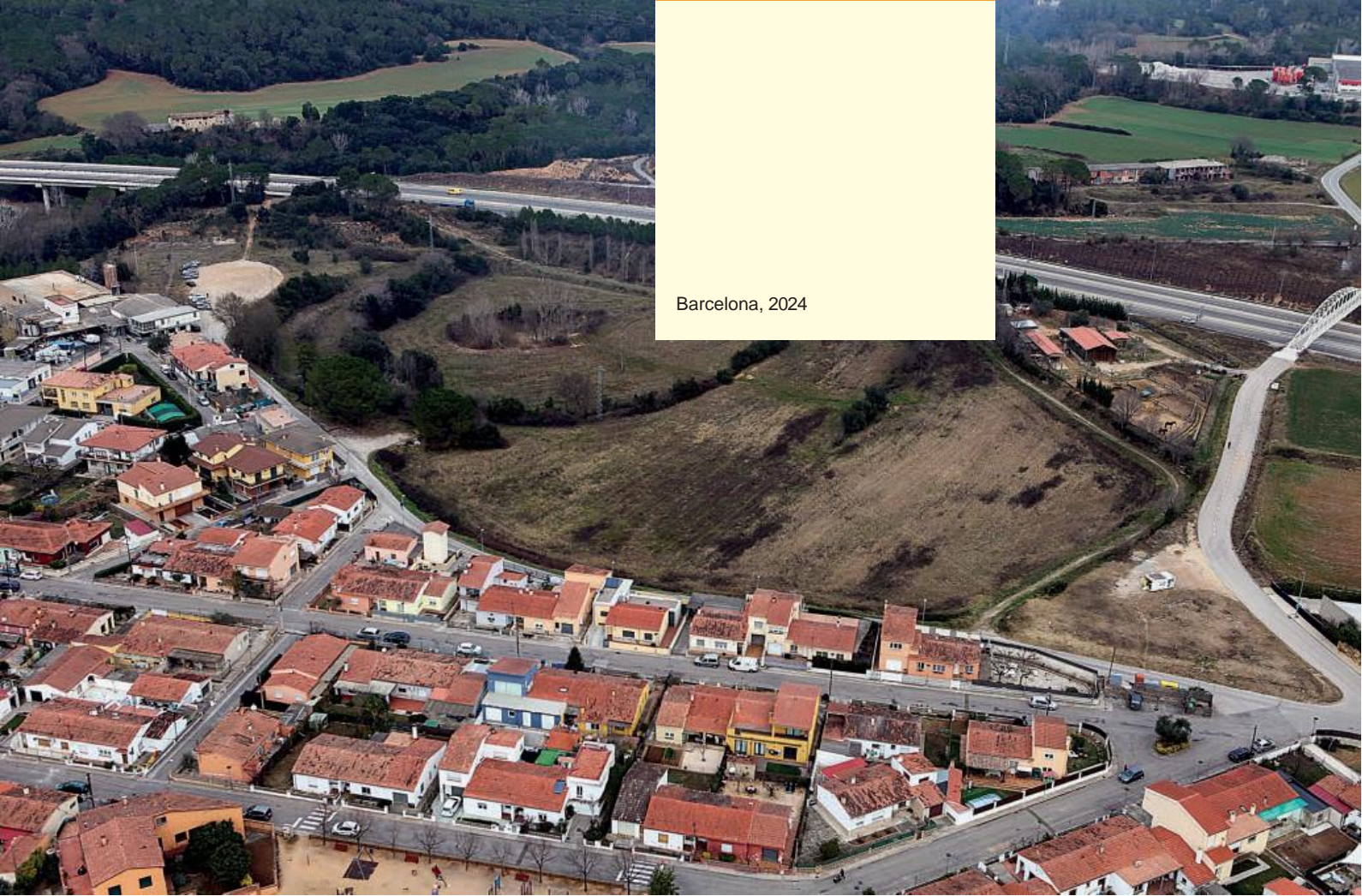


# 17 Monografies tècniques

## Guia per a l'elaboració d'Estudis d'Identificació de Riscos Geològics (esllavissades i enfonsaments) per a urbanisme

Barcelona, 2024





# **Guia per a l'elaboració d'Estudis d'Identificació de Riscos Geològics (esllavissades i enfonsaments) per a urbanisme**



# **Guia per a l'elaboració d'Estudis d'Identificació de Riscos Geològics (esllavissades i enfonsaments) per a urbanisme**

BARCELONA  
2024



BIBLIOTECA DE CATALUNYA - DADES CIP

Guia per a l'elaboració d'Estudis d'Identificació de Riscos Geològics (esllavissades i enfonsaments) per a urbanisme. – 1a edició. – (Monografies tècniques ; 17)  
ISBN 9788410393295  
I. Buxó, Pere, editor literari II. Palau, Joan, editor literari III. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, entitat editora IV. Col·lecció: Monografies tècniques (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya) ; 17  
1. Catàstrofes naturals – Avaluació del risc – Catalunya 2. Entorns geogràfics perillosos – Avaluació del risc – Catalunya 3. Geologia urbana – Catalunya  
504.4:711.14(460.23)  
55:711.4(460.23)

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

Direcció de l'ICGC  
Antonio Magariños

Direcció de l'obra  
Joan Palau. Subdirector d'Enginyeria i Recursos Geològics (ICGC)

Coordinació de l'obra  
Pere Buxó. Cap de l'Àrea d'Enginyeria i Risc Geològic (ICGC)

Equip redactor (ICGC)  
Pere Buxó  
Jordi Marturià  
Marc Janeras  
Marcel Barberà  
Jordi Ripoll

Grafisme  
Albert Martínez

Edició, correcció, publicació i impressió  
Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

Coberta  
Imatge presa el 29 de gener de 2016 a Besalú (Garrotxa, Girona) durant els treballs de camp de la tesi doctoral d'Ivan Fabregat González.  
Foto: Francisco Gutiérrez Santolalla.

Referència bibliogràfica de l'obra  
Buxó, P. (coord.) 2024: Guia per a l'elaboració d'Estudis d'Identificació de Riscos Geològics (esllavissades i enfonsaments) per a urbanisme, 80 pàg. Col·lecció: Monografies tècniques 17. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Barcelona.



Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, 2024  
[www.icgc.cat](http://www.icgc.cat)

1a edició: desembre 2024

D.L.: B. 23353-2024  
ISBN: 978-84-10393-29-5

# Sumari

## Pròleg 7

### 1. Introducció 9

- 1.1 La prevenció del risc geològic en l'ordenació del territori 9
- 1.2 L'estudi d'identificació del risc geològic 11

### 2. Identificació del risc geològic 13

- 2.1 Perills geològics a considerar 13
- 2.2 Àmbit d'estudi 17
- 2.3 Procediment en la identificació del risc 19
- 2.4 Accions derivades de la identificació del risc geològic 20

### 3. Valoració de la perillositat i accions derivades 21

- 3.1 Definició de la perillositat 21
- 3.2 Assignació de la perillositat en l'EIRG 22
  - 3.2.1 Determinació de la magnitud 22
  - 3.2.2 Determinació de la freqüència 25
  - 3.2.3 Determinació de la perillositat 27
- 3.3 Accions derivades de la valoració de la perillositat 28

### 4. Formalització de l'EIRG 29

- 4.1 Treballs a efectuar (recopilació de dades i interpretació de la informació) 29
  - 4.1.1 Documentació bibliogràfica i cartogràfica 29
  - 4.1.2 Observacions de camp i enquesta 30
  - 4.1.3 Inventari de fenòmens i indicis 31
- 4.2 Document a lliurar (estructura i contingut) 32
  - 4.2.1 Memòria 32
  - 4.2.2 Quadre i fitxes resum 23
  - 4.2.3 Mapes 34
  - 4.2.4 Annexos 34

## Apèndixs 35

- A.1 Classificació de les esllavissades 35
- A.2 Glossari de termes 38

## Annexos

### A1 Despreniments 41

- A1.1 Definicions 41
- A1.2 Anàlisi de susceptibilitat 46
- A1.3 Indicis d'activitat 48
- A1.4 Potencial de propagació 49
- A1.5 Escala de mida destructiva 50

### A2 Lliscaments 51

- A2.1 Definicions 51
- A2.2 Anàlisi de susceptibilitat 52
- A2.3 Indicis d'activitat 54
- A2.4 Escala de mida destructiva 56

### A3 Fluxos 61

- A3.1 Definicions 61
- A3.2 Anàlisi de susceptibilitat 63
- A3.3 Indicis d'activitat 66
- A3.4 Potencial de propagació 66

## **Guia per a l'elaboració d'Estudis d'Identificació de Riscos Geològics per a urbanisme**

- A3.5 **Escala de mida destructiva** 67
- A3.6 **Recursos cartogràfics i documentals** 68

### **A4 Enfonsaments 69**

- A4.1 **Definicions** 69
- A4.2 **Mecanismes generadors d'enfonsaments** 69
- A4.3 **Mecanismes de propagació** 70
- A4.4 **Perillositat dels enfonsaments** 72
- A4.5 **Anàlisi de susceptibilitat** 74
- A4.6 **Indicis d'activitat** 75
- A4.7 **Graus de perillositat segons diferents escenaris** 77



# Pròleg

Al llarg del temps les esllavissades i els enfonsaments del terreny, el que anomenem geoperills, han causat nombroses pèrdues econòmiques i han afectat a centenars de persones. A Catalunya, tot i tractar-se d'un país amb un risc geològic moderat, l'abruptesa del terreny juntament amb un règim climàtic mediterrani, amb episodis de precipitacions abundants, fa que una part de la població estigui exposada, en major o en menor grau, al perill de les esllavissades.

La història ens ha deixat ciutats, pobles i masos sotmesos a un determinat nivell de perill; allò que abans podia ser un avantatge, com per exemple situar-se al costat d'un torrent o buscar l'abric de la muntanya, es pot convertir en una amenaça. En les zones amb usos residencials o equipaments que es trobem sotmeses a geoperills, l'Administració Pública ha d'actuar dedicant-hi importants recursos econòmics. Entre els episodis més lesius de l'ocupació inadequada del terreny cal citar el cas de Sallent, on l'any 2009 els veïns del Barri de l'Estació van haver de ser reubicats a causa de l'acceleració de l'enfonsament que estava patint el Barri des de 1990. Si bé aquest cas és únic, hi ha moltes situacions distribuïdes al llarg del territori que han generat desallotjaments i abandonaments d'habitatges causant pèrdues i angoixa a la gent que les ha sofert.

Des de l'any 2006, el Reglament de la Llei d'Urbanisme indica que el planejament urbanístic ha de preservar de la urbanització i l'edificació les zones de risc que afectin la seguretat i el benestar de les persones. Els expedients urbanístics han de contenir preceptivament l'informe de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya; en aquest sentit l'ICGC revisa cadascuna de les actuacions des del punt de vista dels georiscos. Si bé per a la inundabilitat la definició i la delimitació de les zones de perillositat queda ben especificada en la Llei del Domini Públic Hidràulic i en una gran quantitat de manuals que indiquen com s'ha de delimitar les zones afectades; per a la caracterització de la perillositat de les esllavissades i per als enfonsaments no hi ha una normativa ad-hoc i gairebé no hi ha manuals de com s'ha de procedir a la seva delimitació.

En aquest sentit l'aportació de *la Guia per a l'elaboració d'Estudis d'Identificació de Riscos Geològics (esllavissades i enfonsaments) per a urbanisme* que teniu a les mans és doble: fixa els criteris per determinar quan un sector o àrea urbanitzable presenta una probabilitat de ser afectada per un geoperill i proposa un mètode per establir de forma preliminar el grau de perill i les recomanacions que se'n deriven, com ara la necessitat de realitzar accions addicionals o de no urbanitzar. La guia, a més de ser una ajuda als consultors de riscos, indica els criteris que segueix l'ICGC per informar de la conveniència d'una actuació d'acord amb el Reglament i la Llei d'Urbanisme.

Des de l'any 2021 una primera versió de la guia estava disponible a través de la versió publicada a la web de l'ICGC. Però tenint en compte que vol ser un document de referència en el tractament del risc geològic en urbanisme, s'ha considerat oportú fer una edició impresa de la versió actualitzada. Així, doncs, ens trobem davant d'una eina valuosa que té per funció contribuir a reduir el risc, millorar la seguretat de la societat i evitar que es reproduïxin situacions viscudes en el passat degudes a l'ocupació de zones poc aptes per a la urbanització. Tant de bo ho aconseguïxi!

**Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya**



# 1. Introducció

## 1.1 La prevenció del risc geològic en l'ordenació del territori

### *Principi de prevenció del risc geològic en el context internacional*

La necessitat de la gestió dels riscos naturals i els seus efectes sobre el medi socioeconòmic ha fet que en els darrers decennis hagi hagut una progressiva conscienciació dels agents públics a nivell nacional i internacional. Aquesta preocupació assoleix una fita internacional l'any 1994, quan l'Organització de les Nacions Unides estableix unes directrius per a la reducció dels efectes sobre la població dels desastres naturals (IDNDR, 1994),<sup>1</sup> i que posteriorment, l'any 2015, reforça en el marc del protocol de Sendai<sup>2</sup>. D'aquestes iniciatives es conclou que la forma més eficaç de gestionar el risc és la prevenció, disminuint l'exposició dels elements vulnerables.

D'aquesta manera, la gestió del risc entronca també amb els principis del *desenvolupament sostenible*,<sup>3</sup> ja que la seva correcta gestió evita l'ús de recursos futurs en termes d'inversió o pèrdues. Per aquests motius, el Govern de Catalunya ha promogut polítiques destinades a prevenir i a mitigar els danys produïts pels riscos naturals, integrant la gestió del territori i l'emergència davant dels riscos naturals mitjançant un marc legal que incorpora tots aquests conceptes.

### *Definició del risc geològic*

Els processos geològics són fenòmens naturals recurrents que tenen un potencial destructiu i que afecten en diferents graus el medi físic i l'entorn socioeconòmic. La interacció dels processos geològics amb l'activitat humana genera situacions de *risc* que poden generar *conseqüències* que afectin la salut i el benestar de les persones, l'activitat econòmica i la preservació de béns i actius. Anomenem doncs, *risc geològic* la interacció dels fenòmens geològics potencialment destructius amb l'activitat humana que presenta una *exposició* i *vulnerabilitat*. La valoració del risc és una mesura del dany esperable en un espai i per un període de temps.

### *La Llei i el Reglament d'Urbanisme introdueixen els riscos geològics*

L'any 2006 Catalunya va incorporar a la legislació urbanística i d'ordenació del territori els principis de prevenció del risc i del desenvolupament sostenible. Segons el que estableixen els articles 9 i 51 de la Llei 3/2012, de 22 de febrer, de modificació del text refós de la Llei d'Urbanisme, aprovat pel Decret legislatiu 1/2010, del 3 d'agost, i els articles 5, 59, 69, 72, 84 i 86 del Decret 305/2006, de 18 de juliol, la tramitació i l'aprovació de les figures del planejament urbanístic han d'incorporar i considerar la informació referent al risc geològic. La literalitat de la Llei d'Urbanisme en el seu article 9 estableix que:

*Les administracions amb competències en matèria urbanística han de vetllar perquè les determinacions i l'execució del planejament urbanístic permetin assolir, en benefici de la seguretat i el benestar de les persones, uns nivells adequats de qualitat de vida, de sostenibilitat ambiental i de preservació enfront dels riscos naturals i tecnològics.*

1. IDNDR (UN), 1994: *Yokohama Strategy and Plan of Action for a Safer World*.  
2. UNDRR (UN), 2015: *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction, 2015-2030*.  
3. *Sustainable Development Goals*. UN. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>

*En els terrenys situats en zones de risc d'inundació o d'altres riscos quan, d'acord amb la legislació sectorial, puguin produir danys a les persones o béns, regeixen les limitacions d'ús del sòl que estableix la dita legislació. En el cas que la legislació sectorial no reguli les limitacions d'ús, no es pot admetre en les zones de risc greu dur a terme actuacions de nova urbanització, ni incrementar l'edificabilitat o la intensitat de l'ús previstes pel planejament en sòl urbà ni edificar en els terrenys situats en sòl no urbanitzable, llevat que es tracti d'una actuació urbanística que inclogui entre les obres d'urbanització les infraestructures o altres mesures que l'administració sectorial consideri necessàries.*

### *El rol de l'ICGC en la prevenció dels riscos geològics en l'ordenació urbanística*

D'acord amb la Llei vigent, l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (d'ara endavant ICGC) informa preceptivament a les comissions territorials d'urbanisme sobre la possibilitat que el risc geològic incideixi en el desenvolupament del planejament urbanístic (general o derivat). En aquest sentit els informes sobre el risc geològic emesos per l'ICGC indiquen si en l'àmbit territorial que comprèn el planejament a consideració, el risc limita, condiona o impedeix la planificació prevista. L'ICGC remet aquests informes a la comissió territorial d'urbanisme qui, en darrera instància, estableix la idoneïtat del tractament dels riscos geològics en cada cas.

Les tasques de l'ICGC en aquest procediment són:

- Revisar que el pla o acció urbanística sigui viable en termes d'exposició al risc geològic segons els criteris establerts i comprovar si aquesta viabilitat està ben justificada en els informes específics que adjunta l'expedient.
- Revisar si el pla o acció poden generar noves situacions de risc que afectin la pròpia actuació o a tercers.

La revisió tècnica dels expedients que fa l'ICGC té per objectiu comprovar que la informació que aporta el pla:

- Recull tota la informació disponible sobre els riscos geològics i que aquesta és suficient per a la seva prevenció.
- Empra metodologies que són adequades per a establir el grau del risc geològic.
- Aplica amb coherència la informació de riscos geològics al planejament.

### *Com es resolen els expedients per risc geològic?*

En les àrees delimitades pel planejament cal identificar el grau de *perillositat geològica* present, amb el conseqüent risc associat en cas d'aprofitament urbanístic del sòl:

- Àrees *sense* perillositat geològica: el risc associat als usos urbanístics es considera negligible i no requereix de cap mesura preventiva addicional. Per tant, queden lliures de condicionants de mesures de mitigació del risc i el planejament pot incorporar-les sense restriccions. Eventualment, poden derivar-se unes recomanacions generals en referència al terreny, adequades a les seves característiques geològiques i geotècniques.
- Àrees amb perillositat *baixa*: correspon a àrees en les quals es poden produir situacions de risc per a usos urbanístics, però que són fàcilment corregibles amb mesures de poca exigència tècnica i econòmica, que resulten assumibles en la pròpia urbanització o edificació. El planejament haurà d'indicar quins estudis de detall o projectes de mitigació del risc caldrà que es realitzin.
- Àrees amb perillositat *mitjana* o *alta*: corresponen a les àrees en les quals la prevenció del risc en usos urbanístics requereix prendre mesures de protecció o correctives d'exigència tècnica i econòmica elevades, molt elevades o fins i tot inviables. Equival al què la llei anomena *risc greu*. No es recomana que s'incorporin al planejament com a sòl urbà o urbanitzable, tret que s'aportin estudis detallats i projectes, amb les partides econòmiques i fases d'implementació, que justifiquin que el risc se situarà a un nivell baix després de la seva correcció.

Aquesta distinció es reflecteix al gràfic del flux lògic dels estudis de risc geològic per a la seva mitigació en el planejament urbanístic (figura 1). En qualsevol cas, les mesures de mitigació del risc han de ser considerades en l'avaluació econòmica i financera del planejament.

## 1.2 L'estudi d'identificació del risc geològic

*L'EIRG com a eina clau per sistematitzar el tractament dels riscos en l'urbanisme*

D'acord amb els antecedents legals exposats, la sol·licitud d'un informe preceptiu a l'ICGC i la varietat de fenòmens geològics a considerar, l'ICGC i la Direcció General d'Ordenació del Territori, Urbanisme i Arquitectura van considerar necessari sistematitzar l'exposició de la informació referent als riscos geològics en un document tècnic específic que s'anomenés *Estudi d'Identificació de Riscos Geològics* (EIRG).

L'EIRG és l'informe de base per a la prevenció dels riscos geològics i les consideracions que se'n derivin han de quedar recollides en el planejament.

*Evolució de la guia de redacció dels Estudis d'Identificació de Riscos Geològics*

La figura de l'EIRG va quedar definida en el document *Criteris bàsics per a la realització de l'Estudi d'Identificació de Riscos Geològics (EIRG)* elaborat per l'ICGC el 2011 i revisat el 2017. Actualitzava uns informes que ja es venien fent des de l'any 2000 amb el nom *Dictamen preliminar de riscos geològics*.

El 2021 es va transformar el document en una guia tècnica d'elaboració de l'EIRG incorporant el criteri urbanístic i la interpretació del reglament de la Llei d'Urbanisme des del punt de vista del risc geològic (i en particular el concepte de risc greu). Després de diverses revisions i ampliacions, el 2024 es publica aquesta edició de la guia. Des de la perspectiva tècnica introdueix nous plantejaments metodològics i des del punt de vista de gestió pretén clarificar el tractament del risc geològic per a tots els agents implicats.

*Objecte de l'EIRG*

L'objectiu fonamental de l'EIRG és detectar les àrees amb potencial risc geològic per tal que aquest factor sigui pres en consideració en el planejament d'usos del sòl. La finalitat última de l'EIRG és minimitzar la possibilitat que els riscos geològics afectin la seguretat i el benestar de les persones, ja sigui evitant ocupar els sectors que presentin risc o prenent les accions oportunes per a la seva correcció.

L'EIRG s'ha de realitzar en els primers estadis del planejament per tal d'identificar el més aviat possible les àrees sotmeses a risc i facilitar la presa de decisions.

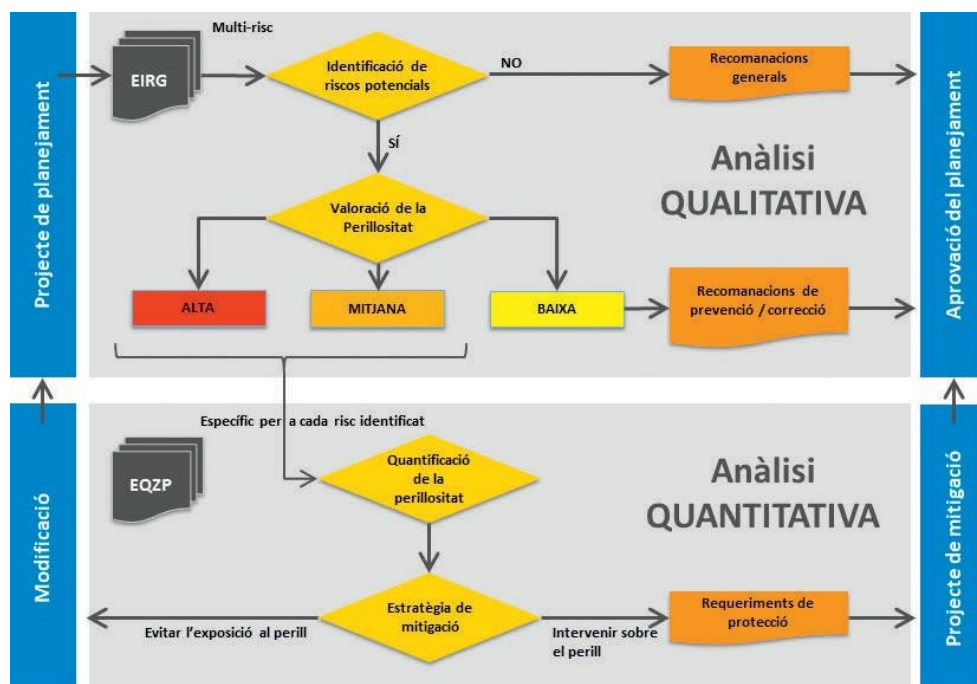


Figura 1. Esquema del flux de treball per a la incorporació del risc geològic al planejament urbanístic, i de les funcions a exercir per a l'Estudi d'Identificació de Riscos Geològics (EIRG) i per a l'Estudi de Quantificació i Zonificació del terreny per Perillositat geològica (EQZP).

## Guia per a l'elaboració d'Estudis d'Identificació de Riscos Geològics per a urbanisme

### *Resultats esperats d'un EIRG (identificació del risc + valoració qualitativa de la perillositat)*

Per tal d'assolir el seu objectiu, l'EIRG ha d'identificar els fenòmens geològics actius generadors de risc geològic que poden afectar els àmbits delimitats en el planejament urbanístic mitjançant una anàlisi local que conclouï amb una valoració qualitativa de la perillositat a la qual estan sotmesos.

### *Les recomanacions de l'EIRG han de quedar recollides en el planejament*

Les recomanacions derivades de l'EIRG s'han de traslladar nítidament al planejament al qual acompanyen. Les estructures i els elements de protecció del risc geològic cal entendre-les com un element més d'urbanització. De la mateixa manera que no es permet la construcció en espais urbanitzats que no disposin dels serveis bàsics (clavegueram, enllumenat, etc.) tampoc s'ha de permetre la construcció o usos regulats del sòl en àrees subjectes a risc geològic sense tractar. L'EIRG haurà d'anar annexat a la memòria de les figures del planejament urbanístic amb els plànols corresponents.

### *L'EIRG és un dictamen d'expert signat per una persona professional competent*

L'EIRG correspon a un informe d'expertesa, per aquest motiu l'ICGC demana que estigui signat per una persona especialista en matèria de risc geològic que tingui un coneixement detallat dels processos geològics considerats. Els coneixements especialitzats inclouen la geologia general, la geomorfologia, la hidrogeologia i la geotècnia. L'autor es responsabilitza del contingut de l'EIRG en els següents aspectes: i) que la informació recopilada és tota la disponible i és suficient per a la funció de l'estudi, ii) que el seu tractament correspon a metodologies fonamentades, iii) que les estimacions s'emparen en criteris de prudència raonable i iv) que les conclusions i recomanacions derivades no estan influïdes per interessos propis o aliens.

### *Treball per etapes*

A nivell conceptual el treball associat a un EIRG es pot dividir en 3 etapes o fases de treball, que es detallen en els propers apartats del document:

- Etapa 1: identificar fenòmens generadors de risc geològic en sentit binari per a cadascun d'ells (s'hi identifica / no s'hi identifica).
- Etapa 2: valorar el grau de perillositat de forma qualitativa (baixa, mitjana o alta).
- Etapa 3: determinar les accions de mitigació del risc, derivades del grau de perillositat assignat.



## 2. Identificació del risc geològic

### *Finalitat de la “identificació del risc”*

Aquesta etapa d'identificació del risc consisteix a concloure de forma binària (sí o no) quins perills o fenòmens geològics podrien arribar a afectar les actuacions urbanístiques del planejament que es promou. De l'estudi se'n derivarà una llista de fenòmens geològics generadors de risc que s'han de tenir en consideració.

### *Concepte de “susceptibilitat”*

A nivell teòric, aquesta etapa d'estudi s'assimila a una *anàlisi de susceptibilitat*. És a dir, la cerca d'indicis dels fenòmens actius o dels factors del terreny i ambientals que afavoreixen les dinàmiques geològiques generadores de risc.

## 2.1 Perills geològics a considerar

### *Focalitzar-se en moviments de massa però considerar altres fenòmens geològics*

L'objecte d'estudi principal de l'EIRG són els moviments de massa o gravitacionals, i amb especial rellevància els de vessant o esllavissades. L'EIRG, a més, ha de considerar qualsevol fenomen de tipus geològic actiu que pugui comportar un risc per a les persones, les edificacions i les infraestructures, tant si són naturals com derivats de l'acció humana. En aquest darrer cas el seu tractament serà diferenciat, proporcionat a la seva incidència. El conjunt de fenòmens a tractar s'han escollit d'acord a la seva presència i recurrència a Catalunya.

### *Apunt sobre el terme esllavissada*

En aquesta guia s'empra el mot “esllavissada” en el sentit ampli del terme que inclou 3 tipologies fonamentals (caigudes, fluxos i lliscaments). Aquesta forma de procedir, si bé s'allunya lleugerament de l'academicisme, permet cobrir d'una forma simple les formes més comunes dels moviments de vessant i simplifica la comprensió de la problemàtica a persones no especialistes (vegeu l'apèndix “Classificació de les esllavissades”).

