les diferents dades que permeten establir una primera aproximació cartogràfica del perill existent.

## Introducció

El dia 4 de gener de 1995 va aparèixer, de manera sobtada, un forat el·líptic de 3,4 m d'eix llarg i 2,7 m d'eix curt, i de 15 m de profunditat, al carrer Ginesta del barri Grup del Mont de Besalú. Immediatament la premsa es va fer ressò del fenomen i, amb més imaginació que no pas encert, el misteriós orifici va ser batejat amb el nom de "forat negre de Besalú". Com és natural, aquest esfondrament va alertar els veïns de la zona, conscients del perill que suposava per a la seva seguretat i per a la de les seves llars la possibilitat que es formessin altres forats en el futur. La preocupació es va traslladar al Govern local, el qual va demanar a la Generalitat el suport tècnic necessari per solucionar el tema. Els estudis del Servei Geològic de Catalunya (SGC, 1996) van determinar que l'esfondrament s'havia produït pel col·lapse d'una cavitat subterrània formada com a conseqüència de la dissolució de les roques del subsòl. Les mesures correcto-



*Detall del popularment anomenat  
"forat negre de Besalú".  
(Foto: Arxiu UdG)*

*El 4 de gener de 1995  
va aparèixer sobtadament  
aquest forat de 15 metres  
de profunditat.  
(Foto: Arxiu UdG)*



res que es van plantejar per evitar nous ensorraments eren fonamentalment dues: disminuir la infiltració d'aigua en el subsòl i localitzar les cavitats subterrànies mitjançant sondatges i tècniques geofísiques.

El procés geològic responsable d'aquest fenomen no és nou ni es dona només al barri Grup de Mont. Del record dels veïns de la contrada es fa palesa la formació d'altres forats en els darrers temps. Així, cap a l'any 1988 va aparèixer un clot pràcticament al mateix lloc, el qual va ser omplert amb graves. A poc més de quatre metres de distància, es va produir un petit esfondrament durant la construcció d'un garatge. Altres ensorraments, de mides reduïdes, van afectar la confluència dels carrers Pla de la Ginesta, Mare de Déu del Mont i el carrer Nou. Finalment, un edifici situat a uns 50 m del forat del carrer Ginesta s'esquerda des de l'any 1992 a causa d'un procés de subsidència lenta del terreny. L'aparició més o menys sobtada de forats en la superfície de camps i boscos és prou coneguda pels habitants de la comarca, com també ho és l'existència de clots circulars de diàmetre mètric a decamètric dels quals a vegades brolla aigua, anomenats bullidors o estanys. Molts topònims han derivat d'aquestes formes peculiars: camp del Pou, clot de la Malanera, camp de l'Olla, camp de l'Estany i estany Rodó, en són alguns exemples propers a Besalú. D'aquestes dades es pot concloure que l'esfondrament del barri Grup del Mont no és un fet fortuït ni aïllat espacialment i temporalment. Ben al contrari, és la manifestació puntual en la superfície del terreny d'un procés geològic actiu des de fa molts mil·lennis, el qual afecta una àmplia extensió de territori que ultrapassa de bon tros els límits del terme de Besalú. L'estany de Banyoles és, sense cap mena de dubte, la mostra més emblemàtica d'aquest procés, que es deixa sentir amb força en el curs mitjà del Fluvià i a les depressions de Banyoles i de Sant Miquel de Campmajor.

L'aparició de forats en la superfície de camps i boscos i l'existència de clots circulars són prou conegudes pels habitants de la comarca; molts topònims han derivat d'aquestes formes peculiars

La formació de l'estany de Banyoles ha encuriós els científics des dels inicis dels estudis de la geologia de les terres gironines. És per això que els processos d'esfondrament que l'han generat, i que es donen també en altres indrets de les comarques del Pla de l'Estany i de la Garrotxa, són coneguts amb un cert grau de detall des de fa temps i han estat descrits en nombrosos treballs (Vidal Pardal, 1954; Pallí i Trilla, 1979; Julià, 1980; Sanz i Trilla, 1980 i 1982; Sanz, 1983; Brusi *et al.*, 1987, 1990; Brusi, 1993).

### **Característiques generals dels esfondraments per carstificació**

Els esfondraments són moviments de component vertical derivats de col·lapses de cavitats subterrànies situades a fondàries relativament someres, que sovint comporten la formació en la superfície del terreny de forats de geometria circular i de parets verticals, anomenats dolines. La gènesi d'aquestes cavitats, considerant aquí només les que es formen en condicions naturals, va lligada a processos de carstificació, de buidatge del rebliment de cavitats antigues o bé d'arrossegament de partícules fines per circulació d'aigua amb un elevat gradient hidràulic (tubificació o *piping*). En tots els casos es tracta de fenòmens controlats per la litologia i, per això, es localitzen només allà on es troben uns tipus molt concrets de roques.

