

Guia per l'elaboració d'Estudis d'Identificació de Riscos Geològics per a urbanisme (EIRG)

Codi: AP-0001/21

Novembre 2022

Històric del document

Versió	Data	Autor	Acció
1.0	25/01/2021	Àrea GPRG	Publicació de la Memòria
1.1	26/03/2021	Àrea GPRG	Incorporació dels Annexos 1 i 2
1.2	10/11/2022	Àrea GPRG	Incorporació de la Annexos 3 i 4

Índex

1	Introducció	2
1.1	La prevenció del risc geològic en l'ordenació del territori	2
1.2	L'estudi d'identificació del risc geològic	5
2	Identificació del risc geològic	9
2.1	Perills geològics a considerar	9
2.2	Àmbit d'estudi	12
2.3	Identificació del risc	16
2.4	Accions derivades de la identificació del risc geològic	17
3	Valoració de la perillositat	19
3.1	Definició de la perillositat	19
3.2	Assignació de la perillositat en l'EIRG	21
4	Accions derivades de la valoració de la perillositat	31
5	Formalització de l'EIRG	32
5.1	Treballs a efectuar (recopilació de dades i interpretació de la informació)	32
5.2	Document a lliurar (estructura i contingut)	36
6	Glossari de termes	42

Annex 1: Lliscaments

Annex 2: Despreniments i caigudes de roques

Annex 3: Fluxos

Annex 5: Enfonsaments (subsidiència i col·lapses)

1 Introducció

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

Principi de prevenció del risc geològics en el context internacional

En els darrers decennis hi ha hagut, a nivell nacional i internacional, una progressiva conscienciació dels agents públics de la necessitat de la gestió dels riscos naturals i els seus efectes sobre el medi socio-econòmic. 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 (ISDR, 1994)¹ i que posteriorment, l'any 2015, reforça en el marc del protocol de Sendai². D'aquestes iniciatives es conclou que la forma més eficaç de gestionar el risc és la seva prevenció disminuint l'exposició dels elements vulnerables. La gestió del risc s'encabeix, també, en els principis del desenvolupament sostenible, 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 mitigar i a prevenir els danys produïts pels riscos naturals, integrant la gestió del territori, els riscos naturals i l'emergència mitjançant un corpus legislatiu que incorpora tots aquests conceptes.

Definició del risc geològic

Dins de la classificació dels riscos naturals hi ha els que s'anomenen riscos geològics. Els processos geològics són fenòmens naturals recurrents que mobilitzen diferents quantitats d'energia, que tenen un potencial destructiu i que afecten en diferents graus el medi físic i l'entorn socio-econòmic. La interacció dels processos geològics amb l'activitat humana genera situacions de risc que poden generar conseqüències que afectin el benestar de les persones, l'activitat econòmica i la preservació de bens i actius. Anomenem doncs, risc geològic a la interacció dels processos geològics amb l'activitat humana en termes d'exposició i vulnerabilitat.

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

La Llei i Reglament d'Urbanisme introdueixen riscos geològics

L'any 2006 Catalunya va incorporar a la legislació urbanística i d'ordenació del territori els principis de reducció del risc i del desenvolupament sostenible.

Segons el que estableixen els articles 9 i 51 de la Llei 3/2012 del 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 informació referent al risc geològic.

Literals de la Llei; Article 9. Directrius per al planejament urbanístic en referència al risc

La literalitat de la Llei d'urbanisme 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.

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

Seguint la Llei vigent, l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (d'ara endavant ICGC) informa preceptivament, a sol·licitud de les Comissions Territorials d'Urbanisme, sobre la possibilitat que el risc geològic incideixi en el desenvolupament dels nous instruments de 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 d'urbanisme qui, en darrera instància sanciona la idoneïtat del tractament dels riscos geològics en cada cas.

Les tasques de l'ICGC en aquest procediment son:

- 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 a la pròpia actuació o a tercers.

La revisió tècnica dels expedients per part de l'ICGC queda circumscrita a comprovar la informació que aporta el redactor del pla:

- Que recull tota la informació disponible sobre els riscos geològics i que aquesta és suficient per a la prevenció dels riscos.
- Que les metodologies emprades per l'establiment del grau del risc geològic són les adequades.
- Que el planejament que es projecta s'aplica en coherència a la informació dels riscos geològics aportada en l'expedient.

Com es resolen els expedients per risc geològic

En les àrees delimitades es poden donar les situacions de perillositat geològica en diferents graus, amb el conseqüent risc associat i que condicionen el planejament urbanístic que es resumeixen en els següents punts:

- Àrees sense perillositat geològica: el risc associat es considera negligible, el planejament pot incorporar recomanacions generals en referència al terreny que siguin adequades a les seves característiques geològiques i geotècniques.
- Àrees amb perillositat baixa: correspon a àrees en les quals es poden produir situacions de risc però que són fàcilment corregibles amb mesures de poca exigència tècnica i econòmicament assumibles en la urbanització o edificació.
- Àrees amb perillositat mitjana o alta: corresponen a les àrees en les quals es donen situacions en què cal prevenir el risc prenent mesures de protecció o correctives d'exigència tècnica i econòmica elevades, molt elevades o inviables. Equival al que la llei anomena risc greu.

Les àrees sense perillositat geològica queden lliures de condicionants de mesures de mitigació del risc i el planejament pot incorporar-les tenint en compte recomanacions generals en referència al terreny adequades a les seves característiques geològiques i geotècniques (figura 1).

A les àrees de perillositat baixa, en el cas de planejament general o qualsevol altra figura de planejament similar s'haurà d'indicar, per aquells àmbits que deixin pendents de desenvolupament posterior, quins estudis de detall o de mitigació del risc caldrà que es desenvolupin en el moment de la redacció del planejament derivat. Així mateix, els estudis d'avaluació econòmica i financera han d'incloure una partida econòmica aproximada de les possibles mesures de mitigació dels riscos. En el cas de planejament derivat o qualsevol altre planejament que concreti la qualificació del sòl, caldrà que inclogui les mesures concretes que es duren a terme per corregir el risc, ja sigui en relació a la urbanització (espais de resguard, obres de protecció permanent, etc.) o en relació a l'edificació (disposició geomètrica, condicions sobre el disseny, accions a tenir en compte per autoprotecció, etc.). Els aspectes relacionats amb la urbanització formaran part del projecte bàsic d'urbanització i els relacionats amb l'edificació s'incorporaran en la pròpia normativa del pla (figura 1).

Les àrees de perillositat mitjana o alta és recomana que no 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 (figura 1).

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 la sol·licitud d'informe i ateses les nombroses figures de planejament sotmeses a informació pública (article 58.5 de la Llei 3/2012), l'ICGC i d'acord amb la Direcció General d'Ordenació del Territori i Urbanisme, va considerar necessari que se sistematitzés l'exposició de la informació referent als riscos geològics en un document específic que s'anomenés Estudi d'Identificació de Riscos Geològics (EIRG).

Evolució de la guia de redacció dels Estudis d'Identificació de Risc Geològic

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

La figura de l'EIRG va quedar definida en la guia "Criteris bàsics per a la realització de l'Estudi d'Identificació de Riscos Geològics (EIRG)" publicada per l'ICGC el 2011 i revisada el 2017. Actualitzava uns informes que ja es venien fent des de l'any 2000 força sistemàticament en forma de "Dictamen preliminar de riscos geològics".

El present document actualitza la guia 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 (el concepte de risc greu). Des de la perspectiva tècnica introdueix nous plantejament metodològics i des del punt de vista de gestió pretén clarificar el tractament del risc geològics per a tots els agents implicats.

Objecte de l'EIRG

L'objectiu fonamental de l'EIRG és detectar les àrees amb 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 d'ocupar aquells sectors que presentin risc o prenent les accions oportunes per a la seva correcció des dels primers estadis del planejament.

Resultats esperats en l'EIRG (identificació del risc + valoració preliminar de la perillositat)

Per tal d'assolir aquest objectiu l'EIRG ha d'identificar els fenòmens geològics actius generadors de risc geològic que poden tenir lloc en els àmbits delimitats en el planejament urbanístic general o derivat, mitjançant un anàlisi local que conclogui amb una valoració preliminar de la perillositat a la qual estan sotmesos. L'EIRG s'ha de realitzar en les primeres fases del planejament per tal d'identificar el més aviat possible les àrees sotmeses a risc i facilitar la presa de decisions.

L'EIRG dins el tràmit urbanístic, en quines figures urbanístiques s'aplica?

L'EIRG és preceptiu tan en els instruments de planejament urbanístic general com en els de planejament urbanístic derivat. L'EIRG haurà d'anar annexat a la memòria de les figures del planejament urbanístic general o derivat amb els plànols corresponents. En el cas de les figures de planejament sotmeses a avaluació ambiental estratègica, l'Estudi Ambiental Estratègic també haurà de recollir les conclusions d'un estudi específic de riscos geològics en el qual es presenti una síntesi de l'EIRG (indicis, perillositat i recomanacions).

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 (figura 1).

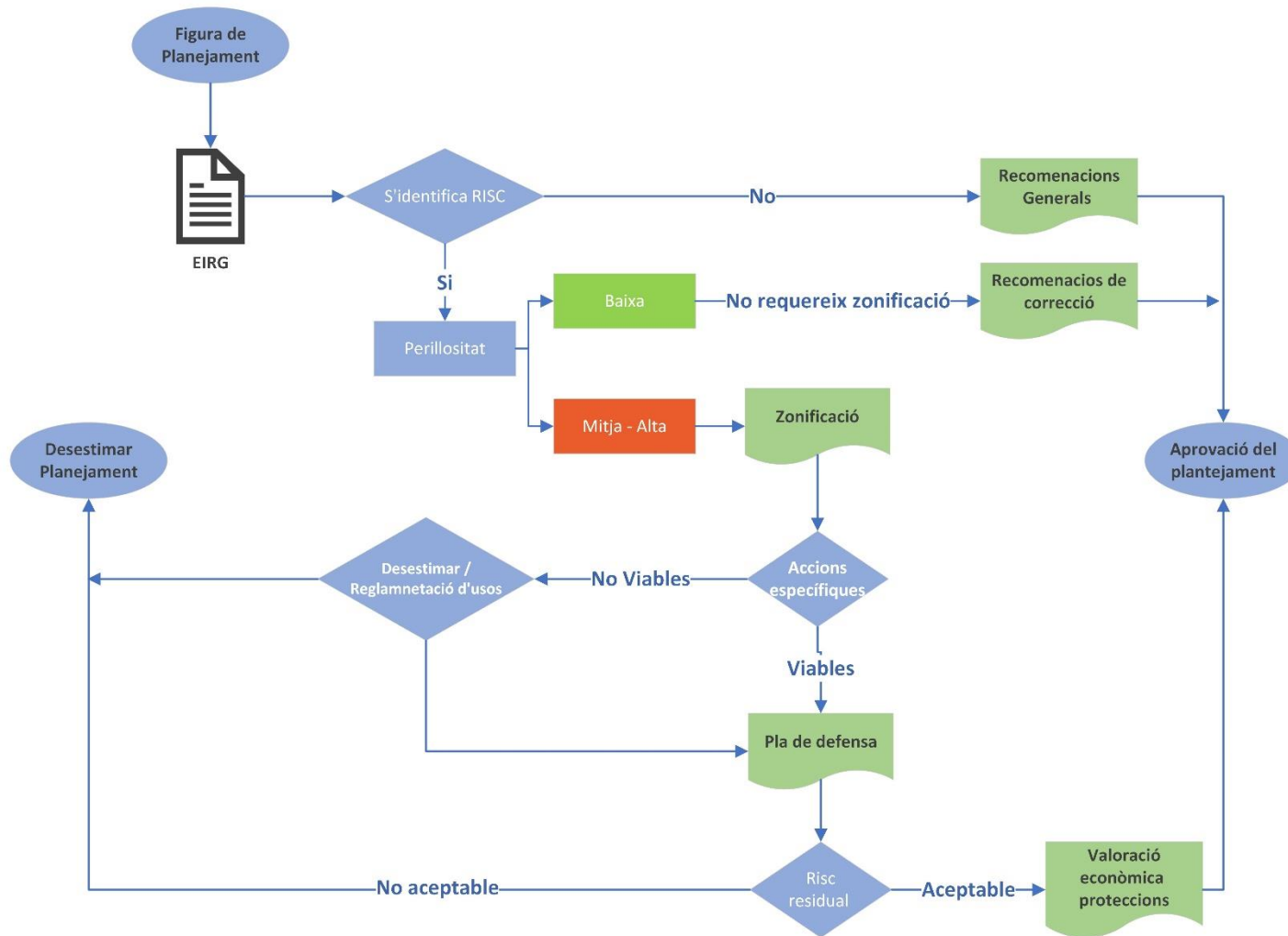


Figura 1: Esquema del flux de treball per incorporar el risc geològic al planejament, i de les decisions i situacions derivades.

L'EIRG és un dictamen d'expert signat per professional competent

L'EIRG correspon a un informe d'expertesa, per aquest motiu l'ICGC demana que estigui signat per un especialista en matèria de risc geològic que tingui un coneixement detallat dels processos geològics considerats (autor). Els coneixements especialitzats inclouen la geologia general, la geomorfologia, la hidrogeologia i la geotècnica. 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 fases

A nivell conceptual el treball associat a un EIRG es pot dividir en 3 etapes o fases de treball:

- Fase 1: identificar fenòmens generadors de risc geològic (se n'identifica / no se n'identifica).
- Fase 2: valorar el grau de perillositat (baixa, mitjana o alta).
- Fase 3: determinar les accions derivades del grau de perillositat assignat.

Aquestes 3 fases de treball es detallen en els propers apartats del document.

2 Identificació del risc geològic

Concepte “identificació del risc ”

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

Concepte “susceptibilitat”

A nivell teòric, aquesta etapa d'estudi s'assimila a una anàlisi de susceptibilitat. És a dir, a 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. 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 i 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 terme esllavissada en el sentit ampli del terme que inclou 3 tipologies (caigudes de roques, 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.

Detall dels fenòmens a valorar: 5 primaris + 3 situacions de risc + 1 general

Així doncs, els fenòmens geològics que es consideraran en l'EIRG són fonamentalment cinc (5), per als quals es farà el procediment complet d'identificació i valoració de la perillositat:

- Despreniments i caiguda de roques (figura 2)
- Fluxos (figura 3)
- Lliscaments (figura 4)
- Allaus de neu (figura 5)
- Enfonsaments: subsidència i col·lapses (figura 6)



Figura 2: Despreniments i caiguda de roques.

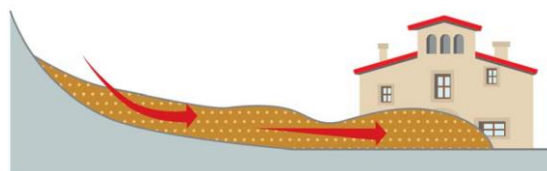


Figura 3: Fluxos.

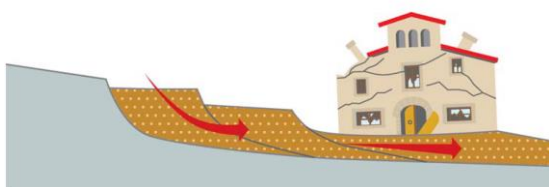


Figura 4: Lliscaments.

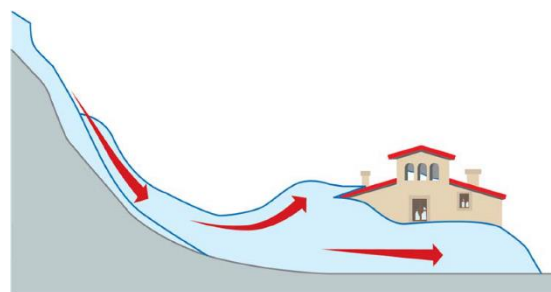


Figura 5: Allaus de neu.



Figura 6: Enfonsaments (subsidència i col·lapses).

Paral·lelament a aquests fenòmens, cal considerar 3 situacions de risc derivades de l'ocupació de terrenys desfavorables a ser edificats.

- Retrocés d'escarpaments (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 aquestes situacions, la valoració de la perillositat com a tal pot quedar limitada per aspectes metodològics. En aquests casos s'ha d'identificar amb claredat i valorar el grau d'incidència que pot tenir la ocupació dels esmentats terrenys en relació a la seguretat i la durabilitat dels edificis. Finalment, es contempla el risc sísmic del qual es recollirà la seva valoració en base a les fonts d'informació generals i normativa específica.

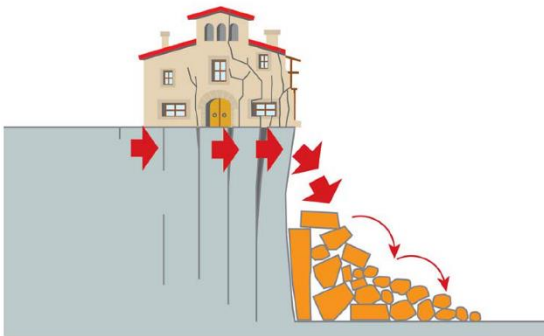


Figura 7: retrocés d'escarpaments.

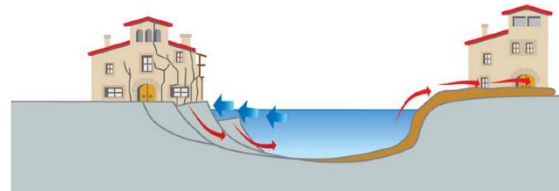


Figura 8: erosió i deposició.



Figura 9: problemàtiques geotècniques (expansivitat).



Figura 10: problemàtiques geotècniques (rebliments).

Exclusió del vulcanisme i la inundabilitat

Els riscos volcànics només es consideraran en projectes d'infraestructures crítiques (per exemple centrals nuclears) en que s'analitzin els escenaris de molt baixa recurrència, amb períodes de retorn $T > 1.000$ anys, d'acord amb la seva activitat a Catalunya³.

L'EIRG no inclou la valoració del risc d'inundació ja que correspon als organismes de conca i té un tractament específic i separat d'acord els temes que estableix la Llei. 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 recollir i a tenir present en l'EIRG.

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 tots ells i inclou els següents passos:

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

Als annexos al cos de la guia s'indiquen les principals metodologies d'anàlisi i altres consideracions aplicades als principals riscos geològics.

2.2 Àmbit d'estudi

Àmbit o àmbits d'estudi en funció dels sectors delimitats

L'EIRG ha de cobrir els sectors urbanístics delimitats en els quals hi hagi o pugui haver elements d'exposició permanent de persones. També es recomana incloure aquells indrets en sòl no urbanitzable que siguin molt freqüentats i en els quals 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 per facilitar l'anàlisi.

³ RISKCAT: Els riscos naturals a Catalunya, Informe del CADS 6, 2008.

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

Així doncs, l'anàlisi d'identificació del risc ha de cobrir els sectors delimitats en el planejament en curs, ampliat en tota l'extensió de l'àrea potencial d'influència segons 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, en la qual es genera la inestabilitat, una zona de trànsit, en la qual 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 propagació en planta cartogràfica molt limitada.
- Els lliscaments presenten, en general, una situació de motricitat 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.

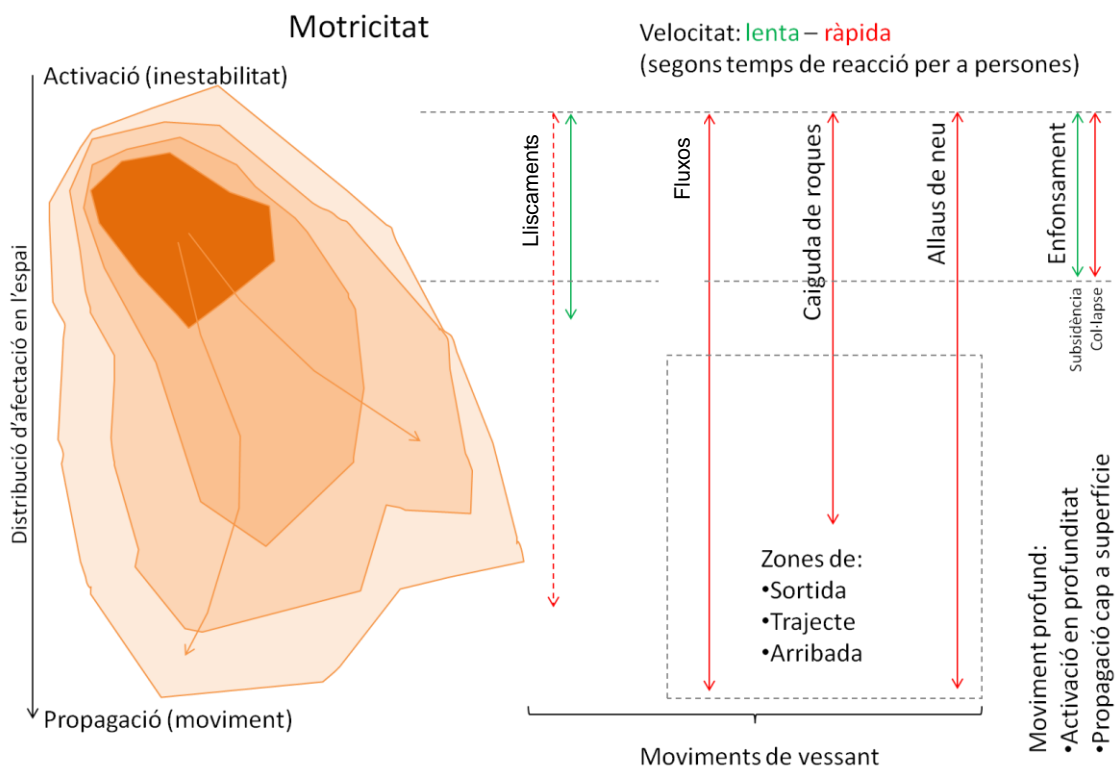


Figura 11: Esquema de la motricitat/mobilitat dels diferents riscos geològics.