### *Detall dels fenòmens a valorar: 5 de primaris*

Així doncs, els fenòmens geològics que es consideraran en l'EIRG són fonamentalment cinc, per als quals es farà el procediment complet d'identificació i valoració de la perillositat:

- Despreniments (figura 2).
- Lliscaments (figura 3).
- Fluxos (figura 4).
- Enfonsaments (figura 5).
- Allaus de neu (figura 6).

### *Detall dels fenòmens a valorar: 3 de secundaris*

Paral·lelament a aquests fenòmens, cal considerar tres situacions de risc derivades d'ells o de dinàmiques similars que impliquen moviments o transformacions del terreny i que els fan inadequats a l'ocupació per edificació.



Figura 2. Tall esquemàtic representatiu d'una caiguda de roques.  
Fotografia: Impacte d'un bloc caigut en un habitatge de la Clua (Artesa de Segre) el 24 de desembre de 2009. Font: ICGC.



Figura 3. Tall esquemàtic representatiu d'un lliscament del terreny.  
Fotografia: Capçalera d'un lliscament rotacional ocorregut al Veïnat de Can Ram de Sant Pere de Vilamajor, el 24 de gener de 2020. Font: ICGC.



Figura 4. Tall esquemàtic representatiu d'un flux.  
Fotografia: Dipòsit d'un flux de tipus corrent d'arrossegalls al voltant de les cases del Carrer dera Capella de Vielha, ocorregut el 6 de novembre de 1982. Font: Ajuntament de Vielha e Mijaran, Escuer (2013).



## 2. Identificació del risc geològic



Figura 5. Tall esquemàtic d'un enfonsament del terreny (subsidiència i col·lapse).  
Fotografia: Esquerdas a l'edifici que hi havia al número 20 del Carrer de València del Barri de l'Estació de Sallent provocades per la subsidiència del terreny a causa d'una explotació minera, any 1997. Font: ICGC.



Figura 6. Tall esquemàtic representatiu d'una allau de neu.  
Fotografia: Impacte i dipòsit d'una allau sobre el refugi de Pastuira el 8 de febrer de 1996. Font: ICGC.

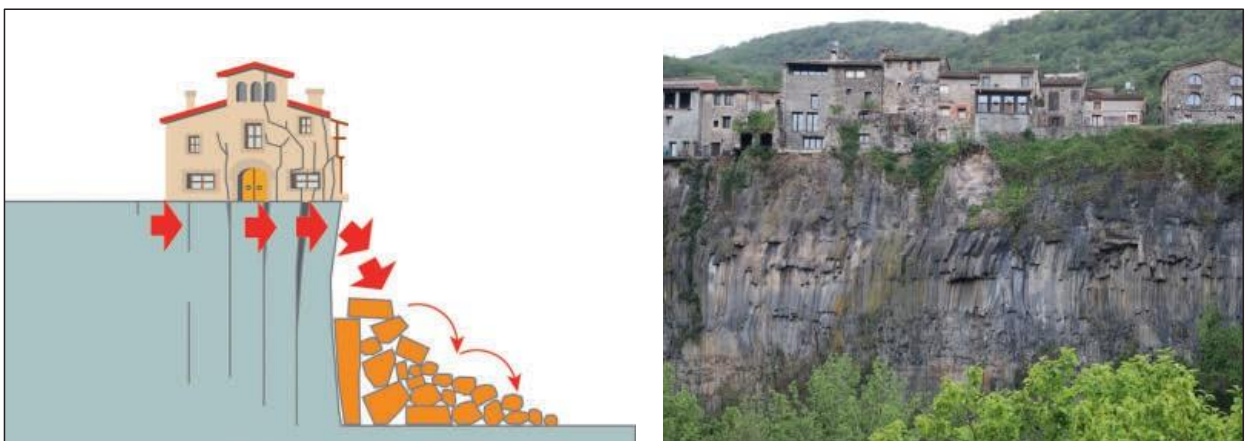


Figura 7. Tall esquemàtic del retrocés d'escarpament.  
Fotografia: Cinglera de Castellfollit de la Roca on s'està produint un lent retrocés de l'escarpament per la caiguda de blocs basàltics, any 2023. Font: ICGC.



Figura 8. Tall esquemàtic de l'erosió i deposició provocat per un corrent fluvial.  
Fotografia: Lliscament ocorregut el 23 d'octubre de 2019, conseqüència del soscavament de la Riera de Gaia a Sant Miquel de Gonteres (Viladecavalls). Font: ICGC.

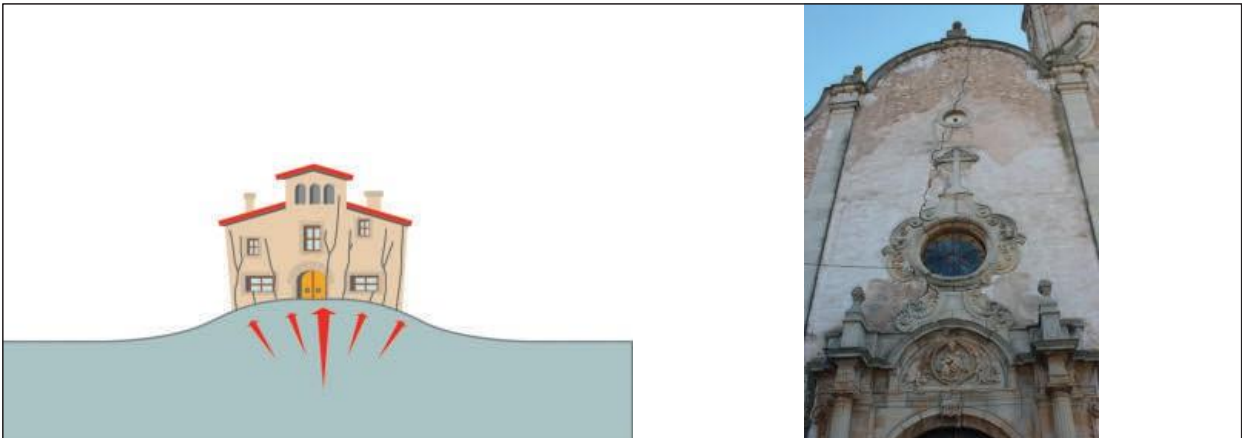


Figura 9. Tall esquemàtic de les problemàtiques geotècniques que pot comportar l'expansivitat del terreny.  
Fotografia: Esquerdes de la façana de l'església de Barberà de la Conca, l'any 2017. Font: ICGC.

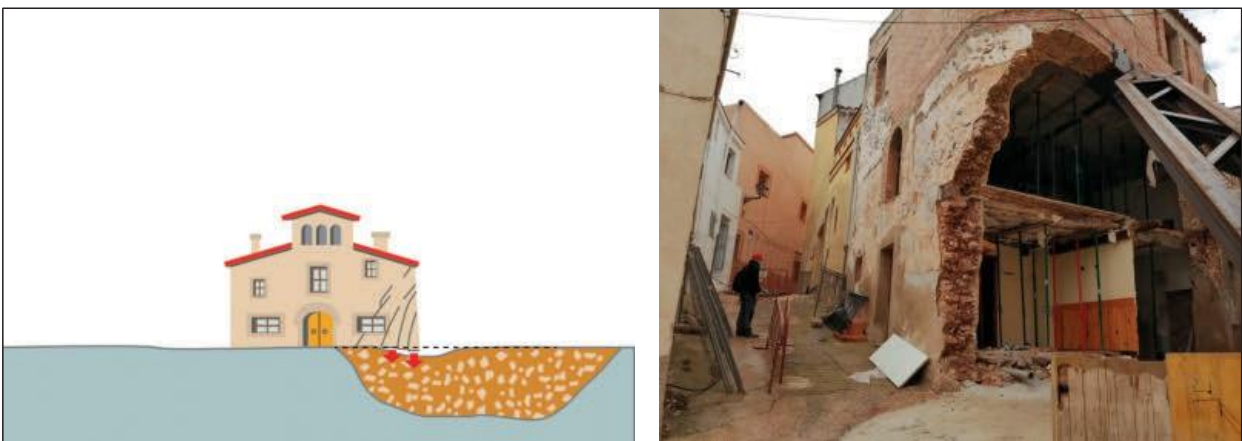


Figura 10. Problemàtiques geotècniques per evolució de rebliments.  
Fotografia: Esfondrament parcial d'una casa d'Alfara de Carles l'any 2021, per rentat dels materials de rebliment del subsol. Font: ICGC.

- Retrocés d'escarpament (figura 7).
- Erosió i deposició relacionats amb dinàmica fluvial i litoral (figura 8).
- Problemàtiques geotècniques per presència de terrenys expansius, de rebliments antròpics, de materials degradables o de sediments col·lapsables (figura 9 i figura 10).

En aquests casos, la valoració de la perillositat com a tal pot quedar limitada per aspectes metodològics. Malgrat això, l'estudi haurà d'identificar amb claredat i valorar el grau d'incidència que pot tenir l'ocupació dels esmentats terrenys en relació a la seguretat i a la durabilitat dels edificis.

### *Detall dels fenòmens a valorar: 1 de general*

Finalment, es contempla el risc sísmic, que té caràcter general per ser omnipresent al territori. Atès que és variable en la seva incidència, es recollirà la seva valoració particularitzada a l'indret d'acord amb les fonts d'informació generals i la normativa específica, així com la identificació de factors locals que puguin modular el risc o potencials efectes derivats.

### *Exclusió del vulcanisme i la inundabilitat*

Els riscos volcànics només es consideraran en projectes d'infraestructures crítiques (per exemple centrals nuclears) en què s'analitzin els escenaris de molt baixa recurrència, amb períodes de retorn  $T \geq 1\ 000$  anys, d'acord amb la seva activitat a Catalunya<sup>4</sup>.

L'EIRG no inclou la valoració del risc d'inundació, ja que correspon als diferents organismes de conca i té un tractament específic i separat en els temes que estableix la Llei d'Aigües i el Reglament del Domini Públic Hidràulic. Malgrat això, algunes dinàmiques geològiques com ara els processos d'erosió i de sedimentació en zones de torrent són mixtes. En conseqüència, la inundabilitat serà un aspecte a tenir present com a condició de contorn i a recollir en l'EIRG en la mesura que condicioni altres fenòmens.

### *Seqüència de treball comuna per als diferents fenòmens*

La particularitat de cadascun dels fenòmens requereix emprar metodologies d'anàlisi específiques. Ara bé, la seqüència de treball és comuna per a tots ells i inclou els passos següents:

- Recopilació de la informació (fonts documentals, enquesta oral i dades instrumentals).
- Fotointerpretació (anàlisi de fotografies aèries de diferents anys i cartografia).
- Inspecció de camp.
- Interpretació dels indicis observats (anàlisi geomorfològica i indicadors d'activitat) i correlació de tota la informació.

Als annexos de la guia s'indiquen les principals metodologies d'anàlisi i altres consideracions aplicades als riscos geològics que tenen origen en el terreny, és a dir, les esllavissades i els enfonsaments.

## 2.2 Àmbit d'estudi

### *Àmbit o àmbits d'estudi en funció dels sectors delimitats*

L'EIRG ha de cobrir els sectors urbanístics delimitats al planejament on hi hagi o hi pugui haver elements d'exposició permanent de persones. També es recomana incloure els indrets en sòl no urbanitzable que siguin molt freqüentats i on es produeixi una exposició regular de les persones al risc geològic (per exemple: platges o zones d'esbarjo). Els sectors i àrees d'estudi es poden agrupar o subdividir per facilitar l'anàlisi.

4. RISKCAT: *Els riscos naturals a Catalunya*. Informe del CADS 6, 2008.



Àmbit d'estudi en funció dels fenòmens en relació a la seva dinàmica

A partir de la cobertura anterior, l'anàlisi d'identificació del risc s'ha d'ampliar a tota l'extensió de l'àrea de potencial influència dels sectors delimitats en el planejament. Aquesta extensió depèn de la mobilitat de cada fenomen (figura 11):

- La caiguda de roques, els fluxos i les allaus de neu tenen una alta mobilitat, és a dir, l'extensió de l'àrea afectada des de l'inici del moviment fins a l'aturada és molt major que l'àrea on s'origina. Així, es distingeix una zona de sortida, on es genera la inestabilitat, una zona de trànsit, on té lloc el major desenvolupament d'energia cinètica, i una zona d'arribada, on s'atura el moviment i es diposita el material.
- L'enfonsament té origen en un moviment del subsol que es propaga cap a la superfície en sentit vertical i per tant té una representació en planta cartogràfica molt limitada. Inclou, però, moviments de velocitat molt diferents, que es distingeixen en subsidència, quan és progressiu i, col·lapse, quan és sobtat.
- Els lliscaments presenten, en general, una situació de mobilitat intermèdia ja que si bé es propaguen pel vessant, el seu recorregut no sol ser massa més gran que la de la inestabilitat inicial (per bé que pot haver-hi situacions variables) de manera que part del material no arriba a sortir de la zona de trencada. Així mateix, presenten velocitats de moviment molt variades segons el cas.

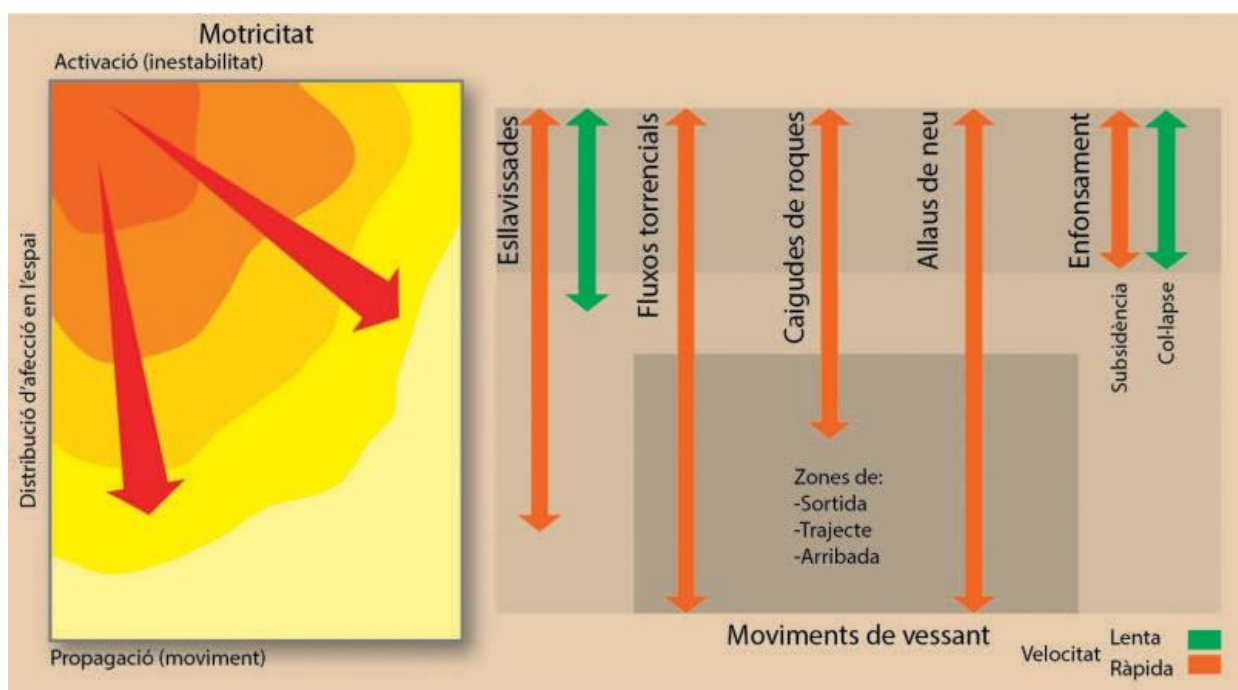


Figura 11. Esquema de la mobilitat i de la velocitat dels diferents riscos geològics.

Elements que defineixen l'àmbit de l'EIRG

Atès que l'EIRG ha de cobrir tota la zona on es desenvolupen els fenòmens amb potencial incidència a les delimitacions del planejament, es defineixen els següents àmbits (figura 12):

- Àmbit delimitat: correspon als sectors delimitats en el planejament en qüestió. En els planejaments urbanístics generals, l'estudi s'haurà de pronunciar com a mínim en tots els sectors delimitats com a urbans i urbanitzables, però també haurà d'incloure els llocs amb exposició permanent de persones. En el cas dels planejaments derivats, s'haurà de considerar els sectors o parcel·les objecte del planejament.
- Àmbit d'influència del fenomen: les anàlisis del territori a desenvolupar en l'EIRG cobriran tota l'extensió espacial que correspongui a la potencial afectació dels diferents fenòmens estudiats. En aquest sentit, cal analitzar els fenòmens que, tot i tenir un origen fora dels àmbits delimitats urbanísticament, puguin propagar-se i tenir influència sobre aquests.

- Àmbit d'estudi: és l'àrea sobre la qual es pronuncia l'EIRG, tant en termes d'identificació dels possibles riscos com de la valoració de la seva perillositat. Cada àmbit d'estudi ha d'estar convenientment definit per un polígon que ha de contenir tota l'extensió dels diferents àmbits del planejament urbanístic més tota l'àrea potencial d'influència del fenomen.

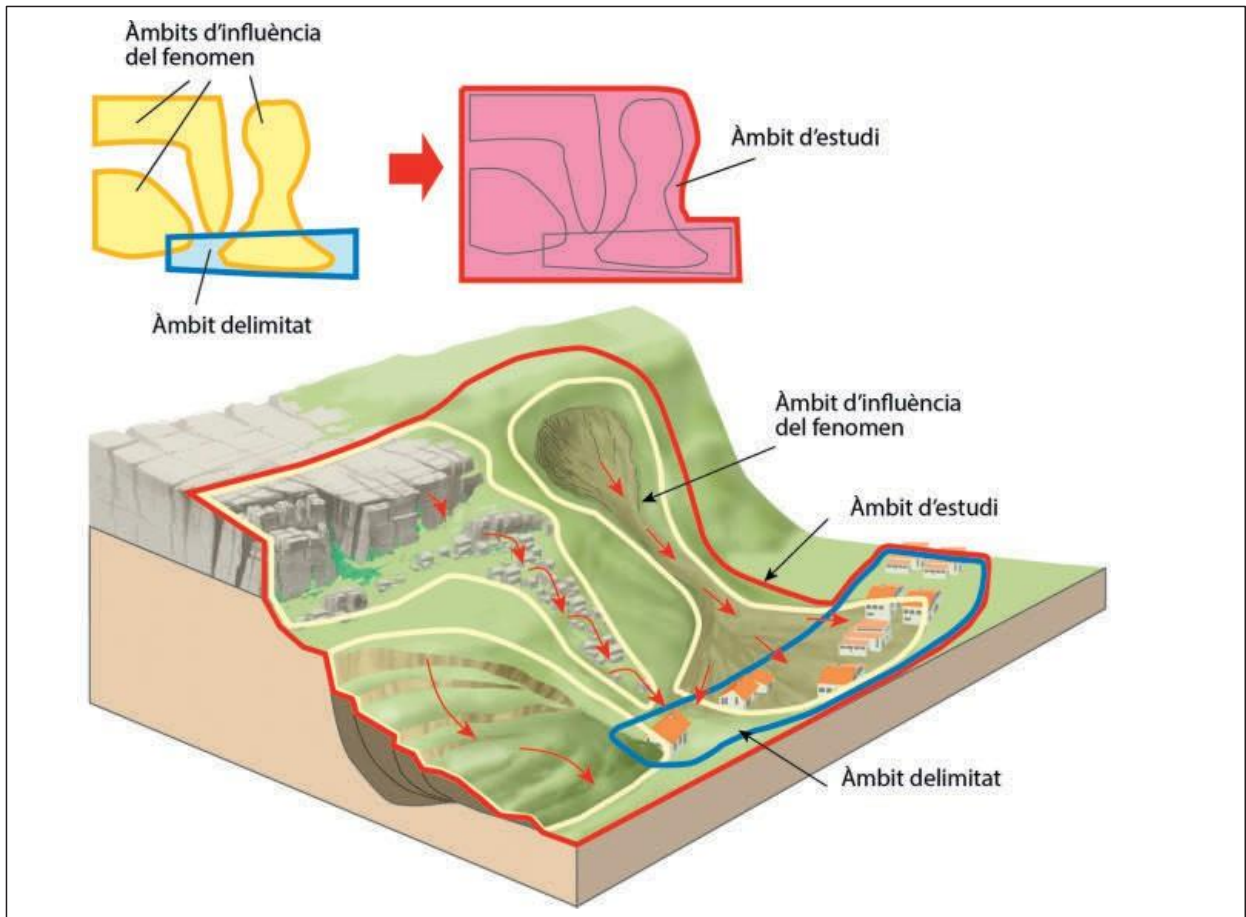


Figura 12. Resum de la definició dels àmbits de l'EIRG.

## 2.3 Procediment en la identificació del risc

### *Identificació de les àrees susceptibles d'estar sotmeses a un perill*

La identificació de les àrees amb *susceptibilitat* de presentar un perill es realitzarà a partir dels indicis geomorfològics i litològics i dels antecedents recopilats, d'acord amb les característiques de cada fenomen. Es consideraran susceptibles tant les àrees que generen el fenomen (zones de sortida) com les que es poden veure afectades en el seu recorregut (zones de trajecte i d'arribada).

En el cas de les àrees sense susceptibilitat, en la descripció de la memòria s'ha de posar de manifest els motius de la manca de susceptibilitat (inexistència d'indicis, improbabilitat que siguin afectades pel fenomen, etc.). Aquesta justificació pot ser genèrica per a tot l'àmbit d'estudi per a un risc clarament inexistent per condicions regionals (com per exemple les allaus de neu fora de regions muntanyoses), o particularitzada per àrees amb susceptibilitat variable dins de l'àmbit de l'EIRG.

### *Formes de recurrència: fenòmens renovables i reactivables*

Vinculat a la identificació de la susceptibilitat d'un fenomen és útil classificar-lo en funció de la seva capacitat de reproducció en un mateix indret. Es poden distingir dues tipologies de fenòmens (taula 1):

TAULA 1. Resum de les condicions de mobilitat dels cinc riscos principals.

Risc	Propagable	Renovable	Reactivable
Lliscament	Sí / No	No	Sí
Despreniment	Sí	Si	No
Flux	Sí	Si	No
Allau	Sí	Sí	No
Enfonsament	No	No	Sí

- Fenòmens *renovables*: l'exemple més clar són les allaus de neu, ja que cada any es configura un mantell de neu nou, que pot generar noves allaus. La caiguda de roques i els fluxos torrencials també s'hi assimilien. Si bé el material que es desprèn i recorre el vessant ja no torna a la capçalera, la disponibilitat de material a la zona de sortida es pot considerar prou alta per poder repetir els escenaris amb condicions molt similars, encara que no estrictament idèntiques.
- Fenòmens *reactivables*: a diferència dels anteriors fenòmens, els lliscaments i els enfonsaments del terreny impliquen, en general, la mobilització d'una massa inestable, que pot incrementar el seu volum amb una creixent extensió, però en gran part, és la mateixa massa que segueix el moviment a partir del punt on era. En aquests casos, no identifiquem una reiteració de moviments similars, sinó que és un moviment únic, el qual pot experimentar etapes de reactivació i d'aturada segons les condicions ambientals.

En tots els casos però, s'aplica el concepte de recurrència, que és un component de la perillositat a valorar en l'etapa següent. Segons aquesta distinció, la seva lectura serà en termes de freqüència temporal d'ocurrència o en probabilitat d'activació.

## 2.4 Accions derivades de la identificació del risc geològic

### *Quin és el resultat de l'etapa de la identificació del risc?*

De l'etapa d'identificació de fenòmens que poden generar risc, o anàlisi de la susceptibilitat, es pot arribar a les conclusions següents per a cadascun:

- No s'identifica cap fenomen generador de risc.
- S'identifica un o més fenòmens potencialment generadors de risc, però estan clarament fora de l'àmbit de planejament i en escenaris conservadors de propagació no es genera una situació d'exposició al perill.
- S'identifica un o més fenòmens generadors de risc fora de l'àmbit de planejament amb un potencial de propagació que pot afectar les zones delimitades.
- S'identifica un o més fenòmens generadors de risc dins de l'àmbit de planejament.

### *Abast de les recomanacions generals*

Els dos primers casos (a i b) corresponen a la situació que no s'identifica risc geològic en l'àmbit de planejament i, per tant, l'urbanisme no ha de tenir en compte cap condicionant geològic d'aquest tipus. No obstant, l'anàlisi realitzat per l'EIRG pot aportar algunes recomanacions generals a adoptar que poden millorar l'adaptació del planejament al terreny. Aquestes poden ser de diversa índole. Per exemple, considerar els riscos sobre elements externs a l'àmbit però que podrien condicionar el seu funcionament, com seria l'exposició de les carreteres d'accés que puguin implicar un risc d'aïllament. També poden referir-se a aspectes del terreny a tenir presents en els estudis geotècnics a desenvolupar i principis de cautela en les intervencions sobre el terreny.

### *Necessitat d'estimar la perillositat dels fenòmens identificats*

En els dos altres casos (c i d) convé en primera instància acotar la superfície potencialment afectada per fer el tractament diferenciat dins de l'àmbit. Aleshores, cal fer la valoració preliminar de la perillositat dels fenòmens detectats segons els criteris que s'exposen en el capítol següent (capítol 3).

## 3. Valoració de la perillositat i accions derivades

### *Objectiu de la valoració*

L'objectiu de l'EIRG és la valoració qualitativa de la perillositat, ja sigui de fenòmens actius (com un vessant que té un moviment de reptació constant) o potencials (com un bloc rocós que amenaça de desprendre's).

L'objecte d'aquesta valoració és discriminar els casos de:

- Perillositat baixa en què unes recomanacions preventives o unes accions senzilles de mitigació del risc poden ser perfectament eficaces i per a les quals la informació recopilada a nivell d'EIRG és suficient.
- Perillositat mitjana o alta en què és necessària una anàlisi quantificada i més aprofundida dels diferents factors influents en la perillositat que la que permet realitzar un estudi tipus EIRG, per tal de caracteritzar acuradament el grau i la necessitat de protecció i mitigació.

L'EIRG ha de fer una avaluació del grau de perillositat per a cada fenomen generador de risc identificat i per a cada àrea de forma diferenciada.

### 3.1 Definició de la perillositat

#### *La perillositat i els conceptes de magnitud i freqüència*

La *perillositat* és la valoració de la problemàtica potencial d'una àrea en relació a un tipus de fenomen que pugui afectar la seguretat i el benestar de les persones, i respon a dues qüestions relacionades:

- de quina dimensió poden ser els fenòmens perillosos que afectin l'àrea d'interès i quin potencial tenen per a causar danys i,
- amb quina recurrència pot ser afectada per aquests fenòmens.

La primera qüestió respon al concepte de *magnitud* del fenomen i la segona al de *freqüència*. Per tant, la perillositat la conforma el conjunt d'escenaris d'ocurrència d'un fenomen destructiu, que es defineix amb l'expressió següent:

$$\text{Perillositat} = \text{Magnitud} \times \text{Freqüència}$$

#### *Definicions: perillositat versus perill*

La *perillositat* té una valoració única i atemporal dins d'una àrea homogènia en funció de la probabilitat de ser afectada per un fenomen d'una determinada magnitud. Per contra, el terme *perill* descriu un fenomen que pot provocar danys en una situació particular en el temps i en l'espai. A tall d'exemple, s'exposa el cas d'un vessant que durant l'hivern i en determinades condicions d'inestabilitat del mantell nival pot presentar un perill d'allaus molt alt, mentre que durant l'estiu el perill arriba a ser nul. En qualsevol cas, la perillositat d'allaus es manté constant, com un atribut del vessant.

#### *Reforçament de la idea intuïtiva de la perillositat dins l'EIRG*

El concepte de perillositat geològica sintetitza la dinàmica dels processos generadors de risc, integrant tots els aspectes que la componen. L'enfocament que es proposa en la determinació de la perillositat en l'EIRG busca una valoració global, fonamentada en el criteri de l'expert que ha d'analitzar tota la informació recopilada i els indicis observats al camp, per a interpretar un grau de problemàtica i finalment assignar un grau de perillositat.