Els esfondraments per carstificació són els més importants i freqüents. S'entén per carstificació el procés de dissolució d'una roca fissurada com a conseqüència de la circulació d'aigua en el seu interior. El desenvolupament d'aquest fenomen requereix dues condicions necessàries elementals: l'existència de materials solubles i la presència d'aigua. La solubilitat d'una roca és un factor que és determinat per la seva composició mineralògica. Les roques més solubles, en condicions fisicoquímiques normals, són les que contenen minerals dels grups dels halurs (sal gemma, silvina, carnal·lita), carbonats (calcita, dolomita) i sulfats (anhidrita, guix, glauberita). Es tracta, bàsicament, de roques sedimentàries evaporítiques (halitita, silvinita, guix i anhidrita) i carbonàtiques (calcàries, travertins, dolomies i calcarenites), així com altres que deriven de les anteriors a partir de processos sedimentaris (conglomerats i gresos) i metamòrfics (marbres calcaris i dolomítics). L'aigua penetra a l'interior de la roca a través de les discontinuïtats que aquesta presenta, com ara juntes d'estratificació i de fracturació. L'accés de l'aigua comença amb una infiltració puntual i superficial a través d'aquests plans, els quals es van engrandint progressivament com a conseqüència de la dissolució. Amb el pas del temps, es formen cavitats internes de mides considerables que en col·lapsar poden originar un forat a la superfície del terreny (fig. 1). El ritme de creixement de les cavitats subterrànies és condicionat per diferents factors d'ordre climàtic, hidrològic i litoes-

L'estany de Banyoles és la mostra més emblemàtica dels processos d'esfondrament al Pla de l'Estany i la Garrotxa

Els esfondraments són moviments de component vertical derivats de col·lapses de cavitats subterrànies que sovint comporten la formació de forats en la superfície

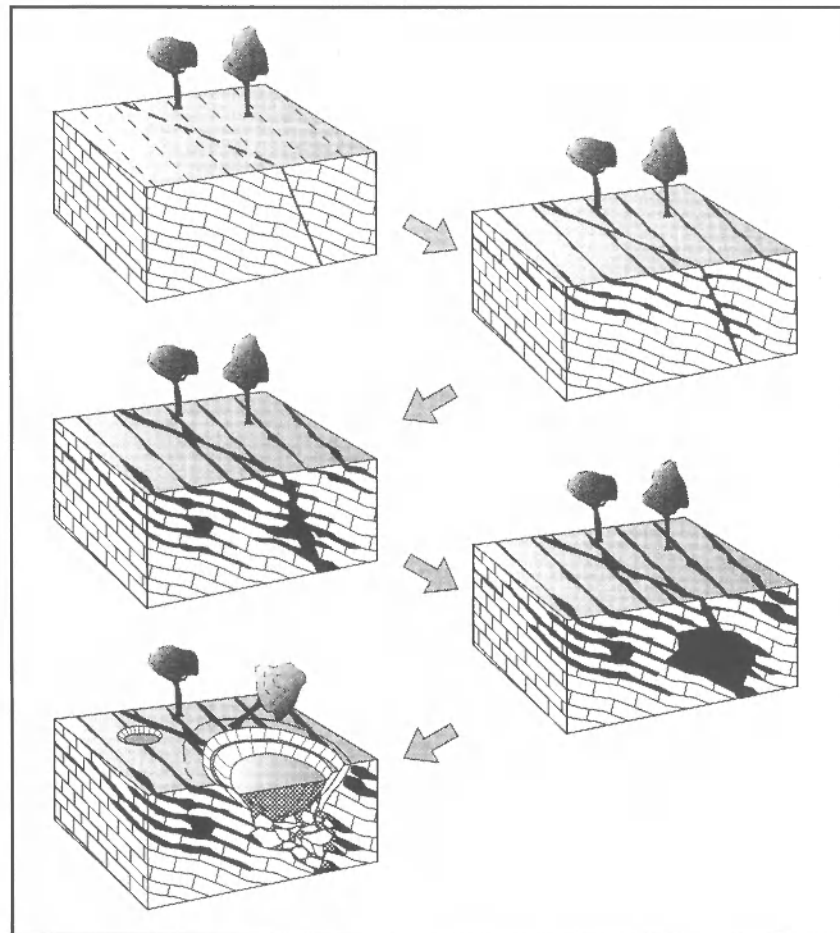


Figura 1.  
Esquema evolutiu de la gènesi  
d'esfondraments per carstificació.

tructural. En general, és molt ràpid en les roques evaporítiques, ja que contenen halurs i sulfats que es dissolen amb molta facilitat, mentre que és més lent en les roques que estan formades per carbonats. A aquest fet cal afegir-hi la menor resistència de les parets dels forats engendrats en les roques evaporítiques respecte de les carbonàtiques. Tot plegat determina que el perill lligat als esfondraments per carstificació sigui molt elevat en els indrets en què hi ha capes de sals i de guixos en el subsòl, i menys acusat en els que tenen nivells carbonàtics.

El fort control que exerceix la litologia en el procés de carstificació fa que, almenys en teoria, sigui possible establir les àrees potencialment susceptibles de tenir esfondraments. Malauradament, molt sovint les roques solubles es troben colgades sota sediments detrítics sense consolidar que n'impedeixen un reconeixement directe. Aquesta situació, coneguda com a carst subjacent, s'agreuja per l'escassa resistència dels materials que recobreixen el sòcol carstificat, de manera que, quan es produeix un col·lapse, la columna de materials suprajacents s'ensorra quasi instantàniament i es forma un clot a la superfície del terreny (fig. 2).

