

Capítol 2 MOVIMENTS DE MASSA. ELS CORRENTS D'ARROSSEGALLS

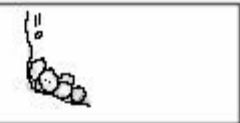



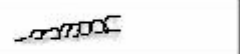





2.1. CLASSIFICACIÓ DELS MOVIMENTS DE MASSA

Existeixen diferents classificacions de moviments de massa, basades totes elles en el mecanisme de trencament i la naturalesa dels materials involucrats (Varnes, 1984; Hutchinson, 1988; Cruden i Varnes, 1996). Mereix una menció especial la classificació presentada per Corominas i García (1997) basada en les anteriors exceptuant el que els autors defineixen com deformacions sense trencament o prèvies a aquesta (taula 2.1). El criteri bàsic que permet separar els diferents tipus d'esllavissades a la majoria de classificacions son els mecanismes de trencament. Es poden trobar cinc mecanismes principals (figura 2.1) (Corominas, 1989a):

- i)* Despreniments o caigudes
- ii)* Volcaments
- iii)* Lliscaments com a terme concret
- iv)* Expansions laterals i
- v)* Fluxos

Segons Corominas i García (1997) existeix un últim grup (en quant al mecanisme es refereix) que son les deformacions sense trencament o prèvies a la trencada dels vessants i els moviments complexos.

Figura 2.1. Principals tipus de moviment de vessant segons Corominas i García (1997)

DESPRENIMENTS		
VOLCAMENTS		
LLISCAMENTS	ROTACIONALS	
	TRANSLACIONALS	
EXPANSIONS LATERALS		
FLUXES	REPTACIONS	
	SOLIFLUXIÓ	
	CORRENTS D'ARROSSEGALLS	
	COLADES DE TERRA	
	ALLAUS DE PEDRES	

Un *despreniment* és aquell moviment d'una porció de sòl o roca, en forma de blocs aïllats o massiu que, descendeix per l'aire en caiguda lliure durant gran part de la seva trajectòria, produint, al tornar a contactar amb el vessant, salts rebots i rodadures (Corominas, 1989a).

Els *volcaments* son moviments de rotació cap a l'exterior, d'una unitat o d'un conjunt de blocs, al voltant d'un eix pivotant situat per sota del centre de gravetat de la massa en moviment.

Els *lliscaments* son moviments descendents relativament ràpids d'una massa de sòl o roca que té lloc al llarg d'una o més superfícies definides que son visibles o que poden ser inferides raonablement o bé correspondre a una franja relativament estreta. Es considera que la massa mobilitzada es desplaça com un bloc únic, i, segons la trajectòria descrita, les esllavissades poden ser rotacionals o translacionals, segons quina de les dues components predomini, ja que, a la pràctica, els lliscaments descriuen moviments complexos que contenen moviments rotacionals i translacionals.

El moviment dominant a les *expansions laterals* és la extrusió plàstica lateral, acomodada per fractures de cisalla a de tracció que en ocasions poden ser de difícil localització.

Finalment, els fluxos son moviments d'una massa desorganitzada o barrejada on no totes les partícules es desplacen a la mateixa velocitat ni tampoc les seves trajectòries ha

de ser paral·leles. Degut a aquestes característiques la massa mobilitzada no conserva la seva forma durant el descens, adoptant sovint morfologies lobulades (Corominas, 1989a).

Taula 2.1. *Classificació simplificada dels moviments de vessant modificada de Corominas i García (1997) amb la terminologia en anglès*