### *Definició de magnitud (M)*

La *magnitud* és un concepte que respon a la idea de mida del fenomen. Segons la complexitat dels fenòmens, la magnitud pot resultar de difícil definició paramètrica perquè integra molts aspectes de la seva dimensió (distàncies, àrees, volums, etc.). Per contra, cadascuna d'aquestes variables pot resultar relativament fàcil de mesurar aïlladament.

En esllavissades, tradicionalment s'ha assimilat el terme magnitud a les dimensions del terreny implicat, ja sigui en termes de massa, volum o àrea planimètrica. Però aquesta definició no inclou cap mesura del moviment, malgrat que la perillositat dels moviments de massa deriva d'ambdós factors: la massa implicada i el moviment absolut. La magnitud així definida no permetria una valoració completa de la perillositat. Per contra, en sismologia, la magnitud d'un sisme s'equipara a l'energia total alliberada. Per salvar aquest desajust terminològic, introduïm l'ús de mida destructiva com a mesura dels fenòmens, tal com s'explica a la secció 3.2.1.

### *Definició de freqüència (F)*

La *freqüència* és un concepte clarament definit ja que descriu la recurrència dels fenòmens. En sentit matemàtic és la probabilitat anual d'ocurrència, que alhora és la inversa del període de retorn. Per contra, la mesura i la determinació de la freqüència sol ser complexa perquè requereix un llarg registre de l'activitat per poder calcular-la, registre que rarament es disposa.

### *Relació inversa entre la magnitud i la freqüència*

Els dos conceptes, magnitud i freqüència, estan relacionats inversament: els fenòmens de major magnitud són menys freqüents que els de menor magnitud. En conseqüència, aquests dos termes no tenen una valoració única ni independent. En aquest document es proposa una metodologia simplificada respecte a la magnitud i la freqüència, que permet cobrir l'objecte declarat de la valoració qualitativa de la perillositat en l'EIRG.

## 3.2 Assignació de la perillositat en l'EIRG

### *Classificació de la perillositat en 3 graus*

D'acord amb la definició de la perillositat geològica, les combinacions de *magnitud* i *freqüència* determinen el grau de perillositat. Aquesta s'estableix en tres graus que es transposen clarament en l'ordenació del territori:

- Perillositat BAIXA: representa una problemàtica prou simple i acotada, que per si sola no impedeix la major part d'usos del sòl i construccions, però sí que requereix d'unes prevencions dels riscos.
- Perillositat MITJANA: representa una problemàtica de certa complexitat, per la qual alguns usos són viables però altres no. Les condicions preventives o de mitigació poden ser rellevants.
- Perillositat ALTA: representa una problemàtica complexa i amenaçant que desaconsella els usos del sòl que impliquen construcció i permanència.

L'EIRG ha de ser capaç de diferenciar les situacions clarament sense perillositat o de perillositat baixa respecte a situacions de perillositat mitjana o alta. En cas de voler precisar aquestes delimitacions, cal la realització d'un estudi de detall de la perillositat (EQZP) tal com mostra la figura 1.

### 3.2.1 Determinació de la magnitud

En la valoració de la magnitud cal tenir en compte variables com ara la dimensió (volum, àrea o massa), la propagació (distància recorreguda o desnivell), o les relatives a la seva dinàmica (valors representatius de velocitat assolida, o de la distorsió angular en el cas d'esfondraments).



*Assimilar la magnitud al potencial destructiu*

Totes aquestes variables poden estimar-se en ordre de magnitud, però, en l'estadi de treball de l'EIRG, difícilment es coneixeran amb prou detall. L'opció metodològica d'aquesta guia és fer una valoració de forma holística, basada en les *conseqüències potencials*. Aquesta aproximació resulta més entenedora en la comunicació de la perillositat als implicats en la presa de decisions, i resulta més fàcil d'avaluar de forma intuïtiva i integradora malgrat es disposi d'unes dades limitades. Físicament, la variable més propera a aquesta idea és l'energia involucrada en el conjunt de la seva dinàmica. L'energia alliberada i dissipada és la que d'alguna manera està disponible per a causar danys sobre possibles elements vulnerables que s'hi exposin.

Assimilem, doncs, magnitud a *potencial destructiu*. Aquest terme ja té cert ús en allaus de neu, de manera que l'estenem a la resta dels riscos en estudi i obtenim un llenguatge comú que permet la valoració multirisc que pretén l'EIRG.

*Com valorar la magnitud d'un fenomen? l'escala de mida destructiva*

Per tal d'ajudar a valorar la magnitud d'un fenomen s'ha confeccionat l'*escala de mida destructiva*, que s'ha definit en 5 graus en funció del dany potencial que pot causar el fenomen sobre uns elements tipus en el supòsit que hi estiguessin exposats (taula 2). Atesa l'aplicació de l'EIRG a l'urbanisme, els elements tipus per als quals s'ha plantejat el dany hipotètic són: les edificacions, les infraestructures, les persones i els entorns naturals o espais oberts.

**TAULA 2. Escala de mida destructiva en funció del potencial de dany sobre uns elements tipus.**

Mida destructiva	Potencial destructiu			
	Edificis	Infraestructures	Persones (*)	Medi natural
M1	Només pot causar danys no estructurals menors.	Constitueix un obstacle de fàcil retirada i dany mínim en vials. Pot causar un dany puntual a vehicles circulants lleugers (*).	Pot ferir una persona en espai obert (*).	L'empremta en l'entorn natural resulta pràcticament imperceptible.
M2	Pot causar algun dany estructural lleu i alguna distorsió funcional.	Pot obstruir temporalment el pas per un vial o part i causar danys lleus al vial. Pot impactar severament a vehicles circulants lleugers (*).	Pot ferir mortalment alguna persona en espai obert (*). Les persones estan a resguard dins de les edificacions.	Deixa una empremta puntual i poc perdurable a l'entorn natural.
M3	Pot causar danys estructurals moderats o destruir una construcció lleugera.	Pot causar danys reparables a la infraestructura que limitin la funcionalitat temporalment. Pot destruir vehicles circulants lleugers i danyar els pesants (*).	Les persones dins dels edificis estan en risc, tot i tenir encara un resguard significatiu (*).	Deixa una empremta en tota la seva extensió a l'entorn natural, en general de curta durada.
M4	Pot causar danys estructurals greus en múltiples construccions i destruir-ne parcialment.	Pot causar danys que inutilitzin la infraestructura amb necessitat de reparacions costoses. Pot destruir tota mena de vehicles (*).	Les edificacions no ofereixen una protecció efectiva als ocupants (*).	Deixa una empremta clara i duradora. Pot destruir una porció de bosc i fer modificacions lleugeres del terreny.
M5	Pot danyar amb intensitat una zona edificada i destruir algunes construccions.	Pot destruir un tram d'infraestructura o provocar danys no reparables que requereixin reconstrucció o nou traçat.	La supervivència depèn de circumstàncies fortuïtes (*).	Pot transformar localment el paisatge, amb noves morfologies del terreny o destrucció de bosc.

(\*) *Aplicable predominantment a fenòmens ràpids i d'efecte limitat en fenòmens lents, en la mesura que donen un marge de reacció a elements mòbils (persones i vehicles).*

Per a la correcta utilització de la taula cal imaginar els elements tipus disposats a la zona d'afectació no marginal per a un escenari de perillositat per un període de temps concret. En el cas de riscos amb propagació, es pren de referència l'inici de la zona d'aturada. D'aquesta manera, la valoració de la magnitud d'un fenomen es basa en l'estimació heurística dels danys que podria causar a aquests elements tipus.

Malgrat que a la taula 2 només es defineixen cinc graus, aquesta escala de mida destructiva és oberta, ja que hi pot haver fenòmens encara majors. No obstant, en el context geològic i climàtic de Catalunya, a una escala de períodes de retorn centenaris que tracta l'EIRG orientat a urbanisme, aquest és el rang de mides esperables. En el context mundial, es produeixen esllavissades i altres moviments del terreny de mides superiors a les definides a la taula. En aquest sentit, pot emprar-se el grau M6 o superiors per a referir-nos-hi. Els Pirineus en època postglacial van ser generadors d'esllavissades d'aquesta mida destructiva. D'altra banda, pel marge inferior de l'escala, podem emprar el grau M0 per a tots els moviments del terreny que tinguin un potencial destructiu molt poc significatiu.

*Termes qualitius complementaris als codis M*

Els termes qualitius que corresponen a l'escala de mida destructiva són: M1 = molt baixa; M2 = baixa; M3 = mitjana; M4 = alta; M5 = molt alta.

Els fenòmens de mida M1, malgrat siguin freqüents, no condicionen els usos del sòl, però se'n derivaran unes recomanacions preventives o proteccions senzilles. A l'altre extrem, els fenòmens de mida M4 i M5, malgrat siguin infreqüents, en general condueixen a renunciar a determinats usos del sòl.

*Importància de la velocitat amb què es produeixen els fenòmens*

Un aspecte molt rellevant dels fenòmens en aquest punt és la seva velocitat, que complementa la distinció de mobilitat presentada a la taula 1. La velocitat de les esllavissades pot ser molt variable, de l'extremadament ràpida en cas d'una trencada sobtada a extremadament lenta quan la trencada és progressiva i constant. Aquest és un factor que s'ha de tenir present pel risc sobre elements mòbils, ja que determina la capacitat de resposta de persones i vehicles (taula 3).

**TAULA 3. Nivells de velocitat del moviment de les esllavissades per la IUGS (1995)<sup>5</sup> i capacitat de resposta de persones i vehicles.**

Nivell	Descriptor	Velocitat nominal (mm/s)	Unitats naturals	Capacitat de resposta
7	Extremadament ràpid	5·10 <sup>3</sup>	m/s	Sense capacitat
6	Molt ràpid	5·10 <sup>1</sup>	m/min	Fugida
5	Ràpid	5·10 <sup>-1</sup>	m/h	Evacuació d'emergència
4	Moderat	5·10 <sup>-3</sup>	m/mes	Evacuació programada
3	Lent	5·10 <sup>-5</sup>	m/any	Monitoratge
2	Molt lent	5·10 <sup>-7</sup>	cm/any	Monitoratge
1	Extremadament lent	5·10 <sup>-9</sup>	mm/any	Manteniment

En relació a la velocitat podem distingir dos tipus de fenòmens:

- *Fenòmens sobtats* (velocitat de l'ordre de m/s a m/h): es produeixen a una velocitat molt alta en termes de capacitat de reacció si no hi ha una preparació específica. En aquest cas tant els béns fixos com els mòbils estan exposats al risc perquè es perceben com a instantanis sense capacitat de resposta.
- *Fenòmens progressius* (velocitat de l'orde de mm/h a mm/any): es produeixen a una velocitat prou lenta com perquè, fins i tot sense preparació, les persones tinguin un marge de capacitat de reacció, de tal manera que només quedin els elements fixos exposats al risc.

Tots els fenòmens considerats a l'EIRG poden ser sobtats (taula 4). Ara bé, els lliscaments i els enfonsaments solen presentar una velocitat més lenta i progressiva, sobretot en estadis inicials de la inestabilitat. No obstant, com a fenomen únic reactivable, després poden evolucionar a formes sobtades. En el cas d'enfonsaments del terreny, aquesta distinció correspon a la subsidència (progressiva) o al col·lapse (sobtat).

**TAULA 4. Condicions de velocitat pròpies dels cinc fenòmens principals.**

Fenomen	Sobtats (>1 m/h)	Progressius (<1 mm/h)
Lliscament	Sí	Sí
Despreniment	Sí	No
Flux	Sí	No
Allau	Sí	No
Enfonsament	Sí	Sí

5. International Union of Geological Sciences (IUGS), Working Group on Landslides (1995). "A suggested method for describing the rate of movement of a landslide". *A Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.* 52:75-78.

### 3. Valoració de la perillositat i accions derivades

Els fenòmens sobtats tenen una capacitat destructiva immediata per impacte i els fenòmens progressius tenen una capacitat destructiva per acumulació de deformació. En ambdós casos, la valoració del potencial destructiu ha de tenir en compte els períodes de vida útil dels elements al territori, la seva seguretat i la seva funcionalitat. Un cas paradigmàtic són els assentaments diferencials, en què molt rarament produiran una persona ferida pel fenomen, si no és un col·lapse sobtat, però en canvi pot hipotecar la viabilitat d'edificis en períodes de temps relativament breus (alguns anys). En aquest sentit, per tal de classificar la incidència d'un fenomen, no cal que es visualitzin alhora les 4 situacions descrites a la taula 2; només que es doni una de les possibles conseqüències és suficient per classificar-la en aquell grup de mida.

#### *Taula complementària de viabilitat de protecció com a indicador de la mida destructiva*

Encara que les condicions de viabilitat de la protecció enfront de la perillositat depenen de molts factors més enllà de la mida, es pot fer una correlació entre la mida d'un fenomen i la complexitat tècnica i el cost econòmic que comportaria protegir les àrees afectades (taula 5).

**TAULA 5. Correlació de l'escala de mida destructiva amb situacions típiques de protecció en termes tècnics i econòmics.**

Mida destructiva	Viabilitat tècnica i econòmica de la protecció	Formes de gestió preferent de la protecció
M1	Protecció simple, facilitat d'autoprotecció mitjançant reducció de la vulnerabilitat.	Les mesures de protecció són individuals, o es limiten a recomanacions d'ús sense cost directe.
M2	Protecció d'exigència tècnica limitada i econòmicament assumible.	Les mesures de protecció poden ser individuals o col·lectives tant en la implementació com en el finançament.
M3	Protecció d'exigència tècnica i cost econòmic elevat, però generalment viables.	Les mesures de protecció poden arribar a ser finançades per un grup de propietaris, però difícilment per un propietari individual. Sovint cal la intervenció de l'administració pública.
M4	Protecció tècnicament difícil i molt costosa, de viabilitat incerta.	Les proteccions tenen un cost econòmic que sol superar la capacitat d'un grup de propietaris i fan necessari el finançament públic o d'entitats.
M5	La protecció sovint pot esdevenir inviable tècnicament o econòmicament. L'alternativa d'evitar l'exposició podria ser l'única.	Únicament afrontable des del finançament públic o de grans entitats, si es considera viable.

#### *Taules particulars per a cada fenomen i exemples de referència*

Els graus de mida destructiva es poden particularitzar per a cadascun dels perills en funció de les seves característiques físiques. En els annexos es proveeixen taules específiques que relacionen escenaris i mides per als cinc fenòmens principals que valora l'EIRG. Cal remarcar que són taules orientatives per ajudar a fer una primera valoració de la mida destructiva d'un perill quan es disposa de variables mesurables, però en cap cas alteren les definicions dels graus de l'escala definida en aquesta memòria en base al potencial destructiu.

## 3.2.2 Determinació de la freqüència

#### *Es consideren 3 intervals de freqüència*

Com s'ha dit anteriorment, la determinació de la freqüència és molt difícil i encara més amb les eines i recursos limitats que s'empren en l'EIRG. Malgrat tot, cal aproximar la freqüència qualitativament, assignant un interval o grau de freqüència expressada en termes de *període de retorn* (T). Els períodes de temps adoptats per determinar la freqüència d'un fenomen es reflecteixen a la taula 6:

A la Taula 6 s'inclou una aproximació a l'estimació de la freqüència en base a les observacions d'activitat. Es distingeixen les situacions següents de dades d'activitat i assignació de període de retorn:

- S'ha observat fenòmens recents (<30 anys).
- Només s'observen fenòmens antics (30-100 anys).
- Només consta algun fenomen històric (>100 anys).

Aquestes valoracions són relatives a cada grau de mida destructiva.

TAULA 6. Escala de graus de freqüència a considerar en l'EIRG.

Freqüència	Període de retorn del fenomen (anys)	Aproximació observacional
Alta	<30	Recent
Mitjana	30-100	Antic
Baixa	>100	Històric

### Què hi ha fora d'aquest rang?

Els extrems d'aquesta escala, i sortint de l'abast de l'EIRG, corresponen a:

- Freqüència molt alta ( $T < 10$  anys): es considera una situació molt reiterada, que ja no ha de ser tractada com a risc accidental, sinó com una acció variable dins del propi disseny geotècnic de les obres i intervencions, i així ha de ser indicada a l'EIRG.
- Freqüència molt baixa ( $T > 300$  anys): es considera una situació prou remota per no ser determinant en l'ordenació del territori i l'urbanisme. Corresponen a situacions catastròfiques i com a tal han de ser tractades amb les eines específiques de protecció civil. En cas de ser identificada aquesta possibilitat, cal ser indicada a l'EIRG a tal efecte.

### Justificació dels valors adoptats

Aquesta escala temporal a considerar en l'EIRG guarda consonància amb la seguretat de les persones i la durabilitat i el valor que genera els usos del sòl i les edificacions, per exemple: l'assegurança decennal per habitatges d'obra nova (10 anys), una hipoteca mitjana (30 anys), la vida útil de disseny per a construccions (100 anys), una herència per a la segona generació (120 anys), un ús en herència fins a quarta generació (200 anys).

### Problemàtica de les freqüències en els fenòmens no renovables

El terme de recurrència o període de retorn s'aplica als fenòmens que hem anomenat renovables que, per tant, resulten recurrents, i als reactivables, que són únics però experimenten episodis de reactivació. En fenòmens continus o d'episodi únic, caldrà establir la possibilitat que aquest fenomen es produeixi en els temps que indica la taula 6. En cas de fenòmens lents localitzats es podran fer servir altres criteris de temps com ara el temps d'evolució de la distorsió angular que porten a la degradació dels elements valorats en els períodes de temps considerats (assentaments, esfondraments, esllavissades lentes) o la pèrdua progressiva de terreny (retrocés d'escarpaments).

### Aclariment del concepte període de retorn

En aquest punt és pertinent remarcar que el concepte de període de retorn en cap cas marca una recurrència pautada dels fenòmens. Un escenari de perillositat amb període de retorn  $T = 30$  anys vol dir que cada any té una probabilitat d'ocurrència d' $1/T = 0.033$ . Però pot ocórrer dos anys seguits o tardar 50 anys a repetir-se, encara que cap d'aquests dos casos siguin els més probables.

Seguint amb el mateix escenari de perillositat  $T = 30$  anys, durant un interval de temps de  $L = 10$  anys té una probabilitat d'ocurrència de  $P_L = 29\%$ , o sigui que el més probable és que no ocorri, si bé en cap cas es pot descartar. Amb  $L = 30$  anys és força probable que ocorri, ja que  $P_L = 64\%$ , i per tant comença a ser menys probable el fet que no ocorri. Per a durades de  $L = 50$  anys i  $L = 100$  anys la probabilitat que ocorri almenys una vegada creix a  $P_L = 82\%$  i  $P_L = 97\%$  respectivament, essent el més probable que ocorri més d'un cop, encara que sempre queda una probabilitat residual de no ocórrer.

Per assignar el període de retorn ( $T$ ) segons els intervals d'observació  $L$  de les dades disponibles, convé tenir present les possibilitats dels mètodes en què es basa l'EIRG:

- Fotointerpretació: es considera que les bases ortofotogràfiques de l'ICGC permeten cobrir amb suficient cadència temporal i resolució espacial els darrers 20 a 30 anys. I amb una visió discontinua i menor resolució fins a 70 anys enrere.
- Enquesta a la població: consultant els agents o persones del territori es pot obtenir informació de l'activitat més recent dels fenòmens (de 10 a 20 anys). En determinats casos de fenòmens de mida més gran i

### 3. Valoració de la perillositat i accions derivades

amb una campanya d'enquestes sistemàtiques o d'entrevistes personalitzades es pot assolir i superar els 100 anys de registre, especialment en cas de poblacions de fort arrelament al territori.

- Fonts documentals: el mostreig d'activitat de fenòmens que poden oferir és molt variable segons els anys d'elaboració, els béns en exposició al risc i l'objecte de la documentació. En general s'ha d'assumir que la cobertura és parcial.
- Inspecció del terreny: en el reconeixement del terreny es poden identificar indicis de fenòmens de qualsevol mida. La possibilitat d'assignar una edat dependrà de la seva mida destructiva, d'acord amb la taula 2. Així, doncs, les mides M2 i M3 tenen una pervivència curta a diferència de les mides M4 i M5 que perduren en el paisatge.

#### *Relació entre les observacions d'indicis i la freqüència*

Atès que són molt pocs els casos en què es disposa de dades suficients per efectuar un càlcul estadístic dels períodes de retorn, l'aproximació més comuna per a l'EIRG serà l'estimació d'acord amb l'edat relativa dels indicis i dels fenòmens observats o de la probabilitat d'ocurrència. En aquest sentit, podria considerar-se una freqüència *alta* quan hi ha indicis de fenòmens actuals o recents i se'n poden produir en els propers anys. Quan hi ha indicis històrics recents ens podria situar a una freqüència *mitjana*. Si els únics indicis es remunten en el temps, possiblement la freqüència sigui *baixa*.

### 3.2.3 Determinació de la perillositat

#### *La matriu de perillositat*

Les dues valoracions precedents (mida destructiva i freqüència) es fan de forma coordinada, és a dir, assignant una freqüència a cada grau de mida destructiva. Aquest plantejament es tradueix en una *matriu de perillositat* que defineix tres graus en funció de la combinació de mida destructiva i freqüència (taula 7). La valoració de la freqüència de cada mida es representarà en una única matriu, considerant tantes situacions com faci falta. El resultat de la perillositat serà el del major grau resultant.

TAULA 7. Matriu de perillositat per a la valoració dels EIRG.

Perillositat		Mida destructiva				
		M1	M2	M3	M4	M5
Freqüència	Alta	Baixa	Mitjana	Mitjana	Alta	Alta
	Mitjana	Baixa	Baixa	Mitjana	Alta	Alta
	Baixa	Baixa	Baixa	Mitjana	Mitjana	Alta

#### *Simplificació a la dualitat ordinari / extraordinari*

D'acord amb la matriu de perillositat de l'EIRG i per a l'objecte de delimitar la perillositat baixa respecte la mitjana/alta, el límit de freqüència determinant és el de  $T = 30$  anys. A aquest efecte es poden distingir fonamentalment 2 escenaris:

- Ordinari ( $T < 30$  anys): situacions que molt probablement es donaran, i potser en més d'una ocasió, al llarg d'un període de 50 anys. Per exemple, seria el cas d'un escenari que s'observés més d'una vegada en el període del registre ortofotogràfic recent (des de 1983).
- Extraordinari ( $T > 30$  anys): situacions que són molt poc probables al llarg d'un període de 50 anys. Per exemple, seria el cas d'un escenari que no s'observés o que únicament s'observés un cop en tot el període del registre ortofotogràfic (des de 1956) i del qual no haguessin altres indicis de camp, d'enquesta o històrics.

Aleshores, la perillositat serà baixa sempre que es pugui afirmar que:

- Els fenòmens ordinaris no assoleixen la mida M2.
- Els fenòmens extraordinaris no assoleixen la mida M3.

Per contra, si es determina la possibilitat d'ocurrència de fenòmens de mida M3 o superior, la perillositat ja serà mitjana/alta independentment de la freqüència que els pugui correspondre.

*Necessitat de documentar les argumentacions de les assignacions de perillositat amb criteri expert*

Cal documentar les argumentacions en què es basen les valoracions realitzades per tal que puguin ser contrastades per un altre expert. Així mateix, el conjunt d'anàlisis s'han d'efectuar d'acord amb informació validable i sota la cautela d'aplicar uns marges de seguretat proporcionals al grau d'incertesa del coneixement del terreny i del fenomen.

### 3.3 Accions derivades de la valoració de la perillositat

*Assignació de la perillositat a la delimitació*

La valoració de la perillositat s'assignarà a tota l'àrea susceptible de ser afectada en el grau màxim estimat, tret que per les característiques de l'indret i del fenomen es pugui justificar de forma inequívoca una gradació de la perillositat a graus menors a sectors marginals o distals.

*Resolució en cas de determinar perillositat BAIXA*

En el cas que l'EIRG determini una perillositat baixa caldrà recomanar les accions específiques per a la prevenció dels riscos geològics i la seva mitigació, si és el cas. Es pot tractar de recomanacions per evitar certs usos en determinats espais o precaucions a prendre en certs supòsits, disseny autoresistent o mesures d'autoprotecció que en general s'espera que siguin senzilles.

*Resolució en cas de determinar perillositat MITJANA / ALTA*

En el cas que l'EIRG determini una perillositat mitjana o alta, la recomanació per defecte és de no ocupar l'espai afectat i evitar l'exposició. Quan es consideri que existeix una possibilitat de protecció, l'EIRG conclourà en la necessitat d'un Estudi de Quantificació i Zonificació del terreny per Perillositat geològica (EQZP).

L'objecte dels EQZP és determinar la distribució en l'espai del perill, en les seves diferents variables (*intensitat* del fenomen i *probabilitat* d'afectació). Els EQZP exigeixen un càlcul més complex de la mida destructiva i freqüència dels fenòmens que els EIRG, així com de la seva propagació.



## 4. Formalització de l'EIRG

### 4.1 Treballs a efectuar (recopilació de dades i interpretació de la informació)

#### *Recollida d'informació i interpretació*

L'objectiu de l'EIRG és recopilar la suficient informació disponible sobre els riscos geològics de l'àmbit d'estudi per a la prevenció d'aquests en les figures urbanístiques que acompanya. Per tant, les dades que recull l'EIRG s'han d'interpretar en una informació traslladable a l'ordenació dels usos del sòl.

#### *Procés*

En conseqüència, el procés general en l'elaboració de l'EIRG segueix aquestes etapes:

- Recopilació de dades d'inventari de fenòmens i d'indicis.
- Interpretació de la informació per a la identificació dels riscos i la valoració de la perillositat.
- Emissió de conclusions i recomanacions de translació al planejament.

#### 4.1.1 Documentació bibliogràfica i cartogràfica

##### *Fonts d'informació*

Les fonts de documentació poden ser molt variades, ja que la informació vinculada als riscos geològics pot quedar reflectida en documentació d'altra naturalesa, en la mesura que s'hi reportin danys ocasionats per episodis del passat i fenòmens ocorreguts. Per la naturalesa de l'EIRG no es pot exigir ser molt exhaustiu en aquesta cerca minuciosa tan variada i, en conseqüència, estudis posteriors de riscos, com podria ser l'EQZP, han de repetir aquesta tasca amb major especialització i a la llum de les pistes que hagi pogut traçar l'EIRG.

##### *Fons de l'ICGC*

L'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya disposa d'una base de dades i d'un fons documental relacionats amb els riscos geològics que s'actualitzen constantment. La disponibilitat i la utilització d'aquesta informació s'haurà de tenir en compte a l'hora de planificar un estudi d'identificació de riscos geològics. La documentació i la cartografia que disposa l'ICGC i que poden ser sol·licitades o consultades a la pàgina web ([www.icgc.cat](http://www.icgc.cat)), entre d'altres, es relacionen a continuació:

- Arxiu documental de l'ICGC. Es poden sol·licitar quins treballs i documents hi ha del municipi mitjançant una petició a la [bústia de contacte](#).
- Cartografia de riscos geològics, d'allaus i de sismologia. Consultable a través del seu visualitzador [Geoíndex](#) i disponibles a l'apartat de descàrregues de la web.
- Cartografies topogràfica, geològica i geotemàtica. Disponibles a l'apartat de descàrregues de la web.
- Ortoimatges des de 1946 fins a l'actualitat. Es poden visualitzar al connector [Open ICGC](#) i a la plataforma [VISSIR](#).
- Imatges aèries. Un ampli registre de vols des de 1946 fins a l'actualitat. Es poden visualitzar en el connector Open ICGC (els més recents en visió estereoscòpica mitjançant el sistema anàglif). També es poden adquirir sota petició al Centre d'Atenció a l'Usuari de l'ICGC.
- Models digitals d'elevació del terreny. Disponibles a l'apartat de descàrregues de la web.

### *Geoinformació en línia*

- [Open ICGC](#). Connector per a QGIS disponible als complements d'aquest programari. Es poden visualitzar la cartografia topogràfica i geològica, les ortoimatges, els models digitals del terreny, les fotografies aèries i d'altres productes de l'ICGC.
- [Geoinformació en línia](#) (Geoserveis). La majoria de la informació generada per l'ICGC també es pot consultar i treballar en línia mitjançant el format WMS.