Les oscil·lacions del nivell freàtic tenen un paper molt important en la generació dels col·lapses (Gutiérrez, 1998). Així, si el nivell se situa per sobre de les cavitats subterrànies, el pes de les roques

S'entén per carstificació el  
procés de dissolució d'una  
roca fissurada com a conse-  
qüència de la circulació  
d'aigua en el seu interior

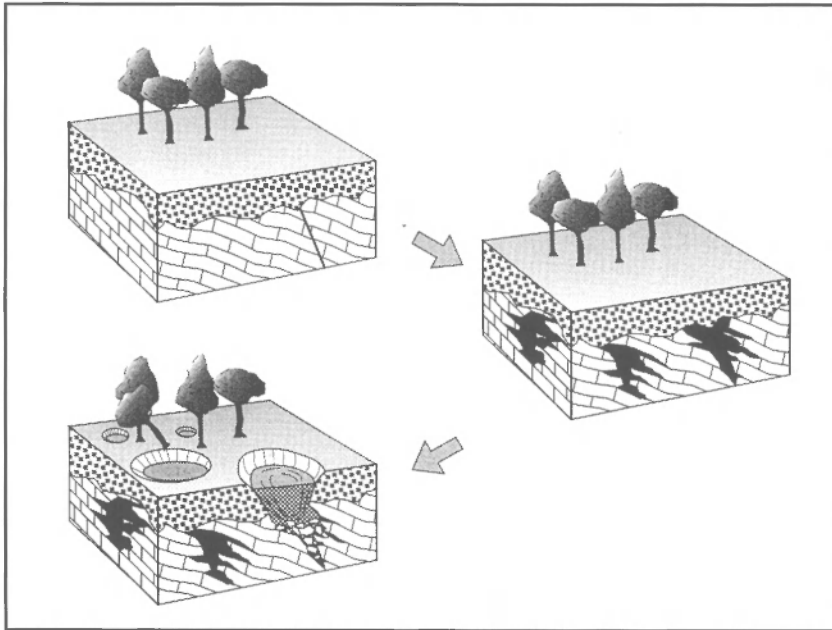


Figura 2.  
Formació d'esfondraments deguts a un carst subjaent.

del sostre queda contrarestat per l'impuls de la massa desplaçada, de manera que el sistema tendeix a estabilitzar-se. En baixar el nivell, augmenta el pes efectiu del sostre de les cavitats, s'inestabilitza el sistema i es produeixen col·lapses. En una escala temporal humana, la variació estacional del règim de precipitacions i l'extracció d'aigua dels aqüífers són les causes més freqüents de les oscil·lacions del nivell freàtic, i per extensió, del desencadenament d'esfondraments. D'altra banda, l'addició d'aigua des de la superfície (procedent de les precipitacions, del regadiu i de les fuites en els embassaments i en les xarxes de conducció d'aigua potable i de clavegueram) determina, sempre que el nivell freàtic es mantingui per sota del límit superior de les cavitats, un increment del pes del seu sostre, fet que comporta també la inestabilització del sistema i la gènesi de col·lapses. Altres factors que contribueixen a la formació d'esfondraments són la construcció de grans edificis, que fan augmentar la càrrega sobre els forats, i les vibracions del terreny, tant naturals com antròpiques.

Els materials fins que omplen les dolines generades per l'ensorrament de les cavitats poden ser arrossegats per l'aigua subterrània. Aquesta acció erosiva pot comportar un descens lent del nivell del terreny (subsidiència) o bé la gènesi de nous col·lapses sobtats, recurrents en l'espai.

### Els esfondraments de l'entorn de Besalú

El procés de formació de cavitats subterrànies, en el context territorial de les comarques de la Garrotxa i del Pla de l'Estany, va lligat a una dinàmica hidrogeològica peculiar, controlada per la litologia i l'estructura tectònica de la zona. Els materials que s'hi tro-

El fort control que exerceix la litologia en el procés de carstificació fa que en teoria sigui possible establir les àrees susceptibles de patir esfondraments

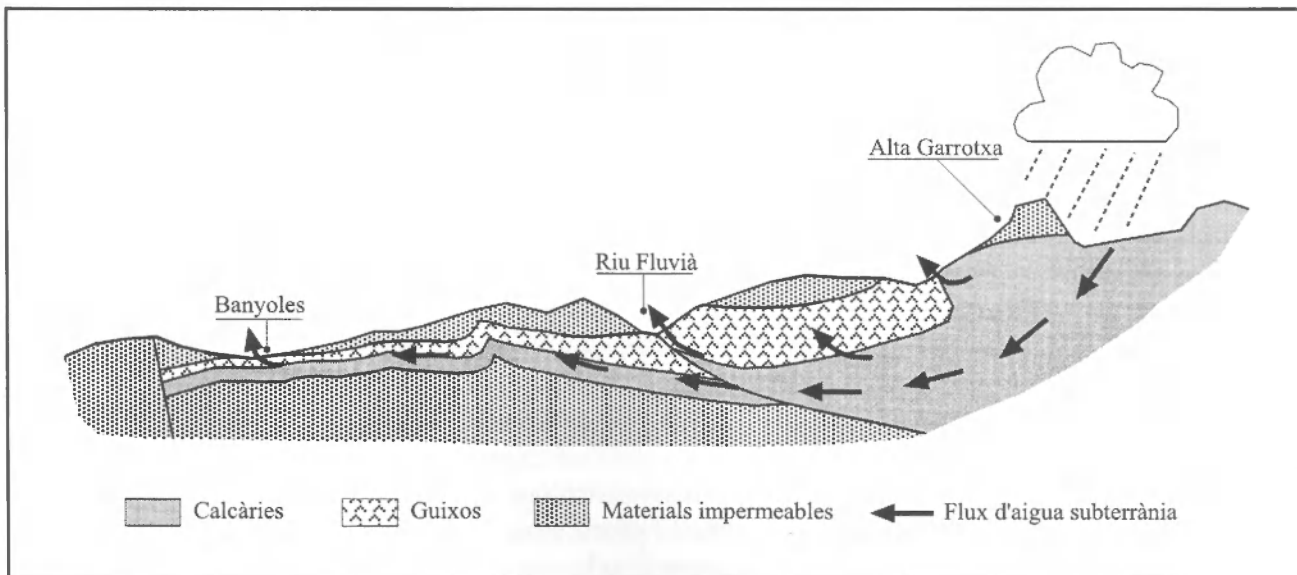
ben involucrats pertanyen a la sèrie estratigràfica paleògena, definida en l'àmbit de les formacions litoestratigràfiques per Pallí (1972). De baix a dalt, seguint l'ordre de sedimentació de les capes, apareixen les unitats següents:

- Formació Pontils. Es tracta d'argiles i llims vermells amb intercalacions de capes de conglomerats i de gresos. L'espessor del conjunt és d'uns 180 m.
- Formació Girona. És un nivell de calcàries que assoleix un gruix d'entre 90 i 170 m.
- Membre Beuda. Està format per guixos i anhidrites amb algunes intercalacions de margues. La seva potència és d'uns 250 m.
- Formació Banyoles. Està constituïda per argiles i margues. La seva espessor és d'uns 400 m.

Les calcàries de la Fm. Girona i els guixos (d'ara endavant utilitzem aquest terme per referir-nos a la barreja de guixos i anhidrites) del Mb. Beuda estan intensament carstificats i conformen un aqüífer que queda intercalat entre els materials de la Fm. Pontils i de la Fm. Banyoles, els quals són pràcticament impermeables.

L'estructura tectònica de la regió determina que aquest aqüífer estigui en contacte amb les calcàries que afloren a la serra de la Mare de Déu del Mont, les quals constitueixen la seva zona de recàrrega. Les aigües infiltrades en aquesta serra circulen per dins dels materials permeables, i es desplacen cap al sud seguint la disposició de les capes (fig. 3). A causa d'aquesta estructura, l'aqüífer presenta un comportament hidràulic captiu. Per això, a mesura que les aigües se situen a una cota topogràfica més baixa, la seva pressió augmenta. El fet que les aigües de l'aqüífer estiguin sotmeses a una pressió més elevada que l'atmosfèrica té dues conseqüències importants. D'una banda, comporta una dissolució més ràpida de les calcàries i dels guixos. De l'altra, provoca una tendència ascendent en les aigües que aprofiten les discontinuïtats tectòniques i els nivells subaflorants de calcàries i de guixos

Figura 3.  
Esquema del funcionament hidrològic del sistema aqüífer de Banyoles - Besalú, segons Sanz, 1983 (modificat).



per pujar cap a la superfície. Així, la important fractura orientada d'est a oest sobre la qual s'ha establert el curs mitjà del riu Fluvià és el primer accident tectònic que permet la sortida a l'exterior d'aigües de l'aqüífer. Les altres zones de desguàs del sistema se situen a les depressions de Banyoles i de Sant Miquel de Campmajor. És justament en aquests tres indrets on es desenvolupen els processos d'esfondrament, atès que s'hi formen cavitats subterrànies a escassa profunditat, les quals poden engrandir-se amb una certa rapidesa per la forta carstificació induïda per la pressió de les aigües. A vegades, la sobrepressió de l'aqüífer fa que les aigües brollin dins de les dolines que es van formant com a conseqüència dels col·lapses i es converteixen en estanyols intermitents.

En detall, l'estructura tectònica del curs mitjà del Fluvià és més complexa del que s'ha plantejat d'antuvi. De fet, el sòcol eocènic del terme municipal de Besalú està constituït per diverses faixes de guixos que s'intercalen entre les margues de la Fm. Banyoles. Aquestes làmines s'inclinen moderadament cap al nord i es disposen orientades d'est a oest. Probablement corresponen a fractures secundàries, paral·leles a la principal, situada pràcticament sota el curs del riu Fluvià. La carstificació dels nivells de guixos queda palesa per l'existència d'avencs i coves modelats en aquests materials. La cova de la Musquera de Beuda, de 710 m de recorregut, n'és l'exemple més notable. El substrat eocènic està recobert, quasi totalment, per diferents tipus de dipòsits al·luvials i col·luvials quaternaris que, llevat d'algunes excepcions, presenten un grau de consolidació baix o nul (Pallí *et al.*, 1997) (fig. 4). Així, els esfondraments de Besalú són deguts a un carst subjacent, instal·lat en els nivells de guixos subaflorants. En aquestes condicions, el col·lapse de les cavitats pròximes a la superfície comporta l'ensorrament instantani de la columna de materials supra-jacents i la formació d'una dolina a l'exterior.