Elements que defineixen l'àmbit d'estudi de l'EIRG

L'EIRG ha de cobrir tota la zona en la qual es desenvolupen els fenòmens i la seva zona d'incidència segons les delimitacions del planejament. Així doncs, es defineixen els següents àmbits per a l'EIRG (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 aquells llocs amb exposició permanent de persones. En el cas dels planejaments derivats, s'haurà de considerar el sector o sectors 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.

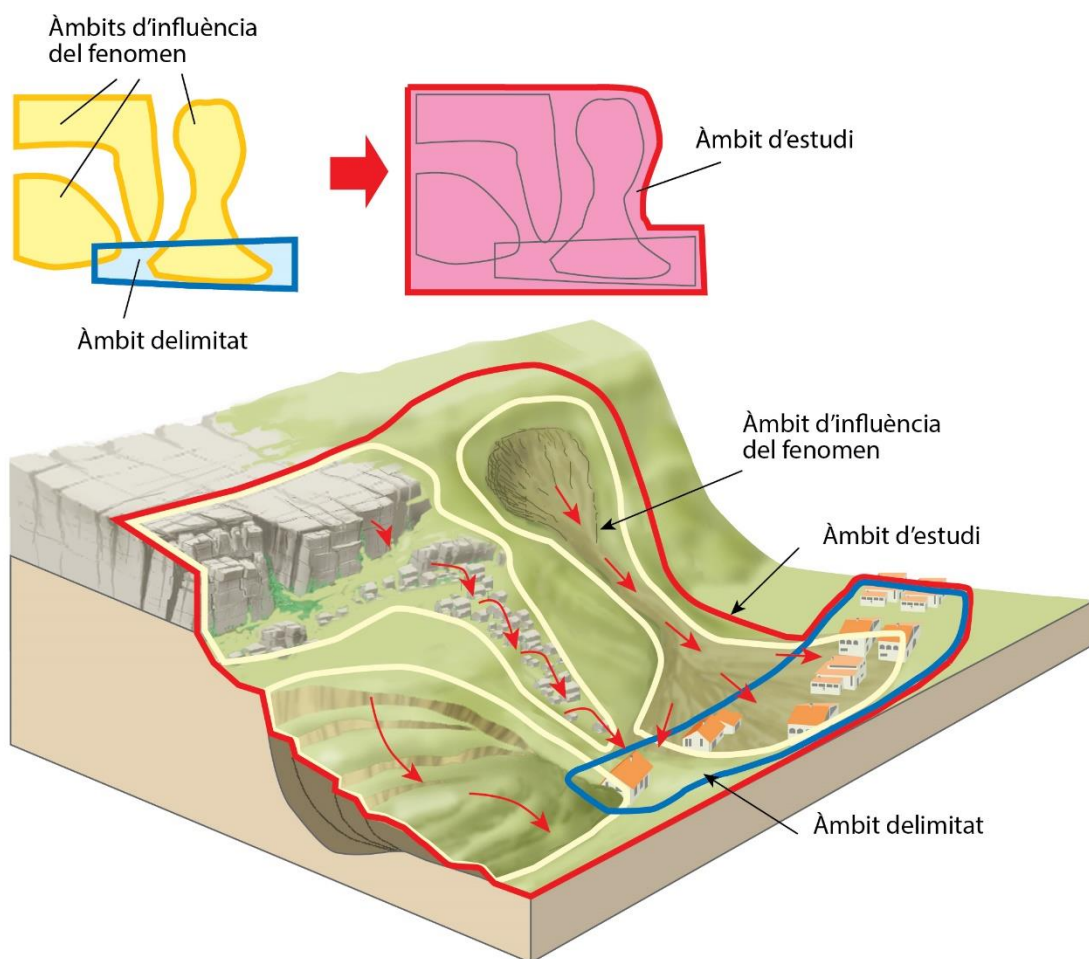


Figura 12: Resum de la definició dels àmbits d'estudi de l'EIRG.

2.3 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 aquelles 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 d'estudi de l'EIRG.

Tipus de fenomen segons la seva recurrència: 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 dos tipologies de fenòmens (taula 1):

- 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 assimilen. 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, 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.

Taula 1: Resum de les condicions de mobilitat dels cinc riscos principals

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

2.4 Accions derivades de la identificació del risc geològic

Quin es el resultat de l'etapa de la identificació del risc

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

- No s'identifica cap fenomen generador de risc.
- S'identifica un o més fenòmens generadors de risc, però estan clarament fora de l'àmbit de planejament i amb 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. Convé acotar la superfície potencialment afectada per fer el tractament diferenciat dins de l'àmbit.
- S'identifica un o més fenòmens generadors de risc dins de l'àmbit de planejament.

Acotar l'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. 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) cal fer la valoració preliminar de la perillositat dels fenòmens detectats segons els criteris que s'exposen en el següent capítol (capítol 3).

3 Valoració de la perillositat

Objectiu de la valoració

Per a cada fenomen generador de risc identificat i per a cada àrea en la qual es manifesti, l'EIRG ha de fer una avaluació del seu grau de perillositat. L'objecte d'aquesta valoració és discriminar els casos de:

- Perillositat baixa en què unes recomanacions preventives o unes accions simples 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 necessari una anàlisi més profunda de la perillositat que la que es realitza a l'EIRG per tal de caracteritzar-ne acuradament el grau i la necessitat de protecció i mitigació.

3.1 Definició de la perillositat

Introducció dels conceptes magnitud i freqüència

El concepte de perillositat respon a dues qüestions agrupades en un sol concepte:

- De quina dimensió poden ser els fenòmens perillosos que m'afectin i quins danys em poden causar? magnitud
- Cada quan puc ser afectat per aquest fenòmens? Freqüència

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

Definicions: perillositat vs. perill

La perillositat estrictament la conforma el conjunt d'escenaris en els quals poden ocórrer fenòmens potencialment destructius, tenint en compte la seva magnitud i freqüència. De forma intuïtiva, 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. La perillositat té una valoració global única dins d'un àrea homogènia en funció de la probabilitat de ser afectada per un fenomen d'una certa magnitud.

El perill defineix el fenomen per una situació concreta en la qual hi ha descrita una problemàtica i la forma com aquesta es manifesta en cada moment i en cada punt de l'espai. A banda també es pot definir el terme de perill imminent en el qual per les condicions ambientals es materialitza el perill. Per exemple en una àrea amb perillositat d'allaus del Pirineu, el perill imminent d'allaus és nul durant el mes de juliol sense mantell nival, en canvi

és molt alt en condicions de forta càrrega de neu, no obstant en qualsevol condició la perillositat hi es constant.

L'EIRG valora la perillositat del lloc en el sentit global i persistent en el temps.

Reforçament de la idea intuïtiva de la perillositat 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 es restringeix en una valoració global, fonamentada en el criteri d'expert de l'autor que ha d'analitzar tota la informació recopilada, els indicis observats al camp, que interpreta un grau de problemàtica i finalment assigna un grau de perillositat.

D'un càlcul més complex de la magnitud i la freqüència dels fenòmens o de la variació de les situacions de perill en el temps se'n derivarien dues tipologies de treball que van més enllà de l'EIRG i que no són objecte d'aquesta guia:

- La predicció espacial: és l'objecte dels Estudis de zonificació de terreny per perillositat geològica (EZTPG) que determinen la distribució en l'espai del perill en les seves diferents variables (intensitat del fenomen i probabilitat d'afectació).
- La predicció temporal: és l'objecte de les accions de predicció ja sigui a escala regional o local de com varien les condicions que determinen l'activitat dels fenòmens, i per tant la probabilitat d'ocurrència en un moment determinat. Un exemple n'és el Butlletí de perill d'allaus (BPA), que publica l'ICGC.

Definició de magnitud (M)

La *magnitud* és un concepte de difícil definició paramètrica, perquè integra molts aspectes de la dimensió dels fenòmens (distàncies, àrees, volums, etc.). Per contra, cadascuna d'aquestes variables és relativament fàcil de mesurar.

Definició de freqüència (F)

La *freqüència*, a la inversa, és un concepte clarament definit en tant que és la recurrència, i en sentit matemàtic és la probabilitat anual d'ocurrència, que és la inversa del període de retorn. Per contra, la mesura i la determinació de la freqüència és complexa, perquè requereix un llarg registre de l'activitat per poder calcular-la, del qual rarament es disposa.

Relació entre la Magnitud i la freqüència

Els dos conceptes estan relacionats: els fenòmens de major magnitud són menys freqüents que els de menor magnitud. En aquest document es proposa una metodologia simplificada, que permet cobrir l'objecte declarat de la valoració de la perillositat en l'EIRG respecte a la magnitud i la freqüència.

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

Com s'ha comentat l'EIRG respon a un informe d'expertesa. No obstant, cal documentar les argumentacions en què es basen les valoracions realitzades, per tal que puguin ser nítidament contrastades per un altre expert. Així mateix, el conjunt d'anàlisis s'han d'efectuar d'acord amb informació validable i sota el principi de cautela d'aplicar uns marges de seguretat proporcionals al grau d'incertesa del coneixement del terreny i del fenomen.

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, la combinació de magnitud i freqüència determinen el grau de perillositat. Aquesta es gradua a tres nivells que es transposen clarament a 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.

El grau de treball invertit en l'EIRG (recopilació de dades i d'anàlisi de la problemàtica) permet diferenciar les situacions clarament sense perillositat o de perillositat baixa respecte a situacions de perillositat mitjana o alta. No obstant no sol ser suficient per diferenciar entre perillositat mitjana o alta, fet que requereix la realització d'un Estudi de detall de la perillositat o bé d'un Estudi de Zonificació que permet delimitar-ne les zones de gradació.

3.2.1 Determinació de la magnitud

La magnitud és equivalent a la dimensió del fenomen (sentit ampli)

Com ja s'ha dit, el concepte de *magnitud* respon a un concepte que descriu la globalitat d'un fenomen i que generalment es relaciona amb la seva dimensió o l'energia involucrada en la seva dinàmica. Tenint en compte l'amplia varietat de fenòmens i la seva particularitat, no és possible definir la magnitud amb un únic paràmetre que serveixi per tots, sinó que sol usar paràmetres específics per tipologies. En la valoració de la magnitud es tenen en compte variables com ara la dimensió (volum, àrea o massa), la propagació (distància recorreguda, desnivell o velocitat) o les de dinàmica, com per exemple la velocitat de la distorsió angular en el cas d'esfondraments.

Assimilar magnitud a potencial destructiu.

Totes aquestes variables poden estimar-se, però, en l'estadi de treball de l'EIRG, difícilment es coneixeran prou bé. Una opció metodològica és fer la seva valoració de forma holística correlacionant la magnitud d'un fenomen amb el seu potencial de dany. Aquesta aproximació, basada en les conseqüències, sovint és més entenedora i més fàcil d'avaluar de forma intuïtiva i integradora.

Com valorar la magnitud d'un fenomen, escala de magnitud

Per tal d'ajudar a valorar la magnitud d'un fenomen s'ha confeccionat una taula que relaciona l'escala de magnitud amb el potencial de dany a uns elements tipus (taula 2).

Per a cada fenomen es considera una escala de 5 graus de magnitud⁴. D'aquesta manera, la valoració de la magnitud d'un fenomen pot basar-se en l'estimació heurística dels danys que podria causar a uns elements tipus que es veiessin afectats. Aquesta relació es

⁴ Aquest plantejament és una transposició als diversos fenòmens de l'escala d'allaus, d'origen canadenc dels anys 70 i adoptada recentment a Europa com a escala de mida d'allaus. Snow Avalanche Hazard in Canada – a Review. Natural Hazards 28:487–515, 2003.

proposa i s'ha d'efectuar d'acord amb les característiques típiques de cada fenomen i escenaris a considerar. Atesa l'aplicació de l'EIRG a l'urbanisme, els elements tipus per als quals cal plantejar el dany hipotètic són: persones, edificacions convencionals, infraestructures urbanes i entorns naturals d'espais oberts.

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 concret. En el cas de riscos amb propagació, es pren de referència l'inici de la zona d'aturada.

Termes qualitius complementaris als codis M

Els termes qualitius que correspondrien a l'escala de magnitud per a una explicació més descriptiva serien: M1 = molt baixa; M2 = baixa; M3 = mitjana; M4 = alta; M5 = molt alta. La possibilitat de fenòmens de magnitud M1, que se situa en un extrem inferior de la matriu de perillositat, difícilment condicionarà els usos del sòl, sinó que se'n derivaran recomanacions preventives o proteccions simples. D'altra banda, les magnituds M4 i M5, que es troben a l'altre extrem de la matriu de perillositat, en general conduiran a renunciar a determinats usos del sòl.

Taula 2: Escala de magnitud en base al potencial destructiu o dany que potencialment podria crear sobre uns elements tipus.

Magnitud	Potencial destructiu			
	Edificis	Infraestructures	Persones (*)	Medi natural
M1	Efectes negligibles; puntualment pot causar danys lleus no estructurals.	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 (*).	Pot deixar una empremta puntual i poc perceptible en l'entorn natural.
M2	Pot causar danys funcionals i algun dany estructural lleu.	Pot obstruir temporalment el pas per un vial o part i causar danys lleus al vial. Pot causar danys importants a vehicles circulants lleugers (*).	Pot ferir mortalment persones en espai obert (*). Les persones estan a resguard dins de les edificacions.	Deixa una empremta poc perdurable a l'entorn natural.
M3	Pot causar danys funcionals greus i estructurals moderats, o destruir construccions lleugeres.	Pot causar danys reparables a la infraestructura que en limitin la funcionalitat temporalment. Pot destruir vehicles circulants lleugers i danyar els pesants (*).	Les persones dins dels edificis estan en risc, tot i que poden tenir un cert resguard (*).	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 del terreny.
M5	Pot danyar àmplies zones edificades i destruir múltiples construccions.	Pot destruir la infraestructura o provocar danys no reparables que requereixin reconstrucció o un nou traçat.	La supervivència depèn de circumstàncies fortuïtes (*).	Pot transformar el paisatge, amb destrucció de boscos o noves morfologies del terreny.

(*) *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).*

Importància de la velocitat en que es donen els fenòmens

Una segona classificació important dels fenòmens és la que es basa en la seva velocitat.

En aquest sentit podem distingir dos tipus de fenòmens (taula 3):

- Fenòmens sobtats (velocitat > 1m/h): es produeixen a una velocitat molt alta en termes de capacitat de reacció, si no hi ha preparació. 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 < 1m/h): 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.

Els fenòmens sobtats tenen una capacitat destructiva immediata i els fenòmens progressius tenen una capacitat destructiva més lenta. 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 donin a l'hora les 4 situacions descrites a la taula 2; només que es doni una de les conseqüències, és suficient per classificar-la en aquell grup.

Taula 3: Resum de les condicions de velocitat dels cinc fenòmens principals.

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

Tots els fenòmens considerats poden ser sobtats. Ara bé, els lliscaments i els enfonsaments solen presentar una velocitat més lenta i progressiva, sobretot en estadis inicials de la inestabilitat. Malgrat que com a fenomen únic reactivable, després puguin evolucionar a formes sobtades. En el cas d'enfonsaments del terreny, aquesta distinció correspon a la subsidència (progressiva) o el col·lapse (sobtat).

Taula complementària de protecció

Encara que les condicions de viabilitat de la protecció de la perillositat depenen de molts factors més enllà de la magnitud, es pot fer una correlació entre la magnitud d'un fenomen i la complexitat i el cost econòmic que comportaria protegir les àrees afectades (taula 4).

Taula 4: Correlació de l'escala de magnitud amb la situacions típiques de protecció.

Magnitud	Possibilitat de Protecció	Formes de gestió
M1	Protecció simple, facilitat d'autoprotecció mitjançant reducció de la vulnerabilitat.	Les mesures de protecció són individuals, o es limiten a recomanacions.
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.
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.

Taules particulars per a cada fenomen i exemples

Els graus de magnitud 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 magnituds per als cinc fenòmens principals que valora l'EIRG. Cal remarcar que son taules orientatives per ajudar a fer una primera valoració de la magnitud d'un perill quan es disposa de variables mesurables, però en cap cas alteren les definicions dels graus de magnitud de l'escala definida en aquesta memòria.

3.2.2 Determinació de la freqüència

Es consideren 3 intervals de freqüència

Com s'ha dit anteriorment, la quantificació 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 següent taula:

Taula 5: Escala de graus de freqüència a considerar en l'EIRG.

Freqüència	Període de retorn del fenomen (anys)	Descripció
Alta	< 30	Recent
Mitjana	30 – 100	Antic
Baixa	> 100	Històric

A nivell de descripció es parla de les següents categories:

- Fenomen recent (<30 anys),
- Fenomen antic (30-100 anys),
- Fenomen històric (>100 anys)

Què hi ha fora d'aquest rang?

Els extrems d'aquesta escala, i fora 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.
- Freqüència molt baixa (T>300anys): 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.

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): assegurança decennal per habitatges d'obra nova (10 anys), hipoteca (30 anys), vida útil de disseny per a les construccions (100 anys), herència per a la segona generació (120 anys), herència amb salt de 4 generacions (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 5. En cas de fenòmens lents localitzats es podran fer servir altres criteris de temps tals com 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 no marca una recurrència pautada dels fenòmens. Un escenari de perillositat de període de retorn $T = 30$ anys vol dir que cada any té una probabilitat d'ocurrència de $1/T = 0.033$, però pot ocórrer dos anys seguits o tardar 50 anys a repetir-se, encara que no sigui el més probable.

Seguint amb el mateix escenari de perillositat $T = 30$ anys, durant un interval de temps de $L = 10$ anys té una probabilitat d'ocurrència del $P_L = 29\%$, 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 poc probable que no ocorri. Per 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 que no ocorri mai.

Per assignar el període de retorn (T) i en intervals d'observació L , 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 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 magnitud més gran i amb una campanya

d'enquestes sistemàtiques l'entrevista pot assolir i superar els 100 anys de registre.

- Fonts documentals: el mostreig d'activitat de fenòmens que poden oferir és molt variable segons els anys d'elaboració i objecte de la documentació. En general s'ha d'assumir que és parcial.
- Inspecció del terreny: en el reconeixement del terreny es pot identificar els indicis recents d'esdeveniments de magnitud $M=2$ i $M=3$, i de més antics per a $M=4$ i $M=5$.

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*.

La matriu de perillositat

Aquest plantejament es tradueix en una matriu de perillositat que defineix tres graus en funció de la combinació de magnitud i freqüència (taula 6).

Taula 6: matriu de perillositat per a la valoració dels EIRG

Perillositat		Magnitud				
		M1	M2	M3	M4	M5
Freqüència	Alta	Baixa	Mitjana	Mitjana	Alta	Alta
	Mitjana	Baixa	Baixa	Mitjana	Alta	Alta
	Baixa	Baixa	Baixa	Mitjana	Mitjana	Alta

Simplificar 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 tal efecte es poden distingir fonamentalment 2 escenaris:

- Ordinari: Aquelles situacions que segur que 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 del 1984).
- Extraordinari: aquelles 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 del 1956) i del qual no hi haguessin altres indicis de camp, d'enquesta o històrics.

4 Accions derivades de la valoració de la perillositat

Com considerar la valoració de la perillositat respecte a la delimitació

La valoració de la perillositat potencial s'assignarà a tota l'àrea susceptible en el grau màxim estimat, tret que per les característiques de l'indret i del fenomen es pugui justificar clarament una perillositat potencial menor o més restringida.

Acotar bé quan es pot dir que la perillositat és baixa

L'EIRG pot concloure una valoració de perillositat BAIXA sempre que pugui assegurar les dues condicions següents:

- Que en les situacions ordinàries la magnitud esperable és $M < 2$
- Que en les situacions extraordinàries la magnitud esperable és $M < 3$

Solució en cas de determinar perillositat BAIXA

En aquest cas 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 d'evitar certs usos en determinats espais, de prendre precaucions o d'implementar proteccions, que en general s'espera que siguin simples.