### *Altres fonts generals a tenir presents*

Altres fonts d'informació d'interès a tenir en compte per a la realització de l'anàlisi de la perillositat són:

- Publicacions científiques i tècniques especialitzades.
- Fons documentals acadèmics i universitaris (treballs acadèmics, tesis...).
- Arxius dels ajuntaments o d'altres administracions locals.
- [Arxius en línia](#) de la Generalitat.
- Diaris o revistes generals i locals (hemeroteques digitals...).
- Cerques a Internet, on es pot obtenir informació a partir de fonts molt diverses de particulars i administracions.
- Les imatges de l'Street View de [Google Earth](#), que permeten veure imatges de situacions recents i anteriors.

### *Recordatori de l'escala de treball en l'anàlisi de la perillositat*

L'EIRG és un estudi de caràcter local a una escala de detall. Així, la informació provinent de documents elaborats a escales de treball més petites poden servir de contextualització, però no es poden traslladar directament a l'EIRG o a d'altres estudis de detall. És el cas del *Mapa de prevenció de riscos geològics de Catalunya* (MPRG25M), que és un mapa concebut com una eina de planificació territorial a escala 1:25 000.

Altres exemples són:

- Informe RiskCat. Els riscos naturals a Catalunya (CADS, 2008). Informe d'escala regional on la cartografia és orientativa i no pretén ser la base per a treballs de detall.
- Cartografia del SITxell. Riscos geològics gravitatoris potencials (Diputació de Barcelona). Cartografia de la província de Barcelona elaborada a partir de les grans unitats geomorfològiques i litològiques de Catalunya a una escala de representació 1:50 000.

## 4.1.2 Observacions de camp i enquesta

### *Requisit de treball de camp*

Si bé són necessàries les múltiples fonts de recopilació de dades i l'ús de diversos mètodes en l'anàlisi de la informació per a la identificació de riscos i la valoració de la seva perillositat, destaquem com a requisit imprescindible que l'autor faci visita de reconeixement del terreny per a la validesa de l'estudi. Aquesta visita ha de quedar documentada i identificada a l'informe.

La dedicació al treball de camp dependrà molt de l'extensió de l'àmbit a cobrir i de la complexitat del terreny, de manera que s'adaptarà per obtenir el detall suficientment acurat per a l'objecte de l'EIRG.

### *Què aporta el treball de camp?*

El treball de camp té per objecte la identificació i interpretació dels indicis del risc, però de forma més general, ha de permetre una correcta anàlisi de tota la informació de les diferents fonts i formats per a una integració en el judici de valor de l'autor, que estigui ben fonamentada a la realitat del terreny.



### L'enquesta com a eina valuosa

Atès que l'observació directa de l'autor en el reconeixement del terreny queda molt restringida en el temps, en la recerca és important demanar informació a la gent del territori, ja que són coneixedors de primera mà dels esdeveniments i de les seves conseqüències, i poden aportar informació molt útil, que pot no haver quedat recollida en documentació escrita o gràfica i que pot no ser reconeixible al camp.

En aquest sentit és important entrevistar-se amb els responsables dels ajuntaments per demanar-los informació sobre esdeveniments relacionats amb els riscos geològics que puguin haver ocorregut recentment o en el passat a les àrees d'estudi i al terme en general. Ells mateixos poden redirigir l'autor a persones que tinguin un bon coneixement del terreny i una àmplia perspectiva temporal. Per a la realització d'aquest treball d'enquesta pot haver-hi diferents estratègies, que no són objecte de major detall en aquesta guia, però que poden condicionar la quantitat i qualitat d'informació extreta. L'autor haurà de valorar la fiabilitat de les dades en l'exercici de contrast amb totes les altres fonts d'informació i interpretació.

## 4.1.3 Inventari de fenòmens i indicis

### Sistematització de les observacions mitjançant l'inventari

El conjunt de la informació recollida en l'etapa anterior, quan és abundant, convé presentar-la com a inventari d'esdeveniments i d'indis de activitat, ja que constitueixen la base per a la identificació dels fenòmens a considerar en la perillositat. Serà escaient sistematitzar-ho en forma de fitxes, que poden constituir annexos a la memòria, així com en un plànol que les localitzi, tal com mostra la figura següent (figura 13).

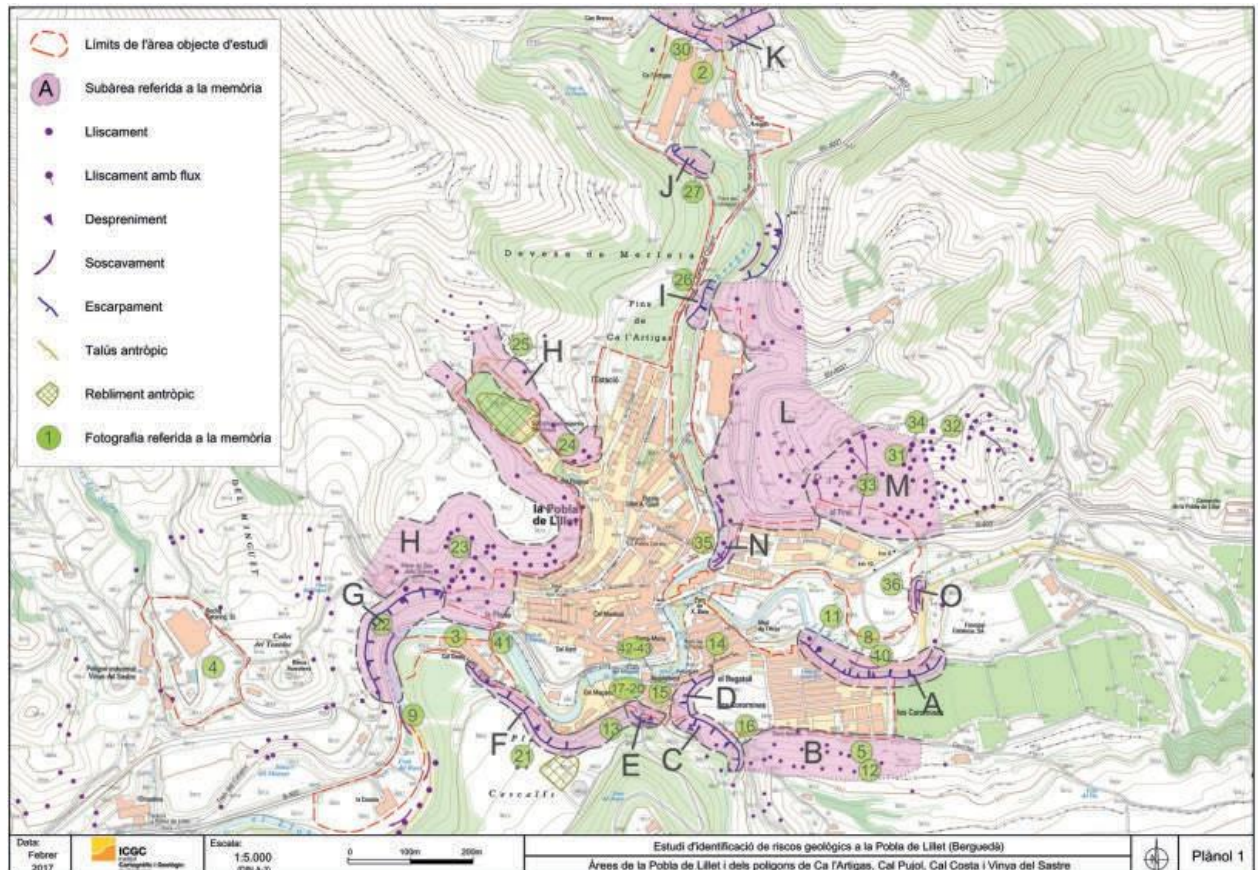


Figura 13. Exemple d'identificació d'indis d'existència de fenòmens geològics que generen perillositat en el plànol de perillositat geològica.

## 4.2 Document a lliurar (estructura i contingut)

L'EIRG té naturalesa d'informe tècnic i com a tal s'estructurarà en les parts habituals: memòria, fitxes resum, mapes i annexos.

### 4.2.1 Memòria

#### *Completesa versus lleugeresa de la memòria*

La memòria de l'EIRG ha de documentar de forma clara i verificable el procés de recopilació de dades, l'anàlisi de la informació i el judici de coneixement. Serà sempre un valor superior assolir aquesta claredat i solidesa d'una forma simple. En aquest sentit, la informació consultada s'ha de referenciar per fer-la accessible a la seva revisió, encara que no formi part del document final.

#### *Libertat en l'índex de continguts i estructuració, però criteri de claredat argumental*

L'autor de l'EIRG ha d'articular el contingut de la memòria de la forma més escaient al cas, sota la premissa de claredat en:

- Informació disponible, consultada i referenciada.
- Informació recopilada i obtinguda específicament en les diferents fases d'elaboració de l'estudi.
- Exposició raonada de l'anàlisi integrada de tota la informació obtinguda.
- Coneixement que deriva de l'estudi per a ser considerat en l'urbanisme.

#### *Aspectes necessaris d'introducció*

Caldrà tenir un apartat introductori on s'acoti amb claredat els antecedents administratius, l'objecte i l'àmbit d'estudi, i també que identifiqui l'autor.

#### *Contextualització*

Caldrà que el document contingui un apartat de contextualització territorial, geològica i geomorfològica particularitzat a l'objecte de l'EIRG. En aquest apartat és on té sentit la informació d'escala regional. També es poden incloure aspectes adjacents al risc geològic com ara: risc sísmic, risc volcànic i d'inundabilitat de dinàmiques fluvials i litorals.

#### *Cos de l'estudi: identificació i anàlisi a partir de les àrees delimitades i per als diferents riscos*

El cos de l'estudi el formarà la part d'identificació dels riscos a partir del reconeixement d'indicis i la valoració de la perillositat potencial derivada en cadascuna de les àrees d'estudi. Les àrees d'estudi es poden agrupar de forma raonada si així ho estima oportú l'autor. Cal fer un tractament específic per a cadascun dels 5 riscos fonamentals (lliscaments, desprendiments, fluxos, allaus i enfonsaments). Si bé, poden compartir parts d'anàlisi del terreny, les conclusions han de ser clarament identificables per a cadascun d'ells. Segons s'escaigui en cada cas, a continuació s'exposaran els riscos derivats (retrocés d'escarpament, erosió i dipòsit, problemàtiques geotècniques...).

#### *Documentació gràfica*

La documentació gràfica com ara figures o fotografies ha de tenir unes dimensions i qualitat adequades per a la seva correcta visualització.

#### *Conclusions i recomanacions*

Al final de l'estudi cal identificar amb claredat les conclusions en termes de quins riscos s'identifiquen i amb quina valoració de perillositat en cadascuna de les àrees o agrupacions d'àrees, així com les reco-

manacions que se'n deriven. Aquestes, siguin generals o específiques, han de ser el més adaptades possibles a la figura del planejament urbanístic que acompanyi l'EIRG per tal de facilitar-ne l'aplicació.

## 4.2.2 Quadre i fitxes resum

### Proposta de format de quadre i fitxes resum

S'inclourà un quadre resum on s'indicarà per a cadascun dels àmbits d'estudi i per a cadascun dels fenòmens considerats: si s'ha identificat perillositat, en quines àrees de l'àmbit i en quin grau, i les accions recomanades. Excepte pels riscos derivats de l'acció humana quan no es pugui determinar la perillositat, que només s'indicarà la seva presència (taula 8).

**TAULA 8. Quadre resum d'identificació de riscos pels àmbits de l'EIRG, amb exemples.**

Àmbits	Fenomen 1	Fenomen 2	Fenomen 3
Nom de l'àmbit 1	<b>Perillositat baixa (Àrees A i B)</b> Es recomana l'adopció de mesures preventives consistents en... <b>Perillositat mitjana (Àrea C)</b> No és recomanable la seva ocupació. Si cal ocupar-lo, s'ha de realitzar un estudi de quantificació i zonificació del terreny per perillositat geològica (EQZP).	<b>Sense perillositat</b>	<b>Sense perillositat</b>
Nom de l'àmbit 2	<b>Perillositat mitjana (Àrea D)</b> No és recomanable la seva ocupació. Si cal ocupar-lo, s'ha de realitzar un estudi de quantificació i zonificació del terreny per perillositat geològica (EQZP).	<b>Perillositat baixa (Àrea E)</b> Es recomana l'adopció de mesures preventives consistents en...	<b>Sense perillositat</b>

També s'efectuarà una fitxa per les àrees identificades amb perillositat agrupades per àmbits, on s'indicarà el fenomen identificat, els indicis més rellevants observats, la mida destructiva i la freqüència, el grau amb què s'ha valorat la perillositat i les accions recomanades (taula 9).

**TAULA 9. Fitxes resum per les àrees identificades amb perillositat, amb indicació del fenomen, els indicis observats, la valoració de la perillositat i les accions recomanades, amb exemples.**

Nom de l'àmbit 1	
<b>Àrees A i B</b>	
Fenomen	Despreniments.
Indicis	Blocs petits caiguts i cicatrius molt recents que indiquen mida destructiva baixa (M1) i freqüència alta.
Perillositat	Baixa.
Propostes	Es recomana l'adopció de mesures preventives consistents en la instal·lació de...
<b>Àrea C</b>	
Fenomen	Despreniments.
Indicis	Blocs grans caiguts i cicatrius manifestes no recents que indiquen mida destructiva (M3) i freqüència mitjana.
Perillositat	Mitjana.
Propostes	No és recomanable la seva ocupació. En altre cas, cal realitzar estudis de quantificació i zonificació del terreny per perillositat geològica (EQZP), on es delimiti en detall la perillositat i es determinin les actuacions de millora, protecció i estabilització del terreny necessàries per garantir la seguretat dels usos previstos.
<b>Nom de l'àmbit 2</b>	
<b>Àrea D</b>	
Fenomen	Despreniments.
Indicis	Blocs grans caiguts i cicatrius manifestes no recents que indiquen mida destructiva mitjana (M3) i freqüència mitjana.
Perillositat	Mitjana.
Propostes	No és recomanable la seva ocupació. En altre cas, cal realitzar estudis de quantificació i zonificació del terreny per perillositat geològica (EQZP), on es delimiti en detall la perillositat i es determinin les actuacions de millora, protecció i estabilització del terreny necessàries per garantir la seguretat dels usos previstos.

### 4.2.3 Mapes

#### *Principi d'adequació a cada estudi. Índex orientatiu*

L'estudi contindrà els mapes que s'escaiguin per a il·lustrar cartogràficament el contingut de la memòria dels annexos. Alhora, extraccions d'aquests mapes poden formar figures per a la memòria, però és convenient que també es presentin en format mapa. Es preveu que almenys contingui mapes de context i de detall.

#### *Indicacions formals dels mapes*

Els mapes han de mantenir la representació de l'àmbit del planejament, que ha d'estar totalment cobert en el conjunt de fulls de cadascun dels mapes. A tots els fulls de cada mapa cal que consti l'escala gràfica i numèrica, l'orientació i la llegenda dels elements representats. Al caixetí també convé anotar la referència a l'estudi amb nom o codi, i data.

Les bases cartogràfiques a emprar per defecte són les de l'ICGC, disponibles en xarxa i en múltiples formats. L'escala de representació s'ha d'adequar a l'extensió de l'àmbit d'estudi i, alhora, al detall de la tipologia de planejament dels usos del sòl. En cas necessari, caldrà fer fulls.

Els mapes de context cobriran totes les àrees d'estudi. Caldrà considerar els mapes de context següents:

- Mapa de situació a escala 1:25 000 o 1:50 000.
- Mapa geològic a escala 1:25 000, quan no estigui disponible s'emprarà el mapa geològic a escala 1:50 000.
- Mapa per a la prevenció de riscos geològics a escala 1:25 000, quan estigui disponible.
- Mapa de pendents a partir del model d'elevacions del terreny 5 x 5, per il·lustrar aspectes morfològics generals.

Els mapes de detall es particularitzaran per a les diferents àrees d'estudi:

- Mapes d'indicis i de localització d'observacions sobre el terreny a escala 1:5 000, que ha d'incloure les àrees delimitades en el planejament i les àrees d'influència del fenomen amb indicis i observacions.
- Mapa de les àrees amb perillositat a escala 1:2 000 o 1:5 000 segons l'extensió, que ha d'incloure les àrees delimitades en el planejament.

### 4.2.4 Annexos

#### *A aplicar segons necessitats*

Els annexos són un recurs d'alleugeriment de la memòria. En estudis de poc contingut poden no ser necessaris. En canvi, en estudis de més extensió i profusió de dades pot ser escaient segregat informació detallada en annexos temàtics i deixar una memòria més lleugera que permet una lectura sintètica.



## 5. Apèndixs

### A.1. Classificació de les esllavissades

#### *Concepte d'esllavissada i classificacions fenomenològiques*

El terme *esllavissada* té diferents accepcions. En aquesta guia s'utilitza aquest concepte en el seu sentit més ampli, que la defineix com *un fenomen erosiu massiu que actua en vessants naturals o excavats i que consisteix en el moviment d'una massa de roca, d'esbaldregalls o de terra vessant avall sota la influència de la gravetat* (Cruden i Varnes, 1996<sup>6</sup>; Hungr *et al.*, 2014<sup>7</sup>) i, per tant, inclou tota mena de moviments gravitacionals del terreny en vessant, com ara les caigudes de roques, els corrents d'arrossegalls i els lliscaments superficials i profunds.

Existeixen diverses classificacions d'esllavissades. No obstant, les més utilitzades provenen de la proposta de Varnes, de 1978<sup>8</sup>, consolidada per Cruden i Varnes el 1996, adoptada al nostre entorn per Corominas i García-Yagüe 1997<sup>9</sup>, i encara amb matisos posteriors per Hungr *et al.*, 2014. Aquestes classificacions s'estructuren en una matriu on les columnes indiquen el tipus de material esllavissat classificat segons les seves característiques o comportament mecànic (roca, grava o esbaldregalls i sòls fins a cohesius o granulars) i les files indiquen els mecanismes de trencada i propagació (caigudes, bolcades, lliscaments expansions, fluxos i moviments complexos). Resulta molt il·lustratiu l'esquema gràfic del British Geological Survey (BGS) basat en la classificació de Cruden i Varnes on es mostren i es proposen de referència en les descripcions fenomenològiques (figura 14).

#### *Simplificació a 3 tipus d'esllavissada i el concepte lliscament*

L'EIRG ha d'identificar qualsevol forma d'esllavissada que afecti les àrees de delimitació i analitzar la perillositat, mirant d'englobar-la dins del grup que li sigui més proper segons la classificació de Cruden i Varnes (1996). A efectes pràctics d'estructuració i de metodologia de l'EIRG, es proposa una classificació simplificada en 3 grans grups d'esllavissades que presenten una dinàmica i una mecànica similars internament i diferenciada de la resta que, a més, permet englobar una gran part dels moviments de massa que tenen lloc a Catalunya:

- Despreniments i caigudes: aquestes esllavissades es caracteritzen per la propagació aèria de partícules en forma de blocs diferenciats o fragments de massa que es disgreguen. Inclou els despreniments i les bolcades que vagin seguides d'una caiguda lliure (figura 15a i b). Les formes més comunes són en roca, però també es produeixen en sòls quan el talús és molt vertical.
- Lliscaments: la deformació del material es concentra sobretot en un o diversos plans de cisalla i lliscament que controlen la ruptura i la propagació del moviment. La superfície de trencada pot adoptar formes circulars o planes, donant lloc a moviments rotacionals o translacionals. Així mateix, pot incloure moviments complexos i expansions laterals (figura 16a i b).
- Fluxos: les esllavissades incloses en aquest grup es caracteritzen pel comportament fluidificat del terreny que amb el moviment perd la seva estructura inicial i esdevé una massa remoguda. Es produeixen principalment en un context de conca torrencial però també es poden produir en altres situacions de vessant obert (figura 17a i b).

6. Cruden, D. M., Varnes, D. J. (1996). "Landslide Types and Processes". A *Special Report, Transportation Research Board*. National Academy of Sciences, 247:36-75.

7. Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L. (2014). "The Varnes classification of landslide types, an update". A *Landslides* 11:167-194.

8. Varnes, D. J. (1978). "Slope movement types and processes". A *Special Report 176: Landslides: Analysis and control* (ed: Schuster, R. L. i Krizek, R. J.): Transportation and Road research board. National Academy of Science, Washington D. C. 11-33.

9. Corominas, J., García Yagüe A. (1997). "Terminología de los movimientos de ladera". A *V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, vol. 3, 1051-1072. Granada.

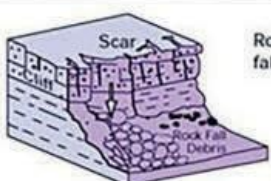
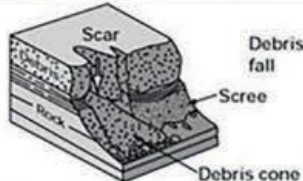
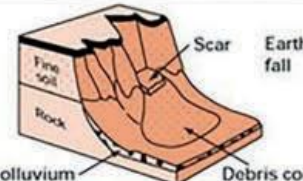
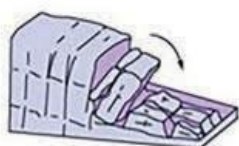
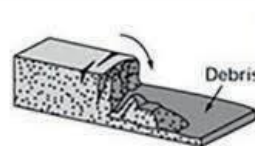
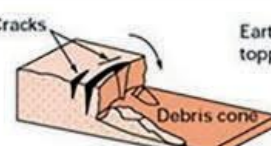

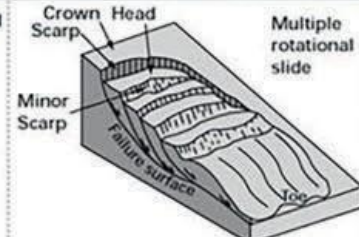
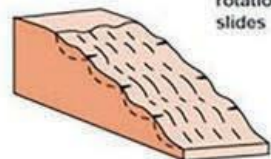
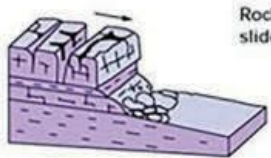
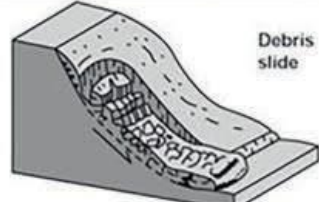
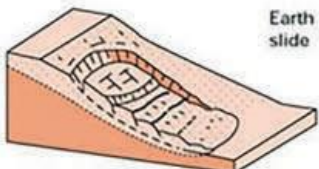
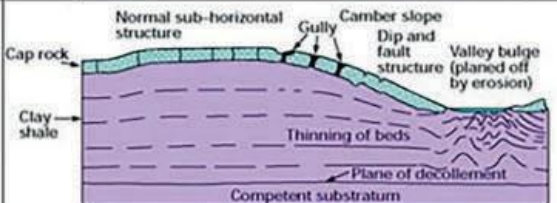
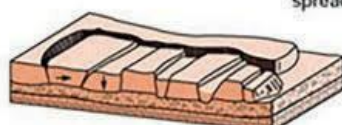
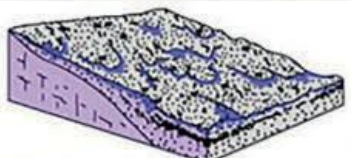
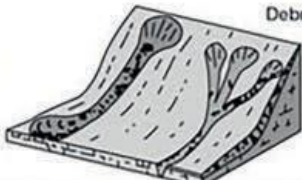

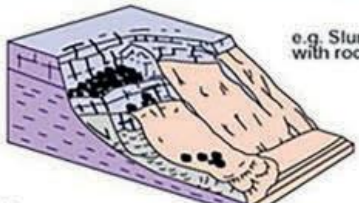
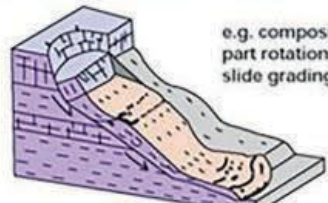
Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type				
FALLS		 Rock fall	 Debris fall Scree Debris cone	 Earth fall Colluvium Debris cone
		 Rock topple	 Debris topple Debris cone	 Earth topple Cracks Debris cone
SLIDES	Rotational	 Single rotational slide (slump) Failure surface	 Multiple rotational slide Crown Scarp Head Minor Scarp Failure surface Toe	 Successive rotational slides
	Translational (Planar)	 Rock slide	 Debris slide	 Earth slide
SPREADS				 Earth spread e.g. cambering and valley bulging
FLOWS		 Solifluction flows (Periglacial debris flows)	 Debris flow	 Earth flow (mud flow)
COMPLEX		 e.g. Slump-earthflow with rockfall debris		 e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe

Figura 14. Esquema gràfic de classificació de les esllavissades. (Font: British Geological Survey).

Aquesta classificació simplificada no ha d'anar en detriment que, si durant l'estudi s'assoleixen classificacions més acurades basades en la classificació extensa presentada a l'inici del capítol, també es puguin emprar.



Despreniments i caiguda de roques

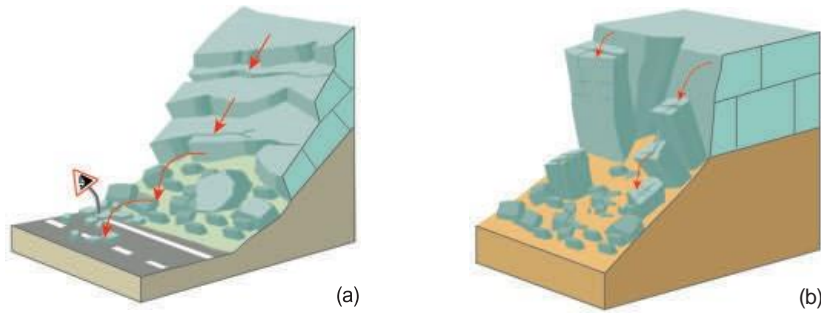


Figura 15. Esquema de mecanismes representatius de les caiguda i despreniments: (a) trencada plana, (b) bolcada.



Caiguda de roques de *mida destructiva* M5 pel col·lapse d'una balma a la Carretera de Guardia de Noguera a Moror (LV-9124) el 16 d'abril de 2018, on varen morir dues persones que anaven en cotxe. Font: ICGC.

Lliscaments

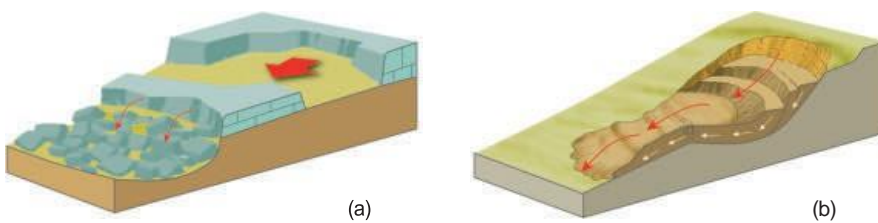


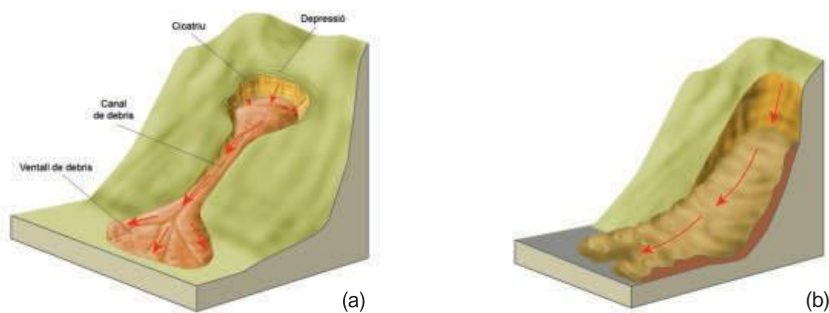
Figura 16. Esquema de mecanismes representatius de lliscaments: (a) translacional en roca, (b) rotacional en sòl.



Escarpament del lliscament rotacional de Puigcercós de *mida destructiva* M5 que va esdevenir el 13 de gener de 1881 i que va comportar l'abandonament de la població situada al turó. Font: ICGC.

Figura 17. Esquema de mecanismes representatius de fluxos: (a) flux d'esbaldregalls, (b) flux de fang.

**Fluxos**



Flux de *mida destructiva* M4, que va tenir lloc al vessant de l'Abelha, al marge dret del Valarties, l'11 de maig de 2018. Font: Conselh Generau d'Aran.