TIPUS DE MECANISME	SUBTIPUS	TIPUS DE LLISCAMENT
Moviments on predomina la trajectòria vertical		·Despreniments o caigudes (<i>Falls</i>)
Moviments de gir de blocs determinats per la fracturació a escarpaments		·Bolcaments (<i>Topples</i>)
Moviments de grans blocs al iniciar-se el trencament	Superfícies de desplaçament planes o assimilables a elles	·Lliscaments (<i>Slides</i>) ·Desplaçaments concordants ·Desplaçaments discordants
	Desplaçaments sobre superfícies curvades	·Lliscament rotacional (<i>Rotacional Slide</i>)
Moviments d'una massa desorganitzada	Fluxos	·Reptació (<i>Creep</i>) ·Colades de terra (<i>Earth Flow</i>) ·Solifluxió (<i>Solifluction</i>) ·Corrents d'arrossegalls (<i>Debris Flows</i>) ·Cops de sorra i llim (<i>Sand and Silt Flows</i>) ·Fluxos de roca (<i>Rock Flows</i>) ·Allaus (<i>Avalanches</i>)
Moviments amb extrusió plàstica lateral		·Expansió lateral (<i>Lateral Spreading</i>)
Altres moviments	Deformacions sense trencament o previes al trencament	·Reptació per fluència ·"Caboteig" d'estrats (<i>Earth Flows</i>) ·"Bombat" (<i>Cambering</i>) ·Pandeig a la vall (<i>Bulging</i>) ·Deformacions gravitacionals profundes (<i>Sagging</i>) ·Trencament confinat (<i>Confined Failure</i>)
	Moviments complexes	·Colapse de volcans (<i>Flow Slides</i>) ·Fluxes lliscants (<i>Flow Slides</i>)

El Barranc de Tordó és una vall que ha sofert nombrosos fenòmens de vessant. Destaquen un lliscament de caire predominantment rotacional i diversos corrents d'arrossegalls, la majoria dels quals ocorreguts dins de la massa esllavissada. És un d'ells, l'objecte d'estudi tenint present que el material remogut pertany a una massa anteriorment mobilitzada. Al capítol 4 s'exposa de manera més detallada la seva morfologia.

2.2. ELS FLUXOS. ELS CORRENTS D'ARROSSEGALLS

Definició i característiques principals

S'ha fet èmfasi en els moviments tipus flux al tractar-se d'un corrent d'arrossegalls el nostre moviment objecte d'estudi.

Els fluxos, com s'ha introduït al punt anterior, són moviments especialment continus, amb una distribució de velocitats de la massa desplaçada molt similar a la que presenta un fluid viscos. Per aquest motiu la massa desplaçada no conserva la forma durant el moviment de descens. Si la massa porta materials cohesius sovint adopta formes lobulars, mentre que en el cas de portar materials més granulars s'escampen pel vessant o bé forma cons de dejecció (Johnson and Rodine, 1984).

De les diferents tipologies de fluxos en destacarem les que tenen caràcter destructiu. Aquests són:

- i) *Colades de terres*: Són deformacions plàstiques i no molt ràpides de terra o roques toves, en vessant amb baixa inclinació. Hi predominen els materials cohesius amb un elevat contingut de llims i argiles. Aquestes colades donen lloc a dipòsits allargats i lobulars.
- ii) *Corrents d'arrossegalls*: Són moviments ràpids de materials detrítics, on predominen les fraccions gruixudes com les sorres, les graves i els blocs. Aquestes corrents tenen poca cohesió i solen baixar canalitzades per les depressions del terreny. Aquests tipus de fluxos en la fase d'acomodació solen generar cons de dejecció.
- iii) *Allaus de pedres*: Reben aquest nom els fluxos de terra o d'esbaldragalls que es desplacen a gran velocitat. Aquesta gran velocitat d'aquest tipus de moviment s'explica mitjançant mecanismes de propagació especials.

S'han succeït diferents definicions dels *Debris Flow* o corrents d'arrossegalls. Johnson (1970) va definir els corrents d'arrossegalls com un moviment de massa induït per la gravetat, amb un comportament dinàmic entre les esllavissades i les avingudes fluvials i amb característiques mecàniques que les diferencien d'aquests processos. Varnes (1978) els va definir com un moviment de massa ràpid d'un cos de sòlids granulars, aigua i aire, que es mou com un flux viscos. Johnson & Rodine (1984) van afegir que la argila està present només en quantitats menors.