Solució 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. En cas que es vegi un marge suficient de protecció o de distinció de les afectacions, es conclourà la necessitat d'un estudi de zonificació de la perillositat i d'alternatives de protecció (EZTPG). En ambdós graus de perillositat la resposta és en el mateix sentit d'insuficiència de coneixement. Malgrat tot, si l'EIRG pot distingir entre MITJANA i ALTA, ajudarà a orientar la presa de decisions posteriors.

5 Formalització de l'EIRG

5.1 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 a l'àmbit d'estudi per a la prevenció d'aquests en les figures urbanístiques a les quals acompanyen. 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

5.1.1 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 tant variada, i en conseqüència, estudis posteriors de riscos, com podria ser el de zonificació han de repetir aquesta tasca amb major especialització i a la llum de les pistes que hagi pogut traçar l'EIRG. Això sí, l'EIRG ha d'explorar necessàriament les fonts d'informació específiques de riscos geològics.

Fons de l'ICGC

L'ICGC disposa d'una base de dades i d'un fons documental relacionats amb els riscos geològics que s'actualitzen permanentment. 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 cartografies que disposa l'ICGC i que poden ser sol·licitades o consultades, entre d'altres, es relaciona a continuació:

- Mapa per a la prevenció dels riscos geològics, a escala 1:25.000 (MPRG-25M), també identificat com a sèrie VI dels Geotreballs. Aquest mapa permet disposar d'una visió de conjunt d'una part del territori i constitueix una eina de suport adequada per a la planificació territorial, però no és suficientment detallada per ser resolutive a l'escala urbanística dels EIRG i s'ha de prendre com a informació de context. Estan disponibles a l'apartat de descàrregues de la web (<http://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa>).
- Informació de les bases de dades de riscos geològics, d'allaus i de sismologia. Consultable a través del seu visualitzador Geoíndex (<http://www.icgc.cat/geoindex>).
- Arxiu documental de l'ICGG. L'ICGC posa a disposició el seu arxiu documental per a la realització d'aquest tipus d'estudi. Es poden sol·licitar els treballs i documents del municipi mitjançant una petició a la bústia de contacte (<http://www.icgc.cat/L-ICGC/Sobre-l-ICGC/Contacte2/Formulari-de-contacte>).
- Cartografies topogràfiques, geològiques i geotemàtiques. Disponibles a l'apartat de descàrregues de la web (<http://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa>).
- Ortoimatges des de 1946 fins l'actualitat. Es poden visualitzar a la plataforma vissir (<http://www.icc.cat/vissir3/>).
- Imatges aèries estereoscòpiques. Un ampli registre de vols des de 1946 fins l'actualitat. Es poden adquirir sota petició a la botiga de l'ICGC. Els vols de l'any 1956 i els més recents es poden visualitzar en estereoscòpia mitjançant el sistema anàglif a la plataforma ortoxpres (<http://www.ortoxpres.cat/client/icc/>).
- Models digitals d'elevació del terreny. Disponibles a l'apartat de descàrregues de la web (<http://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa>).
- En el cas de cartografies, ortoimatges i models digitals, també es poden consultar i treballar en línia mitjançant els formats WMS i WMTS (<http://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Serveis/Geoinformacio-en-linia-Geoserveis/WMS-i-WMTS>).

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.
- Diaris o revistes generals i locals (hemeroteques digitals...).
- Cerques a internet, on es pot obtenir informació a partir de fons molt diverses de particulars i administracions.
- Les imatges de l'Street View de Google, que permeten veure situacions anteriors recents

Recordatori de l'escala de treball i que la informació de context no conforma l'anàlisi.

Com que l'EIRG té caràcter d'estudi local, hi ha una sèrie de documentació de riscos que per l'escala de treball només servirà com a contextualització, però en cap cas formarà part de l'anàlisi. En són exemples:

- Informe RiskCat. Els riscos naturals a Catalunya, CADS, 2008.
- Cartografies de risc geològic SITxell, Diputació de Barcelona.

5.1.2 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 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 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 a l'autor a persones que tinguin un bon coneixement del terreny i una ampla 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.

5.1.3 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 presentarla com a inventari d'esdeveniments i d'indicis d'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).

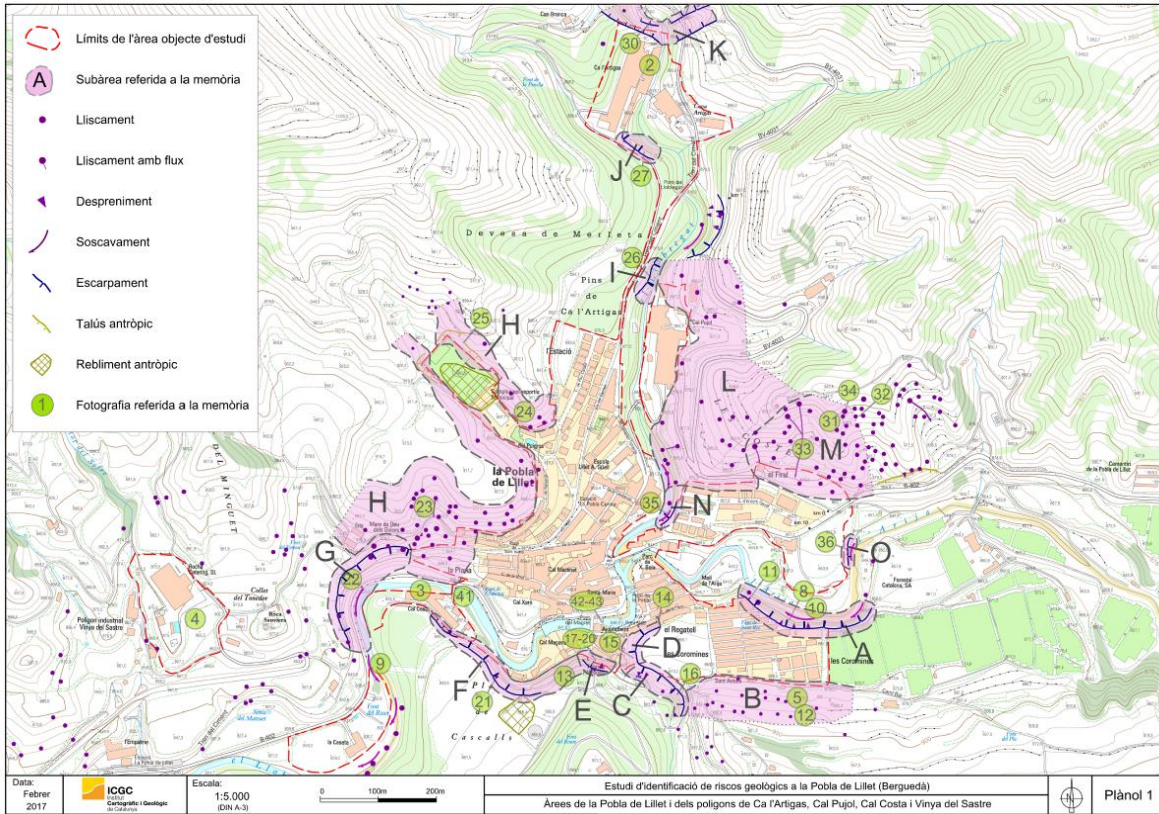


Figura 13: Exemple d'identificació sobre un plànol dels principals indicis d'existència de fenòmens geològics que generen perillositat.

5.2 Document a lliurar (estructura i contingut)

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

5.2.1 Memòria

Completesa vs. 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.

Llibertat 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 en el qual s'acoti amb claredat els antecedents administratius, l'objecte i l'àmbit d'estudi, així com 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 és poden indicar incloure aspectes adjacent al risc geològic tals com: 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 pels diferents riscos

El cos de l'estudi el formarà la part d'identificació dels riscos a partir del reconeixement d'índicis 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 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 recomanacions que se'n deriven. Aquestes, siguin generals o específiques, han de ser el més adaptades possibles a la figura de planejament urbanístic que acompanyi l'EIRG, per tal de facilitar-ne l'aplicació.

5.2.2 Quadre i fitxes de resum

Proposta de format de quadre i fitxes resum

S'inclourà un quadre resum on s'indicarà per cadascun dels àmbits d'estudi i per 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 7).

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 seva magnitud i freqüència, el grau amb que s'ha valorat la perillositat i les accions recomanades (taula 8).

Taula 7: Quadre resum d'identificació de riscos pels àmbits d'estudi de l'EIRG, amb exemples

Àmbits	Fenomen 1	Fenomen 2	Fenomen ...
Nom de l'àmbit 1	<p>Perillositat baixa (Àrees A i B)</p> <p>Es recomana l'adopció de mesures preventives consistents en...</p> <p>Perillositat mitjana (Àrea C)</p> <p>No és recomanable la seva ocupació. En altre cas, cal realitzar un estudi de zonificació de la perillositat geològica (EZTPG)</p>	Sense perillositat	Sense perillositat
Nom de l'àmbit 2	<p>Perillositat mitjana (Àrea D)</p> <p>No és recomanable la seva ocupació. En altre cas, cal realitzar un estudi de zonificació de la perillositat geològica (EZTPG)</p>	<p>Perillositat baixa (Àrea E)</p> <p>Es recomana l'adopció de mesures preventives consistents en...</p>	Sense perillositat

Taula 8: 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

Àrees A i B	
Fenomen	Despreniments
Indicis	Blocs petits caiguts i cicatrius molt recents que indiquen magnitud baixa (M1) i freqüència alta
Perillositat	Baixa
Propostes	Es recomana l'adopció de mesures preventives consistents en la instal·lació de...

Àrea C	
Fenomen	Despreniments
Indicis	Blocs grans caiguts i cicatrius manifestes no recents que indiquen magnitud mitjana (M3) i freqüència mitjana
Perillositat	Mitjana
Propostes	No és recomanable la seva ocupació. En altre cas, cal realitzar estudis de zonificació de la perillositat geològica (EZTPG) , 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.

Nom de l'àmbit (2)

Àrea D	
Fenomen	Despreniments
Indicis	Blocs grans caiguts i cicatrius manifestes no recents que indiquen magnitud mitjana (M3) i freqüència mitjana
Perillositat	Mitjana
Propostes	No és recomanable la seva ocupació. En altre cas, cal realitzar estudis de zonificació de la perillositat geològica (EZTPG) , 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.

5.2.3 Mapes

Principi d'adequació a cada estudi. Índex orientatiu.

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

- 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 5x5, 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.

5.2.4 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.

6 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, econòmico-socials, culturals i institucionals que tenen com a objectiu la millora de les condicions de vida del 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 (ex. vessant amb

reptació) o potencial (com una caiguda de roca). La caracterització d'un perill no inclou la seva predicció.

Perill imminent (*peligro inminente, peril*): es manifesta quan el fenomen generador de perill és molt proper a produir-se o s'està produint. Un esllavissa de roques és un perill per a qualsevol persona que es troba sota el penya-segat quan les roques comencen a desprendre.

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 per a 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*):.

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.

Annex 1: Lliscaments

Índex

A1.1.	Definicions	2
A1.2.	Susceptibilitat del terreny a patir lliscaments	7
A1.3.	Indicis d'activitat de lliscament	11
A1.4.	Inventari de lliscaments	13
A1.5.	Escala de magnitud de lliscaments	14

Annex 1: Lliscaments

A1.1. Definicions

Concepte d'esllavissada i classificacions fenomenològiques

El terme d'esllavissada té diferents accepcions; en aquesta guia s'utilitza el concepte d'esllavissada en el seu sentit més ampli i 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 vesant avall sota la influència de la gravetat*” (Cruden & Varnes, 1996; Hungr et al., 2014) i per tant inclou tota mena de moviments gravitacionals del terreny en vessant, tals com les caigudes de roques, els corrents d'arrossegalls i els lliscaments superficials i profunds.

Existeixen diverses classificacions de les esllavissades. No obstant, les més utilitzades provenen de la proposta de Varnes del 1978¹, consolidada per Cruden & Varnes el 1996², adoptada al nostre entorn per Corominas & García-Yagüe 1997³, i encara amb matisos posteriors per Hungr et al. 2014⁴. Aquestes classificacions s'estructuren en una matriu, en la qual les columnes indiquen el tipus de material esllavissat classificat segons les seves característiques o comportament mecànic (roca, grava o esbaldregalls i sòls fins 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&Varnes en el que es mostren i es proposen de referència en les descripcions fenomenològiques (Figura 1).

¹ Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. In Special Report 176: Landslides: Analysis and control (Eds: Schuster, R.L and Krizek, R.J), Transportation and Road research board, National Academy of Science, Washington D.C. 11-33.

² Cruden, D.M., Varnes, D.J., (1996). Landslide Types and Processes, Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247:36-75.

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

⁴ Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L., (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. Landslides 11: 167–194.

Annex 1. Lliscaments

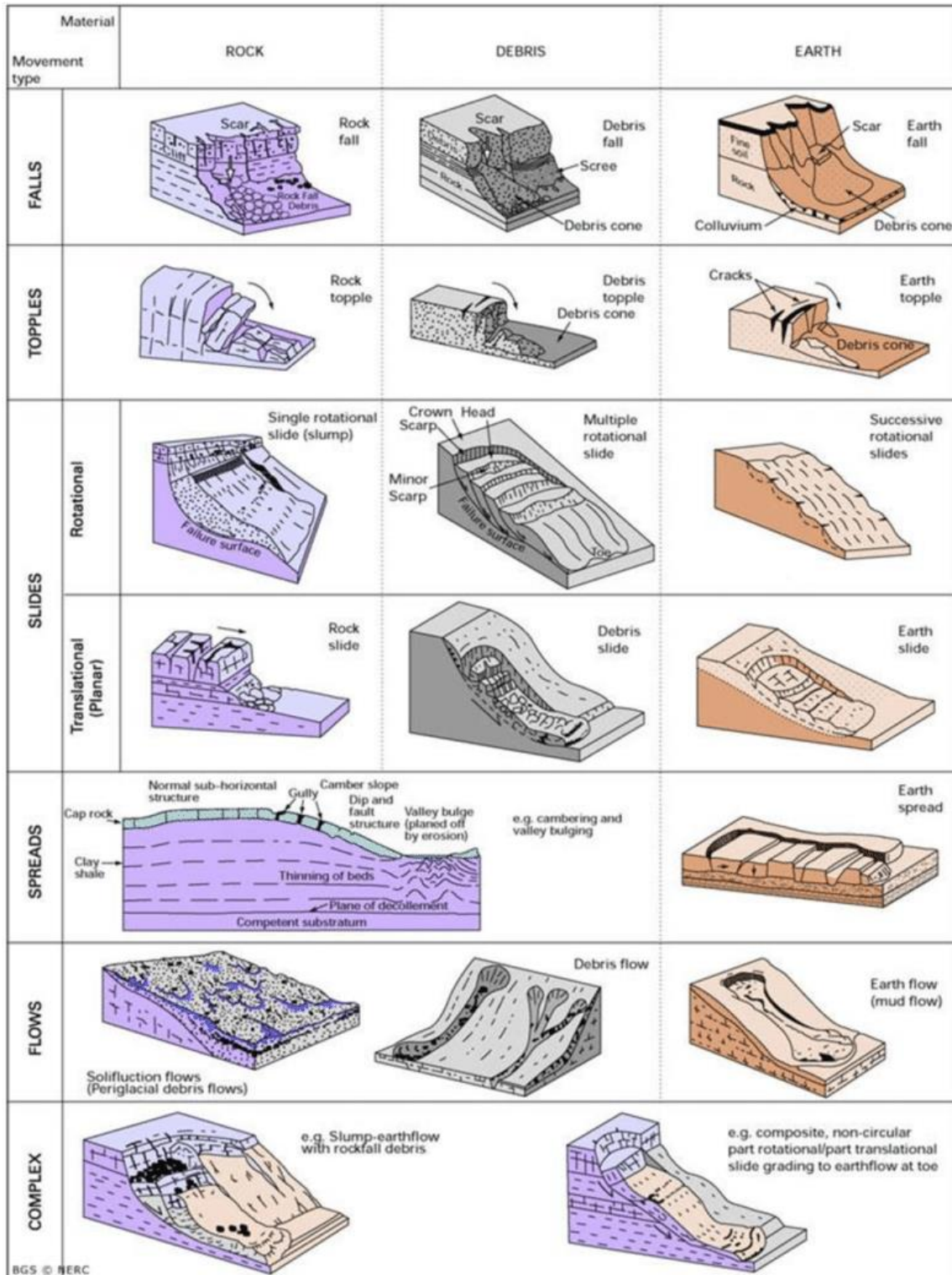


Figura 1.- Esquema gràfic de classificació de les esllavissades (font: British Geological Survey).

Simplificació a 3 tipus d'esllavissada i el concepte lliscament

L'EIRG ha d'identificar qualsevol forma d'esllavissada i analitzar-ne 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 del 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 2 a i b). Les formes més comunes són en roca, però també es produeixen en sòls quan el talús és molt vertical.

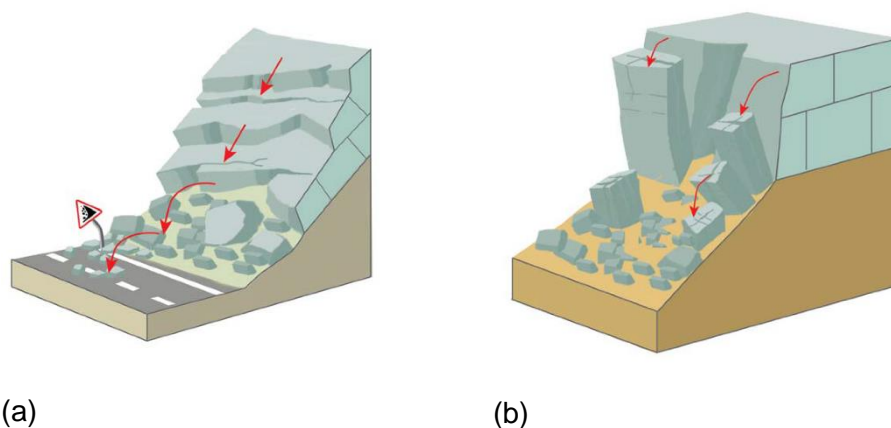


Figura 2: Esquema de mecanismes representatius de les caiguda i despreniments: (a) trencada plana, (b) bolcada

- **Fluxos:** les esllavissades incloses en aquest grup es caracteritzen pel comportament fluïdificat 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 3a i b).

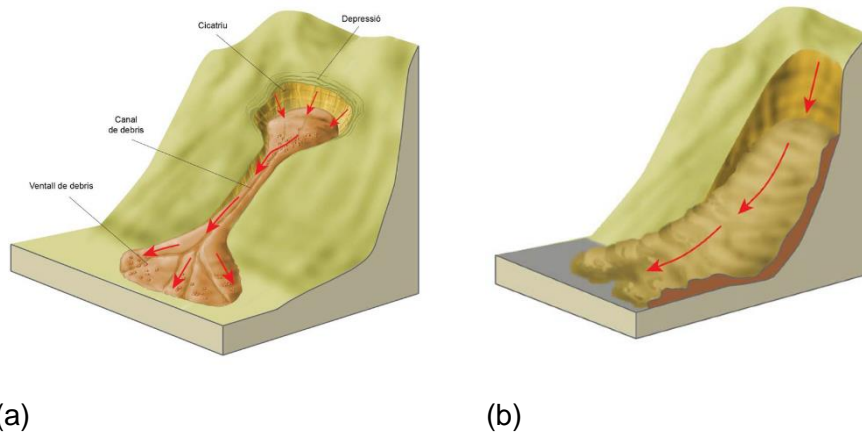


Figura 3: Esquema de mecanismes representatius de fluxos: (a) flux d'esbaldregalls, (b) flux de fang.

- **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 4).

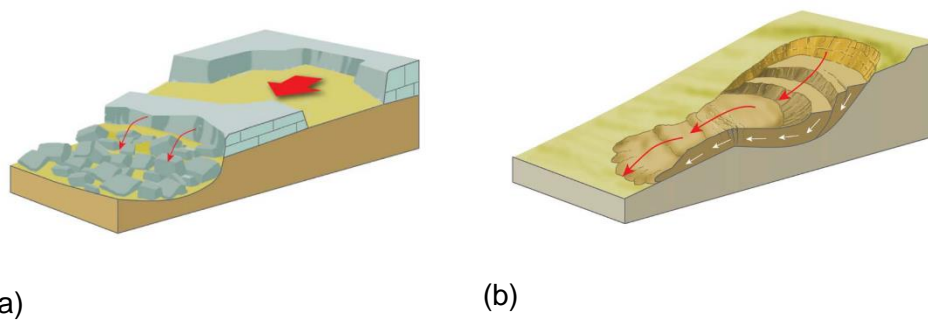


Figura 4: Esquema de mecanismes representatius de lliscaments: (a) translacional en roca (b) rotacional en sòl.