## A.2 Glossari de termes

Conseqüència (*consecuencia, consequence*): resultats o possibles resultats derivats de l'acció d'un fenomen destructiu expressats qualitativament o quantitativament en termes de pèrdua, danys, desavantatges o guanys, lesions o pèrdues de vides.

Desenvolupament sostenible (*desarrollo sostenible, sustainable development*): procés de transformacions naturals, economicosocials, culturals o institucionals que tenen com a objectiu la millora de les condicions de vida de l'ésser humà i del sistema productiu, sense deteriorar el medi ambient ni comprometre les bases d'un desenvolupament similar per a les futures generacions.

Exposició (*exposición, exposure*): situació de les persones, les infraestructures, els habitatges, o elements de producció i altres béns humans tangibles situats en àrees amb risc. La seva mesura es realitza en temps d'exposició que pot ser temporal o permanent.

El càlcul de l'exposició pot incloure el nombre de persones o els tipus d'actius d'una zona. Aquests es poden combinar amb la vulnerabilitat i la capacitat específiques dels elements exposats a qualsevol perill en particular per estimar els riscos quantitatius associats a aquest perill a l'àrea d'interès.

Freqüència (*frecuencia, frequency*): és la mesura de la probabilitat expressada com la quantitat de vegades que es dona un esdeveniment en un temps donat.

Intensitat (*intensidad, intensity*): conjunt de paràmetres distribuïts espacialment relacionats amb el poder destructiu d'un fenomen natural. Els paràmetres es poden descriure quantitativament o qualitativament i poden incloure la velocitat màxima, el desplaçament total, el desplaçament diferencial, la profunditat de la massa en moviment, descàrrega màxima per unitat d'amplada, energia cinètica per unitat d'àrea, etc.



- Magnitud (*magnitud, magnitude*): ve determinada per la mida o la quantitat d'energia total mobilitzada per un fenomen. En termes d'esllavissades molt sovint té en compte la mida però també s'ha de valorar el recorregut de l'esllavissada.
- Mitigació (*mitigación, mitigation*): mesures estructurals i no estructurals adoptades per limitar l'impacte advers dels perills naturals.
- Perill (*peligro, danger*): fenomen natural que pot provocar danys, descrit en termes de la seva geometria, mecànica i condicions ambientals. El perill pot ser actiu (per exemple, vessant amb reptació) o potencial (com una caiguda de roca). La caracterització d'un perill no inclou la seva predicció.
- Perillositat (*peligrosidad, hazard*): condició natural amb el potencial de provocar un fenomen amb conseqüències no desitjables. La descripció de la perillositat ha d'incloure la ubicació del fenomen i de qualsevol element associat resultant, la seva classificació, la seva magnitud i la seva velocitat a més de la probabilitat que es produeixin en un període de temps determinat.
- Període de retorn (*periodo de retorno, return period*): el període de retorn d'un esdeveniment és la quantitat de temps en la qual la probabilitat d'ocurrència es distribueix uniformement en els períodes que componen una quantitat de temps. Es defineix com la inversa de la freqüència així, doncs per un període de retorn de  $T = 100$  anys correspon a freqüència  $1/100 = 0,01$  o 1%.
- Risc (*riesgo, risk*): mesura de la probabilitat i de la gravetat resultants de les interaccions entre els perills naturals i els efectes adversos per a la salut, la propietat, l'activitat econòmica, els mitjans productius o el medi ambient. El risc sovint s'estima per la probabilitat que es produeixi un fenomen i les seves conseqüències en paràmetres de vulnerabilitat i exposició.
- Risc acceptable (*riesgo aceptable, acceptable risk*): grau de risc que la societat està disposada a acceptar sense gestionar-lo a efectes de la vida quotidiana o del treball. La societat generalment no considera justificable la despesa per reduir encara més aquests riscos.
- Susceptibilitat (*susceptibilidad, susceptibility*): avaluació quantitativa o qualitativa de la classificació, de la magnitud i de la distribució espacial dels fenòmens perillosos que poden produir-se en una zona. La susceptibilitat també pot incloure la descripció de la velocitat i la intensitat del fenomen existent o potencial.
- Vulnerabilitat (*vulnerabilidad, vulnerability*): grau de pèrdua d'un determinat element o conjunt d'elements dins de la zona afectada per un perill. S'expressa en una escala de 0 a 1 (0 sense pèrdua i 1 pèrdua total). En termes de la propietat, la pèrdua és el valor del dany en relació amb el seu valor inicial, mentre que per a les persones la pèrdua s'expressa en probabilitat de mort.
- Zonificació (*zonificación, zoning*): delimitació cartogràfica del terreny en àrees o dominis homogenis segons el seu grau de susceptibilitat, perill o risc.



## 6. Annex 1. Despreniments

### A1.1 Definicions

#### *Tipus d'esllavissades que inclouen*

En aquesta guia els despreniments engloben tots els moviments que generen una caiguda lliure, independentment del mecanisme de trencada que genera la inestabilitat en el punt de sortida, ja sigui una trencada plana, una trencada en falca, una bolcada o un desplom, i s'empren indistintament els termes despreniment i caiguda (figura A1-1 i figura A1-2). Els despreniments són moviments espontanis, molt ràpids i amb una gran motricitat, ja que les trajectòries de propagació solen tenir dimensions molt superiors al punt en el qual es genera la inestabilitat. Durant la caiguda i la trajectòria la massa mobilitzada experimenta un moviment aeri o un contacte limitat amb el substrat, i sovint experimenta una fragmentació.

Aquest annex s'ha centrat en les caigudes de roques en escarpaments rocosos, ja que són els despreniments més comuns. Amb tot, els EIRG han de considerar tots els materials que contempla la classificació Cruden i Varnes (1996), roca, esbaldregalls i sòls (vegeu l'apèndix: Classificació de les esllavissades), i cada tipus de material tindrà les seves particularitats pel que fa al mecanisme generador de la inestabilitat i la seva dinàmica de propagació.

a



b

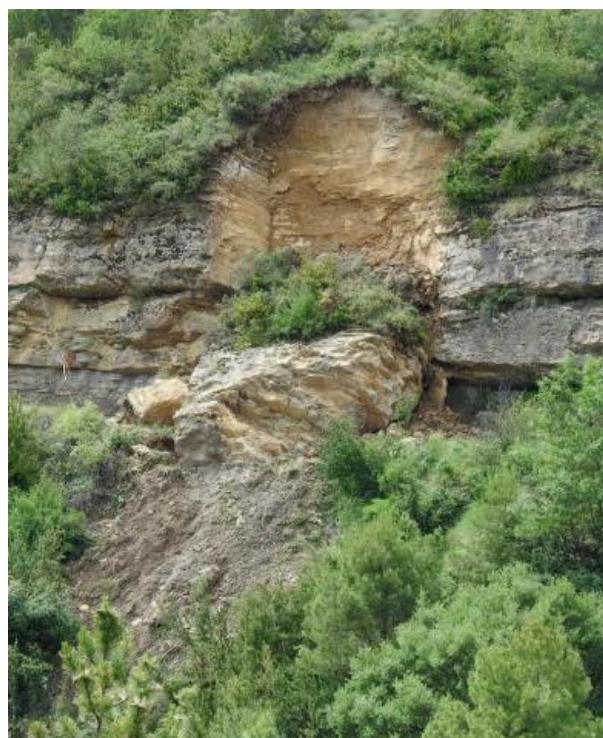


Figura A1-1. a) Caiguda de terres de mida M2 a l'escarpament d'una antiga pedrera de Montjuïc l'abril de 2020.

b) Caiguda d'una roca en desplom de mida M2 que va tallar el camí de Sant Pere Màrtir (Salàs de Pallars) cap a final de maig de 2020. Font: ICGC.





Figura A1-2. Caiguda d'una massa de travertins de mida M3 al Salt de la Caula (Boadella i les Escaules) el 17 de setembre de 2010. Font: ICGC

### *Zones de sortida, trànsit i aturada*

En les caigudes de roca es poden distingir les zones de sortida, trànsit i aturada:

- La zona de sortida és el lloc del vessant o de l'escarpament on s'ha iniciat o es pot iniciar el moviment.
- La zona de trànsit és per on es propaga la caiguda i on els blocs adquireixen una major velocitat.
- La zona d'aturada és el lloc on els blocs perden tota l'energia cinètica i s'aturen de forma més o menys dispersa.

### *Dimensions de les caigudes de roca*

La magnitud dels desprendiments es descriu a partir del volum de la massa de sortida o a partir de la suma dels blocs caiguts (figura A1-3), pot ser molt variable i va des d'una mida inferior al decímetres cúbics fins centenars de metres cúbics. Un cas singular són les allaus de roques, que es produeixen com a conseqüència de l'ensorrament d'una porció gran del massís rocós.

### *Mecanismes de propagació*

El tret distintiu dels desprendiments és la seva dinàmica de propagació i de fragmentació, que almenys en la part inicial del recorregut inclou la caiguda, i que durant la trajectòria combina salts, rodolament i, residualment, lliscament (figura A1-4).

En el cas de les allaus de roca es genera un moviment agrupat de molts fragments i la seva dinàmica de moviment s'assimila gairebé a un flux ràpid, ja que la interacció entre partícules és constant i intensa (figura A1-5, figura A1-6 i figura A1-7). Aquest cas es contraposa al desprendiment de fragments aïllats de caiguda simultània, en el qual no es produeix una interacció clara entre els fragments més enllà del xoc casual.





Figura A1-3. Bloc de grans dimensions (mida M3) caigut a Gurp (Trem) el 4 d'abril de 2016. L'impacte del bloc va crear un gran solc al camp. Font: ICGC.



Figura A1-4. Trajectòries, al vessant i en un camp de conreu, de blocs de grans dimensions caiguts el 4 d'abril de 2016 a Gurp (Trem). Al camp s'observen impactes de salts i traces de rodolament i de lliscament. Font: ICGC.





Figura A1-5. Despreniment massiu (mida M5) provocat pel desplom d'una cornisa a la carretera LV-9124, al terme de Guàrdia de Noguera, el 16 d'abril de 2018. Font: ICGC.



Figura A1-6. Allau de roques (mida M5) al vessant nord del Cadí, sota el Cap de la Fesa, al terme d'Alàs i Cerc, el 6 de novembre de 2011. Font: CAR.





Figura A1-7. Cicatriu de sortida i trajectòria de la caiguda d'una llastra de conglomerats (mida M2) de l'agulla de l'Esquelet de Montserrat, el 22 de setembre de 2022. Font: ICGC.

### Disgregació i fragmentació

Quan una massa rocosa es desprèn, sobretot si té unes certes dimensions, sol fragmentar-se, afavorint la disgregació i la dispersió dels blocs resultants. La major o menor fragmentació serà el resultat de les característiques de la roca i de les condicions del vessant. El grau de fragmentació configurarà l'escenari de perillositat que permet valorar el potencial de dany o la perillositat.

En la valoració de la perillositat s'han de tenir en compte la massa total despresa ( $M$ ) i la dels fragments o blocs que es generen durant la caiguda ( $m_i$ ), dels quals interessarà sobretot els blocs majors o els de major abast (figura A1-8).

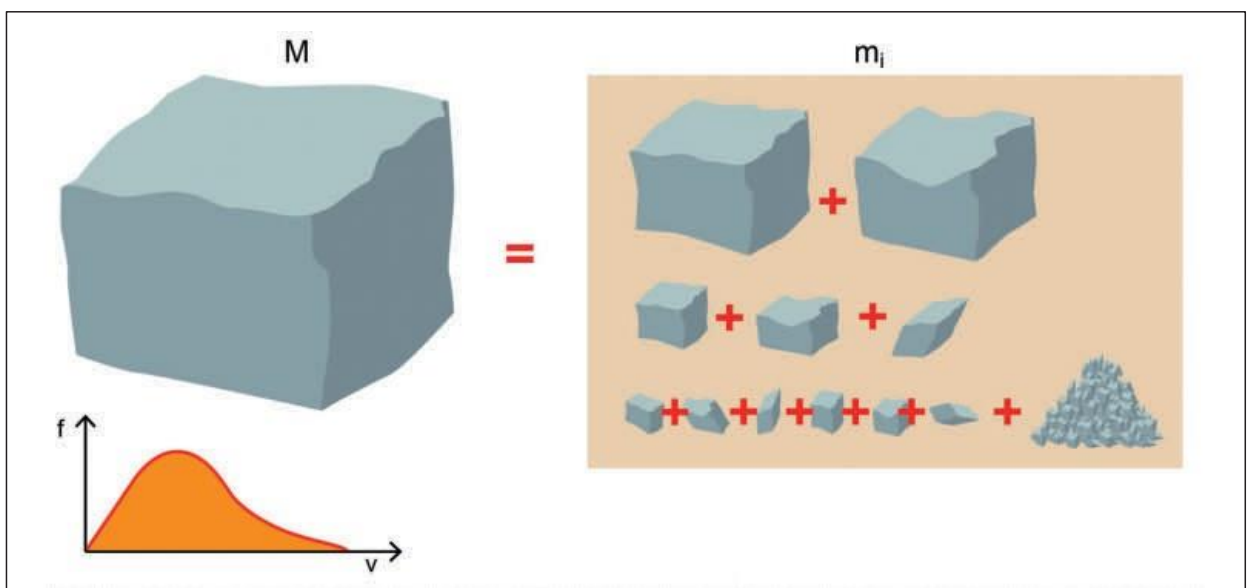


Figura A1-8. Relació entre les masses de sortida ( $M$ ) i dels fragments (blocs) que es generen durant la trajectòria ( $m_i$ ).

### Abast màxim

Definim l'abast màxim com la distància més allunyada de la zona de sortida que pot assolir un despreniment. En general, sol haver una relació directa entre la massa de sortida i l'abast màxim i, a més, els blocs de dimensions més grans solen tenir un abast major (figura A1-9).



Figura A1-9. Dipòsit del desplom (mida M4) d'una massa de calcàries al camí del Pitarell al terme de Coll de Nargó, el 18 de desembre de 2018. Font: ICGC.

## A1.2 Anàlisi de susceptibilitat

### *Els escarpaments com a zones de sortida*

La capacitat d'un vessant per generar desprendiments ve determinada per l'existència de relleus abruptes (figura A1-10), com escarpaments i ressalts on afloren masses rocoses que poden esdevenir inestables. Els escarpaments generadors de desprendiments es determinen a partir del reconeixement geomorfològic *in situ* i de la interpretació de cartografies topogràfiques, de imatges aèries, d'ortoimatges i de models digitals. Atesa la dificultat de l'observació vertical dels escarpaments o zones en desplom, sovint cal analitzar-los mitjançant fotografies de camp frontals o obliqües.

### *Anàlisi del relleu i geomorfològic*

Comunament es considera que la inclinació a partir de la qual un escarpament pot ser susceptible de generar desprendiments és de 45°. Ara bé, aquest llindar depèn dels materials i del context geomorfològic del vessant i cada cas admet una anàlisi particular.

La identificació en les cartografies topogràfiques d'aquests pendents tan elevats és poc precisa i està condicionada per l'escala. Per aquests motius es recomana l'ús d'eines d'anàlisi morfomètrica del vessant en base a models digitals de terreny (MDT), preferiblement els models 2 x 2 m o amb una resolució superior. Per a l'anàlisi del relleu es recomana l'ús d'Histofit<sup>1</sup> que és una eina de full de càlcul que permet fer de forma ràpida l'anàlisi de ràsters de pendents.

És molt important identificar l'etapa evolutiva de l'escarpament respecte els processos que l'han originat (erosió basal, excavació de desmunt, encaix de vall glacial o fluvial, estructura tectònica, etc.).

1. Histofit: *Slope angle frequency analysis in mapping rockfall hazard*. <https://wp.unil.ch/risk/software/histofit/>





Figura A1-10. Cicatriu de sortida i dipòsit de la caiguda d'una massa de roques basàltiques de mida M2 a la cinglera de Castellfolit de la Roca, el 12 de maig de 2023. Font: ICGC.

*Risc derivat: el retrocés de l'escarpament*

En els escarpaments també caldrà tenir en compte l'efecte del retrocés a la línia de capçalera a causa de la dinàmica erosiva (figura A1-11 i figura A1-12). Aquesta situació és molt habitual quan el peu del vessant és sotmès a una acció erosiva fluvial o costanera en sòls cohesius o roques toves, i s'haurà de tractar com a risc derivat, tal com es planteja a l'apartat 2.1 d'aquesta monografia tècnica (Perills geològics a considerar).

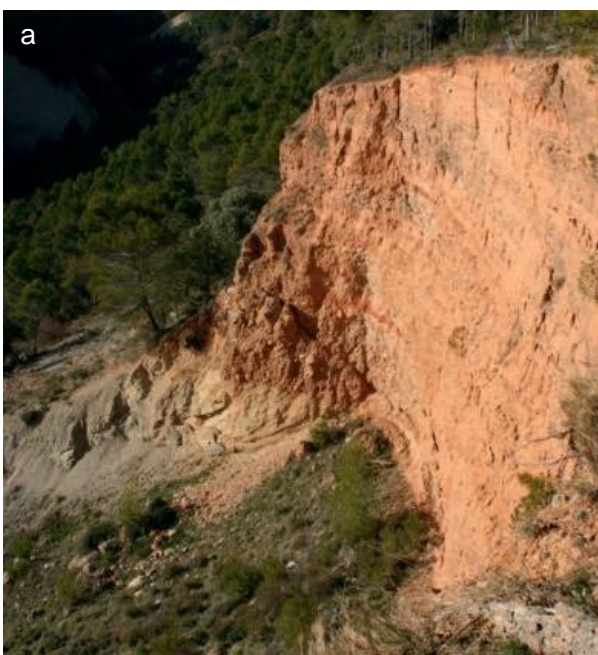


Figura A1-11. a) Cicatriu i dipòsit al peu de l'escarpament producte de la caiguda o bolcada d'una massa de roca disgregable al Barranc de Fontfreda (Salàs de Pallars). b) Cicatriu i bloc caigut sobre dipòsits de caiguda a Canet de Fals (Fonollosa). Font: ICGC.

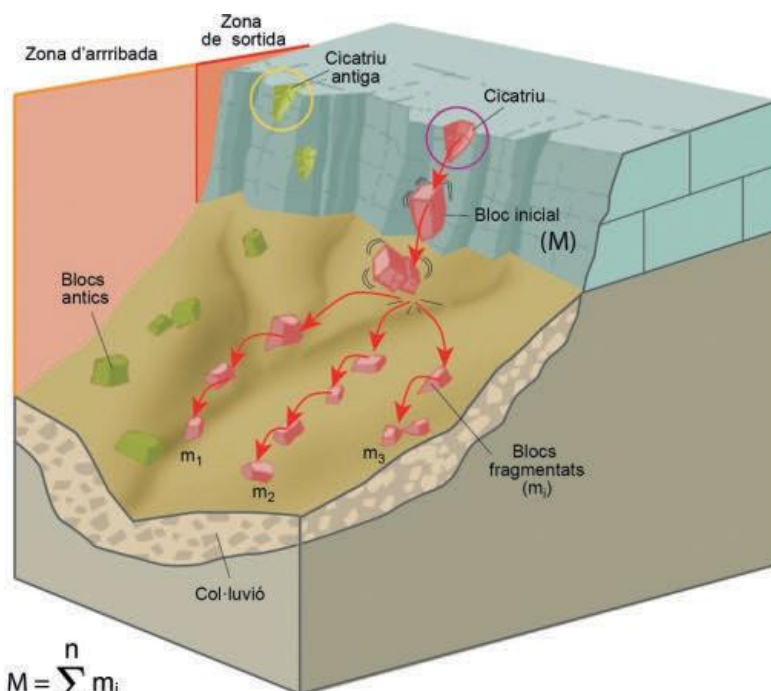




Figura A1-12. Cicatrius de caigudes a la part superior de l'escarpament que afecten el marge posterior d'alguns habitatges de Castellfollit de la Roca. Font: ICGC.

### A1.3 Indicis d'activitat

L'activitat de desprendiments queda registrada en forma de traces o d'indicis a l'escarpament i al vessant (figura A1-13). Els principals indicis a considerar són:



$$M = \sum_i^n m_i$$

Figura A1-13. Esquema amb les principals definicions de les parts d'un desprendiments i els seus indicis.

- Cicatrius de despreniments a l'escarpament.
- Fracturació del massís amb disposició favorable a generar trencades (planars o en falca).
- Presència de discontinuïtats obertes, reblertes o poc rugoses, de fractures recents, etc.
- Sostres, desploms o balmes.
- Alternança de materials per erosió diferencial.
- Blocs individualitzats potencialment inestables a l'escarpament o al vessant.
- Trajectòries de caiguda de despreniments al vessant.
- Impactes al terreny i a la vegetació.
- Blocs caiguts, aïllats o dispersos al vessant o al peu de l'escarpament.
- Dipòsits col·luvials recents o antics al peu de l'escarpament.
- La perdurabilitat en el temps de les traces o indicis va directament associada a la mida del despreniment.

Dintre de les possibilitats que ens permeti les observacions i la informació disponible és important determinar o estimar l'edat dels indicis, ja que ens ha de permetre establir la freqüència d'acord als termes que s'expliquen en aquesta monografia tècnica (apartat 3.2.2: Determinació de la freqüència).

## A1.4 Potencial de propagació

### *Determinació de la susceptibilitat i l'abast màxim*

Un dels objectius d'un EIRG és determinar l'àrea susceptible de ser afectada per despreniments. Es consideraran susceptibles les zones de sortida, de trànsit i d'aturada.

La zona d'aturada es determina per l'*abast màxim* dels despreniments d'acord amb els escenaris de perillositat en els períodes de referència. La determinació de l'abast màxim s'ha de plantejar com una qüestió de valors extrems d'una distribució estadística, ja que la propagació té una elevada variabilitat, que depèn de les condicions inicials de sortida i de les característiques del bloc i del terreny. La determinació de l'abast màxim ha de ser conservador d'acord amb el grau de coneixement del fenomen.

### *Mètodes d'angle d'abast: eina fonamental per estimar l'abast màxim*

Una forma de mesurar l'abast màxim és mitjançant l'angle d'abast, que es defineix com l'angle que forma una línia horitzontal i la línia que uneix el punt de sortida amb el d'aturada d'un bloc (figura A1-14). Aquest concepte permet bastir un mètode empíric de determinació d'un abast màxim versemblant, que alhora es pot utilitzar com a model molt simple de línia d'energia de la trajectòria.

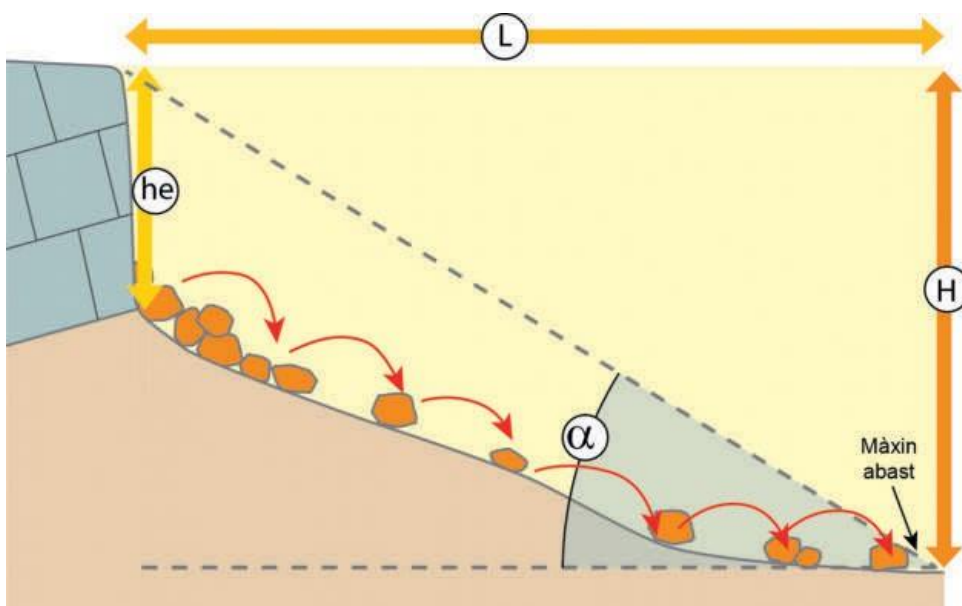


Figura A1-14. Definició de l'angle d'abast ( $\alpha$ ) segons la longitud d'abast màxim (L) i el desnivell de caiguda (H) des de la capçalera de l'escarpament d'alçada (he).



Hi ha bibliografia que suggereix valors de l'angle d'abast màxim per diferents condicions, essent les principals: el volum del desprendiment ( $M$ ), el del bloc major ( $m_{\max}$ ) i la morfologia del terreny. La taula A1-1 presenta uns valors orientatius que mostren el potencial de propagació en funció del volum després. L'angle d'abast és característic d'un vessant i permet fer comparacions amb altres vessants.

L'ús d'aquests angles requereix d'una anàlisi particular, ja que també depenen de la morfologia del vessant i poden tenir variacions de fins a  $20^\circ$  entre vessants de diferents característiques, i per això cal contrastar-los amb les observacions de camp. En aquest sentit pot convenir analitzar sectors similars fora de l'àmbit d'estudi, però que tinguin un millor registre de l'activitat de desprendiments.

Els valors adoptats i la seva justificació han de quedar recollits al document EIRG.

**TAULA A1-1. Valors comuns de l'angle d'abast màxim ( $\alpha$ ) per a diferents configuracions tipus de volum total de sortida del desprendiment ( $V_0$ ) i de volum dels blocs caiguts majors observats ( $V_{\text{maj}}$ ). Adaptat de les notes 2 i 3.**

$V_0$ (m <sup>3</sup> )	$V_{\text{maj}}$ (m <sup>3</sup> )	$\alpha$ (°)
<10	<2	35-40
10-100	<5	30-35
100-1 000	<50	25-30
> 1 000	>50	<25

*Ús possible d'altres mètodes de càlcul però que han de ser reproduïbles*

També es poden emprar altres mètodes empírics o analítics i, en particular, els programes de càlcul de trajectòries. En qualsevol cas, aquests mètodes han de ser descrits, justificats i calibrats amb les observacions de camp. A l'EIRG s'explicaran i es proveiran les hipòtesis de càlcul i els paràmetres emprats per tal que les anàlisis siguin reproduïbles.

## A1.5 Escala de mida destructiva

Les principals característiques que defineixen els desprendiments en termes d'energia es correlacionen bé amb l'escala de mida destructiva. La taula A1-2 mostra exemples de configuracions de característiques dels desprendiments i graus de mida destructiva assolida.