### L'avaluació del perill d'esfondrament

Predir amb precisió el moment, la intensitat i la localització d'un esfondrament futur és, ara per ara, impossible. Tanmateix, de l'anàlisi dels factors que controlen aquest procés es deriven alguns criteris que permeten confeccionar una cartografia del perill potencial que suposa. La predicció espacial es basa, fonamentalment, a localitzar i delimitar arealment els guixos, atès que aquesta és la formació rocosa susceptible de presentar cavitats subterrànies properes a la superfície del terreny. El problema rau en el fet que aquests materials, majoritàriament, estan recoberts per sediments quaternaris, i no és possible fer-ne una observació directa al camp, de manera que l'avaluació s'ha de fonamentar necessàriament en investigacions del subsòl. Hi ha diferents tècniques i procediments, perfectament complementaris, que permeten determinar la presèn-

Els esfondraments de Besalú són deguts a un carst subjacent, instal·lat en els nivells de guixos subaflorants

Predir amb precisió els esfondraments futurs és, ara per ara, impossible. L'avaluació s'ha de fonamentar en investigacions del subsòl

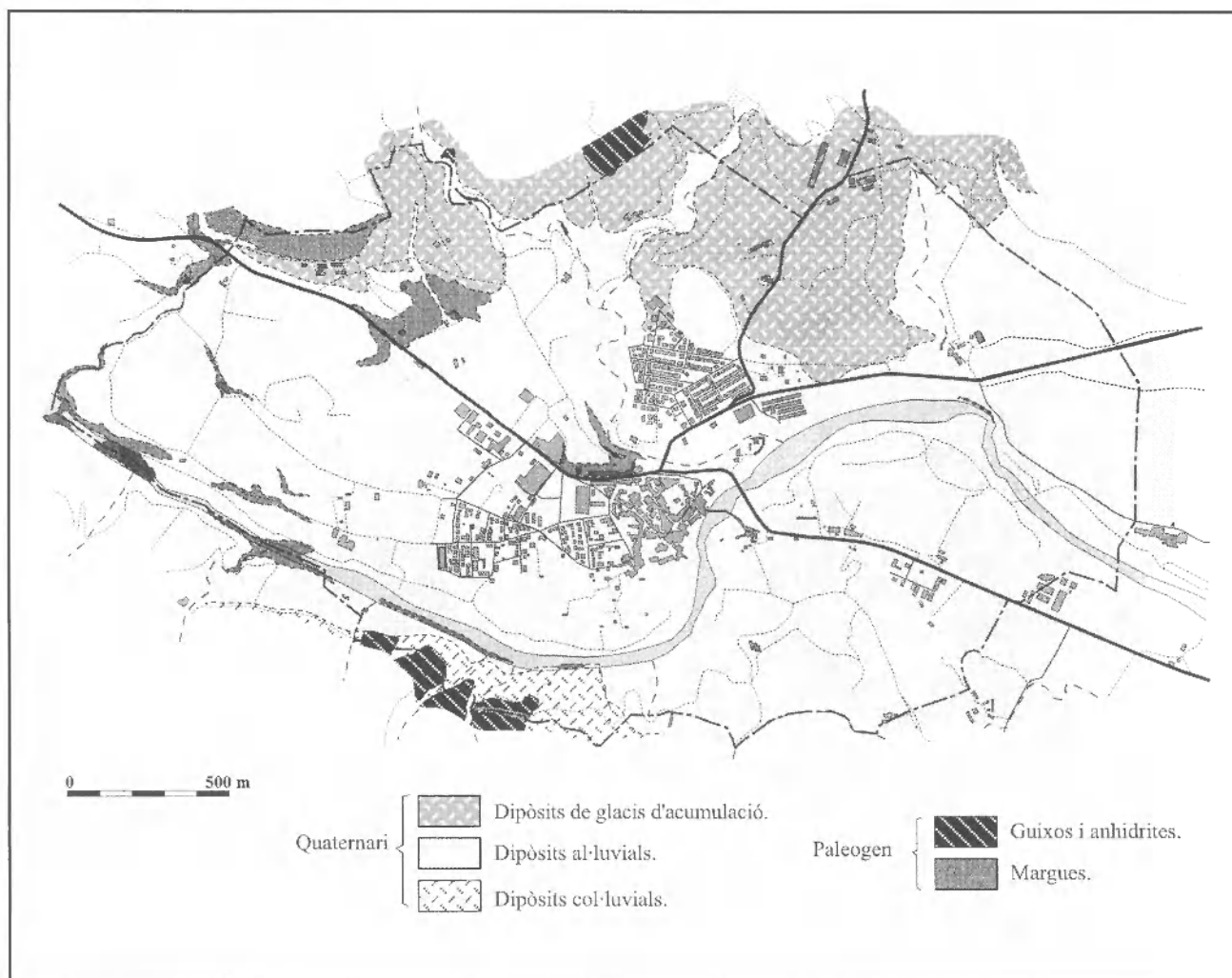
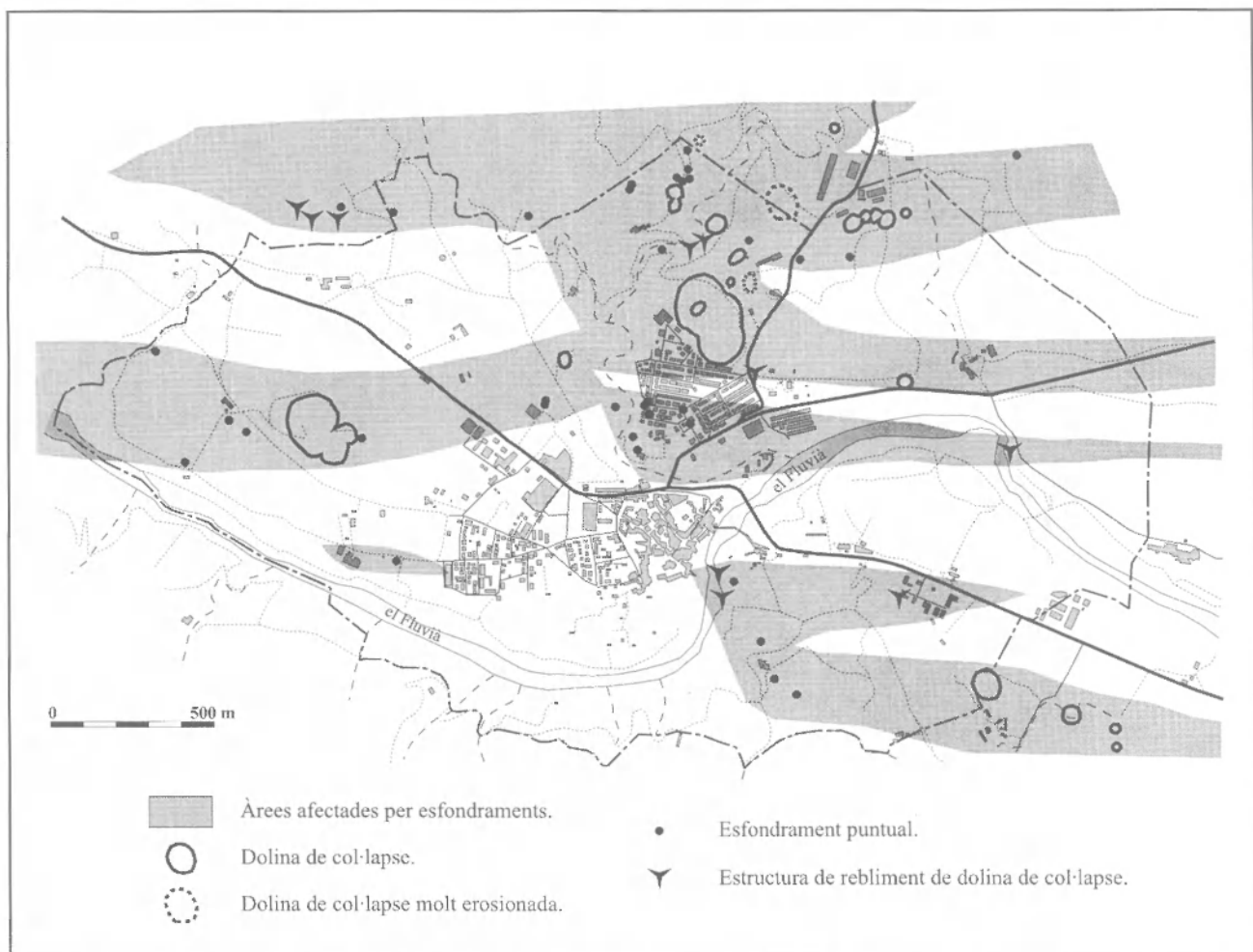