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.

El present annex se centra en els **lliscaments**, que sovint també s'anomenen "esllavissades". Però per evitar confusions de classificació, en aquesta guia s'utilitza el terme "lliscaments" (de l'anglès *slides*).

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 en contacte permanent amb el terreny no mobilitzat i en què la seva part mòbil manté una gran part de l'estructura interna. La major part de la deformació es concentra en superfícies de trencada que posen en contacte la part mobilitzada amb la part que roman in situ. Es tracta de moviments únics, que es poden activar per episodis segons la variació de les condicions ambientals i l'evolució del terreny. Els lliscaments, doncs, no es generen a mode de repetició, sinó que en gran mesura són constituïts per una massa en moviment que presenta períodes d'activitat o reactivació. Aquesta massa pot créixer en extensió de forma remuntant, lateral o activant nous moviments connectats.

La motricitat dels lliscaments varia molt depenent de la seva naturalesa i la seva dimensió dins del conjunt del vessant, però és molt comú que una gran part de la massa mobilitzada no arribi a sortir de la zona de trencada inicial. En aquestes condicions no s'arriba a distingir clarament les zones de sortida, trànsit i arribada del lliscament.

Finalment, la velocitat del lliscament també pot variar en ordres de magnitud, Així com les caigudes de roques i els fluxos són fenòmens "extremadament ràpids" i per això les classifiquem d'esllavissades instantànies, els lliscaments poden variar els 10 ordres de magnitud en la seva velocitat de moviment, podent ser sobtats en cas d'una trencada catastròfica o progressius de velocitat lenta o constant que faciliten la predicció de l'evolució. Aquest és un factor que s'ha de tenir present pel risc sobre elements mòbils (persones i vehicles). De nou es pren de referència la classificació de nivells de velocitat del moviment proposada per Varnes 1978 i adaptada per la International Union of Geological Sciences, Working Group on Landslides (1995)⁵. A aquestes categories també s'indica la capacitat de resposta i les unitats d'expressió natural (Taula 1).

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

Taula 1: Nivells de velocitat del moviment de les esllavissades establerts per la IUGS (1995). S'inclou una orientació sobre la capacitat de resposta.

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

La perillositat dels lliscaments es produeix principalment en la zona ruptura del cos de la massa mobilitzada i de forma secundària a la zona d'arribada. En general, en el contorn del lliscament és on es produeix un major moviment diferencial i per tant, major potencial destructiu, en canvi, sobre un bloc de terreny en lliscament rígid es pot percebre poc dany.

A1.2. Susceptibilitat del terreny a patir lliscaments

Condicions que generen inestabilitat

Els lliscaments es donen per la coincidència d'un conjunt de condicions del terreny que generen un desequilibri de tensions que fa que es passi d'una situació estable a una situació inestable que produeix moviment. A continuació es comenten alguns d'aquests factors.

Factor terreny, unitats geològiques propenses a generar lliscaments

Certs materials geològics són més susceptibles a generar lliscaments que d'altres. En general els materials amb alts percentatges de fracció argilosa amb índex de plasticitat elevats (IP dels límits d'Atterberg) (CH, MH, CL), argiles expansives, materials que contenen guixos o que són evolutius i són propensos al lliscament. Aquests materials

tendeixen a presentar un angle de fregament intern baix ($< 28^\circ$) i una variabilitat de la cohesió en funció del contingut d'aigua al sòl, fet que afavoreix que es puguin generar superfícies de lliscament. Les formacions geològiques més conegudes a Catalunya en les que es generen lliscaments són del Silurià, del Permià, del Garumnià, alguns nivells de les fàcies triàsiques (Buntsandstein, Keuper), les margues del cretàcic inferior, les margues neògenes d'origen marí i tots aquells dipòsits quaternaris que provenen de l'erosió i dipòsit de les formacions geològiques esmentades.

Factor terreny, la presència de lliscaments antics i el concepte de l'angle de fregament residual

Els terrenys on es localitzen lliscaments antics, encara que avui en dia no siguin funcionals, són més propensos a generar nous lliscaments. Aquest fet s'atribueix en part a que les superfícies de lliscament relictos presenten un angle de fregament residual inferior a l'angle de fregament pic d'un material no mobilitzat. Aquesta situació és molt habitual en vessants de les valls pirinenques que van patir un forta dinàmica postglacial que va generar esllavissades de gran magnitud i que conformen part del paisatge.

El pendent del terreny

El pendent del terreny és un factor determinant, ja que és el paràmetre del vessant que determina la descomposició de la gravetat en la component paral·lela al pendent i motriu de la lliscada, i la component normal al terreny mobilitzadora de la fricció resistent. No obstant, cal tenir en compte que, en condicions especialment desfavorables, terrenys amb molt poc pendent (al voltant de 10°) també poden genera lliscaments de gran magnitud dependent del tipus de material i les circumstàncies.

L'aigua en el terreny, el concepte de les tensions efectives

La presència d'aigua en el terreny genera un doble efecte negatiu per l'estabilitat, ja que significa un augment de la massa i pes propi motriu, així com una disminució de les forces resistents al moviment. Aquest fet s'explica pel concepte de les tensions efectives entre les partícules sòlides del terreny, les quals disminueixen amb un increment de la pressió d'aigua intersticial. Les variacions del nivell freàtic en el cos d'un lliscament durant forts episodis de pluja o precipitacions acumulades poden donar lloc a la formació de lliscaments en el terreny. Aquesta vinculació permet analitzar la freqüència dels moviments en base al període de retorn corresponents als llandars de pluja generadors d'esllavissades.

L'aigua en el terreny, la variació de la humitat i els límits d'Atterberg

Una segona forma com actua l'aigua és saturant el material i interactuant en l'esquelet mineral de les partícules fines. Els paràmetres de resistència a la cisalla estan influïts

significativament per les condicions d'humitat del material. L'increment d'humitat en el terreny comporta generalment una disminució dels factors resistents (cohesió i angle de fregament intern). Mentre que els sòls no saturats presenten uns índex de resistència superior per l'efecte de la succió o menisc (efecte que permet la construcció dels castells de sorra a la platja) els sòls saturats que han depassat els seus límit líquid i límit plàstic (límits d'Atterberg) canvien el seu estat de semi sòlid, a plàstic i finalment a estat líquid.

L'aigua en el terreny, aigua provinent de xarxes d'abastament

En sectors urbanitzats, a més de la hidrogeologia dels aqüífers, cal tenir en compte la presència de xarxes d'abastament i de sanejament, i la possible presència de fosses sèptiques que a partir de disfuncions i patologies poden constituir una aportació constant d'aigua al terreny. Per altra banda el moviment del terreny afavoreix també que es malmetin aquestes xarxes, de tal forma que es pot originar un sistema retro-alimentat d'aportació d'aigua al terreny.

Mecanismes generadors d'inestabilitat

A mode de resum, es descriuen un conjunt de mecanismes que poden provocar un desequilibri en les condicions de tensions o resistència del terreny i que per tant són potencials generadors de lliscaments (figura 5).

1. Accions de sobrecàrrega del terreny. Construcció d'estructures i desenvolupament d'usos que impliquen la introducció de càrregues al vessant. També pot ser per terraplenat. Impliquen una variació de l'estat tensional.
2. Variació de la geometria del vessant per excavació, fet que pot comportar la pèrdua de base estabilitzadora al vessant. Tant pot ser una modificació artificial del perfil del terreny com un procés natural de socavació per efecte de l'erosió fluvial o costanera.
3. Variació del comportament geotècnic del material per diferents processos, tals com canvi del contingut d'aigua, canvi en el percentatge de components que formen el sòl, rentat dels materials fins, buidat d'estructura de l'esquelet mineral, canvis químics o pèrdues de cohesió per meteorització.
4. Aportació d'aigua extraordinària al terreny per fuites de xarxes o per períodes de precipitacions perllongades o amb pic d'intensitat que modifiquen el nivell freàtic.

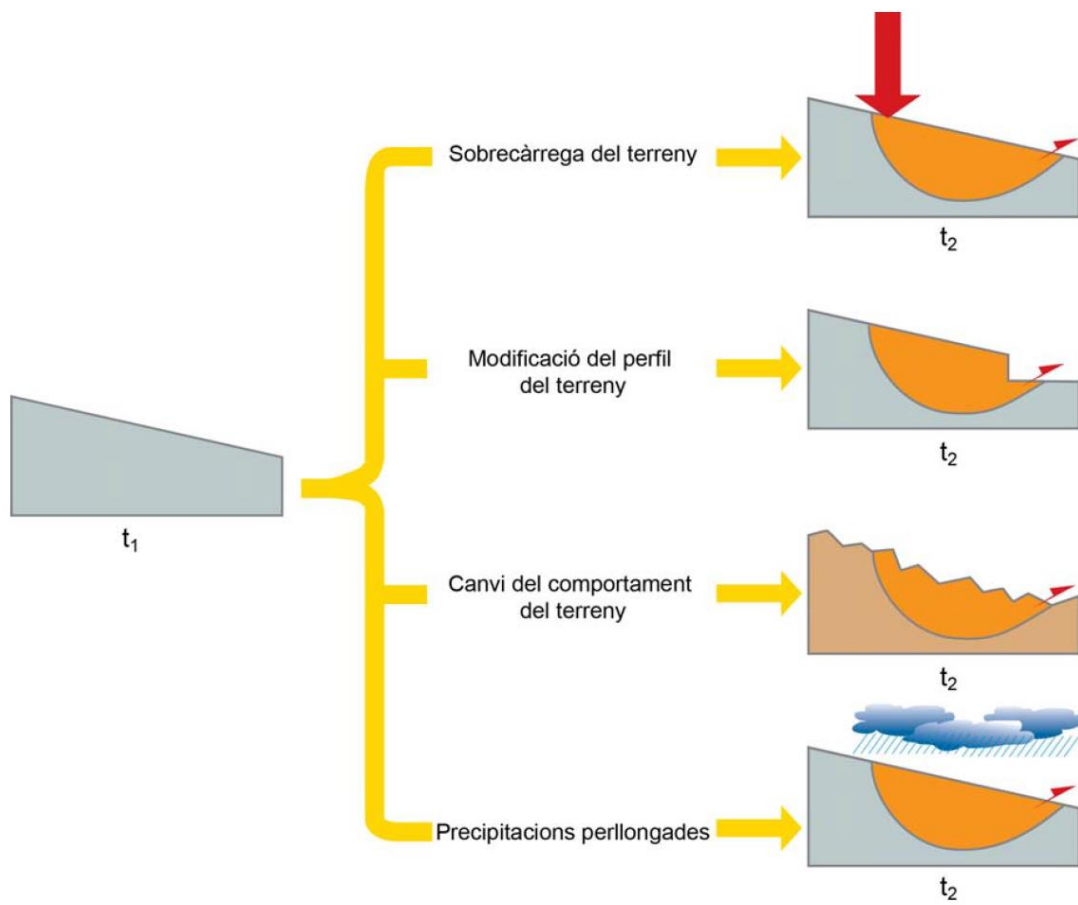


Figura 5: Mecanismes i situacions que poden ser generadores de lliscament del terreny.

A1.3. Indicis d'activitat de lliscament

L'activitat del lliscament queda registrada en els vessants en els quals es produeixen amb unes morfologies específiques. La perdurabilitat dels indicis en el temps va associada a la seva magnitud. Els principals indicis a considerar són:

- Esquerdes de tensió i tracció en el terreny
- Observació de peus de lliscament amb formes lobulades
- Zones d'acumulació d'esbaldregalls de pendent
- Superfícies del terreny irregulars
- Existència de zones a contrapendent
- Xarxa hidrogràfica irregular i zones d'entollaments
- Presència abundant de vegetació hidròfila
- Vegetació caòtica amb arrels arrancades, arbres desenterrats i arrossegats
- Pals de telèfon, electricitat o arbres torts segons el pendent

Com afecten els moviments als edificis i a la urbanització

En zones edificades o amb infraestructures el millors elements per observar l'activitat dels lliscament són les esquerdes i les patologies que puguin presentar les estructures o paviments. 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 2.

Taula 2: Classificació de graus de danys a edificis i infraestructures per a la confecció d'inventaris ⁶.

Grau / Intensitat del dany/	Descripció de dany típics en edificis	Observacions en el terreny
0 / No apreciable	Fissures i esquerdes de menys de 0,1mm. No visibles des 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 1mm	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 5mm	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 enfront dels agents climàtics. Les esquerdes són visibles des de l'exterior. La seva obertura és de 5 a 15mm o diverses de 3mm.	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 25mm, depèn del número d'esquerdes. Danys clarament visibles des de l'exterior.	Esquerdes obertes , distorsions, separacions o assentament relatiu. Caigudes de petits fragments que poden causar danys lleugers. Reparacions en vials no urgents. Efectes visibles en pals d'electricitat o tanques.

⁶ Howard Humphreys & Partners (1993). Subsidence in Norwich. HMSO, London in: A.H. Cooper (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(2008),41(3):409. <http://dx.doi.org/10.1144/1470-9236/07-223>

Grau / Intensitat del dany/	Descripció de dany típics en edificis	Observacions en el terreny
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 >25mm encara que depèn del número d'esquerdes.	Deformacions significants, 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

En la mesura que els lliscaments desplacen masses de terreny homogènies de forma uniforme respecte a parts no mobilitzades, el potencial dany es concentra principalment en el perímetre de la massa mobilitzada. Per altra banda en la mesura que el moviment sigui lent, el dany pot trigar anys a manifestar-se en el cos del lliscament.

A1.4. Inventari de lliscaments

Importància de l'inventari d'esllavissades

Per a l'estudi de les esllavissades i dels lliscaments en particular, com a fenomen reactivable que es produeix en unes condicions del terreny i ambientals determinades, és important conèixer en quins llocs i en quines circumstàncies s'ha produït esdeveniments previs. Per això, disposar d'un inventari d'esllavissades que contingui dades de la seva localització, tipologia, magnitud i circumstàncies que les han desencadenat és essencial per determinar en quins punts del territori es poden produir nous casos.

Font d'informació: LLISCAT

El LLISCAT constitueix l'inventari d'esllavissades de Catalunya i conté la informació disponible dels moviments del terreny per part de l'ICGC en continuació a la tasca iniciada

per la Universitat Politècnica de Catalunya. Aquest inventari actualment és consultable a la web de l'ICGC⁷.

Font d'informació: MPRG25M

El Mapa de Prevenció de Riscos Geològics de Catalunya a escala 1:25.000 (MPRG25M), anomenat Geotrell VI dins la sèries de cartografia geològica de l'ICGC, constitueix un mapa de localització i valoració qualitativa de la perillositat dels fenòmens geològics actius identificats al territori. El mapa delimita sectors susceptibles de desenvolupar fenòmens potencialment destructius i que poden generar situacions de risc. El MPRG25M s'ha concebut com una eina de planificació territorial i per tant s'ha d'emprar com a tal i no es considera de suficient detall per justificar qüestions de caràcter local. Entre els fenòmens diferenciats inclou els lliscaments i les colades de terres dins del concepte 'esllavissada'. Aquest mapa actualment cobreix 47 fulls publicats, d'un total de 305 fulls per al total de Catalunya.

A1.5. Escala de magnitud de lliscaments

Mida geomètrica: exemple de classificació de la NASA segons el volum.

La primera aproximació per determinar la magnitud d'un lliscament és per la seva mida en un sentit geomètric, ja sigui per l'extensió en planta o pel volum de material que mobilitza, considerant també la profunditat del nivell basal de lliscament. Aquesta aproximació pot anar acompanyada dels efectes que produeixen sobre el medi físic o socio-econòmic. En aquest sentit, la guia per al registre d'esllavissades *The Landslide Reporter's Guide*⁸ 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 per cobrir tota la casuística. En aquest sentit, discrimina poc en el rang d'interès a escala de l'activitat de lliscaments a Catalunya, ja que la major part quedarien dins la classe mitjana o inferior. Per a la finalitat de l'EIRG convé que la gradació de mides segueixi un factor multiplicador

⁷ ICGC, Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (2020). LLISCAT. Pagina web. Base de dades d'esllavissades(LLISCAT) <https://icgc.cat/Administracio-i-empresa/Serveis/Riscos-geologics/Base-de-dades-d-esllavissades-LLISCAT/Base-de-dades-d-esllavissades-LLISCAT-Acces>.

⁸ https://gpm.nasa.gov/landslides/guides/COOLRGuide_Primer.pdf.

menor als 2 ordres de magnitud decimal. Per contra, en regions en què es produeixen esllavissades catastròfiques en vessants de gran desnivell, com pot ser en indrets de la Xina, s'arriba a anomenar esllavissades "gegants" quan el seu volum supera els 10 milions de m³.

Taula 3: Escala de mida d'esllavissades utilitzada en el registre cooperatiu online d'esllavissades (COOLR) de la NASA.

Classe	Descriptor	Volum (m3)
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 dúmper. Normalment no hi ha víctimes mortals.	< 10
Mitja	Esllavissades que poden correspondre a un esdeveniment individual o múltiple que afecta a 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 dúmpers 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 zona determinada però que cobreixen una àrea àmplia. Poden produir impactes substancials a infraestructures i a carreteres, es 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 a tota una regió (sovint poden afectar a 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. Es poden produir de centenars a milers de víctimes mortals.	> 1.000.000

El volum del lliscament deriva de l'extensió o àrea de la inestabilitat en el vessant i el gruix del material lliscant i de la profunditat de la superfície de lliscament. Ambdues depenen de les condicions generadores de la inestabilitat i no necessàriament tenen una correlació directa de proporcionalitat. Malgrat això, resulta freqüent que els lliscaments més profunds

puguin desenvolupar major extensió, i al seu torn, els lliscaments superficials poden tenir certa extensió, si bé sovint pot ser en base a sectors adjacents sense continuïtat.

Classificació en funció de la profunditat de la zona de lliscament

L'extensió del lliscament implica la quantitat de construccions que pot afectar, mentre que la profunditat en gran mesura determina la complexitat de les mesures d'estabilització. En aquest sentit, per a la descripció de la profunditat dels lliscaments es proposa emprar una escala logarítmica regular similar als llindars d'ús comú en la bibliografia.

Taula 4: Escala de nivells de profunditat del lliscament.

Classe	Profunditat de lliscament (m)	Tipologies d'estabilització més freqüents
Molt superficial	< 1	Membranes de recobriment, revegetació
Superficial	1 – 3	Membranes de contenció ancorades
Mitjà	3 – 10	Ancoratges, <i>soil-nailing</i> , murs de contenció
Profund	10 – 30	Estructures de contenció profundes (pantalles, pilots)
Molt Profund	> 30	Moviment de terres, drenatge profund i altres

Escala de magnitud resultant

D'acord amb les consideracions prèvies de l'annex i de la memòria, es realitza la concreció de l'escala de magnitud general definida per potencial destructiu als lliscaments i les seves variables fonamentals a aplicar als estudis EIRG.

Cal advertir novament que, a causa de la variabilitat de formes dels lliscaments, no es compliran totes les variables descriptives en el mateix grau. Aquesta taula s'ha d'emprar en el sentit orientatiu i complementari a l'escala de magnitud definida per potencial destructiu. Els valors inclosos en la taula només pretenen ajudar a focalitzar els factors que ens condicionen el dany potencial, ja sigui per extensió, profunditat i gruix, com per desplaçament, que alhora pot ser uniforme o heterogeni en blocs que comportin major desorganització de la massa de terreny.

Taula 5: Exemples de combinació de variables de mida que corresponen a diferents graus de magnitud de lliscament.

Àrea d'extensió (m ²)	Profunditat del lliscament (m)	Volum cos esllavissada (m ³)	Recorregut (m)	Magnitud resultant
10	0,3	3-10	2	M1
100	1	10-100	5	M2
1.000	3	100-5.000	10	M3
10.000	10	5.000- 100.000	20	M4
100.000	30	>100.000	50	M5

La valoració de la magnitud dels lliscaments que poden afectar un determinat àmbit d'estudi juntament amb l'estimació de la freqüència en què es poden produir determinaran el grau de perillositat potencial que s'assignarà a l'esmentat àmbit i que determinarà la seva classificació. En esllavissades de moviment continu, en el les quals el concepte de freqüència perd significat, els intervals de freqüència (0-30, 30 a 100 i >100) es poden assimilar al temps en què un edifici, o qualsevol altre element objecte de interès, resulta amb danys severos tenint en compte la velocitat del moviment.