**TAULA A1-2. Exemples de configuracions amb diferents valors de les variables geomètriques i cinemàtiques de desprendiments, amb el grau de mida destructiva corresponent.**

Exemple	Massa inicial (t)	Massa del bloc major m (t)	Desnivell $\Delta h$ (m)	Velocitat màx. assolida v (m/s)	Mida destructiva assignada
Bloc petit aïllat o bloc major de molt poc recorregut	0,1	0,1	5	5	M1
Bloc petit o mitjà disgregable de recorregut poc energètic	3	1	20	10	M2
Bloc mitjà o gran disgregable i fragmentable per recorregut energètic	100	10	100	20	M3
Massa de blocs agregats amb fragmentació per recorregut molt energètic	3 000	100	200	30	M4
Trencada de massís rocós (transició a allau de roques o esllavissada de roca)	100 000	1 000	500	40	M5

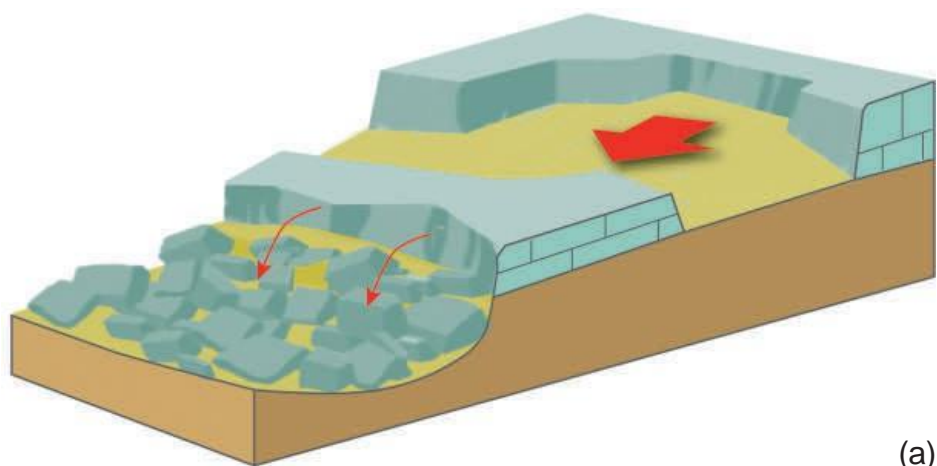
- Corominas, J. 1996. "The angle of reach as a mobility index for small and large landslides". *Canadian Geotechnical Journal*, 33 (2), 260-271.
- Corominas, J., Hürlimann, M., Lantada, M., Domènech, G., Abancó, C. (2010). *IGC-AP-0059/10 Document intern. Memòria metodològica d'elaboració de mapes pilots de prevenció de riscos.*

## 7. Annex 2. Lliscaments

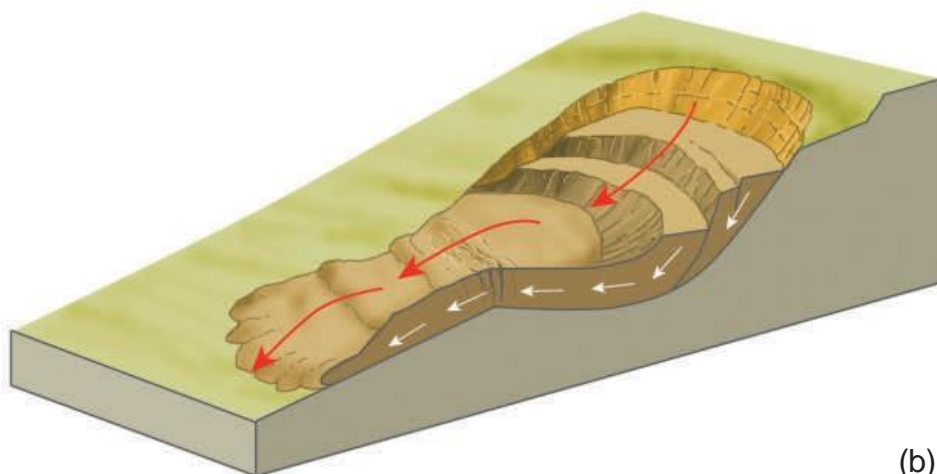
### A2.1 Definicions

Aquest annex se centra en la descripció dels lliscaments, que sovint s'anomenen de manera genèrica "esllavissades". Però per evitar confusions, en aquesta guia s'utilitza el terme lliscaments i es reserva el terme esllavissada per quan es fa referència al conjunt de moviments gravitacionals del terreny en vessant (vegeu l'apèndix: A.1 Classificació de les esllavissades).

En els lliscaments, la deformació del terreny es produeix a partir d'una superfície de trencada, on es dona la ruptura i la propagació del moviment. La superfície de trencada pot adoptar tant formes circulars com planes, i donen lloc a moviments rotacionals o translacionals (figura A2-1). Així mateix, pot incloure també moviments complexos i expansions laterals.



(a)



(b)

Figura A2-1. Esquema de mecanismes representatius de lliscaments: (a) translacional en roca, (b) rotacional en sòl.

### *Represa de distincions fetes a la memòria (reactivable, rapidesa i motricitat)*

En general, i a diferència de la resta d'esllavissades, els lliscaments impliquen la mobilització d'una massa que es manté en contacte permanent amb el terreny i que tendeix a conservar l'estructura interna. Es tracta d'un moviment únic, que es pot activar per episodis segons la variació de les condicions ambientals i del terreny. Els lliscaments, doncs, no es generen a mode de repetició, sinó que són constituïts per una massa en moviment que pot presentar períodes d'activitat o reactivació.

La motricitat dels lliscaments varia molt, depenent de la seva naturalesa i la seva dimensió dins del conjunt del vessant. És molt comú que una gran part de la massa mobilitzada no arribi a sortir de la zona de trencada inicial.

La velocitat dels lliscaments pot ser molt variable, des d'extremadament ràpida en cas d'una trencada sobtada a extremadament lenta quan són progressius i constants. Aquest és un factor que s'ha de tenir present pel risc sobre elements mòbils, ja que determina la capacitat de resposta de persones i vehicles (vegeu la taula A2-3).

Ara bé, de vegades el peu del lliscament evoluciona cap a un flux, adoptant les característiques d'aquest tipus de fenomen amb un major abast i rapidesa, i esdevenint un moviment complex.

Per a l'estudi dels lliscaments, com a fenomen que es produeix en unes condicions del terreny i ambientals determinades, és important conèixer en quins llocs i en quines circumstàncies s'han produït esdeveniments previs. L'ICGC disposa de nombrosa informació (vegeu apartat 4.1.1: Documentació bibliogràfica i cartogràfica).

## A2.2 Anàlisi de susceptibilitat

### *Condicions que generen inestabilitat*

Els lliscaments es donen per la coincidència d'un conjunt de factors en el terreny que generen un desequilibri de tensions, que fa que es passi d'una situació estable a una situació inestable i es produeixi el moviment.

### *Factor litològic*

Certes litologies són més susceptibles a generar lliscaments que d'altres. En general, ho són les que contenen alts percentatges de fracció argilosa de plasticitat elevada, amb argiles expansives o amb guixos, i les que són evolutives. Aquests materials tendeixen a presentar un angle de fregament intern baix (<28°), fet que afavoreix que es puguin generar superfícies de trencada.

Les unitats geològiques més conegudes a Catalunya que contenen aquestes litologies i que tendeixen a generar lliscaments són les pissarres negres del Silurià, les lutites vermelles del Permià i del Triàsic, les margues del Cretaci inferior, les lutites vermelles del Garumnià, les margues neògenes d'origen marí i els dipòsits quaternaris que provenen de l'erosió de les unitats esmentades.

Les formacions quaternàries corresponents a dipòsits de lliscaments antics o recents, encara que no siguin funcionals, també són propenses a generar lliscaments. Aquest fet s'atribueix a que, tant els materials com les superfícies de lliscament relict, presenten propietats resistents inferiors a les del material original no mobilitzat. Aquesta situació és molt habitual en vessants de les valls pirinenques que van experimentar una forta dinàmica postglacial que va generar lliscaments de grans dimensions i que conformen part del paisatge.

### *Factor pendent*

El pendent és un factor determinant perquè és el paràmetre que relaciona la força motriu i la força resistent a la lliscada. Els lliscaments se solen generar en pendents d'entre 15° i 45°, tot i que en certes condicions es poden donar en pendents inferiors a 8°.

### *Factor aigua en el terreny*

La presència d'aigua en el terreny comporta una disminució de les forces resistents al moviment. Aquest fet s'explica pel concepte de les tensions efectives entre les partícules sòlides del sòl, que disminueixen amb un increment de la pressió d'aigua intersticial. L'aigua també actua saturant el material i interactuant en l'esquelet mineral de les partícules fines, de manera que la variació de la humitat comporta generalment canvis en els factors resistents a la cisalla (cohesió i angle de fregament intern). Els sòls no saturats presenten uns índexs de resistència superior per l'efecte de la succió o menisc (efecte que permet la construcció dels castells de sorra a la platja). Per altra banda, els sòls que han dépassat el seu límit líquid i límit plàstic (límits d'Atterberg) canvien d'estat de semisòlid a plàstic i, finalment, a estat líquid.

Les variacions del nivell freàtic i la saturació del terreny, que poden donar lloc a la formació de lliscaments, se solen produir durant forts episodis de pluja i precipitacions acumulades. Aquesta vinculació permet analitzar la freqüència dels moviments en base al període de retorn corresponents als llindars de pluja generadors de lliscaments (figura A2-2).

En sectors urbanitzats, també cal tenir en compte les fuites d'aigua de xarxes d'abastament o de sanejament, de dipòsits d'aigua (basses, cisternes, piscines...), de fosses sèptiques i altres, que poden constituir una aportació constant d'aigua al terreny. També, que el propi lliscament pot malmetre aquests elements, de forma que es pot originar un sistema retroalimentat d'aportació d'aigua al terreny.



Figura A2-2. Cicatriu de capçalera i esquerdes de tracció d'un lliscament rotacional de mida M4 ocorregut al veïnat de Can Ram de Sant Pere de Vilamajor, durant l'episodi de pluges de gener de 2020. Font: ICGC.

### *Factors generadors d'inestabilitat*

A mode de resum, es descriuen un conjunt de factors que poden provocar un desequilibri en les condicions de tensions o resistència del terreny i que, per tant, són potencials generadors de lliscaments (figura A2-3):



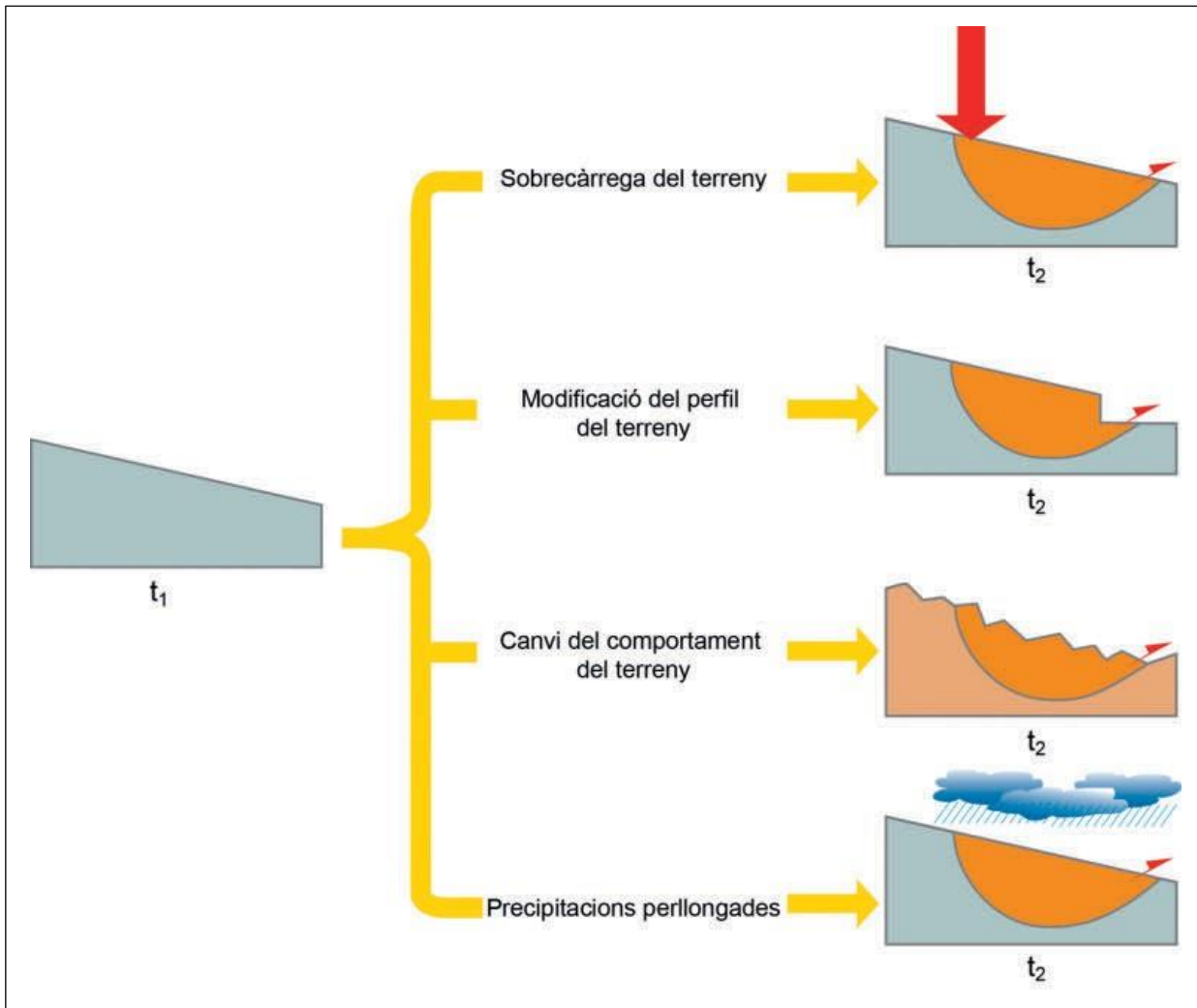


Figura A2-3. Mecanismes i situacions que poden ser generadores del lliscament del terreny.

1. *Sobrecàrregues*. Comporten canvis de l'estat tensional del terreny. Poden ser degudes a la construcció d'estructures, la realització de terraplens i abassegaments i al desenvolupament d'usos que impliquin la introducció de càrregues al vessant.
2. *Variacions de la geometria per excavació*. Pot comportar la pèrdua de base estabilitzadora al vessant. Aquesta pot ser deguda tant a una modificació antròpica del perfil del terreny com a un procés natural de socavació per efecte de l'erosió fluvial o costanera.
3. *Variacions del comportament geotècnic*. Canvis en el contingut d'aigua o en la composició del sòl (meteorització, etc.) que poden comportar pèrdues de cohesió.
4. *Aportacions d'aigua*. Causades per fuites de xarxes o precipitacions perllongades o amb pic d'intensitat que poden comportar una disminució de la resistència al trencament.

## A2.3 Indicis d'activitat

L'activitat del lliscament queda registrada en forma de traces o d'indicis als vessants on es produeixen. Els principals indicis a considerar són:

- Cicatrius de capçalera, esquerdes de tensió i tracció en el terreny.
- Existència de zones a contrapendent.
- Superfícies del terreny irregulars.
- Observació de peus de lliscament amb formes lobulades.
- Zones d'acumulació d'esbaldregalls de pendent.



- Xarxa hidrogràfica irregular (obturacions i desplaçaments del curs).
- Zones d'entollaments i surgències.
- Presència abundant de vegetació hidròfila.
- Vegetació caòtica amb arrels arrancades, arbres desenterrats i arrossegats.
- Existència de pals de telèfon o d'electricitat o d'arbres torts.

La perdurabilitat en el temps d'aquestes traces o indicis va directament associada a la mida del lliscament.

En zones edificades o amb infraestructures, els millors elements per observar l'activitat dels lliscaments són les esquerdes i les patologies que puguin presentar les estructures. En aquest sentit, l'inventari i la descripció de danys en les construccions permet determinar la intensitat del moviment d'acord a la classificació de la taula A2-1.

En superfície, les afectacions més importants es produeixen en el contorn del lliscament, que és on es troben les zones de ruptura de la massa mobilitzada i on es produeixen els majors moviments diferencials amb un major potencial destructiu. En canvi, sobre el bloc relativament rígid del cos del lliscament es pot percebre poc dany i en la mesura que el moviment sigui lent, el dany pot trigar anys a manifestar-se en el cos del lliscament.

**TAULA A2-1. Classificació dels graus de danys típics en edificacions i en infraestructures sobre el terreny per a la confecció d'inventaris<sup>1</sup>.**

Grau / Intensitat del dany	Descripció de danys en edificacions	Danys al terreny i infraestructures
0 / No apreciable	Fissures i esquerdes de menys de 0,1 mm. No visibles des de l'exterior.	No visible.
1 / Molt lleuger	Fissures i esquerdes fines que poden ser tractades amb enguixat. Generalment queden restringides a l'interior. Fissures aïllades en parets de maó. Obertura d'esquerdes inferiors a 1 mm.	No visible.
2 / Lleuger	Esquerdes fàcilment reparables, probablement precisin enguixat. Conjunts de fissures lleugeres apreciables a l'interior. Les esquerdes es poden apreciar externament, poden requerir una reparació. Les portes i finestres poden patir lleugeres deformacions en la marqueteria. És difícil fer les observacions des de l'exterior. Obertura d'esquerdes inferiors a 5 mm.	No visible en el terreny natural o esquerdes fines en paviments rígids.
3 / Moderat	Les esquerdes requereixen repicat i obra de paleta. Els revestiments poden emmascarar esquerdes recurrents. Possiblement parts de les façanes de maó requereixin substitució. Les portes i finestres s'encallen. Les canonades i baixants poden trencar-se. Lleugera inclinació de murs. Empitjora la resistència de l'edifici davant dels agents climàtics. Les esquerdes són visibles des de l'exterior. La seva obertura és de 5 a 15 mm o diverses de 3 mm.	Lleugeres deformacions, que poden ser percebudes per un conductor, però que no són òbvies per als observadors casuals. Poden ser necessàries reparacions generalment superficials o la reposició local de paviments.
4 / Sever	Dany extensiu que requereix la demolició i restitució de parts de murs especialment sobre portes i finestres. Marcs de les finestres i de les portes es distorsionen i el terra s'inclina de forma apreciable. Els envans s'inclinen i es bomben. Es pot produir una lleugera pèrdua de càrrega en bigues i distorsió de l'estructura. Les canonades queden fora de servei. L'obertura de les esquerdes va de 15 a 25 mm, depèn del nombre d'esquerdes. Danys clarament visibles des de l'exterior.	Esquerdes obertes, distorsions, separacions o assentaments relatius. Caigudes de petits fragments que poden causar danys lleugers. Reparacions en vials no urgents. Efectes visibles en pals d'electricitat o tanques.
5 / Molt sever	Danys estructurals als edificis. Es requereix una gran reparació que pot comportar la reconstrucció total o parcial de l'edifici. Les bigues es despengen i perden la capacitat de càrrega. Es requereix l'estintolament dels murs. Les finestres rebenten per distorsió. Hi ha perill greu d'instabilitat global. Usualment >25 mm encara que depèn del nombre d'esquerdes.	Deformacions significatives, rotacions o girs del terreny sovint acompanyades per esquerdes en terreny natural o carreteres. Interrupció generalitzada del servei en carreteres. Es requereix de reparacions molt significatives.
6 / Extremadament sever	Col·lapse parcial de l'edifici, molt obvi des de l'exterior.	Col·lapse del terreny o carreteres. Serveis tallats o greument interromputs. Cal restitució del terreny perdut seguit d'obres significatives per restituir el servei.
7 / Desconegut	Col·lapse total d'un o diversos edificis.	Desorganització generalitzada del terreny.

1. Cooper, A. H. (2008): "The classification, recording, databasing and use of information about building damage caused by subsidence and landslides British Geological Survey, Keyworth, Nottingham NG12 5GG, UK". *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 41(3):409. <http://dx.doi.org/10.1144/1470-9236/07-223>

## A2.4 Escala de mida destructiva

### *Mida geomètrica segons el volum*

La primera aproximació per determinar la mida destructiva d'un lliscament és per les seves dimensions en un sentit geomètric, a partir de l'extensió en superfície i del gruix del material lliscant. Ambdós paràmetres depenen de les condicions generadores de la inestabilitat i no necessàriament tenen una correlació directa de proporcionalitat.

La mida determina els efectes que es produeixen sobre el medi físic o socioeconòmic (figura A2-4, figura A2-5 i figura A2-6). Una major extensió implica una major quantitat de potencials construccions a afectar, mentre que la profunditat determina, en gran mesura, la complexitat de les mesures d'estabilització. Amb tot, resulta freqüent que els lliscaments més profunds desenvolupin una extensió major.



Figura A2-4. Escarpament i vista parcial del cos del lliscament rotacional de Puigcerçós de mida destructiva M5 que va esdevenir el 13 de gener de 1881 i que va comportar l'abandonament de la població situada al turó. Font: ICGC.



Figura A2-5. Vista aèria del lliscament de Ca l'Esmandia durant el temporal Gloria (gener de 2020), que va provocar l'esfondrament de 3 cases. Fotografia publicada a Twitter per Afectats Temporal Gloria Cànoves (@AfectatsCanoves).





Figura A2-6. Danys a la carretera C-1313 provocats pel lliscament del Pont de Bar la nit del dia 7 al 8 de novembre de 1982. Autor: desconegut.

En aquest sentit, la guia per al registre d'esllavissades *The Landslide Reporter's Guide*<sup>2</sup> de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) planteja una escala de mides d'esllavissades segons el volum de terreny involucrat, ja sigui per un fenomen únic o per fenòmens múltiples. Es tracta d'una escala simplificada a 5 graus que busca cobrir tota la casuística (taula A2-2). Inclouent les esllavissades "gegants" com poden ser les que es produeixen en alguns indrets de la Xina, amb volums que superen els 10 milions de m<sup>3</sup>.

**TAULA A2-2. Escala de mida d'esllavissades utilitzada en el registre cooperatiu en línia d'esllavissades (COOLR) de la NASA.**

Classe	Descriptor	Volum (m <sup>3</sup> )
Petita	Esllavissada que afecta una zona petita o un únic vessant. Pot generar impactes menors en infraestructures i carreteres. En cas que bloquegi una carretera, aquesta pot quedar neta en poques hores. El material generat es pot evacuar en un únic camió dümper. Normalment no hi ha víctimes mortals.	<10
Mitjana	Esllavissades que poden correspondre a un esdeveniment individual o múltiple que afecta tota una àrea i que impliquen una gran quantitat de material mobilitzat. Poden bloquejar una carretera durant diversos dies, i poden restar bloquejades diverses carreteres alhora; poden produir-se danys a múltiples cases; serien necessaris diversos camions dümper per retirar el material mobilitzat; ocasionalment pot produir-se alguna fatalitat mortal.	10–1 000
Gran	Esllavissades de grans dimensions o conjunt d'esllavissades que es produeixen en una zona determinada, però que cobreixen una àrea àmplia. Poden produir impactes substancials a infraestructures i a carreteres, és probable un nombre moderat a elevat de víctimes mortals i de desenes a centenars de persones desplaçades.	1 000–100 000
Molt gran	Esllavissades úniques molt grans o esdeveniments múltiples que afecten tota una regió (sovint poden afectar un poble sencer). Poden haver-hi milers de persones desplaçades i pot produir-se un gran nombre de víctimes mortals.	100 000–1 000 000
Catastròfic	Impactes catastròfics en infraestructures i carreteres. Poden quedar enterrats pobles, barris o ciutats. Es poden desplaçar desenes de milers de persones. Poden haver de centenars a milers de víctimes mortals.	> 1 000 000

1. [https://gpm.nasa.gov/landslides/guides/COOLRGuide\\_Primer.pdf](https://gpm.nasa.gov/landslides/guides/COOLRGuide_Primer.pdf).

Ara bé, en el rang d'interès de Catalunya, aquesta escala discrimina poc l'activitat de lliscaments, ja que la major part quedarien dins la classe mitjana o petita, i per a la finalitat de l'EIRG convé que la gradació del volum segueixi un factor multiplicador menor als 2 ordres de magnitud decimal.

*Classificació en funció de la profunditat de la zona de lliscament*

Per a la categorització de la profunditat dels lliscaments (figura A2-7) es proposa emprar una escala logarítmica regular similar als llistats d'ús comú en la bibliografia (taula A2-3).

**TAULA A2-3. Nivells de profunditat del lliscament.**

Nivell	Profunditat de lliscament (m)
Molt superficial	<1
Superficial	1-3
Mitjà	3-10
Profund	10-30
Molt profund	>30



Figura A2-7. Lliscament superficial que va afectar el Camí de les Basses, a la Molsosa, el 23 de gener de 2020. Font: ICGC.

*Escala de mida destructiva*

Així, l'escala que es planteja (taula A2-4) pren com a base els paràmetres anteriors de volum i profunditat i relaciona els diferents graus de mida destructiva amb un rang inferior al de l'escala de la taula A2-2.

**TAULA A2-4. Exemples de combinació de variables de dimensions d'un lliscament que corresponen a diferents graus de mida destructiva.**

Volum (m³)	Profunditat (m)	Extensió (m²)	Mida destructiva
3-10	0,3	10	M1
10-100	1	100	M2
100-5 000	3	1 000	M3
5 000- 100 000	10	10 000	M4
>100 000	30	100 000	M5

A causa de la variabilitat de formes dels lliscaments, aquesta taula s'ha d'emprar en un sentit orientatiu i complementari. Els valors que s'hi inclouen només pretenen ajudar a focalitzar els factors que condicionen el dany potencial i no cal que es compleixin totes les variables descriptives en una mateixa mida.

#### *Concepte de freqüència en lliscaments*

El concepte de freqüència és complex en els lliscaments. En moviments relacionats amb les formacions quaternàries superficials, la freqüència es pot relacionar amb el règim de pluges, mentre que en els més profunds, de magnitud o mida destructiva gran, la perillositat dependrà de la seva dinàmica i dels factors que el poden afectar (soscavament, excavacions, pujades nivell freàtic...).

En qualsevol cas, els intervals de freqüència 0-30, 30-100 i >100 (vegeu l'apartat 3.2.2: Determinació de la freqüència) es poden assimilar al temps en què un edifici, o qualsevol altre element objecte d'interès, resulta amb danys severos (taula A2-1) tenint en compte la velocitat del moviment.





## 8. Annex 3. Fluxos

### A3.1 Definicions

#### Definició de flux

Agrupem sota la tipologia de “flux” totes les esllavissades en què es produeix una fluïdificació del terreny, que fa que perdi l'estructura original i adquireixi un comportament viscos que li permet assolir un moviment que es propaga més enllà de la zona de sortida.

Els fluxos estan compostos per una fase sòlida (mescla de partícules sòlides) i una fase líquida (aigua) en proporcions variables (figura A3-1). La part sòlida dota el fenomen d'un poder destructiu alt, mentre que la part líquida facilita la seva capacitat de transport. Per tant, són un tipus d'esllavissada que poden mobilitzar grans quantitats de sediment i poden tenir una gran capacitat de destrucció per la gran energia que desenvolupen.

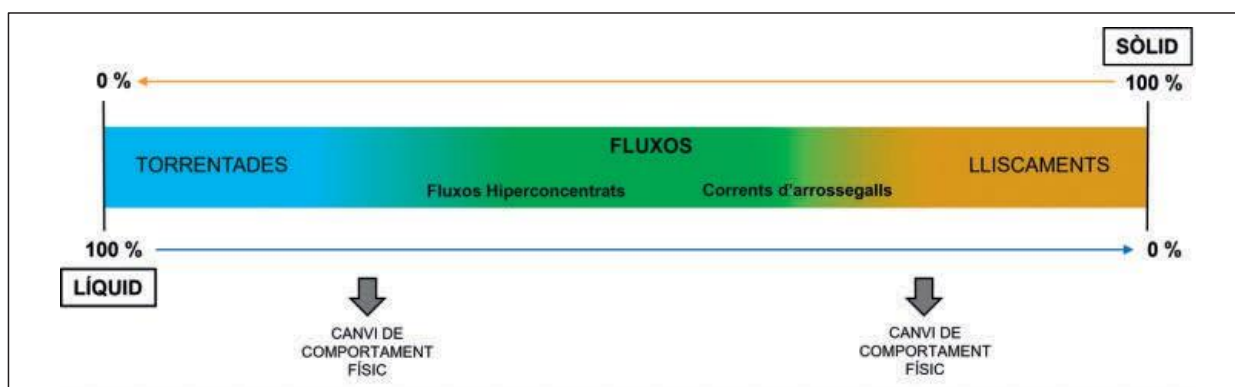


Figura A3-1. Esquema de la composició dels fluxos i fenòmens limítrofs (torrentades i lliscaments).

#### Classificació dels fluxos en funció de la composició

La composició granulomètrica i la proporció entre la *fase sòlida* i la *fase líquida* determinen el comportament dinàmic de la massa mobilitzada i permeten la seva classificació en dos tipus: els fluxos hiperconcentrats i els corrents d'arrossegalls.

- Els fluxos hiperconcentrats poden tenir una concentració de càrrega sòlida entre el 20 i el 60% en volum. El sediment és transportat per una combinació entre flotabilitat, interacció de grans i turbulència. Els dipòsits presenten una lleugera laminació, encara que poden ser massius o caòtics.
- En els corrents d'arrossegalls, la concentració de càrrega sòlida sol ser superior al 60% en volum, de manera que la interacció entre partícules sòlides és constant i intensa amb un comportament predominantment laminar. La fase sòlida és transportada per suspensió amb una granulometria que va des de sorres a blocs.