Les definicions anteriors emfatitzen que els corrents d'arrossegalls són fluxos de sediments granulars, amb un cert contingut en aigua, que es mouen ràpidament. Així doncs, la elevada càrrega de sòlids és una característica d'aquest tipus de moviment de massa. No obstant, no és la concentració de sòlids ni la velocitat el que distingeix els corrents d'arrossegalls d'altres moviments de tipus flux, sinó el seu comportament mecànic. Un corrent d'arrossegalls presenta resistència a la cisalla (comportament plàstic). Aquesta resistència fa possible que els corrents es puguin aturar en pendent, inclòs en angles superiors als 15°, i, per altre banda, que el corrent tingui un front net.

Pierson & Costa (1987) varen diferenciar els corrents d'arrossegalls i les avingudes torrencials (*hiperconcentrated flows*) per la seva reologia. Aquests últims tenen una elevada càrrega de sediments i presenten també una resistència al tall (fluid no newtonià) però molt inferior als corrents d'arrossegalls; d'altra banda, les avingudes torrencials no mostren un comportament líquid. La distinció respecte als fluxos granulars seria la desaparició de la líquidació.

El recent avanç en la comprensió del comportament complex dels corrents d'arrossegalls ha permès una definició més precisa del fenomen. Un corrent d'arrossegalls és una massa de sediment poc seleccionat, en agitació i saturat d'aigua, que progressa ràpidament pendent avall a conseqüència de la gravetat; la massa de sediment saturat manté una *superfície lliure* (Iverson, 1997). Segons aquest últim autor, tant les forces sòlides com les fluids intervenen essencialment en el moviment, distingint els corrents d'arrossegalls de fenòmens relacionats tals com els allaus rocosos o les avingudes fluvials carregades de sediments. Mentre que les forces sòlides dominen la física dels allaus rocosos i les forces fluids dominen la física dels corrents d'aigua, ambdós tipus de forces han d'interactuar per produir un corrent d'arrossegalls.

La interacció de forces sòlides i fluids no només distingeix físicament els corrents d'arrossegalls sinó que també els proporciona un poder destructiu únic (Iverson, 1997). Com els allaus rocosos, els corrents d'arrossegalls poden ocórrer sense previ avís i poden exercir grans càrregues impulsives sobre els obstacles que es troben al seu pas. Com les avingudes fluvials, els corrents d'arrossegalls poden ésser suficientment fluids per recórrer gran distàncies en canals amb pendents baixes i inundar àrees extenses. Els grans corrents d'arrossegalls poden superar els 1000 milions de m³ i alliberar més de 10¹³ kJ d'energia potencial. Els corrents més habituals, amb volums propers als 1000 m³, son capaços d'arrasar amb la vegetació existent, taponar cursos de drenatge, danyar estructures i causar morts (Iverson, 1997).

Una altra característica essencial dels corrents d'arrossegalls és el caràcter no uniforme i no estacionari del flux, que rarament es manté més de 3 hores i la velocitat del qual pot superar els 10 m/s (Iverson 1997). La concentració de sòlids en un corrent d'arrossegalls difereix poc de la concentració en dipòsits no consolidats i acostuma a ser superior al 50% en volum.

Morfologia

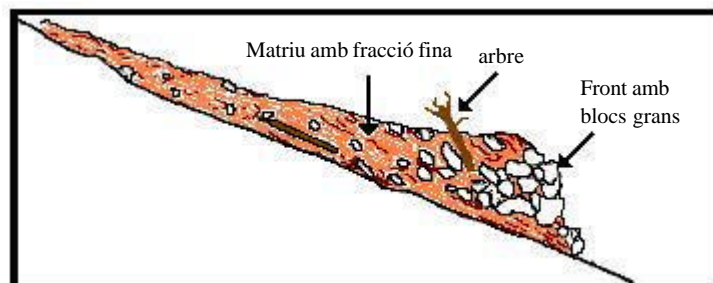
Els corrents d'arrossegalls presenten diferents morfologies però en general la seva longitud és molt major al seu ample i la seva proporció arriba a ser de 10:1 o, fins i tot, més de 50:1 (Van Steijn, 1989). A un corrent d'arrossegalls es distingeixen tres zones amb diferent morfologia: l'àrea font o zona de sortida, la zona de canal (essencialment de trànsit) i la zona d'acumulació.