Annex 2: Despreniments i caigudes de roques

Índex

A2.1.	Definicions	2
A2.2.	Susceptibilitat del terreny als despreniments	4
A2.3.	Indicis d'activitat de despreniments i caigudes de blocs	5
A2.4.	Potencial de propagació	7
A2.5.	Escala de magnitud de despreniments	9

Annex 2: Despreniments i caigudes de roques

A2.1. Definicions

Tipus d'esllavissades en el que s'inclouen els despreniments i les caigudes de roques

De l'ampli espectre d'esllavissades i dels seus subtipus es consideren com a despreniments i caigudes tots aquells moviments de vessant en els quals la massa mobilitzada experimenta un moviment aeri, de limitat contacte amb el substrat, i pateix una fragmentació o disgregació durant la seva trajectòria. Es tracta de moviments molt ràpids, espontanis o sobtats, i d'una gran motricitat ja que les trajectòries de propagació solen tenir dimensions molt superiors al punt en el qual es genera la inestabilitat.

En el present document s'empra indistintament els termes *despreniment de roca*, que posa l'accent a la sortida d'una massa rocosa des d'un escarpament, o *caiguda de roques*, que posa una major atenció en la propagació del moviment pel vessant. De forma genèrica parlem de caiguda de blocs. També es pot emprar el terme caiguda de pedres quan el material després té un diàmetre inferior a 25 cm.

Límit superior dels despreniments: les allaus de roques

Un cas singular són les allaus de roques que es produeixen com a conseqüència de l'ensorrament d'una porció gran d'un massís. En aquest cas 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. Aquest cas es contraposa al despreniment de fragments aïllats de caiguda simultània, en el qual no es produeix una interacció clara entre els fragments, més enllà del xoc casual.

Inclou diferents materials: roques i sòls

El despreniments més comuns es donen en escarpaments de roca, no obstant la guia inclou tots materials que contempla la classificació de Varnes (roca, esbaldregalls i sòl) (Cruden & Varnes, 1996)¹. Cada tipus de material tindrà les seves particularitats pel que fa al mecanisme generador de la inestabilitat i la seva dinàmica de propagació.

¹ Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996, Landslide Types and Processes, Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247:36-75.

Inclou diferents mecanismes de sortida

Així mateix, els despreniments i caigudes comprenen tots els moviments que generen una caiguda lliure, independentment del mecanisme de trencada que genera la inestabilitat en el punt de sortida, ja sigui un lliscament pla, un lliscament en falca, una bolcada o un desplom.

Mecanismes de propagació

Com s'ha esmentat, el tret distintiu dels despreniments és la seva dinàmica de propagació i de fragmentació. Pel què fa a la propagació inclou sempre la caiguda lliure, almenys en part del recorregut i en funció del pendent al llarg de la trajectòria pot combinar modes cinemàtics de salt en tir parabòlic, de rebot per impacte al terreny, de rodolament i residualment de lliscament sobre la superfície del terreny.

Disgregació i fragmentació, distinció entre M_0 i m_i

Quan es desprèn una massa d'un cert volum aquesta se sol fragmentar per les seves discontinuïtats produint-se una disgregació i una dispersió de l'esmentada massa. Si els impactes que rep la massa durant els seu trajecte són prou forts, depenent de la seva resistència, es pot produir també la fragmentació del material pel trencament de la matriu.

En la valoració de la magnitud és imprescindible tenir present els conceptes de disgregació i fragmentació. En conseqüència, convé distingir el volum que es desprèn i la seva massa (M_0), del volum dels fragments que es generen durant la caiguda, dels quan interessarà sobretot els volums majors i la seva massa (m_i) (figura 1). Generalment els escenaris de perillositat es defineixen per la massa total que es desprèn en correspondència a unes condicions determinades (M_0). La seva fragmentació en blocs serà el resultat de les condicions del vessant pel qual es propaga. Aquesta dinàmica serà la que acabarà de configurar l'escenari de perillositat per valorar el potencial de dany o destructiu.

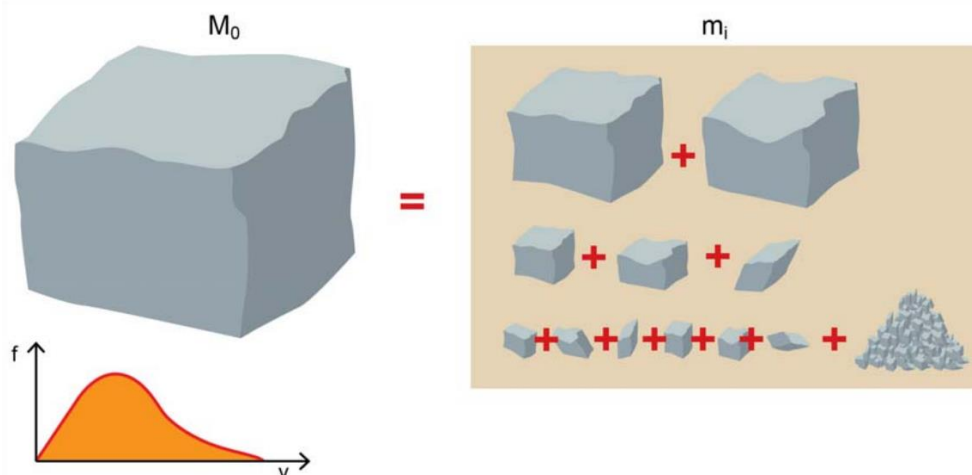


Figura 1: Relació entre la massa despresa (M_0) i els fragments que es generen durant la trajectòria (m_i).

Zones de sortida, trànsit i aturada

Les parts que es poden distingir en una caiguda de blocs són la zona de sortida constituïda per un escarpament on aquests materials poden estar en situació meta-estable, la zona de trànsit per on es propaga la caiguda i la zona d'aturada. Si no hi ha un replà al peu mateix de l'escarpament a la zona de trànsit els blocs mantenen una motricitat elevada en la que domina la cinemàtica de rodolament i salt. La zona d'aturada és el lloc en la qual els blocs perden tota l'energia cinètica i s'aturen de forma més o menys dispersa. Definim com abast màxim la distància més allunyada de la zona de sortida que pot assolir un despreniment. Els despreniments i fragments de majors dimensions solen assolir un abast màxim superior als de menors dimensions.

A2.2. Susceptibilitat del terreny als despreniments

El concepte d'escarpament i la seva cartografia

La susceptibilitat de sortida dels despreniments ve determinada, fonamentalment, pel pendent del terreny, és a dir, la presència d'un escarpament. Aquest es pot definir com una zona de major pendent del vessant que fa aflorar materials que poden esdevenir inestables. Els escarpaments s'identifiquen amb reconeixement geomorfològic, tant sobre el terreny, com en gabinet amb anàlisi del mapa de pendents, interpretació de fotografies aèries, etc.

A nivell de representació cartogràfica, els escarpaments es poden simbolitzar amb un element lineal corresponent a la capçalera o la línia de ruptura del pendent, entre uns punts superiors i inferiors de menor a major inclinació, o com un polígon de tot l'espai ocupat pel front de l'escarpament, que pot arribar a ser desplotat. Precisament, per la dificultat de

representació de la projecció en planta dels escarpaments, sovint aquest s'analitzen mitjançant fotografies de camp frontals o més recentment amb models 3D fotogramètrics construïts amb perspectives obliqües.

Criteris de llindars de pendent i anàlisi del relleu

La inclinació a partir de la qual considerar un escarpament amb susceptibilitat de generar despreniments depèn dels materials, del context geomorfològic del vessant i, a nivell pràctic sobre mapa, de l'escala cartogràfica de la base emprada. És d'ús molt comú el llindar de 45°, si bé admet anàlisis particulars en cada cas i en sentit de contrast amb la resta de relleus.

Per establir els llindars de pendents es recomana l'ús de d'eines d'anàlisi morfomètrica del vessant en base a models digitals de terreny (MDT) també anomenats models d'elevació del terreny (MET). En aquesta línia, es recomana l'ús d'*Histofit*² que és una eina de full de càlcul que permet fer de forma ràpida una anàlisi de rasters de pendents, discriminant unitats morfològiques per aquesta variable i així definir un llindar d'inclinació per a escarpaments del qual derivar-ne mesures d'extensió, cartografia, etc.

Risc derivat: el retrocés de l'escarpament

Pels escarpaments susceptibles a generar despreniments, caldrà considerar també si la dinàmica erosiva comporta un risc per l'ocupació de la capçalera per l'efecte de retrocés de la línia d'escarpament. Aquesta situació és molt habitual quan l'agent generador dels despreniments es l'erosió del peu del vessant per un curs hídric, o per l'acció de les ones en ambients costaners en escarpaments de sòls cohesius o roca tova. Aquest risc haurà de ser tractat com a risc derivat, tal com es planteja al seu punt específic de la memòria.

A2.3. Indicis d'activitat de despreniments i caigudes de blocs

Registre d'indicis d'activitat

L'activitat de despreniments queda registrada en el vessant a les zones de sortida, trànsit i arribada. La perdurabilitat de les traces dels despreniments en el temps va associada a la seva magnitud. Els principals indicis a considerar són:

² Histofit: Slope angle frequency analysis in mapping rockfall hazard

<https://wp.unil.ch/risk/software/histofit/>

- Presència de cicatrius a l'escarpament, tant per forma de descalçament i buit com per canvis de coloració.
- Condicions del massís, per disposició geomecànica desfavorable al lliscament planar o en falca o a la bolcada; estat de les juntes amb fractures obertes recents, etc.
- Disposició desfavorable de sostres o erosió diferencial per alternança de materials.
- Presència de blocs individualitats potencialment inestables.
- Evidència de trajectòries de caiguda amb impactes al terreny i a la vegetació
- Formacions superficials de dipòsit col·luvial al peu de l'escarpament, tarteres.
- Presència de blocs caiguts aïllats i de majors dimensions.

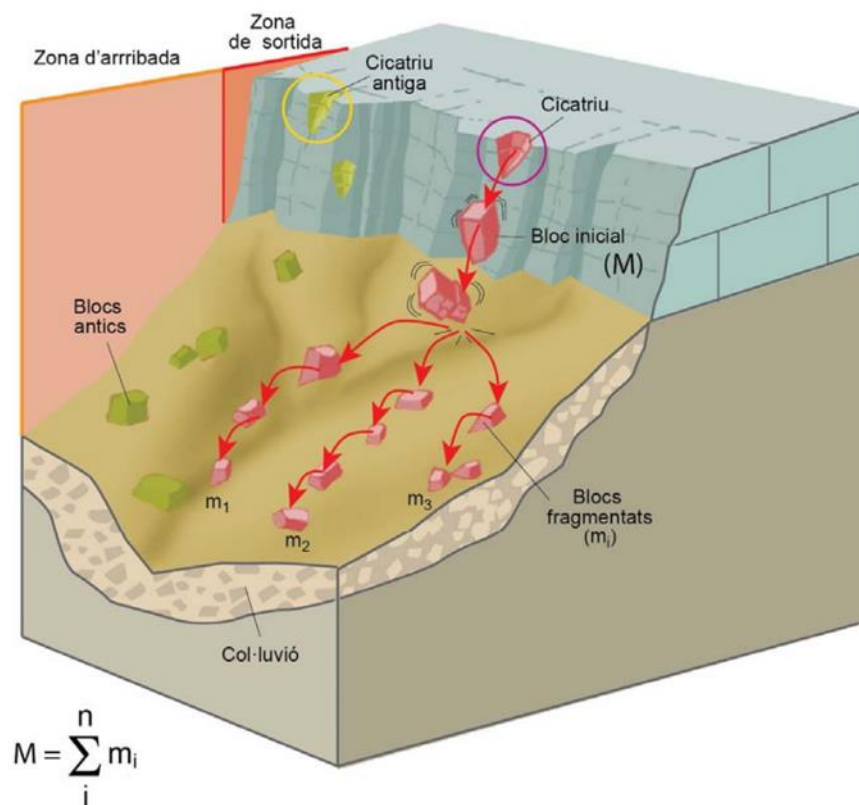


Figura 2: Esquema amb les principals definicions de les parts d'un despenyatge i els seus indicis.

Així mateix, és molt important identificar la dinàmica de l'escarpament i la seva etapa evolutiva respecte l'acció que en va motivar l'aparició (erosió basal, excavació de desmunt, encaix de vall glacial o fluvial, estructura tectònica, etc.).

A2.4. Potencial de propagació

Objectius de l'EIRG: determinar l'abast màxim

La delimitació de les probabilitats d'arribada de les trajectòries dels despreniments és una tasca pròpia d'estudis de zonificació del perill i no s'exigeix per a l'EIRG. Però sí que és objecte de conclusió d'un EIRG la determinació de l'abast màxim dels despreniments d'acord amb els escenaris de perillositat que es considerin de referència. Aquesta valoració ha de ser prudent en correspondència amb les incerteses del coneixement i ha de considerar un valor d'abast màxim versemblant. Es considerarà zona susceptible de ser afectada per despreniments tota aquella que inclogui les trajectòries del seu abast (zona de sortida, de transit i d'aturada).

La valoració de l'abast màxim dels despreniments es pot considerar una qüestió de valors extrems d'una distribució estadística, ja que les trajectòries dels blocs tenen una elevada variabilitat de propagació. Aquesta depèn de les condicions inicials de sortida, de les dimensions i forma del bloc, de les condicions del terreny al llarg del recorregut, etc.

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

Una forma de mesura relativa de l'abast de la caiguda de roques és l'angle d'abast, que es defineix com l'angle sobre la horitzontal de la línia que uneix el punt de sortida i d'arribada dels blocs (Figura 3). Aquesta és una forma adimensional de descriure l'abast que la fa comparable entre vessants de diferents escales.

L'angle d'abast permet bastir un mètode empíric de determinació de l'abast màxim, que alhora es pot utilitzar com a model molt simple de línia d'energia de la trajectòria. Hi ha diversa bibliografia que suggereix valors de l'angle d'abast màxim per diferents condicions, essent les principals: el volum o massa del despreniment (M_0), la mida del bloc major (m_{max}) i la morfologia del terreny. La Taula 1 proveeix de valors orientatius d'angles d'abast que en cap cas poden ser usats acríticament. Pretenen mostrar que la capacitat de propagació depèn en bona mesura del volum després. Però alhora també depèn de la morfologia del vessant. Aquests valors poden tenir una variació de fins a 20° entre un vessant obert i regular i situacions d'obstaculització del moviment per canalització i deflexió.

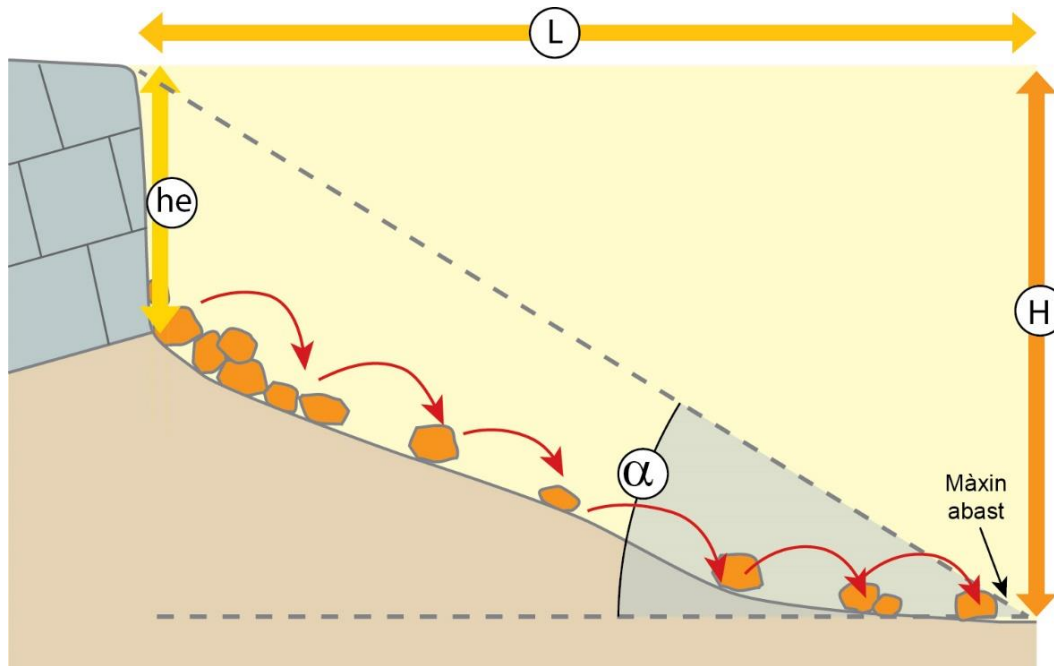


Figura 3: Definició de l'angle d'abast (α) segons la longitud d'abast màxim (L) i el desnivell de caiguda (H) des de la capçalera de l'escarpament d'alçada (he).

Taula 1: Valors orientatius de l'angle d'abast màxim (α) per a diferents configuracions tipus de volum total de sortida del despenyament (V_0) i de volum dels blocs majors observats (V_{maj}). Adaptat de referències ^{3 4}

V_0 (m ³)	V_{maj} (m ³)	α (°)
< 10	< 2	35 – 40
10 – 100	< 5	30 – 35
100 – 1.000	< 50	25 – 30
> 1.000	> 50	< 25

³ Corominas, J. 1996. The angle of reach as a mobility index for small and large landslides. Canadian Geotechnical Journal, 33 (2), 260-271.

⁴ 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.

Ús del mètode i calibratge

És imprescindible contrastar els valors bibliogràfics de referència d'angles d'abast amb les observacions del terreny local. En aquest sentit pot convenir analitzar uns sectors fora de l'àmbit d'estudi, però que puguin tenir un millor registre interpretable de l'activitat de despreniments i de l'abast de les caigudes. Aquestes interpretacions poden ser traslladades als sectors similars (en configuració d'escarpament i de vessant) dins de l'àmbit d'estudi, amb les corresponents precaucions. Els valors adoptats i la justificació de la seva determinació ha de ser nítidament recollida al document EIRG.

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, han de ser degudament identificats i la forma d'aplicació justificada, així com les hipòtesis i valors de paràmetres aplicats, per tal que siguin anàlisis reproduïbles. Sempre és necessària la labor de calibratge i de contrast amb les observacions de camp i la interpretació del terreny per l'indret específic.

Dispersió lateral

A més de valorar la propagació longitudinal en el sentit del màxim pendent del vessant, també cal tenir present la possible dispersió lateral de les trajectòries i les afectacions que poguessin donar-se en zones adjacents.

A2.5. Escala de magnitud de despreniments

Taula de 5 graus de magnitud

L'escala de magnitud general de 5 graus de que s'ha definit en termes de potencial de dany, es pot traslladar a algunes de les variables principals dels despreniments i caigudes, tenint en compte les particularitats de la dinàmica. La Taula 2 mostra exemples de particularització dels graus de magnitud per a despreniments i caigudes de roques en funció de la seves característiques físiques i tipologia.

Taula 2: Exemples de configuracions i amb diferents valors de les variables geomètriques i cinemàtiques de despreniments i caigudes, amb el grau de magnitud corresponent.

Massa total M (t)	Massa del bloc major m (t)	Desnivell de màxim abast Δh (m)	Velocitat màxima en el recorregut v (m/s)	Configuració tipus	Magnitud equivalent
0,1	0,1	5	5	Bloc petit aïllat, o bloc major de molt poc recorregut	M1
3	1	20	10	Bloc petit o mitjà disgregable de recorregut poc energètic	M2
100	10	100	20	Bloc mitjà o gran disgregable i fragmentable per recorregut energètic	M3
3.000	100	200	30	Massa de blocs agregats amb fragmentació per recorregut molt energètic	M4
100.000	1.000	500	40	Trencada de massís rocós (transició a allau de roques o esclavissada de roca)	M5

La valoració de la magnitud dels despreniments que poden afectar un determinat àmbit d'estudi juntament amb l'estimació de la seva freqüència en què es poden produir determinaran el grau de perillositat potencial que s'assignarà a l'esmentat àmbit i que determinarà la seva classificació.

Annex 3: Fluxos

Annex 3: Fluxos	2
A3.1. Definicions	2
A3.2. Susceptibilitat de fluxos torrencials	5
A3.3. Potencial de propagació	10
A3.4. Recursos cartogràfics i documentals pel coneixement dels fluxos	12
A3.6. Escala de magnitud per als fluxos	14

Annex 3: Fluxos

A3.1. Definicions

Definició de flux

Tal com s'ha exposat a l'annex 1, agrupem sota la tipologia de "flux" totes aquelles esllavissades en les quals es produeix una fluïdificació del terreny que fa que perdi la seva 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 són constituïts per una mescla de partícules sòlides de terreny i d'aigua en composicions molt variables. En aquesta mescla, les partícules de terreny que poden tenir una granulometria molt variada queden incloses en el què s'anomena la *fase sòlida* i la part aquosa en el què s'anomena la *fase líquida*. La proporció entre les dues fases de la massa mobilitzada, la sòlida i la líquida, i la seva composició granulomètrica, determinen el comportament dinàmic i la classificació del flux. En funció de la proporció sòlids / aigua els processos torrencials es classifiquen entre riuades, fluxos hiperconcentrats o corrents d'arrossegalls.