Quan la concentració de sòlids és inferior al 35-20%, aquests són transportats com a càrrega de fons, en suspensió i per arrossegament a la base de la llera, i es considera que són riuades o torrentades convencionals. En aquest cas, la determinació de la perillositat s'estableix mitjançant estudis d'inundabilitat, i per tant l'EIRG no ho contempla, ja que són els organismes de la conca hidrogràfica corresponent els que vetllen pel compliment de la normativa sectorial d'acord amb el que estableix la Llei.

### Zones de sortida, trànsit i aturada

En un flux complet es poden distingir tres zones:

- *Zona de sortida*: lloc on es genera el moviment de la fase sòlida del flux, associat a una inestabilitat del terreny o una erosió intensa.
- *Zona de trànsit*: lloc per on discorre el flux i on s'assoleix la major velocitat del flux. També és una zona generadora de materials que s'incorporen al flux per efecte de l'erosió.
- *Zona d'aturada*: lloc on el flux perd velocitat i diposita el material mobilitzat de forma contínua fins a aturar-se.

### Classificació dels fluxos en funció de la zona de sortida i de trànsit

Els fluxos que s'inicien en un vessant obert sense una configuració marcada de la conca s'anomenen *fluxos de vessant* (figura A3-2). En aquest cas el mecanisme d'activació és similar al d'un lliscament i l'aportació d'aigua sol estar vinculada a l'existència de surgències a mig vessant. El contingut d'aigua fa que en el moviment, la remoció del material sigui completa i s'adopti la dinàmica de flux.



Figura A3-2. Flux de vessant a Era Abelha, a la riba dreta del Valarties, 11 de maig de 2018.  
V=52 000 m<sup>3</sup> de volum mobilitzat (M4). Font: Conselh Generau d'Aran.

Quan els fluxos estan associats a torrents i barrancs s'anomenen *fluxos torrencials* o *de torrent* (figura A3-3). Els mecanismes d'activació són la formació d'esllavissades a la conca o als marges del barranc i l'erosió de la llera per efecte d'una crescuda del cabal d'aigua en el torrent. El flux es canalitza pel torrent amb llargues trajectòries, molt superiors a l'espai on s'origina.

Els fluxos torrencials es consideren fenòmens recurrents, ja que es poden repetir en un mateix lloc sempre que a la conca es donin les condicions meteorològiques adequades (segons condicions de pluja acumulada i intensitat de precipitació) i mentre hi hagi material susceptible de ser erosionat (disponibilitat de sediment). En contraposició, els fluxos de vessant són menys recurrents, ja que la repetició dels fenòmens se sol produir en punts adjacents al fenomen precedent. Malgrat aquestes apreciacions, en





Figura A3-3. Àrea font de formació de fluxos de torrent, Erill la Vall (Alta Ribagorça). Font: ICGC.

general es considera que els fluxos són fenòmens recurrents i que, per tant, es pot establir un període de retorn lligat a les condicions de pluja i ambientals.

#### *Riscos associats als fluxos*

El potencial destructiu i la perillositat dels fluxos deriven de l'alçada i velocitat que assolixen i de la densitat dels materials que el conformen. La càrrega sòlida, que dota al flux d'una densitat molt superior a l'aigua neta, unida a la velocitat que assolix, li confereix una alta capacitat erosiva i la possibilitat de generar un impacte dinàmic quan intercepta un obstacle en la seva trajectòria. D'aquesta manera els efectes més perillosos són: el descalçament, l'impacte sobre estructures i els aterraments per deposició dels sòlids, a més de la inundació associada al desbordament del torrent. Així mateix, atès que són fenòmens ràpids o molt ràpids són perillosos per a les persones, ja que poden arribar a assolir velocitats de fins a alguna desena de m/s i limiten molt la capacitat de reacció.

## A3.2 Anàlisi de susceptibilitat

#### *Factors que condicionen la formació de fluxos*

La susceptibilitat d'un terreny per generar fluxos torrencials està determinada per tres factors:

- *La morfologia del terreny*: el pendent i la superfície de la conca determinen en gran mesura la formació i la propagació dels fluxos. Generalment, es desenvolupen en conques hidrològiques de muntanya amb fort desnivell i d'àrea moderada, on els temps de concentració de l'escolament de l'aigua superficial són breus i poden originar polsos de crescuda de cabals, fins i tot en situacions de ruixats locals.



- *La disponibilitat de material*: la presència de material erosionable en vessants inclinats permet que una crescuda torrencial incorpori de forma ràpida el material i el transporti en forma de corrent d'arrossegalls.
- *Les condicions ambientals*: la pluviometria i altres condicions ambientals com la saturació prèvia del terreny i l'existència de surgències d'aigua subterrània són factors que poden ser determinants en el desencadenament de fluxos.

Una anàlisi mitjançant SIG dels factors morfològics del terreny i de la disponibilitat de material permet fer una primera aproximació per determinar la perillositat de la zona de sortida.

### La morfologia del terreny

Per a l'anàlisi de la morfologia es recomana seguir els criteris establerts a partir de Wilford *et al.* 2004<sup>1</sup> i treballs derivats (taula A3-1 i figura A3-4), que a partir de diferents paràmetres morfomètrics de la conca permeten fer una estimació de la capacitat que té una conca per generar els diferents tipus de fluxos torrencials (figura A3-5):

- Longitud de la conca (km): distància recorreguda en planta de l'àpex al punt més distant del contorn de la conca.
- Desnivell total de la conca (km): diferència de cota entre l'àpex i el punt més elevat de la conca.
- Relació de relleu (adimensional).
- Àrea de la conca (km<sup>2</sup>): superfície planimètrica tributària a l'àpex de sortida de la conca.
- Índex de Melton (adimensional).
- Proporció de pendents (%): proporció d'àrea planimètrica de la conca amb un pendent d'entre 30° i 40° respecte el total.

Es recomana comprovar i contrastar els 4 criteris diferents que es recullen a la taula A3-1 i a la figura A3-4 per establir els diferents tipus de fluxos torrencials que es poden donar en una conca. La taula A3-1 i la figura A3-4 són dues formes diferents d'expressió dels mateixos criteris.

**TAULA A3-1. Taula representativa dels límits de classe utilitzats per discriminar entre els diferents tipus de dinàmiques torrencials. Extreta de Wilford *et al.* (2004).**

Criteri	Riuades	Inundacions detrítiques	Corrents d'arrossegalls
Índex de Melton (M) i Longitud de conca (L)	M<0,3	0,3<M<0,6 o M>0,6 i L>2,7	M>0,6 i L<2,7
Índex de Melton (M) i Índex de relleu (R)	M<0,3	0,3<M<0,77 o M>0,77 i R<0,42	M>0,77 i R>0,42
Proporció de pendent (B3040) i Longitud de conca (L)	B3040<4,5 o L>9	4,5<B3040<18 i L<9 o B3040>18 i 2,7<L<9	B3040>18 i L<2,7
Relació de Relleu (R) i Longitud de conca (L)	R<0,15	0,15<R<0,35 o R>0,35 i L>2,7	R>0,35 i L<2,7

Altres autors plantegen altres paràmetres morfomètrics de la conca, com la mida mínima de la conca, i les relacions entre ells derivats d'estudis locals (figura A3-5). Cal veure en cada cas l'aplicabilitat per establir si es donen les condicions específiques en les quals es poden produir fluxos fora d'aquests líndars de referència.

Malgrat que els mètodes morfomètrics indiquin que no hi ha unes condicions específiques per a la generació de fluxos torrencials, és imprescindible contrastar-ho amb l'existència o no d'indicis d'activitat.

1. Wilford, D. J., Sakals, M. E., Innes, J. L., Sidle, R. C., Bergerud, W. A. (2004). "Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics". *Landslides* 1:61–66. DOI: 10.1007/s10346-003-0002-0.

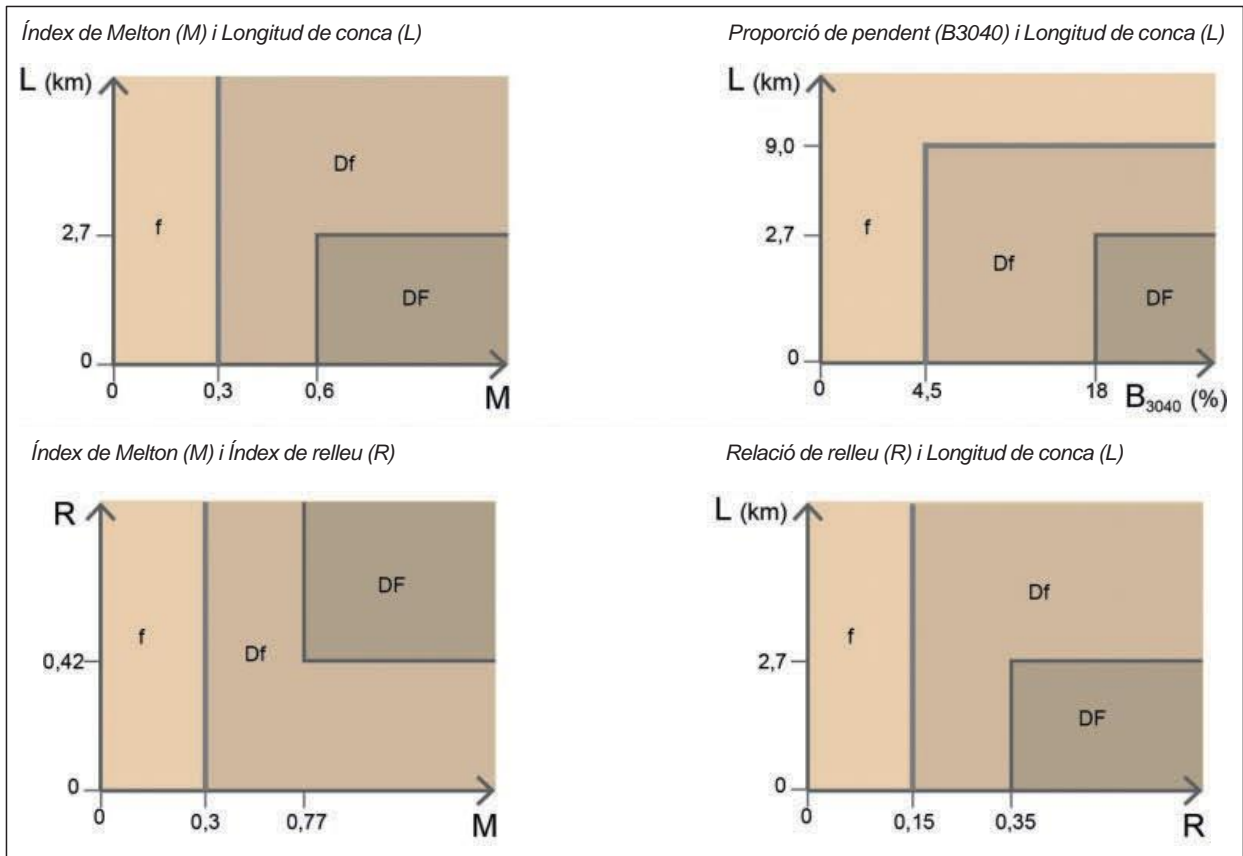


Figura A3-4. Esquema gràfic dels límits de classe utilitzats per discriminar entre els diferents tipus de dinàmiques torrencials. Adaptat de Wilford *et al.* (2004) L: longitud de la conca, R: índex de relleu, M: índex de Melton, B3040 proporció d'àrea de la conca amb un pendent d'entre 30° i 40°. f: riuada, Df: fluxos hiperconcentrats, DF: corrents d'arrossegalls.

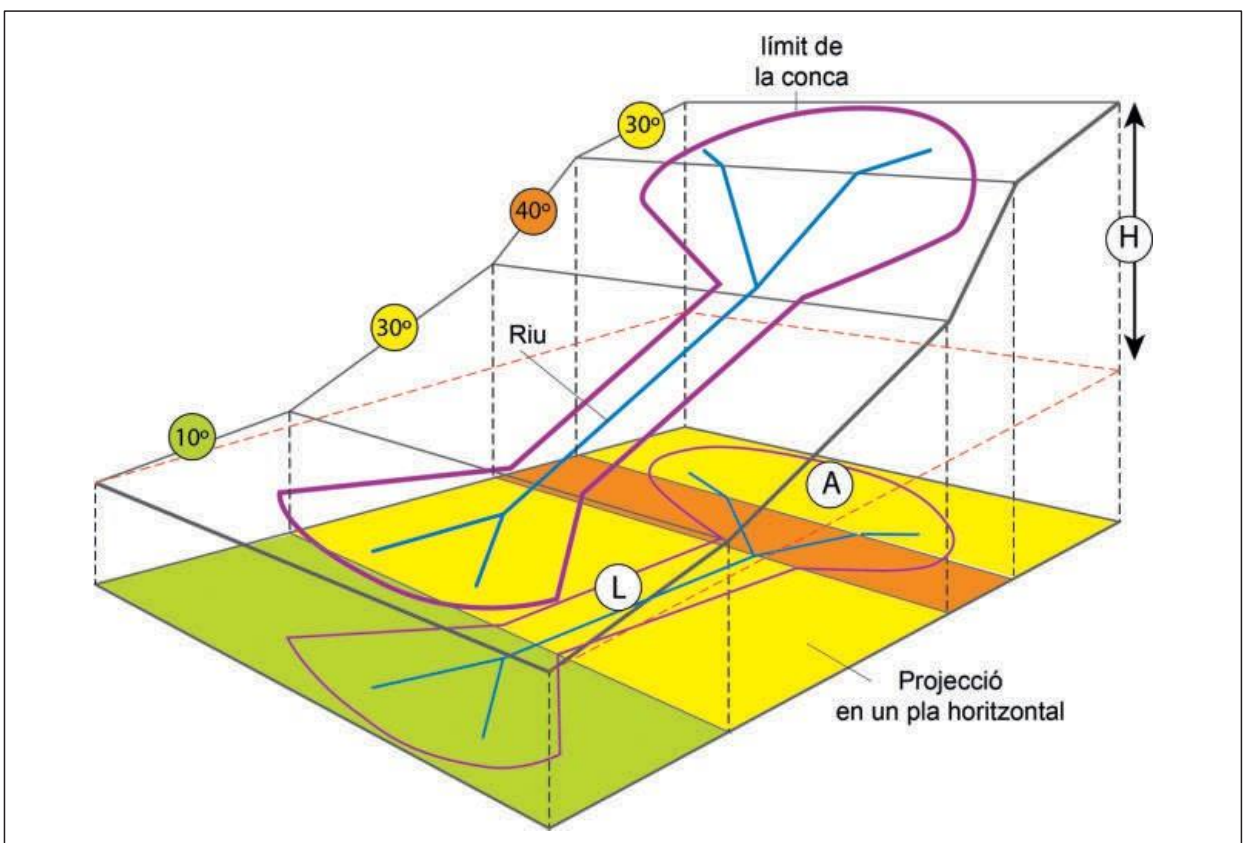


Figura A3-5. Representació dels principals paràmetres morfològics de la conca.

### *La disponibilitat de material*

Per tal que es generin fluxos torrencials cal que hagi material mobilitzable disponible, quan més n'hi hagi més perilloses s'han de considerar les conques, ja que pot implicar una major magnitud i una major recurrència dels fenòmens. Generalment, el material correspon a formacions quaternàries, com sòls poc consolidats amb matriu argilosa o llimosa, materials detrítics o roques molt alterades. En aquest sentit, cal destacar que els tills glacials associats a morenes de zones del Pirineu són materials molt favorables a generar fluxos.

La interpretació de la fotografia aèria, de la cartografia i dels models digitals del terreny, així com el reconeixement del terreny, són essencials per avaluar l'existència de material i la seva disponibilitat.

### *Les condicions ambientals*

Les condicions ambientals són les que propicien el desencadenament dels fluxos perquè determinen la disponibilitat d'aigua necessària per a la seva activació. El condicionant principal és la pluviometria, en què els paràmetres més determinats són la durada de l'esdeveniment i la pluja acumulada i, en segon terme, la intensitat puntual. La saturació prèvia del terreny i les surgències d'aigua subterrània també són factors que poden ser determinants en el desencadenament de fluxos.

Tot i que, en l'anàlisi de la susceptibilitat no són factors determinants, com a factors desencadenants tenen un paper rellevant en l'establiment de la freqüència en què es poden produir. En aquest sentit, cal que l'EIRG faci una contextualització climàtica de la conca d'estudi i, en particular, de la precipitació, tant per quantitats acumulables com per intensitat.

## A3.3 Indicis d'activitat

### *Registre d'indicis d'activitat*

L'activitat de fluxos, així com la disponibilitat de material, queda enregistrada en forma de traces o indicis en el conjunt del vessant i a la zona de sortida, trajecte i aturada del flux. La perdurabilitat en el temps de les traces o indicis va directament associada a la magnitud del flux. Els principals indicis a considerar són:

- Esllavissades.
- Erosions i xaragalls.
- Solifluxions i petits lliscaments en formacions superficials.
- Dipòsits quaternaris d'origen glacial o col·luvials poc consolidats.
- Dipòsits quaternaris i de roques toves o alterades als vessants poc consolidats que poden ser mobilitzats.
- Erosions i soscavaments als marges dels torrents.
- Dipòsits al·luvials, col·luvials o d'esllavissades al fons de les valls que poden ser erosionats.
- Dipòsits de fluxos al canal principal.
- Dipòsits de cons de dejecció en zones de ruptura de pendent.

Dins de les possibilitats que ens permetin les observacions i la informació disponible és important determinar o estimar l'edat dels indicis i que, juntament amb la contextualització climàtica, ha de permetre establir una freqüència d'acord amb els termes que s'expliquen a la memòria (apartat 3.2.2: Determinació de la freqüència).

## A3.4 Potencial de propagació

### *Considerar la susceptibilitat en tota l'àrea d'abast*

Un dels objectius d'un EIRG és determinar la zona susceptible de ser afectada per fluxos. Es considera susceptible, a més de la zona de sortida, les zones de trànsit i d'aturada.

*Zona de trànsit (alternança erosió – deposició)*

En la zona de transit d'un flux es donen situacions d'erosió i de deposició. La capacitat erosiva fa que s'arrenqui material dels marges que s'incorpora al flux, però en les zones de menor pendent o d'eixamplament del canal, on la velocitat es redueix, és normal que es produeixi la deposició del material.

*Zona d'aturada: els cons de dejecció. Determinació de l'abast màxim*

En el tram final del torrent, on sol haver una reducció brusca del pendent, es on usualment es forma el dipòsit del material, amb una morfologia de ventall o con de dejecció. Aquesta morfologia esdevé la font d'informació principal en el seu reconeixement, i és determinant en la identificació de les dinàmiques dels fluxos torrencials ja que són reflex de la tipologia i comportament dels fluxos que els han originat.

L'àpex, o vèrtex superior del con, és el punt on arriben els successius episodis torrencials i on pot passar d'una configuració canalitzada i còncava a una d'oberta i convexa, condicionant les trajectòries i generant una incertesa en la direcció que prendrà el flux. Per la determinació de l'abast màxim cal tenir en compte aquesta dispersió en correspondència amb les incerteses de la trajectòria.

*Models de propagació*

Els models de propagació de flux, mitjançant programaris específics com el Flow-R<sup>2</sup>, permeten avaluar escenaris d'abast dels fluxos torrencials mitjançant models empírics basats en models de fricció simples.

En síntesi, aquests programes fan un càlcul a nivell de cel·la considerant a quines altres cel·les podria arribar el flux en funció de la seva energia o volum. De tal manera que analitzen el model digital del terreny en relació a la capacitat de propagació i a la dispersió dels fluxos. Els paràmetres d'ajust s'estableixen d'acord amb la rugositat del terreny, la velocitat i altres variables que influeixen en la propagació.

*Riscos derivats, la represa de cursos fluvials*

Una altra característica dels fluxos de gran magnitud és la capacitat d'assolir el fons de cursos fluvials de més rang provocant un efecte de presa i la possibilitat de generar una onada en cas de trencament. Quan s'observi aquesta possibilitat, cal indicar-ho com un risc derivat sobre els cursos fluvials als quals tributen per tal que puguin ser considerats en els estudis d'inundabilitat.

## A3.5 Escala de mida destructiva

L'escala de mida destructiva dels fluxos és basada en els 5 primers graus de l'escala de magnitud proposada per Jakob 2005<sup>3</sup> per a corrents d'arrossegalls. Aquesta escala estableix 10 graus que permeten cobrir els fluxos majors coneguts a la terra (figura A3-6), però la meitat superior està relacionada bàsicament a grans inestabilitats associades a materials volcànics, que no tenen lloc en les dinàmiques geològiques que es donen a Catalunya.

En l'escala dels EIRG (taula A3-2), que es defineix d'acord amb el potencial destructiu, també s'indiquen elements mesurables per tal d'orientar la seva valoració per altres criteris:

- Volum total del flux (V), que guarda relació amb la massa total mobilitzada d'acord amb la densitat segons la composició del flux.
- Longitud recorreguda (L) en planta des de la coronació al front de màxim abast, que es correlaciona amb el desnivell segons la configuració del vessant.
- Alçada (h) i velocitat (v) del flux en la zona de trànsit, que es vinculen amb el pic de descàrrega i estan més directament lligats a la intensitat de dany.
- Gruix major (g) i àrea ocupada (A) del dipòsit, que es relacionen de nou amb el volum però en la disposició d'arribada.

2. Horton, P., Jaboyedoff, M., Rudaz, B., Zimmermann, M.: "Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 869-885, DOI:10.5194/nhess-13-869-2013, 2013.

3 Jakob, M. (2005): "A size classification for debris flows". *Engineering Geology*, 79: 151-161.



Size classification for debris flows						
Size class	$V$ , range (m <sup>3</sup> )	$Q_b$ , range (m <sup>3</sup> /s)	$Q_v$ , range (m <sup>3</sup> /s)	$B_b$ (m <sup>2</sup> )	$B_v$ (m <sup>2</sup> )	Potential consequences
1	<10 <sup>2</sup>	<5	<1	<4×10 <sup>2</sup>	<4×10 <sup>3</sup>	Very localized damage, known to have killed forestry workers in small gullies, damage small buildings
2	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup>	5–30	1–3	4×10 <sup>2</sup> –2×10 <sup>3</sup>	4×10 <sup>3</sup> –2×10 <sup>4</sup>	Could bury cars, destroy a small wooden building, break trees, block culverts, derail trains
3	10 <sup>3</sup> –10 <sup>4</sup>	30–200	3–30	2×10 <sup>3</sup> –9×10 <sup>3</sup>	2×10 <sup>4</sup> –9×10 <sup>4</sup>	Could destroy larger buildings, damage concrete bridge piers, block or damage highways and pipelines
4	10 <sup>4</sup> –10 <sup>5</sup>	200–1500	30–300	9×10 <sup>3</sup> –4×10 <sup>4</sup>	9×10 <sup>4</sup> –4×10 <sup>5</sup>	Could destroy parts of villages, destroy sections of infrastructure corridors, bridges, could block creeks
5	10 <sup>5</sup> –10 <sup>6</sup>	1500–12,000	300–3×10 <sup>3</sup>	4×10 <sup>4</sup> –2×10 <sup>5</sup>	4×10 <sup>5</sup> –2×10 <sup>6</sup>	Could destroy parts of towns, destroy forests of 2 km <sup>2</sup> in area, block creeks and small rivers
6	10 <sup>5</sup> –10 <sup>6</sup>	N/A	3×10 <sup>3</sup> –3×10 <sup>4</sup>	>2×10 <sup>5</sup>	2×10 <sup>6</sup> –3×10 <sup>7</sup>	Could destroy towns, obliterate valleys or fans up to several tens of km <sup>2</sup> in size, dam rivers
7	10 <sup>6</sup> –10 <sup>7</sup>	N/A	3×10 <sup>4</sup> –3×10 <sup>5</sup>	N/A	3×10 <sup>7</sup> –3×10 <sup>8</sup>	Could destroy parts of cities, obliterate valleys or fans up to several tens of km <sup>2</sup> in size, dam large rivers
8	10 <sup>7</sup> –10 <sup>8</sup>	N/A	3×10 <sup>5</sup> –3×10 <sup>6</sup>	N/A	3×10 <sup>8</sup> –3×10 <sup>9</sup>	Could destroy cities, inundate large valleys up to 100 km <sup>2</sup> in size, dam large rivers
9	10 <sup>8</sup> –10 <sup>9</sup>	N/A	3×10 <sup>6</sup> –3×10 <sup>7</sup>	N/A	3×10 <sup>9</sup> –3×10 <sup>10</sup>	Vast and complete destruction over hundreds of km <sup>2</sup>
10	>10 <sup>9</sup>	N/A	3×10 <sup>7</sup> –3×10 <sup>8</sup>	N/A	>3×10 <sup>10</sup>	Vast and complete destruction over hundreds of km <sup>2</sup>

*V* is the total volume, *Q<sub>b</sub>* and *Q<sub>v</sub>* are the peak discharge for bouldery and volcanic debris flows, respectively, *B<sub>b</sub>* and *B<sub>v</sub>* are the area inundated by bouldery and volcanic debris flows. N/A signifies that bouldery debris flows of this magnitude have not been observed. The constant in Eq. (2) was rounded so that *B* by non-volcanic debris flows is 10 times smaller than that of volcanic debris flows.

Figura A3-6. Classificació segons la mida pels corrents d'arrossegalls de Jakob (2005).

**TAULA A3-2. Exemples de configuració de fluxos de diferent grau de magnitud. Segons les principals variables geomètriques i dinàmiques del flux. V: volum total mobilitzat; L: longitud recorreguda en planta des de la coronació al front de màxim abast; h: altura en la zona de trànsit; v: velocitat que es pot desenvolupar en la zona de trànsit; g: gruix major en la zona de dipòsit; A: àrea ocupada en la zona de dipòsit.**

Mida destructiva	V (m <sup>3</sup> )	L (m)	h (m)	v (m/s)	g (m)	A (m <sup>2</sup> )
M1	30	30	1	1	0,5	200
M2	300	100	2	2	1	1 000
M3	3 000	300	3	4	2	5 000
M4	30 000	1 000	4	8	4	30 000
M5	300 000	3 000	5	16	8	200 000

## A3.6 Recursos cartogràfics i documentals

### Cartografia geomorfològica d'inundabilitat i cons de dejecció

Per a l'estudi de la distribució espacial de fluxos torrencials a Catalunya, també es disposa la cartografia d'Àrees susceptibles a dinàmica torrencial, elaborada l'any 2022 per l'Agència Catalana de l'Aigua i l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, consultable a través del Visor Cartogràfic de l'ACA<sup>4</sup>. Aquesta cartografia cobreix tot l'àmbit de Catalunya i identifica i classifica formacions geomorfològiques que es poden assimilar a cons de dejecció, en dos tipus:

- Àrees susceptibles a corrents d'arrossegalls i inundació: associades a un sistema hídic susceptible a generar corrents d'arrossegalls i inundacions, segons criteris geomorfològics i/o índex de Melton.
- Àrees susceptibles a inundació: àrees associades a un sistema hídic susceptibles a generar inundacions, segons criteris geomorfològics i índex de Melton.

Cal tenir en compte que aquesta cartografia identifica la problemàtica a escala regional i, per tant, no es pot emprar a escala urbanística local o a nivell parcel·lari.

4. [https://sig.gencat.cat/visors/VISOR\\_ACA.html](https://sig.gencat.cat/visors/VISOR_ACA.html)

## 9. Annex 4. Enfonsaments

### A4.1 Definicions

Aquest annex descriu el conjunt de factors que controlen els enfonsaments i com es valoren a efecte d'identificació del risc geològic.

S'anomena *enfonsament* les deformacions de la superfície del terreny que tenen un component principalment vertical. Quan la velocitat dels enfonsaments és lenta i la deformació és extensa parlem de *subsidiència* i quan és ràpida i local parlem de *col·lapse*.

Les zones d'enfonsament venen definides per una disposició de buits o materials compressibles en el subsol que provoquen una pèrdua de volum del terreny de la qual se'n deriva una deformació de la superfície, i que pot ser el resultat de l'acció de processos geològics naturals o induïts.

El tram del terreny on es genera l'enfonsament es denomina *capa activa* i el tram de terreny entre la capa activa i la superfície *capa passiva*. La intensitat i l'evolució dels enfonsaments depenen de la velocitat en què tenen lloc els processos en la capa activa. La forma com els enfonsaments es manifesten en superfície depèn de la naturalesa i del gruix de la capa passiva, que és la que transmet el moviment cap a la superfície.