Figura 4.  
Mapa geològic del terme municipal de  
Besalú, segons Fallé et al., 1997  
(simplificat).

cia de guixos sota les formacions quaternàries. La localització d'esfondraments antics, la recopilació de columnes de materials de pous, la prospecció amb tècniques geofísiques i la realització de sondatges de reconeixement són algunes de les més utilitzades. La localització de clots produïts en el passat es fonamenta en un principi molt simple: on hi hagut un esfondrament hi ha guixos en el subsòl i, lògicament, se'n poden produir de nous en el futur. Les dades històriques i, sobretot, la memòria dels habitants de la contrada permeten situar els més recents, fins i tot els de petites dimensions, que sovint són ràpidament reblerts. D'aquesta manera ha estat possible situar amb exactitud els cinc forats apareguts al barri Grup del Mont en els darrers 20 anys. Els col·lapses més antics, aquells dels quals ja no queda constància en el record de la gent, es poden localitzar per les dolines que deixen a la superfície del terreny. Així, l'anàlisi de fotografies aèries permet reconèixer les típiques clotades subcirculars formades pels esfondraments, moltes de grans dimensions. En aquest sentit, cal destacar l'existència de l'anomenat camp de l'Estany, una dolina complexa que fa 280 m per 170 m, la qual es troba al límit nord del barri Grup de





*Figura 5.*  
*Distribució dels esfondraments localitzats*  
*al terme municipal de Besalú,*  
*segons Pall et al., 1997 (modificat).*

Mont. El reconeixement directe al camp fa possible la identificació de clots més petits, que sovint són inapreciables en un estudi fotogeològic perquè es troben al mig de les masses boscoses. Finalment, la presència d'estructures en forma d'U en les seccions dels sediments quaternaris fa palesa l'existència de forats reblerts i, per extensió, l'existència de guixos en el subsòl. Combinant les diferents dades obtingudes es poden arribar a delimitar les àrees que han estat afectades per processos d'esfondrament (fig. 5). S'observa clarament que els esfondraments localitzats tendeixen a formar alineacions orientades d'est a oest. Lògicament, a causa del fort control imposat per la litologia en aquest procés, cal esperar que coincideixin amb les làmines de guixos que hi ha intercalades entre les margues. Cal destacar la presència d'una important estructura tectònica que creua el terme de Besalú de nord-nord-oest a sud-sud-est, la qual disloca la disposició original de les roques del subsòl.