1. Riuades (*water flood*, en anglès): el volum de càrrega sòlida és inferior al 20% del volum total, el sediment és transportat en suspensió i per arrossegament a la base de la llera com a càrrega de fons.
2. Fluxos hiperconcentrats o inundacions detrítiques (*hyper-concentrated flow* o *debris flood*, en anglès): la concentració de càrrega sòlida se situa entre el 20 i el 47%, el sediment es transporta majoritàriament per arrossegament i saltació i s'estableix una interacció intensa entre les partícules sòlides.
3. Fluxos (*mud flow* o *debris flow*, en anglès): la concentració de càrrega sòlida és superior al 47% que fa que la interacció entre partícules sòlides ja sigui constant i intensa.

La fase sòlida pot tenir una granulometria que va des de la fracció argiloses a blocs rocosos de mida considerable a més de contenir elements vegetals, generalment troncs arrencats pel propi flux. D'acord a la granulometria dels fluxos distingim les colades de fang (*mud flow*, en anglès) en les quals les partícules sòlides són fines, fins a corrents d'arrossegalls (*debris flow*, en anglès) que poden involucrar blocs de fins a varis metres cúbics.

Com s'ha indicat, quan en un corrent la proporció sòlids, en volum, és inferior al 20% el procés es classifica com a riuada o torrentades convencionals, i l'establiment de la seva perillositat s'estableix mitjançant estudis d'inundabilitat. En aquest cas, són els organismes

de Conca Hidrogràfica els que vetllen pel compliment de la normativa sectorial d'acord el que estableix la Llei. La present guia s'ocupa dels altres dos tipus de fluxos.

Classificació dels fluxos en funció de la zona de sortida

Els fluxos que tenen lloc en les conques de torrents i fons barrancs els anomenem fluxos de torrent (Figura 1). Els mecanisme d'activació d'aquest tipus de fluxos són les esllavissades laterals del marge del barranc o l'erosió intensa de la llera per efecte d'una crescuda del cabal d'aigua en el torrent.



Figura 1.- Àrea font de formació de fluxos de torrent, Erill la Vall (Alta Ribagorça). Font: ICGC

Els fluxos que s'inicien en un vessant obert sense una configuració marcada de la conca es classifiquen com a fluxos de vessant. 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 adopti la dinàmica de flux.



Figura 2.- Flux de vessant a Era Abelha, a la riba dreta de riu Valarties, 11 de maig de 2018. $V=52.000m^3$ de volum mobilitzat (M4) (font: Conselh Generau d'Aran).

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

Represa de distincions fetes al cos de la memòria

Els fluxos generen moviments de massa ràpids o molt ràpids que assoleixen velocitat de fins a 15 m/s de forma que es consideren fenòmens espontanis, fet que quan es produeixen limita la capacitat de reacció. Presenten també una motricitat molt elevada de manera que la seva trajectòria o propagació té unes dimensions molt superiors a l'espai on s'origina. En un flux complet es poden distingir tres zones:

- *Zona de sortida*: lloc en el qual es genera el moviment de la fase sòlid del flux associada a una inestabilitat o erosió intensa.
- *Zona de trànsit*: zona de recorregut en què s'assoleix la major velocitat del flux i també ser generadora de materials que s'incorporen al flux per efecte de l'erosió, que pot anar alternant-se amb dipòsits parcials, segons el balanç de forces motrius i resistents fortament controlat pel pendent del terreny.
- *Zona d'arribada*: lloc en el qual el flux perd velocitat i diposita el material mobilitzat de forma contínua fins a aturar-se.

Riscos associats als fluxos

El potencial destructiu i la perillositat de fluxos deriva de l'alçada i velocitat que assoleixen 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 assoleix, li confereix al flux una alta capacitat erosiva i la possibilitat de generar un impacte dinàmic quan aquest intercepta un obstacle en la seva trajectòria. D'aquesta manera els efectes més perillosos associats als fluxos són: la seva alta capacitat erosiva que pot descalçar estructures; la pròpia inundació pel flux i els aterraments per dipòsit dels sòlids; l'impacte sobre elements d'edificació o d'altres infraestructures amb una força destructiva.

Un altre efecte perillós és la capacitat dels fluxos de generar represes a les vall principals. Com a conseqüència de la seva elevada mobilitat i a la seva tendència a canalitzar-se cap als barrancs, els fluxos de grans dimensions poden assolir el fons de la vall principal i provocar un efecte de presa o obstacle als cursos fluvials de major rang que n'afecti el seu comportament aigües amunt i aigües avall.

A3.2. Susceptibilitat de fluxos torrencials

Factors que condicionen la formació de fluxos.

La susceptibilitat del terreny de generar fluxos torrencials està determinada per tres factors:

- La morfologia del terreny: la morfologia del terreny, el pendent i la superfície de la conca determinen el potencial desenvolupament i l'espai de propagació dels fluxos. La dinàmica de fluxos torrencials es desenvolupa en conques hidrològiques de muntanya de fort desnivell i àrea moderada, en què els temps de concentració de l'escolament de l'aigua superficial són breus i poden originar polsos de crecuda de cabal sobtats, fins i tot amb ruixats locals.

- La disponibilitat de material: la presència de material erosionable, ja sigui un sòl amb matriu argilosa o llimosa poc consolidat, materials detrítics més grollers o, fins i tot, una roca molt alterada, sobre els vessants inclinats de la conca permet que una crescuda torrencial incorpori aquesta material de forma ràpida i el transporti en forma de corrent d'arrossegalls. Les característiques del material a tenir en compte són la granulometria (sobretot la fracció inferior a 0,08mm i el seu índex de plasticitat), el grau d'alteració i el gruix de la formació. En aquest punt cal destacar els tills glacials associats a morenes com a material molt favorable a generar fluxos en zones del Pirineu.
- La meteorologia i les condicions ambientals: aquests factors inclouen les condicions ambientals que controlen la disponibilitat d'aigua en l'activació dels fluxos. Pel que fa al precipitació els paràmetres més determinats són la durada de l'esdeveniment i la pluja acumulada i en segon terme la intensitat puntual. També la saturació prèvia del terreny és un factor a tenir en compte com a desencadenant de flux. A part de l'escolament superficial, les surgències d'aigua subterrània també poden ser determinants en la formació de fluxos de vessant.

Factor clau de la morfologia de terreny, la morfologia de conca i el pendent del terreny.

En general, els fluxos amb major perillositat es poden donar preferentment en les conques mitjanes amb gradients elevats que impliquen temps de concentració baixos.

Per a l'anàlisi de la morfologia de la conca es recomana seguir els criteris establerts a partir de Wilford *et al.* 2004¹ i treballs derivats. Aquesta metodologia permet obtenir una valoració de la capacitat de la conca hidrogràfica per generar fluxos torrencials. En base a diferents paràmetres morfomètrics de la conca (Figura 3) i de les relacions entre ells es determinen quina capacitat té en una conca per generar els diferents tipus de fenòmens: torrentades, fluxos hiperconcentrats o fluxos.

- Longitud de la conca L (km): distància recorreguda en planta de l'àpex al punt més distant del contorn de la conca
- Desnivell total de la conca H (km): diferència de cota entre l'àpex i el punt més elevat de la conca
- Relació de Rellu $R = H/L$ (adimensional)

¹ Wilford DJ, Sakals ME, Innes JL, Sidle RC, Bergerud WA (2004). Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. Landslides 1:61–66. DOI: 10.1007/s10346-003-0002-0

Annex 3. Fluxos

- Àrea de la conca A (km^2): superfície planimètrica tributària a l'àpex de sortida de la conca
- Índex de Melton $M = H/\sqrt{A}$ (adimensional)
- Proporció de pendents $B3040$ (%): proporció d'àrea planimètrica de la conca amb un pendent entre 30° i 40° respecte el total

Fora dels líndars establerts per Wilford és possible que es generin dinàmiques que no corresponen al grup, però el que sí indiquen és la tendència general a que es produeixi un fenomen o un altre en una determinada conca (Taula 1, Figura 4). Per aquest motiu es proposa de comprovar i contrastar els 4 criteris diferents que es recullen la figura, per tal de conèixer zones de transició o mixtes.

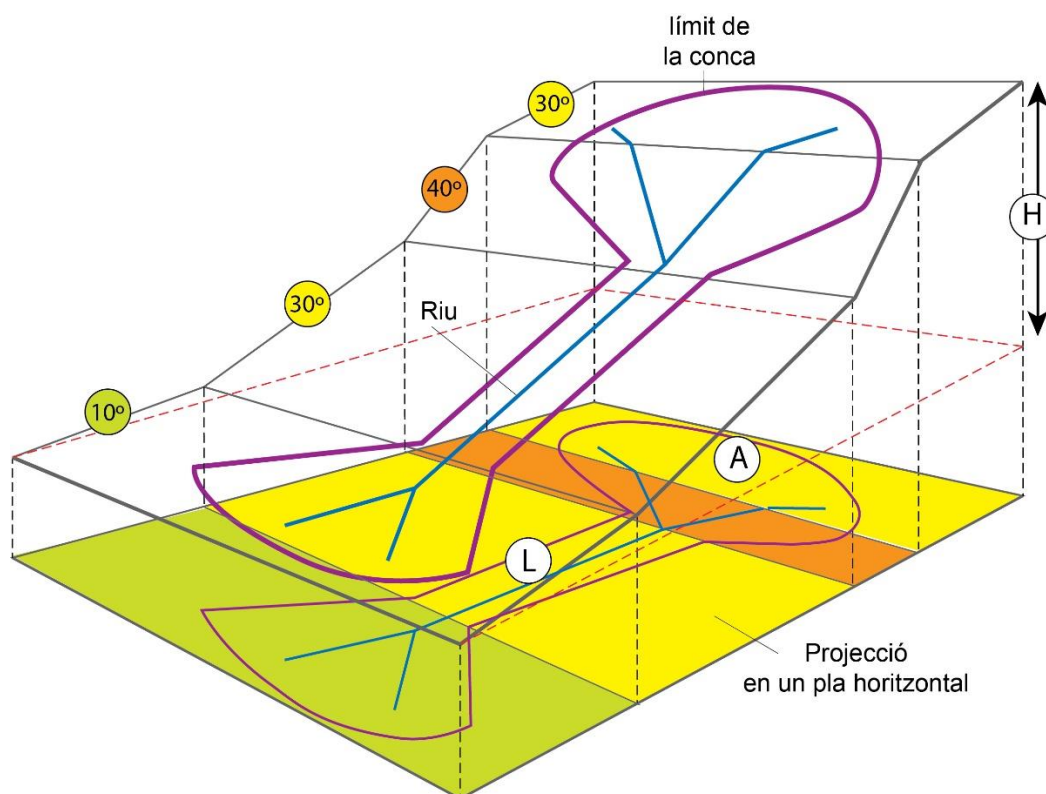


Figura 3.-representació dels principals paràmetres morfomètrics de la conca

Annex 3. Fluxos

Taula 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)	$B_{3040} < 4,5$ o $L > 9$	$4,5 < B_{3040} < 18$ i $L < 9$ o $B_{3040} > 18$ i $2,7 < L < 9$	$B_{3040} > 18$ 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 $L < 2,7$

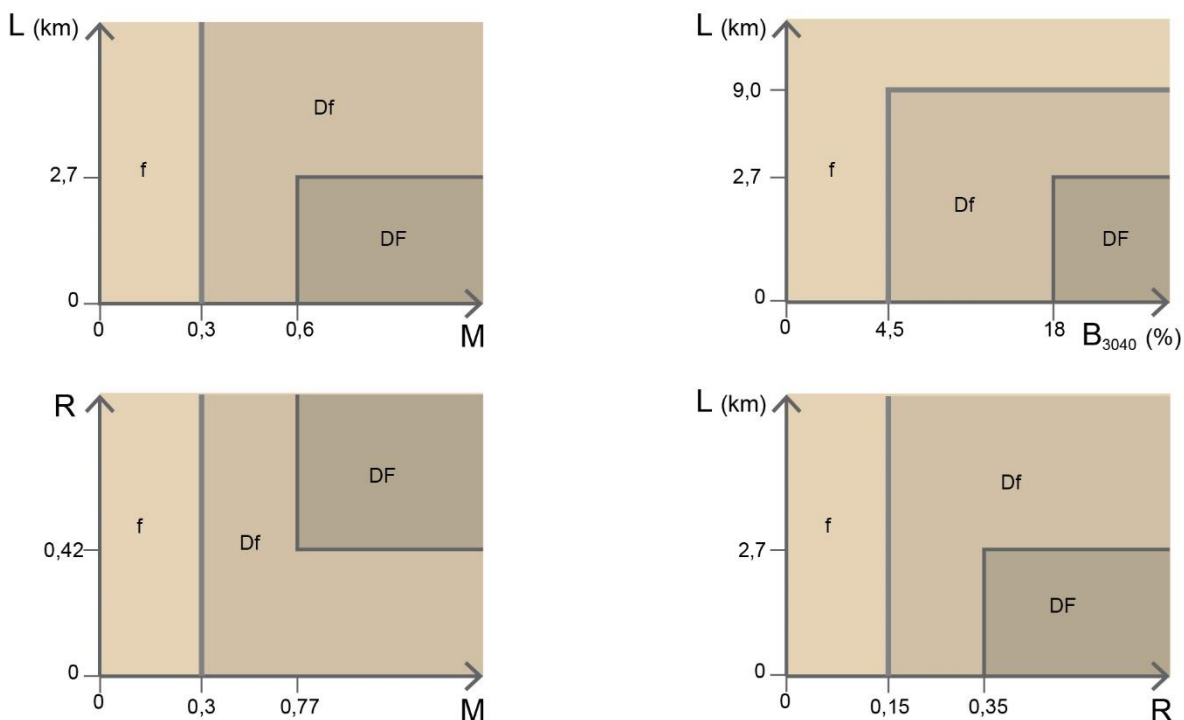


Figura 4.- Esquema gràfic de discriminació entre els diferents tipus de dinàmiques torrencials. Adaptada de Wilford et al. (2004) L: longitud de la Conca R: índex de Relleu, M: Índex de Melton, B₃₀₄₀ proporció d'àrea de la conca amb un pendent entre 30° i 40°. f: riuada, Df: Fluxes hiperconcentrats, DF: corrents d'arrossegalls.

Malgrat que els mètodes morfomètrics indiquin que no hi ha unes condicions específiques per la generació de fluxos d'arrossegalls, és imprescindible contrastar aquest tipus d'anàlisi amb els indicis d'activitat anterior en el reconeixement del terreny. Altres autors plantegen altres paràmetres morfomètrics de la conca, com la mida mínima de la conca, i de les relacions entre ells derivats d'estudis locals. 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 límits de referència.

La disponibilitat de material

Per tal que es generi un corrent d'arrossegalls, a més d'una morfologia propensa, cal que hi hagi material erosionable disponible. Quan més disponibilitat de material mobilitzable més perilloses s'han de considerar les conques, ja que amb major facilitat o recurrència pot implicar major magnitud dels fenòmens.

La fotointerpretació amb les bases cartogràfiques i el reconeixement del terreny són les tasques principals per avaluar l'existència de material disponible de ser remogut, tenint en compte en quina disposició d'activació es troba. La cartografia geològica del Mapa Geològic de Catalunya a escala 1:50.000 només recull formacions superficials de gran extensió, i sempre que es disposi serà preferible el mapa a escala 1:25.000 com a punt de partida. En qualsevol cas, cal el reconeixement a escala local per concloure el factor de sòl mobilitzable, tant per erosió, com esllavissada.

El factor meteorològic i ambiental d'aportació d'aigua

Finalment, els factors meteorològics i ambiental són els que propicien el desencadenament dels fluxos per l'aportació de l'aigua. Aquest factor no és determinant en l'anàlisi de la susceptibilitat, ja que la susceptibilitat correspon a una caracterització espacial dels llocs en els quals hi ha les condicions del terreny propenses a generar fluxos. Per contra, com a factor desencadenant, sí que té un paper rellevant en l'establiment de la freqüència en que es poden produir els fluxos. En aquest sentit, cal que l'EIRG faci una contextualització climàtica i, en particular, en termes de precipitació, tant per quantitats acumulades com per intensitat, i una particularització a la conca d'estudi en la mesura que sigui possible.

La susceptibilitat del terreny de generar fluxos

Una anàlisi regional mitjançant SIG dels factors del terreny i de disponibilitat, permet fer una aproximació a la perillositat de sortida, sobretot en termes comparatius entre conques,

que pot ser molt útil per ajustar les valoracions de l'EIRG. En aquest sentit es recomana contextualitzar amb estudis de recerca com Hürlimann *et al.* 2016².

A3.3. Potencial de propagació

Considerar tota la susceptibilitat d'abast

A les zones identificades com a susceptibles de generar fluxos, d'acord a l'exposat a l'apartat anterior, cal considerar el potencial de propagació i, en conseqüència, considerar susceptible d'afectació tota l'àrea on pugui arribar el seu abast.

Alternança erosió – dipòsit, i el volum d'un flux

Com s'ha dit, la mobilitat dels fluxos depèn molt de la proporció entre les fases sòlida i líquida i del vessant o barranc en els qual es desenvolupen. Com a moviment gravitacional, el pendent juga un paper molt important en la seva dinàmica i el seu abast. Resulta molt freqüent que al llarg del recorregut es produeixin dipòsits parcials en zones de menor pendent o eixamplament on es redueix la velocitat del flux, morfologies que actuen de trampes de sediments. Així mateix, si al llarg del recorregut hi ha material erosionable, també es poden produir incorporacions de material.

En conseqüència, pot ser difícil valorar el volum o massa mobilitzats per un flux, que també està relacionada per la densitat del dipòsit, que pot ser variable. Per això quan és valora les dimensions i la mobilitat d'un flux, convé distingir a què corresponen, si al material mobilitzat inicialment, a la totalitat del material mobilitzat, o només a la zona d'arribada i dipòsit principal.

Els cons de dejecció: lloc preferent de dipòsit de fluxos: font d'informació.

Malgrat això, sovint es produeix un dipòsit principal a la part frontal del flux quan el flux assoleix el peu de vessant on hi ha una reducció brusca del pendent generat el que s'anomena con de dejecció. Aquesta és una morfologia determinant en la identificació de dinàmiques torrencials i esdevenen una font d'informació principal en el reconeixement del

² Hürlimann M, Lantada N, González M, Pinyol J (2016). Susceptibility assessment of rainfall-triggered flows and slides in the central-eastern Pyrenees. In Aversa et al. (Eds) Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice. Associazione Geotecnica Italiana, Roma, Itàlia, ISBN 978-1-138-02988-0.

terreny, ja que les formes sedimentàries al con són reflex de la tipologia i comportament dels fluxos que els han originat.

L'àpex es defineix com el vèrtex superior del con, on arriben els successius episodis torrencials, i és un punt d'una elevada incertesa en termes de trajectòria, ja que sovint es passa d'una configuració canalitzada i còncava, en sentit transversal a la trajectòria, a una d'oberta i convexa. Els fluxos de menor dimensió tenen una major propensió a seguir els la llera del curs vigents d'aigües baixes. No obstant els fluxos de majors dimensions les condicions de geomorfològiques poden variar instantàniament de forma que el flux pot prendre noves trajectòries més enllà de les lleres.

Limitació de l'EIRG a abast màxim, no probabilitats

La delimitació de les probabilitats d'arribada dels fluxos al llarg de la zona de dipòsit requereix de càlculs de la dinàmica torrencial que s'han de basar en uns escenaris de sortida representatius de diferents períodes de retorn. Aquesta és una tasca pròpia d'estudis de zonificació del perill i no s'exigeix per a l'EIRG. Però sí que és objecte de resolució per l'EIRG la determinació de l'abast màxim d'acord amb els escenaris de perillositat que es considerin de referència. Aquesta ha de ser una avaluació prudent en correspondència amb les incerteses del coneixement, o altrament dit, un valor d'abast màxim versemblant. En aquest sentit, encara que un sol flux no ocupi tota l'amplada del con, cal tenir present les trajectòries divergents i amb dispersions poden tenir els fluxos en situacions diferents.

Riscos derivats a context fluvial

Finalment, quan s'observi aquesta possibilitat, cal remarcar els riscos derivats que els fluxos torrencials poden tenir sobre els cursos fluvials als qual tributen. Més enllà de la simple aportació de material sòlid al riu, el dipòsit pot distorsionar el curs i fer efecte de represa i bloqueig del drenatge o desviació. Aquests possibles efectes s'han de posar de manifest perquè siguin considerats en els estudis d'inundabilitat.

A3.4. Recursos cartogràfics i documentals pel coneixement dels fluxos

Mapa de Prevenció dels Riscos Geològics MPRG25m.