### A4.2 Mecanismes generadors d'enfonsaments

Per establir la perillositat d'enfonsaments del terreny cal identificar els processos que els ocasionen. Generalment no són fenòmens renovables, sinó que es donen per unes condicions particulars que es poden activar quan els factors que els desencadenen actuen o superen unes condicions d'equilibri. Els principals mecanismes generadors d'enfonsament són:

- Dissolució càrstica del substrat  
La dissolució de roques solubles per carstificació provoca una disminució del material que comporta una pèrdua de volum al subsol. La velocitat d'aquesta pèrdua de volum dependrà de 2 factors: la solubilitat de la roca i les condicions de circulació de l'aigua, que n'és el dissolvent. Entre les roques solubles, distingim de més a menys soluble: les roques salines (halita, silvita), els guixos (guix i anhidrita) i els carbonats (calcària i dolomia). En el cas dels carbonats, i sovint dels guixos, les condicions geològiques i ambientals que havien donat lloc a la seva carstificació no són operatives en l'actualitat, o bé els processos es donen de forma molt alentida. Aquests casos no solen comportar una elevada perillositat i el perill de col·lapse d'estructures càrstiques existents és limitat, com és el cas del massís càrstic carbonàtic no funcional del Garraf.
- Tancament o esfondrament d'excavacions subterrànies  
En aquest cas la pèrdua de volum es produeix per l'enfonsament o tancament progressiu de cavitats artificials en el subsol (túnels, cavernes, galeries d'explotació minera o mines d'aigua).
- Consolidació de sediments  
La pèrdua de volum es produeix per la compactació de sediments, que pot ser natural o associada a l'explotació d'aqüífers amb rebaixos significatius del nivell freàtic.
- Moviments complexos  
Aquests diferents mecanismes poden presentar-se de forma combinada, derivant en moviments profunds complexos. En aquesta tipologia s'inclourien els moviments que va experimentar el Barri de l'Estació de Sallent, on hi va haver una combinació de la presència d'unes antigues mines de sal i d'una gran cavitat natural.

Altres mecanismes generadors d'enfonsaments estan relacionats amb problemàtiques geotècniques associades a la presència de:

- *Rebliments antròpics*: els rebliments són molt presents en la urbanització d'espais o construcció d'infraestructures. Segons la seva qualitat geotècnica, que depèn de la naturalesa dels materials i de les condicions d'emplaçament, es poden produir assentaments que afectin els fonaments de les estructures i de les xarxes d'aigua i de clavegueram.
- *Sòls expansius*: la presència d'argiles expansives o d'anhidrites pot provocar moviments verticals del terreny. Són moviments d'expansió i contracció associats a variacions de les condicions d'humitat en les primeres capes del subsol, que són capaços de generar pressions d'inflament elevades.
- *Sòls col·lapsables*: els sòls col·lapsables poden experimentar una disminució brusca de volum en saturar-se d'aigua, que pot manifestar-se en forma d'assentaments del terreny de caràcter centimètric fins a decimètric. Més rarament pot donar-se assentament d'algun metre i en casos extraordinaris de desenes de metres.

### A4.3 Mecanismes de propagació

La manifestació d'un moviment en superfície està controlada per diferents factors: i) la profunditat on es troba la capa activa; ii) la potència de la capa passiva i iii) la naturalesa de la capa passiva.

Segons la fondària on es produeix la causa dels enfonsament, aquests es poden classificar en: profunda (>60 m), intermèdia (entre 60 i 15 m) o superficial (<15 m). Aquesta fondària condiciona l'extensió i la magnitud de l'enfonsament, de manera que quan és més profunda dona lloc a enfonsaments més amplis i més laxos, mentre que quan és més superficial dona lloc a enfonsaments més localitzats i abruptes. L'extensió en superfície ve determinada per un angle, característic per a cada material, que defineix un *con de subsidència* (figura A4-1). En el contorn del con és on es produeix el major gradient d'assentament i, per tant, és el lloc més perillós per a edificis i estructures.

#### *Transmissió en un medi rocós*

L'angle del con depèn essencialment de la resistència dels materials a la cisalla. En els terrenys de resposta friccional, els cons són més oberts, mentre que en terrenys més cohesius són més tancats. En el cas que la capa passiva sigui rocosa, l'angle de projecció de la cavitat sol ser molt vertical, de manera que els límits dels enfonsaments i els de les cavitats són molt propers. Per altra banda, l'estructura

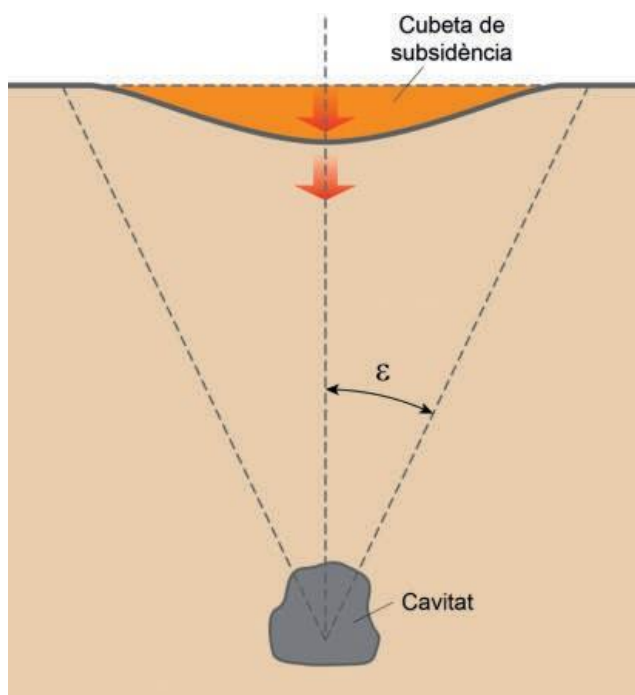


Figura A4-1. Esquema simplificat de la propagació de l'enfonsament per un con de subsidència a partir d'una cavitat segons un angle ( $\alpha$ ) característic per a cada material.

geològica del massís rocós pot condicionar la deformació, de manera que l'assentament es pot manifestar en algun tipus d'alineació, com ara la fracturació regional o els límits d'estructures sedimentàries.

*Transmissió en sòls*

Si la cobertora és constituïda per sòls, cal distingir entre sòls cohesius (amb cimentació o component argilosa) i sòls granulars (graves i sorres). Quan la transmissió a la superfície es produeix a través d'un material cohesiu, es poden generar configuracions propenses a una trencada ràpida de tipus col·lapse. Això és conseqüència de la resistència que té un material cohesiu fins poc abans de la trencada (figura A4-2 i figura A4-4). En cobertores de materials granulars hi ha una tendència a produir assentaments més lents ja que la deformació es produeix de forma progressiva sense la possibilitat que es generin ponts resistents de material, en un mecanisme similar a un rellotge de sorra (figura A4-3 i figura A4-5).

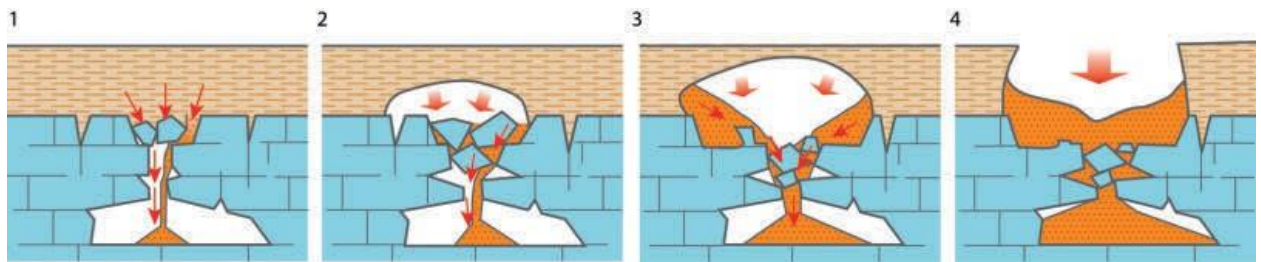


Figura A4-2. Esquema gràfic de dolines en medis cohesius (adaptat de: USGS, Cover-subsidence type of sinkholes, <https://www.usgs.gov/media/images/cover-subsidence-type-sinkholes>).

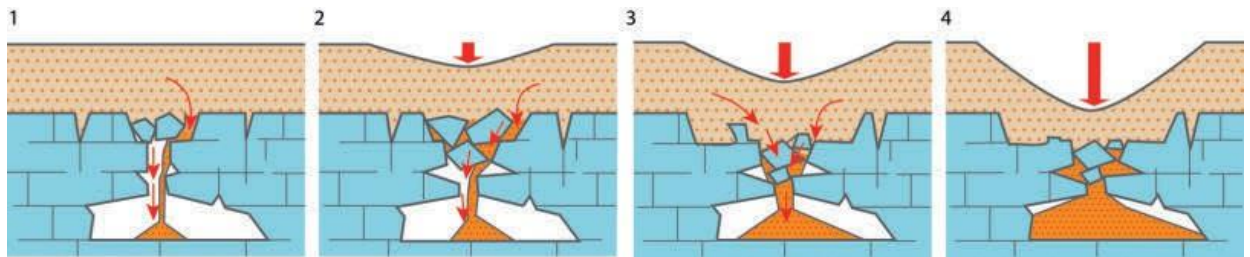


Figura A4-3. Esquema gràfic de dolines en medis granulars (adaptat de: USGS, Cover-subsidence type of sinkholes, <https://www.usgs.gov/media/images/cover-subsidence-type-sinkholes>).



Figura A4-4. Enfonsament de col·lapse en sòl cohesiu al sector dels Joncarets de Sùria. Font: ICGC.



Figura A4-5. Enfonsament en una cobertora de terreny granular a Gerb (Noguera). Font: ICGC.



## A4.4 Perillositat dels enfonsaments

### Com afecten els enfonsaments als edificis

En els enfonsaments, el moviment del terreny és essencialment vertical, però també hi han components laterals. El dany que provoquen els enfonsaments sobre edificacions i infraestructures deriva de la transmissió de les deformacions del terreny que té efectes acumulatius i que sovint no són uniformes.

Les principals accions de deformació sobre les construccions són la flexió còncava (bombament), la flexió convexa (enfonsament), l'extensió del terreny o la pèrdua de suport de les fonamentacions. Aquestes deformacions poden afectar d'una forma sensible les construccions generant patologies que s'acumulen al llarg del temps (figura A4-6 i figura A4-7).

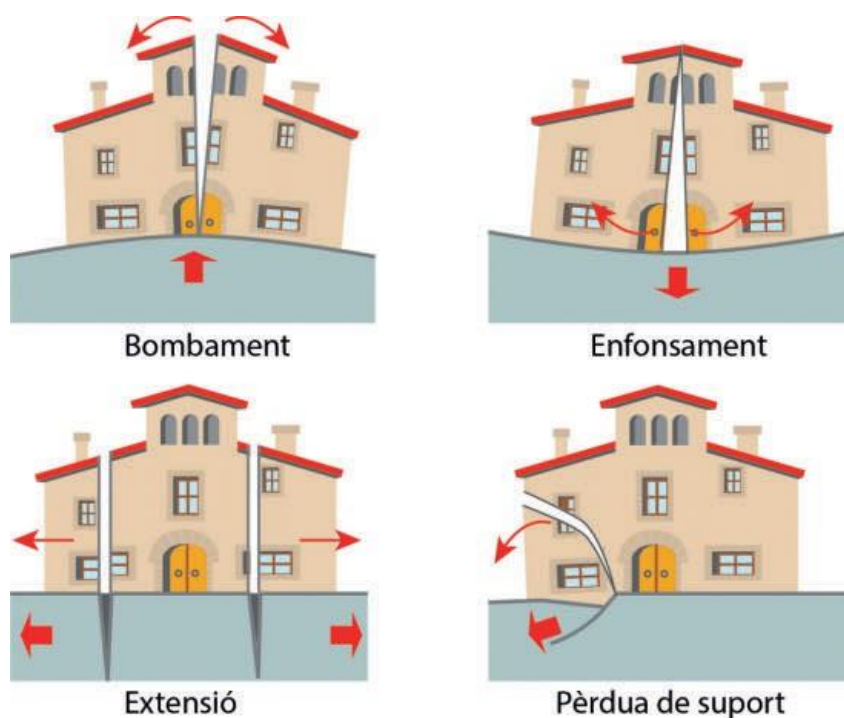


Figura A4-6. Relació entre la deformació del terreny i el dany en edificacions.



Figura A4-7. Patologies per enfonsament en les instal·lacions de la piscina municipal de la Sentiu de Sió (Noguera), el maig de 2023. Font: ICGC.

### La distorsió angular com a mesura de la intensitat de l'enfonsament

La valoració quantitativa de la intensitat del fenomen d'enfonsament es pot fer emprant el concepte de *distorsió angular* (figura A4-8), que és l'*assentament diferencial* (moviment vertical relatiu de dos punts) en proporció a la separació entre aquests punts.

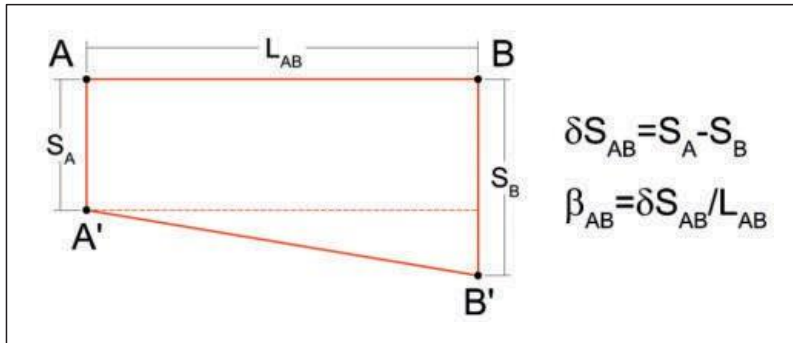


Figura A4-8. Esquema de definició de l'assentament diferencial ( $\delta$ ) i distorsió angular ( $\beta$ ).

TAULA A4-1. Valors límit de distorsió angular. CTE:2.3.4<sup>1</sup>.

Tipus d'estructura	Límit
Estructures reticulades amb envans de separació	1/500
Estructures de panell prefabricats	1/700
Murs de càrrega sense armadura amb flexió còncava cap amunt	1/1 000
Murs de càrrega sense flexió còncava cap avall	1/2 000

En zones urbanes, l'escenari de referència que defineix el criteri de perillositat es basa en la probabilitat de dany acumulat sobre les estructures existents. Es pot emprar doncs, en el cas de moviments associats a esfondraments, la distorsió angular màxima del terreny i la seva afectació a possibles edificis i estructures amb valors de referència establerts en la bibliografia (taula A4-1 i figura A4-9).

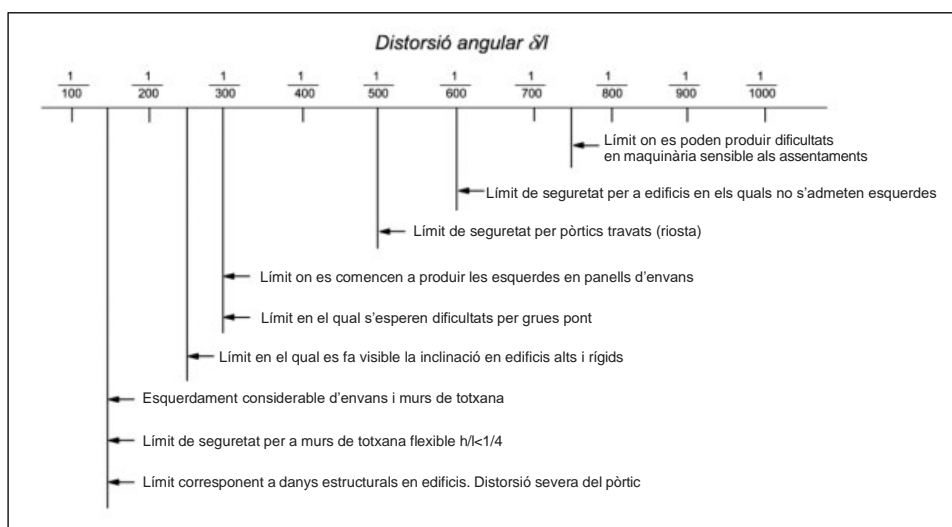


Figura A4-9. Criteri de danys basat en la distorsió angular (Bjerrum, 1963)<sup>2</sup>.

1. Código Técnico de la Edificación CTE (2019): Documento Básico SE-C Seguridad estructural. Cimientos.
2. Bjerrum, L. (1963): "Discussion". Proc. of the European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, vol. III, Wiesbaden, pp. 135.

La valoració de la perillositat es basarà en els efectes acumulatius de la subsidència en els períodes establerts en la guia dels EIRG de 10, 30 i 100 anys, i en la possibilitat de col·lapse. Per a completar la valoració, cal considerar l'extensió i la possibilitat que afecti a múltiples elements a la vegada.

## A4.5 Anàlisi de susceptibilitat

Per tal de valorar la susceptibilitat, l'EIRG ha de valorar la presència dels mecanismes generadors d'enfonsaments indicats anteriorment.

### *Solubilitat de la capa activa*

Es consideren terrenys susceptibles a patir enfonsament aquells on, a profunditats moderades (<60 m) del subsol, hi ha la presència d'una litologia de solubilitat de mitjana a alta, essencialment sals o sulfats (figura A4-10).



Figura A4-10. Enfonsaments en unes pistes esportives a Ponts (Noguera) produïts per la presència de guixos. Font: ICGC.

En el cas dels substrats carbonatats (calcàries i dolomies) es considera que l'activitat càrstica és pràcticament negligible a efectes de valoració de la perillositat. Amb tot, caldrà tenir en compte la possibilitat de presència de dolines o avencs recoberts per materials quaternaris i evitar la seva ocupació.

### *Cavitats i excavacions subterrànies*

Les zones on es conegui que hi ha cavitats subterrànies com ara coves o cavernes naturals, explotacions mineres, túnels viaris o mines d'aigua s'han de considerar terrenys susceptibles de patir enfonsaments.

### *Rebliments*

Des de 1950 han tingut lloc grans moviments de terres, tant en l'àmbit de l'obra pública com d'urbanització, que han transformat significativament el territori. Els reblerts poden ser de qualitat molt variable (figura A4-11) i han de ser objecte d'identificació i caracterització. Totes les zones de reblerts són susceptibles de patir enfonsaments, en particular les pedreres i graveres reblertes i els abocadors clausurats. La comparació de fotografies aèries i ortofotografies de diferents anys, de bases cartogràfiques i de models d'elevacions del terreny, és molt útil per a aquesta tasca.

### *Sòls expansius i col·lapsables*

En relació a la presència de sòls expansius o col·lapsables és important revisar les dades geotècniques disponibles de les unitats presents en l'àmbit d'estudi. En aquest sentit, la Base de dades de sondatges de Catalunya (BDSoc)<sup>3</sup>, que recull sondatges geotècnics, pot ser un recurs d'informació de partida.





Figura A4-11. Enfonsament d'un reblert a la Plaça d'Isop de Barcelona (4/11/ 2011).  
 Font: diari Avui, Andreu Puig (<http://www.elpuntavui.cat/article/472208-tapen-lesvoranc-de-la-teixonera-amb-formigo.html>).

D'altra banda, les zones de terrenys col·lapsables i expansius són conegudes ja que solen comportar alguns problemes en les edificacions. Per això és útil demanar als tècnics municipals si coneixen patologies en edificacions.

#### *L'aigua subterrània com a factor activador*

Un dels factors activadors dels enfonsaments és la presència d'aigua en circulació en el terreny, ja sigui per causes naturals o antròpiques. L'aigua pot actuar de diferents formes: i) dissolent el substrat o components dels sòls, ii) arrossegant mecànicament material cap a les cavitats; iii) com a factor activador de l'expansivitat i del col·lapse en sòls, i iv) com a factor de consolidació de sòls per fluctuació del nivell piezomètric.

## A4.6 Indicis d'activitat

L'activitat dels enfonsaments queda enregistrada en la morfologia en el terreny i també en les construccions.

L'observació geomorfològica detallada del terreny (figura A4-12 i figura A4-13), juntament amb el coneixement de la naturalesa del subsol, ajuda a comprendre i a establir el mecanisme que dona lloc a l'enfonsament. Alguns dels indicis geomorfològics més significatius són:

- Dolines, bòfies o forats.
- Depressions del terreny.
- Estanyes, entollaments o endorreisme.
- Desaparició d'un corrent d'aigua en el terreny o pèrdues d'aigua sobtades.
- Relleus càrstics i cavitats naturals.

3. <https://www.icgc.cat/ca/Eines-i-visors/Visors/Visualitzadors-Geoindex/Geoindex-Prospeccions-geotecniques>





Figura A4-12. Registre morfològic d'activitat d'enfonsament per presència de guixos al subsol. S'observa la forma circular de la dolina principal i d'una petita dolina central on hi ha un estany. Camp de l'Estany (Besalú, Pla de l'Estany). Font: Ivan Fabregat.



Figura A4-13. Registre morfològic d'activitat de col·lapse per presència de sals al subsol. La bófia es va produir el maig de 2022 al Bosc de Reguant a Súria (Bages). Font: ICGC.

Les esquerdes i les patologies en construccions, edificis i infraestructures, són els elements més visibles per determinar l'activitat dels enfonsaments. El grau o la intensitat de dany, establert d'acord amb la classificació de la taula A4-2, combinat amb el temps en què s'ha produït aquests danys, són uns bons indicadors de la velocitat de deformació i del grau d'activitat.

**TAULA A4-2. Classificació de graus de danys típics en edificacions i en infraestructures sobre el terreny per a la confecció d'inventaris<sup>4</sup>.**

Grau / Intensitat del dany	Descripció de danys en edificacions	Danys al terreny i a les infraestructures
0 / No apreciable	Fissures i esquerdes de menys de 0,1mm. No visibles des de l'exterior.	No visible.
1 / Molt lleuger	Fissures i esquerdes fines que poden ser tractades amb enguixat. Generalment queden restringides a l'interior. Fissures aïllades en parets de maó. Obertura d'esquerdes inferiors a 1 mm.	No visible.
2 / Lleuger	Esquerdes fàcilment reparables, probablement precisin enguixat. Conjunts de fissures lleugeres apreciables a l'interior. Les esquerdes es poden apreciar externament, poden requerir una reparació. Les portes i finestres poden patir lleugeres deformacions en la marqueteria. És difícil fer les observacions des de l'exterior. Obertura d'esquerdes inferiors a 5 mm.	No visible en el terreny natural o esquerdes fines en paviments rígids.
3 / Moderat	Les esquerdes requereixen repicat i obra de paleta. Els revestiments poden emmascarar esquerdes recurrents. Possiblement parts de les façanes de maó requereixin substitució. Les portes i finestres s'encallen. Les canonades i baixants poden trencar-se. Lleugera inclinació de murs. Empitjora la resistència de l'edifici davant dels agents climàtics. Les esquerdes són visibles des de l'exterior. La seva obertura és de 5 a 15 mm o diverses de 3 mm.	Lleugeres deformacions que poden ser percebudes per un conductor, però que no són òbvies per als observadors casuals. Poden ser necessàries reparacions generalment superficials o la reposició local de paviments.
4 / Sever	Dany extensiu que requereix la demolició i restitució de parts de murs especialment sobre portes i finestres. Marcs de les finestres i de les portes es distorsionen i el terra s'inclina de forma apreciable. Els envans s'inclinen i es bomben. Es pot produir una lleugera pèrdua de càrrega en bigues i distorsió de l'estructura. Les canonades queden fora de servei. L'obertura de les esquerdes va de 15 a 25 mm, depèn del nombre d'esquerdes. Danys clarament visibles des de l'exterior.	Esquerdes obertes, distorsions, separacions o assentaments relatius. Caigudes de petits fragments que poden causar danys lleugers. Reparacions en vials no urgents. Efectes visibles en pals d'electricitat o tanques sísmiques.
5 / Molt sever	Danys estructurals als edificis. Es requereix una gran reparació que pot comportar la reconstrucció total o parcial de l'edifici. Les bigues es despengen i perden la capacitat de càrrega. Es requereix l'estintolament dels murs. Les finestres rebenten per distorsió. Hi ha perill greu d'inestabilitat global. Usualment >25 mm encara que depèn del nombre d'esquerdes.	Deformacions significatives, rotacions o girs del terreny, sovint acompanyades per esquerdes en terreny natural o carreteres. Interrupció generalitzada del servei en carreteres. Es requereix de reparacions molt significatives.
6 / Extremadament sever	Col·lapse parcial de l'edifici, molt obvi des de l'exterior.	Col·lapse del terreny o carreteres. Serveis tallats o greument interromputs. Cal restitució del terreny perdut seguit d'obres significatives per restituir el servei.
7 / Desconegut	Col·lapse total d'un o diversos edificis.	Desorganització generalitzada del terreny.

## A4.7 Graus de perillositat segons diferents escenaris

Es defineix escenari el conjunt d'elements que inclouen les característiques del subsol, els processos que hi tenen lloc i els indicis de moviment en el terreny. Aquests escenaris es poden associar a una previsió d'extensió i de velocitat d'enfonsament que dona lloc a l'assignació de la perillositat.

### *Escenaris de perillositat BAIXA*

Són escenaris que poden provocar danys molt lleugers, només visibles a l'interior dels edificis i amb poca evolució temporal, que típicament corresponen a la presència o indicis de:

1. Massissos càrstics inactius amb presència de cavitats ben identificades i localitzades.
2. Aqüífers en materials poc consolidats (zones deltaiques o al·luvials).

4. Cooper, A. H. (2008): "The classification, recording, databasing and use of information about building damage caused by subsidence and landslides British Geological Survey, Keyworth, Nottingham NG12 5GG, UK". *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 41(3):409. <http://dx.doi.org/10.1144/1470-9236/07-223>.



## Guia per a l'elaboració d'Estudis d'Identificació de Riscos Geològics per a urbanisme

3. Excavacions i cavitats subterrànies, ben executades amb deformabilitat del terreny baixa i un sosteniment estructural complet, i mantingudes sense cap patologia reportada.
4. Rebliments amb bona execució i materials de qualitat geotècnica adequada.
5. Sòls amb valors d'expansivitat marginals en algun sòl localitzat i ben caracteritzat d'acord amb la norma UNE 103600:1996.
6. Sòls amb valors de col·lapsabilitat baixos a mitjans, d'acord amb la norma UNE 103406:2006.

### *Escenaris de perillositat MITJANA*

Són escenaris que poden provocar danys de lleugers a moderats en edificacions i estructures construïts els darrers 30 anys i són de difícil apreciació els efectes sobre elements naturals de terreny, que típicament corresponen a la presència o indicis de:

1. Activitat minera subterrània antiga o activa.
2. Aqüífers en sediments poc consolidats sotmesos a una explotació intensa.
3. Cavitats càrstiques en guixos amb cobertores que dificulten la propagació de l'enfonsament.
4. Anhidrita al subsol.
5. Rebliments de qualitat geotècnica desconeguda o sotmesos a accions desfavorables de corrents d'aigua.
6. Sòls amb valors d'expansivitat crítics o molt crítics en algun sòl localitzat i ben caracteritzat d'acord amb la norma UNE 103600:1996.
7. Terrenys amb valors de col·lapsabilitat de mitjana a alta d'acord amb la norma UNE 103406:2006.

### *Escenaris de perillositat ALTA*

Són escenaris que poden provocar danys de moderats a severos en edificacions i estructures construïts els darrers 30 anys, i que en determinats casos donin lloc a desallotjaments. Els efectes sobre el terreny són visibles per la seva ràpida evolució i per la formació de dolines i col·lapses. Típicament corresponen a la presència o indicis de:

1. Formacions salines.
2. Cavitats càrstiques en guixos amb cobertores que poden propagar l'enfonsament i la formació de dolines.
3. Anhidrita a la part superficial del subsol.
4. Activitat minera poc profunda amb problemes d'estabilitat.
5. Sòls expansius o sòls col·lapsables amb interacció amb sistema hídric fluctuant o sistemes d'abastament o recollides d'aigua antiquats.
6. Rebliments de mala qualitat geotècnica i abocadors.









ISBN 978-84-10393-29-5



9 788410 393295