El registre dels materials travessats en les perforacions de pous permet conèixer la natura i la distribució de les diferents formacions rocalloses en profunditat. Així, d'una banda es pot constatar l'existència de guixos sota les àrees en què han estat localit-

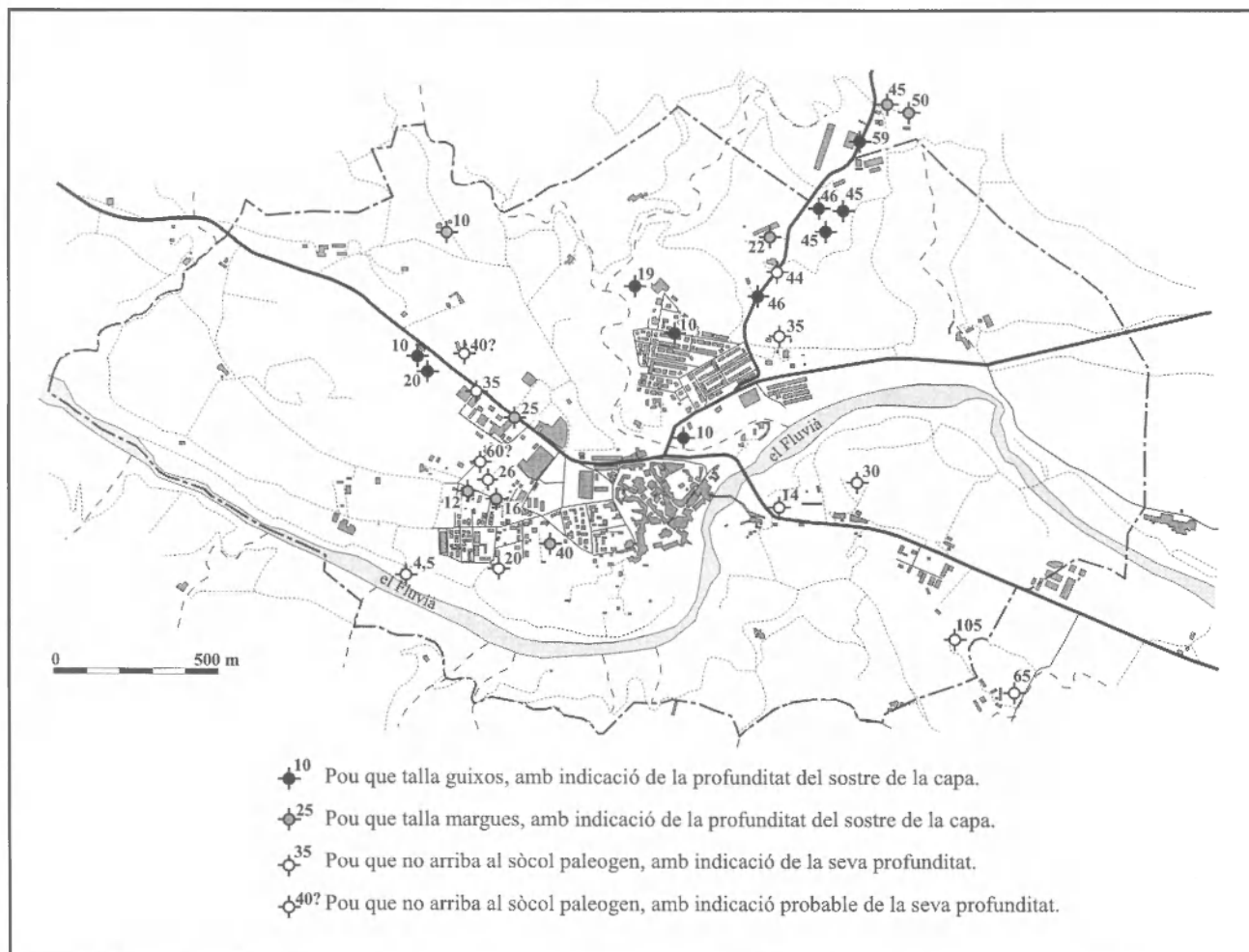


Figura 6.  
Localització de pous de Besalú,  
amb indicació dels  
materials travessats.

zats els esfondraments i, d'altra banda, es poden delimitar les zones que es recolzen damunt un sòcol margós i que, per tant, no presenten perill. Aquestes dades són facilitades directament pels propietaris de les captacions i pels seus constructors, o bé a través dels registres existents en organismes oficials. Encara que sovint les dades obtingudes tenen una repartició superficial heterogènia, i que moltes de les perforacions no arriben a afectar la base dels dipòsits quaternaris, en conjunt constitueixen una font d'informació molt valuosa (fig. 6).