Per a l'estudi de la distribució espacial de fluxos torrencials a Catalunya es disposa d'una informació de base que és el Mapa per a la Prevenció dels Riscos Geològics (MPRG25m) a escala 1:25.000. Aquesta cartografia temàtica està en procés d'elaboració per fulls successius i no té encara una cobertura general de Catalunya. En els fulls que correspon, el MPRG25m incorpora informació actualitzada i valorada del sobre fluxos torrencials per configurar una visió de multi-perillositat.

En el MPRG25m delimita la perillositat de les zones que poden ser afectades per fluxos torrencials a partir de la cartografia d'inventari, determinació de la susceptibilitat i determinació de la perillositat. Per cada perill considerat la perillositat delimitada es classifica en alta, mitjana i baixa, i es representa amb una gradació de colors. En les àrees que es delimiten com a tal, s'ha identificat que al llarg del temps s'han produït fluxos torrencials de diferents dimensions. El seu límit ve donat a partir de l'extensió màxima que l'estat de coneixement del moment d'elaboració de la cartografia ha permès identificar.

Com es complementen el MPRG25m i el EIRG

En resum, el MPRG25m avança bona part de la tasca d'anàlisi de susceptibilitat que se li exigeix a l'EIRG. Però en cap cas es pot considerar completa, per diferents motius:

- L'escala de treball de l'EIRG és més detallada que la regional del MPRG25m, de manera que poden aflorar noves problemàtiques relacionades amb fluxos torrencials o d'altra mena.
- El MPRG25m té una data de publicació i pot haver-hi noves dades disponibles que en modifiquin alguna interpretació.

Així doncs, l'EIRG no pot aplicar el MPRG25m com a resultat d'una translació automàtica, sinó que s'ha d'utilitzar com a referència sobre la qual haurà de revisar totes les dades noves que pugui haver-hi derivades de nous estudis o de l'activitat d'esllavissades en sentit ampli. Alhora, n'haurà de fer una lectura particularitzada a l'escala de detall que correspon a l'EIRG, amb la interpretació sobre terreny.

Cartografia geomorfològica d'inundabilitat i cons de dejecció.

Per a l'estudi de la distribució espacial de fluxos torrencials a Catalunya es disposa també d'una informació de síntesis elaborada per l'Agència Catalana de l'Aigua i l'ICGC l'any 2005

pel pla de Protecció Civil INUNCAT. Aquesta cartografia temàtica cobreix tot l'àmbit de Catalunya i identifica les formacions geomorfològiques que es poden assimilar a cons de dejecció. Si bé no especifica si els cons de dejecció són funcionals aporta una primera informació de la possibilitat que es produeixin fluxos.

S'entén com a zona de con de dejecció l'àrea de peu de vessant i d'arribada de xarxa hidrològica dins la qual al llarg del temps s'han produït diferents fluxos torrencials que han provocat el dipòsit amb morfologia de con de dejecció. El seu límit ve donat a partir de l'extensió màxima que s'ha identificat en el moment d'elaboració de la cartografia, amb la limitació de detall i detecció de la seva escala de treball.

Totes les zones així obtingudes tenen una delimitació cartogràfica de polígon cobrint la zona d'arribada aparent. És molt important destacar que la delimitació de zones d'arribada pot ser superada en certs casos, ja que no té el sentit d'abast màxima versemblant ni deriva d'un càlcul de propagació. Tampoc dona idees de la seva funcionalitat actual. En conseqüència, aquests aspectes són els principals que ha de complementar un EIRG a partir de la consulta del mapa per tal d'afrontar la valoració de la perillositat.

Altres fonts d'informació; Lliscat, inventaris, etc...

A més d'aquests recursos, la base documental de l'ICGC pot aportar altra informació valuosa per a l'estudi, tal com són els inventaris de fenòmens. LLISCAT és la base de dades desenvolupada pel Departament d'Enginyeria del Terreny de la Universitat Politècnica de Catalunya amb el suport de l'Institut d'Estudis Catalans i gestionada per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Fa accessible les informacions disponibles dels moviments del terreny als organismes oficials i administracions, a la comunitat científica, tècnica i professional, i als ciutadans en general.

A3.6. Escala de magnitud per als fluxos

Tal com s'ha dit, el plantejament de l'escala de magnitud en aquesta guia s'inspira en l'escala de mida d'allaus que, de fet tenen força similituds amb els fluxos. En concret per a corrents d'arrossegalls Jakob 2005³ va proposar una escala de magnitud des de les mateixes premisses, que encaixa amb el plantejament d'una primera valoració de la perillositat. Sense oblidar la magnitud com a potencial destructiu, vincula la gradació a una escala exponencial del volum. L'escala de Jakob, estableix 10 graus que permet cobrir fins al fluxos majors coneguts a la terra, essent la meitat superior bàsicament associada a grans inestabilitats de materials volcànics, que no tenen lloc en les dinàmiques geològiques que operen a Catalunya. L'escala adoptada a l'EIRG és propera als 5 primers graus de l'escala de Jakob, sense arribar a ser coincidents, de tal manera que l'escala de Jakob pot servir de referència en certes anàlisis, però l'EIRG ha d'expressar les seves valoracions de perillositat en base a la pròpia escala de magnitud establerta.

Aspectes a considerar a la magnitud

Malgrat que la magnitud en estudis EIRG es defineix en base al seu potencial destructiu, també s'indiquen elements mesurable per tal d'orientar la valoració de la magnitud per altres criteris. Pels fluxos s'adopten diverses variables complementàries, que permeten diferents aproximacions a la solució. Totes elles estan relacionades amb les tres de l'escala de Jakob, que son: el volum mobilitzat, el pic de descàrrega o cabal màxim i l'àrea afectada. Els valors guarden proporció amb els rangs que Jakob proposa per als fluxos detrítics no volcànics, ja que aquests segons tenen una mobilitat molt superior, però no son presents a Catalunya. La figura adjunta pot ajudar en la visualització de l'escala de magnitud per a fluxos torrencials (Figura 5).

³ Jakob M (2005). A size classification for debris flows. Engineering Geology 79: 151–161

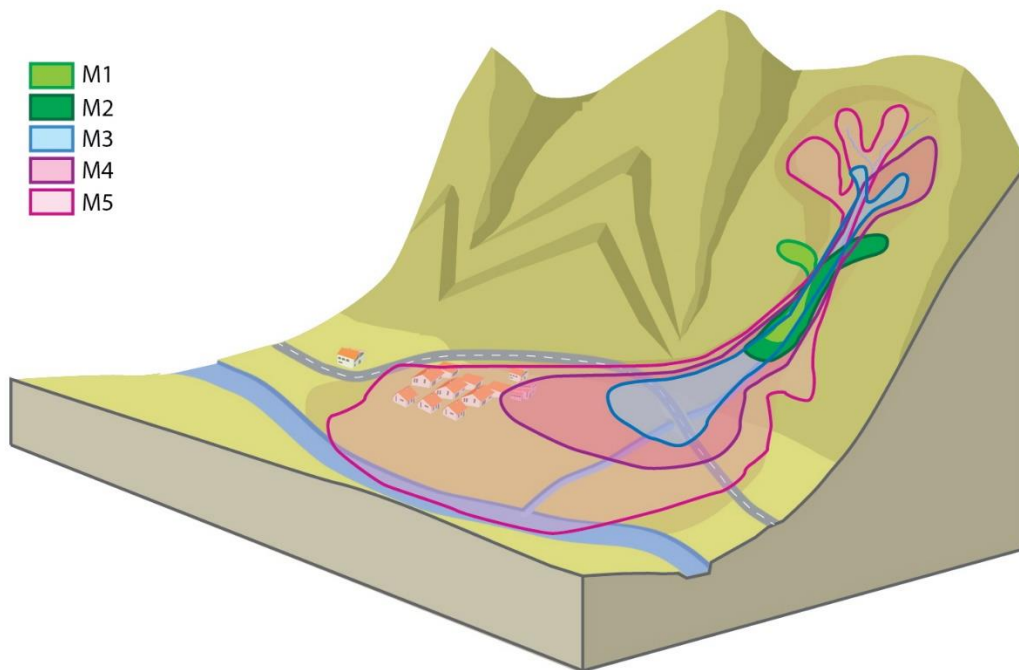


Figura 5.- Esquema il·lustratiu dels graus de magnitud en cas de fluxos torrencials. Adaptada de Jakob (2005).

Així doncs, pel fluxos considerem: el volum total del flux (V), que guarda relació amb la massa total mobilitzada d'acord amb la densitat segons la composició del flux; la longitud recorreguda (L) en planta, que es correlaciona amb el desnivell segons la configuració del vessant; l'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; i el gruix (g) i àrea (A) de dipòsit, que es relacionen de nou amb el volum però en la disposició d'arribada.

Taula de l'escala

Taula 2. Exemples de configuració de fluxos de diferent grau de Magnitud. Es gradua segons les principals variables geomètriques de la dimensió del fenomen, i les dinàmiques del moviment que determinen l'impacte del flux. V: volum total de terreny mobilitzat; L: longitud recorreguda pel flux en planta des de coronació de l'erosió al front de màxim abast; h: altura del flux en la zona de trànsit; v: velocitat que pot desenvolupar el flux a la zona de trànsit; g: gruix major a la zona de dipòsit; A: àrea ocupada a la zona de dipòsit.

V (m ³)	L (m)	h (m)	v (m/s)	g (m)	A (m ²)	Magnitud corresponent
30	30	1	1	0,5	200	M1
300	100	2	2	1	1.000	M2
3.000	300	3	4	2	5.000	M3
30.000	1.000	4	8	4	30.000	M4
300.000	3.000	5	16	8	200.000	M5

Annex 4: Enfonsaments (subsidiència i col·lapses)

Annex 4: Enfonsaments (subsidiència i col·lapses)	2
A4.1. Definicions	2
A4.2. Mecanismes que generen enfonsaments del terreny	2
A4.3. Mecanismes que propaguen l'enfonsament del terreny cap a la superfície	5
A4.4. Susceptibilitat d'enfonsament	8
A4.5. Indicis d'activitat	11
A4.6. Perillositat del enfonsaments	13
A4.7. Escenaris de dany amb diferents graus de perillositat	16

Annex 4: Enfonsaments (subsidiència i col·lapses)

A4.1. Definicions

Es classifiquen com enfonsaments les deformacions de la superfície del terreny que tenen una component principalment vertical no vinculada a moviments de vessant. La velocitat de les deformacions pot ser lenta i progressiva, en aquest cas parlem de subsidiència, o ràpida i sobtada, cas en què parlem de col·lapses. El present annex descriu el conjunt de factors que controlen els enfonsaments i com es valoren a efecte d'identificació del risc geològic.

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. Aquest fenomen potser el resultat d'uns mecanismes geològics naturals o induïts, que entre els més habituals es destaquen: i) la dissolució càrstica; ii) el tancament de cavitats artificials tals com mines i túnels; iii) la consolidació de sediments o compactació; iv) la saturació de sòls col·lapsables o v) l'activació de moviments profunds complexos. Aquests mecanismes generalment no són 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 enfonsaments es classifiquen per tant com un fenomen continu i no renovable que genera efectes acumulatius.

El dany que provoquen els enfonsaments sobre edificacions i infraestructures deriva de la transmissió de les deformacions del terreny cap a les estructures, en particular quan aquest moviment no és uniforme sinó que genera una enfonsament diferencial, és a dir, afecta amb diferents magnituds a les parts d'un element exposat. D'aquest assentament diferencial entre dos punts, posat en relació a la distància que els separa se'n deriva el concepte de distorsió angular, tal com es detallarà més endavant.

A4.2. Mecanismes que generen enfonsaments del terreny

Per tal d'establir la perillositat d'enfonsaments del terreny cal estudiar els indicis d'activitat dels processos que els ocasionen; aquest poden ser la presència de materials susceptibles a generar enfonsaments en el subsol, la identificació de morfologies del terreny o bé el efectes i danys resultants sobre les estructures o edificis.

En aquest document es denomina nivell actiu o capa activa el nivell o capa del terreny en la que es generen els enfonsaments. De la mateixa forma s'anomena nivell passiu o capa passiva la porció de terreny entre la capa activa i la superfície. La intensitat i l'evolució del fenomen depèn de la velocitat del fenomen a la capa activa, que alhora depèn de la naturalesa del material i altres variables tals com les condicions hidrogeològiques.

La forma com els enfonsaments es manifestin en superfície depèn a més de la naturalesa i gruix capa passiva que és la que transmet aquest moviment.

Es distingeixen 6 mecanismes principals generadors d'enfonsament del terreny:

1.- Dissolució del substrat (carstificació)

La pèrdua de volum en la capa activa es produeix per la migració de material per efecte de la dissolució. La velocitat en què es produeix la pèrdua de volum dependrà de 2 factors: i) la solubilitat del substrat; ii) les condicions de circulació de l'aigua en l'esmentat substrat com a dissolvent. De més soluble a menys soluble distingim els següents tipus de roques: roques salines (halita, silvita), guixos en sentit ampli (guix i anhidrita), carbonats (calcària i dolomia) i altres roques de solubilitat baixa.

En determinats casos, les condicions geològiques que van donar lloc a la formació d'estructures càrstiques, en l'actualitat no són operatives o bé els processos es donen de forma ja molt alentida. En aquests casos no solen comportar una elevada perillositat ja que els índex d'activitat són molt baixos, i el perill residual de col·lapse d'estructures càrstiques existents es limita si aquestes són conegudes. Aquesta casuística es dona sobretot en massissos càrstics carbonàtics no funcionals, com per exemple el Garraf o els carst desenvolupats en zones pirinenques.

2.- Tancament o esfondrament d'excavacions subterrànies

En aquest cas la pèrdua de volum en el nivell actiu es produeix per l'enfonsament o tancament progressiu de cavitats artificials en el subsol que inclouen túnels, cavernes, galeries d'explotació minera o mines d'aigua.

3.- Consolidació per variacions del nivell freàtic

La pèrdua de volum es produeix per la compactació de sediments. Aquesta consolidació pot anar associada a l'explotació d'aqüífers amb rebaixos significatius del nivell freàtic que poden provocar la consolidació de sediments normalment consolidats.

4.- Assentament de rebliments antròpics

Els rebliments són molt presents en la urbanització d'espais o construcció d'infraestructures, en tant que es precisi d'adequació del terreny a morfologies planeres o regulars. L'alternança de rebaix i reblert en espais adjacents magnifiquen la possibilitat d'assentaments diferencials, que son origen de danys a les estructures. En aquest sentit, a més de valorar la naturalesa intrínseca del reblert, resulta rellevant la seva distribució en l'espai i la variabilitat de gruix.

La qualitat geotècnica dels rebliments antròpics de terres depèn de la naturalesa dels materials de rebliment i del procés constructiu en que s'hagin emplaçat. En aquest sentit, es distingeixen els terraplens en què les terres es disposen per capes successives amb compactació dels abocaments sense tractament. D'aquests factors se'n deriva la susceptibilitat a l'assentament, ja sigui per processos de compactació, dissolució o migració de partícules fines. En tots ells hi té un paper fonamental la presència de nivell freàtic i la circulació d'aigua en el cos del reblert. Si els materials abocats són orgànics o són molt heterogenis l'enfonsament per compactació pot arribar a ser molt important.

Cal considerar que sovint els serveis de subministres es troben situats en reblerts. En particular les canalitzacions de subministrament d'aigua i de clavegueram poden ser factors de retroalimentació de patologies. En cas de fuga d'aigua aquesta pot activar processos d'enfonsament i, alhora aquests moviments provocar trencaments en conduccions i fuites.

5.- Presència de sòls expansius

La presència d'argiles expansives o anhidrites pot comportar moviments verticals del terreny. Aquest moviments van associats a les variacions de les condicions d'humitat a les primera capes del subsòl que provoquen uns mecanismes físico-químics en l'esquelet mineral són capaços de produir pressions d'inflament elevades i contraccions.

6.- Presència de sòls col·lapsables

Els sòls col·lapsables, poden experimentar una disminució brusca de volum en saturar-se d'aigua. Els efectes del col·lapse poden manifestar-se en forma de assentaments sobtats del terreny de caràcter centimètric fins decimètrics en presència d'aigua o saturació dels mateixos. Més rarament pot donar-se assentament d'algun metre i en casos extraordinaris de desenes de metres. Si aquests moviments del terreny o col·lapses es produeixen a nivell de fonamentació d'una edificació poden provocar el seu moviment, que alhora es transmès al conjunt de l'edifici.

7.- Moviments complexes

Aquests diferents mecanismes poden presentar-se de forma combinada, derivant en moviments profunds complexes. En aquesta tipologia s'inclourien els moviments que van experimentar el barri de l'Estació de Sallent lloc en el qual es va produir una combinació de l'assentament d'unes antigues mines de sal i la presència d'una gran cavitat.

A4.3. Mecanismes que propaguen l'enfonsament del terreny cap a la superfície

En una secció vertical d'un terreny en el que s'estan produint enfonsaments podem distingir la capa o nivell activa (en la qual es donen els processos i la pèrdua de volum) i la capa o nivell passiva situada per sobre seu, no sempre present. La manifestació del moviment en superfície està controlada per aquesta estructura, amb influència de diferents factors: i) la profunditat en la qual es troba la capa activa ii) la potència de la capa passiva; i iii) la naturalesa de la capa passiva.

Podem distingir quan la pèrdua de volum es produeix en una zona profunda (>60m), intermèdia (entre 60 i 15m) o superficial (<15m), aspecte que condiciona les alternatives de correcció o mitigació.

Anomenem con de subsidiència el terreny en el qual es concentra major desplaçament vertical. En general els moviments més profunds donen lloc a cons d'enfonsament més amplis i més laxos i els més superficials a cons d'enfonsament més localitzats i abruptes (Figura 1). En la forma dels cons també influeix si l'origen de l'enfonsament és focalitzat (tal com una cavitat, túnel, o patologia geotècnica localitzada i aguda) o una capa activa extensa i uniforme (tal com terrenys sedimentaris amb consolidació per variació del nivell freàtic). En el contorn del con sol ser els llocs en els quals s'origina més gradient d'assentament en superfície i per tant és el més perillós per edificis i estructures. Aquestes consideracions són importants quan es coneix la distribució de les cavitats en el subsòl com pot ser el cas de mines, galeries d'aigua o túnels.

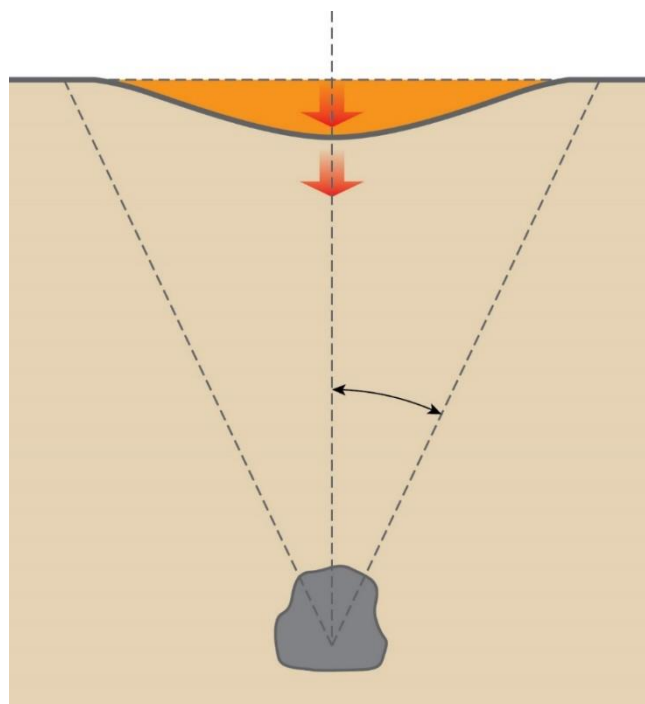


Figura 1: Esquema simplificat de formació d'un conus de subsidiència.

Transmissió de pèrdua de volum cap a la superfície en un medi rocós

La forma dels cons depèn essencialment de la resistència dels materials a la cisalla. En els terrenys de resposta friccional els cons són més oberts mentre que en els terrenys més cohesius els cons són més tancats. En el cas d'una capa passiva rocosa el con de projecció de la cavitat sol ser molt verticals de manera que resten molt propers als propis límits de les cavitats. En aquest sentit, és possible que quan la cobertora sigui rocosa i presenti estructures com ara falles o diàclasis aquestes estructures condicionin o concentrin una part de la deformació de manera que l'assentament es pugui manifestar algun tipus d'alineació.

Transmissió de pèrdua de volum cap a la superfície en un sòl cohesiu

Quan la cobertora és constituïda per sòls cal distingir clarament dues situacions entre sòls cohesius (amb cimentació o component argilosa) i sòls granulars (graves i sorres). Quan la transmissió de la pèrdua de volum cap a la superfície es produeix a través d'un material cohesiu pot generar configuracions propenses a una trencada ràpida de tipus col·lapse. Això és causat per la resistència que mostra un material cohesiu fins poc abans de la trencada (Figura 2 i Figura 3).

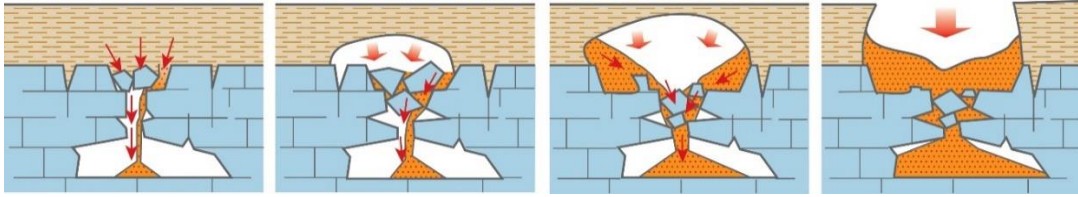


Figura 2.- Esquema gràfic de dolines en medis cohesiu (Adaptat de: USGS, Cover-subsidence type of sinkholes, <https://www.usgs.gov/media/images/cover-subsidence-type-sinkholes>).



Figura 3.- Enfonsament de col·lapse al sector dels Joncarets de Sùria (font ICGC).

Transmissió de pèrdua de volum cap a la superfície en un sòl granular

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 4 i Figura 5).

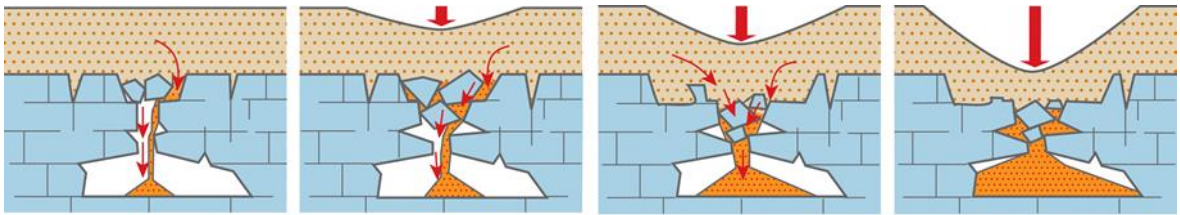


Figura 4.- Esquema gràfic de dolines en medis granulars (Adaptat de: USGS, Cover-subsidence type of sinkholes, <https://www.usgs.gov/media/images/cover-subsidence-type-sinkholes>)



Figura 5.- Enfonsament en una cobertura de terreny granular a Gerb (La Noguera) (font ICGC).

A4.4. Susceptibilitat d'enfonsament

Configuració del subsol.

La configuració del subsol, propietats i evolució seran els factors que indicaran la susceptibilitat del mateix de patir fenòmens d'enfonsament. Cal valorar la presència dels sis mecanismes que generen possibilitat de pèrdues de volum, presentats anteriorment, així com els factors condicionants, tals com la presència i circulació d'aigua.

Solubilitat de la capa activa

Es consideren sectors susceptibles a patir enfonsament aquells en el que hi ha la presència d'una litologia de mitjana a alta solubilitat (sals o sulfats) en el subsol en profunditats moderades (<60m). En el cas de que el substrat sigui carbonatat (calcàries

i dolomies), l'activitat càrstica és pràcticament negligible. En aquest cas, però, caldrà tenir en compte la possibilitat de que hi hagi un mecanisme actiu en la cobertora, com seria el cas de dolines o avencs recoberts per materials quaternari que propiciessin l'arrossegament de partícules cap aquests avencs.

Cavitats i excavacions subterrànies

També cal tenir en compte la possibilitat d'existència de cavitats subterrànies artificials, en el cas d'entorns urbans túnels d'infraestructures, serveis o mines d'aigua. En el cas de zones en la que es conegui que s'ha explotat recursos de forma subterrània, la presència de les antigues galeries o sales d'explotació. En el cas que hi hagi explotacions mineres, la superfície i els límits de les concessions s'entendran com a terrenys susceptibles a patir enfonsaments.

Rebliments

Entre el 1950 i el 2020 van tenir lloc grans moviments de terres tant en l'àmbit de l'obra pública com d'urbanització, que van transformar significativament el territori. Els reblerts efectuats van ser de qualitat molt variable i per tant quan es detecten han de ser objecte d'identificació i caracterització. La comparació de fotografies aèries antigues i bases cartogràfiques, tals com ortofotografies i models d'elevacions del terreny son les eines de primera instància per a aquesta tasca. Cal contrastar aquesta localització de cossos de reblerts amb l'antic relleu i canals naturals de drenatge que puguin estar afectant l'interior del reblert.

En particular, es valoraran com a zones susceptibles de patir enfonsaments totes aquelles pedreres que han estat reblertes amb dipòsits no controlats o sense compactació (Figura 7).



Figura 6.- Enfonsament d'un reblert a la plaça d'Isòp (4/11/2011) Font: diari Avui, Andreu Puig (<http://www.elpuntavui.cat/article/472208-tapen-lesvoranc-de-la-teixonera-amb-formigo.html>)

En relació a la presència de sòls expansius o col·lapsables, es important revisar de les dades geotècniques disponibles de les unitats presents a l'àmbit d'estudi. En aquest sentit pot ser un recurs d'informació de partida la Base de Dades de Sondejos de Catalunya (BDSoc) que recull sondatges geotècnics [Geoíndex - Prospeccions geotècniques. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya \(icgc.cat\)](#).

Per 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 durant l'elaboració d'un EIRG entrevistar els tècnics municipal coneix patologies en edificacions que puguin tenir origen en enfonsaments del terreny, argiles expansives o sòls col·lapsables.

L'aigua subterrània com a factor activador.

La presència d'aigua en circulació en el terreny, ja sigui de forma natural o de forma artificial és un dels factors activadors dels enfonsaments. Pot actuar de diferents formes de les quals es destaquen les següents: i) la dissolució del substrat o components dels sòls; ii) acció mecànica d'arrossegament de material dels sòls o en la cobertora cap a cavitats; iii) com a factor activador en sòls expansius i col·lapsables i iv) com factor de consolidació de sòls per fluctuació del nivell piezomètric;

A4.5. Indicis d'activitat

Hi ha nombrosos indicis dels enfonsaments que queden registrats en el terreny o en edificis i estructures. Una cartografia detallada de la distribució dels indicis, juntament amb el coneixement de la naturalesa del subsol, ajuda a comprendre i a establir el mecanisme que dona lloc als enfonsaments. A continuació es descriuen els indicis més significatius.

Morfologies d'enfonsament

L'existència o presència d'elements geomorfològics tals com les dolines, els avencs, les pèrdues de corrent hídrics en el terreny de forma sobtada o la presència de coves conegudes indiquen la possibilitat d'enfonsaments del terreny (Figura 7).



Figura 7.- Panoràmica de la uvala del Camp de l'Estany. Observeu la forma circular de la dolina principal i de la petita dolina central. En segon terme les cases del barri del Grup del Mont Font: ICGC.

Danys en estructures i edificis

Quan la deformació o pèrdua de volum del subsol és suficientment important aquesta es reflectirà a la superfície del terreny amb estructures de deformació i enfonsament tals com esquerdes o depressions del terreny que es poden observar a simple vista. No obstant, a efecte de la prevenció de riscos a escala urbanística hi ha deformacions d'ordre molt menor que ja provoquen patologies continuades en edificis i infraestructures però que la seva observació sobre elements naturals no és òbvia. Així doncs en aquests casos la descripció de patologies en les edificacions, serveis i vials seran els indicis de moviment del terreny. En aquest sentit els indicis d'activitat es poden classificar per intensitat amb correspondència a les observacions en el terreny i a les patologies en edificis i infraestructures, segons la taula adjunta (Taula 1).

Taula 1.- Classificació de graus de danys a edificis i infraestructures per a la confecció d'inventaris ¹.

Grau / Intensitat del dany/	Descripció de dany típics en edificis	Observació en el terreny
0 / No apreciable	Fissures i esquerdes de menys de 0,1mm. No visibles des 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 de les esquerdes inferiors a 1mm	No Visible
2 / Lleuger	Esquerdes que són fàcilment reparables que probablement precisin enguixat. Conjunts de fissures lleugeres apreciables a l'interior. Les esquerdes es poden apreciar externament, poden ser necessària una reparació. Les portes i finestres poden patir lleugeres deformacions en la marqueteria. És difícil fer les observacions des de l'exterior. Obertura de les esquerdes inferiors a 5mm	No visible en el terreny natural o esquerdes fines en paviments rígids
3 / Moderat	Les esquerdes requereixen un picat i obra de paleta. Els revestiments poden emmascarar esquerdes recurrents. Possiblement parts de les façanes de maó requereixen substitució. Les portes i finestres s'encallen. Les canonades i baixants poden trencar-se. Lleugera inclinació de murs. Empitjora la resistència de l'edifici front dels agents climàtics. Les esquerdes són visibles des de l'exterior. La seva obertura és de 5 a 15mm o diverses de 3mm.	Lleugera depressió en terrenys o carreteres, que pot ser percebuda per usuaris de vehicles, però que no són obvis per als observadors casuals. Pot demanar 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 25mm depèn del número d'esquerdes. Danys clarament visibles des de l'exterior.	Esquerdes obertes, distorsions, separacions o assentament relatiu. Caigudes de petits fragments que poden causar danys lleugers. Reparacions en vials no urgents. Efectes visibles en pals d'electricitat o tanques. Lleugera extensió d'arrels

¹ Howard Humphreys & Partners (1993). Subsidence in Norwich. HMSO, London in: A.H. Cooper (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(2008),41(3):409. <http://dx.doi.org/10.1144/1470-9236/07-223>

Grau / Intensitat del dany/	Descripció de dany típics en edificis	Observació en el terreny
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 >25mm encara que depèn del número d'esquerdes	Depressió significat, rotacions o girs del terreny, sovint acompanyades de per esquerdes en terrenys oberts o carreteres. Interrupció generalitzada del serveis en carreteres. Es requereix de reparacions molt significatives.
6/ Extremadament sever	Col·lapse parcial de l'edifici.	Col·lapse del terreny o carreteres. Serveis tallats o greument interromputs. Restitució del terreny perdut seguit d'obres significatives per restituir el servei
7/ Desconegut	Col·lapse total d'un o varis edificis	Gran cavitat oberta

A4.6. Perillositat del enfonsaments

Com afecten els enfonsaments als edificis

Com s'ha explicat prèviament, en aquesta guia la magnitud s'assimila al potencial destructiu del fenomen. El moviment del terreny en els enfonsaments és essencialment vertical; però també pot tenir components laterals derivades i combinacions dels mateixos. Les principals accions sobre els edificis són la d'una flexió còncava (bombament), una flexió convexa (enfonsament), una extensió del terreny o la pèrdua de suport de les fonamentacions. Tots aquests moviments afecten d'una forma sensible a les construccions generant patologies que s'acumulen al llarg del temps (Figura 8).

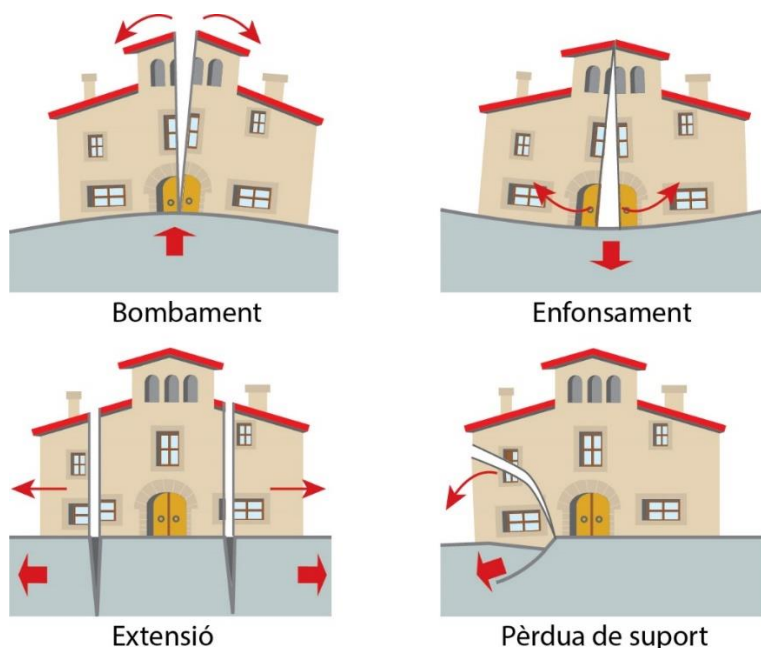


Figura 8.- relació entre la deformació del terreny i el dany en edificacions.

La distorsió angular com a mesura de la intensitat del enfonsament

La valoració quantitativa de la intensitat del fenomen d'enfonsament es pot fer emprant el concepte de distorsió angular (Figura 9) que és l'assentament diferencial (moviment vertical relatiu de dos punts) en proporció a la separació entre aquests punts.

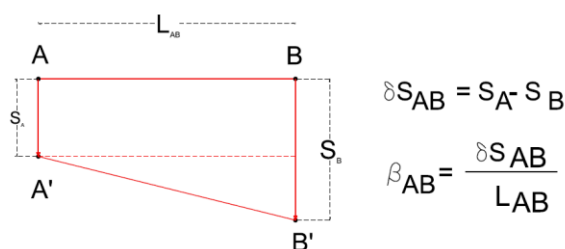


Figura 9.- relació entre la deformació del terreny i el dany en edificacions.

En zones urbanes, l'escenari de referència que defineix el criteri de perillositat es basa en la probabilitat de dany acumulat en els períodes que estableix el EIRG (a 10, 30 i 100 anys) 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 2 i Figura 10).

Per als diferents escenaris de freqüència establerts en general en la guia dels EIRG, assimilables a períodes de retorn de 10, 30 i 300 anys, caldrà valorar la magnitud esperable en termes acumulatius per a subsidiència i en termes d'ocurrència sobtada per a col·lapses.

Taula 2: valors límit de distorsió angular. CTE:2.3.4.²

Tipus d'estructura	Límit
Estructures isostàtiques i murs de contenció	1/300
Estructures reticulades amb envans de separació	1/500
Estructures de panell prefabricats	1/700
Murs de càrrega sense armadura amb flexió còncaua cap amunt	1/1000
Murs de càrrega sense flexió còncaua cap avall	1/2000

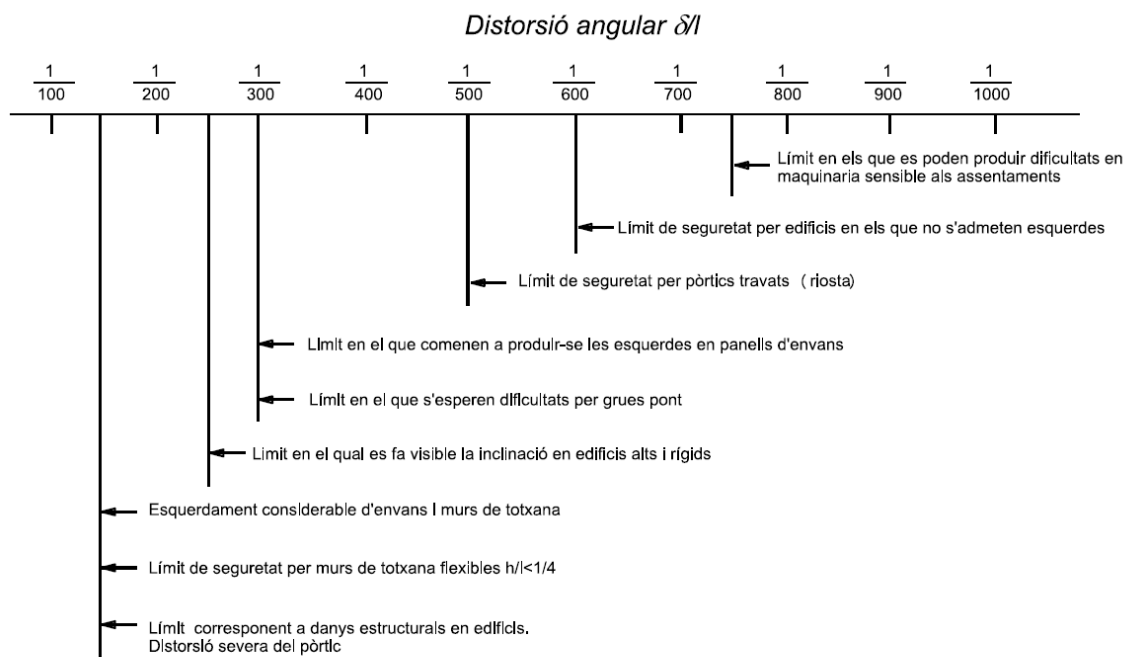


Figura 10.- Criteri de danys basat en la distorsió angular (Bjerrum, 1963)³

² Codigo Técnico de la Edificación CTE (2019): Documento Básico SE-C Seguridad estructural. Cimientos

³ Bjerrum, L. (1963) : Discussion. Proc. of the European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. III, Wiesbaden, pp. 135

Per a completar la descripció de la magnitud, la intensitat de dany potencial es pot combinar amb la seva extensió o a la possibilitat que afectin a múltiples elements a la vegada.

A4.7. Escenaris de dany amb diferents graus de perillositat

Es descriuen a tall d'exemple els indicis en el terreny i la configuració del subsol i processos que poden propiciar diferents escenaris de perillositat per enfonsament. Aquest escenari donen lloc a diferents combinacions de magnitud i de velocitat de deformació que dona lloc a les diferents classificacions de perillositat per fenòmens que provoquen danys acumulatius.

Escenari de perillositat BAIXA

Configuració del subsol i processos

1. Presència cavitats càrstiques inactives ben identificades i localitzades en massís rocós competent aflorant.
2. Excavacions subterrànies ben conegudes en geometria i estat. Excavació ben executada amb deformabilitat del terreny baixa i un sosteniment estructural complet, i mantingudes sense cap patologia reportada.
3. Aqüífers en materials lleugerament consolidats (zones deltaïques o al·luvials terciàries).
4. Presència de rebliments amb bona execució i materials de qualitat geotècnica adequada fora d'accions desfavorables de corrents d'aigua.
5. Existència de sols amb valors d'expansivitat baixos en algun sòl molt localitzat i ben caracteritzat
6. Valors de col·lapsabilitat de baixos a mitjans d'acord a la norma UNE103406:200 les classificacions en algun sòl localitzat i ben caracteritzat.

Indicis

Fissures i esquerdes de menys de 0,1mm. No visibles des l'exterior dels edificis.
Esquerdes amb poca evolució temporal.

Escenaris de perillositat MITJANA

Configuració del subsol i processos

1. Activitat minera subterrània en explotació activa o amb mètodes d'explotació compatibles amb deformacions elevades.
2. Aqüífers en materials no consolidats (sediments quaternaris fluixos) amb explotació intensa.
3. Presència de rebliments no controlats.
4. Presència de sòls expansius
5. Terrenys amb valors de col·lapsabilitat de mitjana a alta d'acord a la norma UNE103406:200.
6. Franges de discontinuïtat rellevant en el subsol amb aqüífers en materials no consolidats (sediments quaternaris) amb explotació intensiva no controlada.
7. Presència o indicis de cavitats càrstiques en litologies poc actives amb cobertores que poden propagar efectes de dolina.

Indicis

1. Danys de lleus a moderades en edificacions i estructures construïts en els darrers 30 anys.
2. Esquerdes en grups d'edificis que són fàcilment reparables que probablement precisin enguixat. Conjunts de fissures lleugeres apreciables a l'interior. Les esquerdes es poden apreciar externament dels edificis i pots ser necessària una reparació.

Les portes i finestres poden patir lleugeres deformacions en la marqueteria. és difícil fer les observacions des de l'exterior. Obertura de les esquerdes inferiors a 5mm.

L'evolució de les esquerdes es molt lenta o no presenten activitat continuada

No s'aprecien efectes sobre elements de terreny natural

Escenaris de perillositat ALTA

Configuració del subsol i processos

1. Presència de nivells de sal a profunditat des de baixa a alta
2. Presència de cavitats càrstiques actives de guixos amb cobertores que poden propagar efectes de dolina.
3. Terrenys amb activitat minera poc profunda clausurada sense manteniment
4. Presència abundant de sòls expansius o sòls col·lapsables amb interacció amb sistema hídric fluctuant o sistemes d'abastament o recollides d'aigua antiquats.
5. Presència de guixos de rebliments heterogenis no identificats.

Indicis

1. Formació de dolines i col·lapses en els darrers 30 anys
2. Presència d'edificacions amb patologia de moderades a severes que s'han produït en els darrers 30 anys. En determinats casos ha donat lloc a desallotjaments.
3. S'aprecien efectes evolutius sobre elements de terreny natural.