Amb les dades indirectes de què es disposa, derivades únicament de la localització d'esfondraments i de la informació aportada pels pous, juntament amb la delimitació dels escassos afloraments superficials de les formacions paleògenes, es pot realitzar una primera aproximació cartogràfica del perill existent (fig. 7). En aquest sentit, s'ha establert una escala de perillositat de cinc graus, basada en la quantitat i en l'activitat dels esfondraments, i en la certesa de l'existència de guixos propers a la superfície:

– Molt alta: elevada concentració d'esfondraments; constància d'activitat recent.



Figura 7.  
Cartografia del perill d'esfondrament a  
l'entorn de Besalú.

- Alta: elevada concentració d'esfondraments; sense constància d'activitat recent.
- Moderada: presència d'esfondraments aïllats; certesa de l'existència de guixos.
- Baixa: inexistència d'esfondraments; probable existència de guixos.
- Nul·la: inexistència de guixos.

En aquest mapa es posa de manifest l'existència de dues àrees amb un grau de perillositat molt alt, en les quals els processos d'esfondraments són manifestament actius actualment. L'un es localitza a l'entorn del camp del Pou i l'altre coincideix amb el barri Grup de Mont.

Naturalment, per a una avaluació més detallada del perill caldria completar la informació recopilada amb campanyes de prospecció geofísica, les quals, mitjançant diferents tècniques, farien possible la localització de guixos en profunditat i, fins i tot, de les cavitats existents en el subsòl. Finalment, la realització de sondatges de reconeixement permetria validar els resultats derivats de la geofísica.

## Cloenda

L'existència de processos d'esfondrament lligats al col·lapse de cavitats càrstiques en els guixos paleògens de la zona del curs mitjà del Fluvià i de les depressions de Sant Miquel de Campmajor i de Banyoles és coneguda pels geòlegs des de fa molts anys, els quals n'han estudiat les causes i el funcionament. Tanmateix, els treballs realitzats fins ara no han traspassat els límits del món acadèmic i científic, de manera que la majoria dels habitants de les àrees afectades desconeix la presència d'aquesta dinàmica geològica i el perill que suposa.

Ara per ara, la predicció dels esfondraments només es pot establir espacialment, a partir d'una cartografia que ha d'integrar dades procedents del major nombre possible de tècniques i metodologies. L'ordenació del territori, basada en una limitació d'activitats i d'usos en funció del grau de perill, és l'estratègia més simple i viable per afrontar amb garanties el risc que es deriva dels esfondraments.

## Bibliografia

- BRUSI, D. (1993), *Les formacions travertíniques de la depressió de Banyoles*. Tesi doctoral, UAB. Inèdita.
- BRUSI, D.; BACH, J. i SANZ, M. (1990), *Itinerari geològic de Banyoles. Descoberta del funcionament del sistema lacustre*. Eumo Ed., 124 pàg.
- BRUSI, D.; PALLÍ, L. i SANZ, M. (1987), *Caracterización de las inestabilidades gravitatorias en el área de Banyoles (Girona)*. Actas de la III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, II, València, pàg. 1021-1034.
- GUTIÉRREZ, F. (1998), *Subsidencia por colapso en un karst aluvial. Análisis de estabilidad*. Dins: A. GÓMEZ ORTIZ i F. SALVADOR FRANCH (ed.): *Investigaciones recientes de la geomorfología española*, pàg. 47-58.
- JULIÀ, R. (1980), *La conca lacustre de Banyoles-Besalú*. Monografies del Centre d'Estudis Comarcals de Banyoles.
- PALLÍ, L. (1972), *Estratigrafia del paleògeno del Empordà y zonas limítrofes*. Publicacions de Geologia, UAB, núm. 1. 388 pàg.
- PALLÍ, L.; ROQUÉ, C. i CAPELLÀ, I. (1997), *Mapa geològic de Besalú. E: 1:5.000*. Ed. Àrea de Geodinàmica de la Universitat de Girona.
- PALLÍ, L. i TRILLA, J. (1979), *Morfogènesis del valle de Sant Miquel de Campmajor*. *Acta Geológica Hispánica. Homenatge a Lluís Solé i Sabarís*, t. 14, pàg. 451-456.
- SANZ, M. (1983), *L'estany de Banyoles i el seu sistema hidrològic*. Ciència, núm. 26, pàg. 24-27.
- SANZ, M. i TRILLA, J. (1980), *Particularidades hidrogeológicas y limitaciones del uso territorial en un área de la provincia de Girona*. Comun. 1ª Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, Santander.
- SANZ, M. i TRILLA, J. (1982), *Consideraciones sobre la dinámica del sistema càrstico de la Garrotxa*. III Simposio de Hidrogeología, pàg. 475-483. Madrid.
- SGC (Servei Geològic de Catalunya) (1996), *Els esfondraments del barri del Grup del Mont de Besalú*. (Informe intern inèdit). Servei Geològic de Catalunya.
- VIDAL PARDAL, M. (1954), *Los yesos de la comarca de Bañolas (Gerona)*. Min. Obr. Publ. Jef. Sond. Cim. e Inf. Geol. Bol., núm. 1.

L'ordenació del territori, basada en una limitació d'activitats i d'usos en funció del grau de perill, és l'estratègia més simple i viable per afrontar el risc d'esfondraments