La zona de sortida acostuma a ser escarpada i poc vegetada, on hi abunden els sòls detrítics o existeix un sòl de meteorització del substrat. El pendent d'aquesta zona és sempre elevat i varia generalment entre els 25° i 40°, uns valors els quals la majoria d'autors hi coincideixen.

Els corrents d'arrossegalls solen fluir per barrancs preexistents, on es situa la zona de canal, però també poden avançar vessant avall sense confinament i salvar obstacles en gairebé qualsevol direcció. El canal és un solc erosiu que està limitat generalment per dics laterals. Els dics son resultat de l'abandó per part del material transportat als marges laterals del corrent, on dominen els elements grollers (grava grollera i blocs). A la part més alta del canal la secció transversal típica és la el·líptica o en forma de V i el seu fons es troba lliure de dipòsits, mentre que a la part baixa del canal el fons està ocupat pels dipòsits corresponents a la cua del corrent. La velocitat dels corrents d'arrossegalls abasta un ampli rang de valors, des dels 0,5 m/s als 20 m/s, en funció del

material que forma el corrent (granulometria, concentració de sòlids i classificació dels grans) i de les característiques de la zona de propagació (topografia, confinament, rugositat), entre d'altres factors.

Figura 2.3. Morfologia general d'un flux



A la zona d'acumulació és on es diposita preferentment el material del corrent. Aquí el flux deixa d'estar confinat en un canal i desapareixen els dics laterals. En moltes ocasions, el pas a unes condicions no confinades coincideix amb una disminució més o menys sobtada del pendent del vessant. En un flux en moviment la velocitat del corrent, la seva capacitat erosiva i el seu confinament són característiques que acostumen a estar estretament lligades. Quan la velocitat és suficientment baixa el material es desplaça sobre la superfície topogràfica preexistent, simplement cobrint-la, sense erosionar el terreny fins que s'atura el moviment. La zona d'acumulació, doncs, acostuma a tenir morfologies de con de dejecció.

Característiques del material dels corrents d'arrossegalls

El material que compona un dipòsit de corrent mostra un ampli ventall de mides de gra que va des d'argila fins a grava grollera i blocs d'ordre mètric. Veritablement, la gran majoria dels corrents d'arrossegalls es mobilitzen a partir de lliscaments de masses de sediments carregades d'aigua. Quan té lloc el lliscament, la mescla de sediment i aigua es transforma en un flux que, durant la deposició, es transforma en un cos quasi rígid.

La concentració de sòlids varia entre el 25% i el 86% (en volum), i entre el 35% i el 90% en pes. El contingut en aigua està comprès generalment entre el 10% i el 30% en pes, tot i que pot ésser superior. En general, només una petita fracció del material consisteix en fins, concretament llims i argiles (aproximadament entre el 10% i el 20%); dins d'aquest percentatge de fins l'argila pot arribar a ser inexistente, no superant, generalment el 5% (Costa, 1984). Aquest ampli rang granulomètric permet que els corrents d'arrossegalls continguin grans concentracions de sòlids i, per tant, elevades densitats.

Causas desencadenants dels corrents d'arrossegalls

Els corrents d'arrossegalls succeeixen sota qualsevol clima; es poden trobar tan a regions àrides, tropicals humides, fins i tot zones àrtiques (Costa, 1984).

Els condicionants afavoridors dels corrents d'arrossegalls són:

- i) Una àrea font on hi apareguin formacions superficials relativament permeables (substrat rocós meteoritzat, col·luvions o tills);
- ii) Un fort pendent topogràfic;
- iii) Un aport intens d'humitat, no necessàriament continu;
- iv) Una escassa cobertora vegetal.

Al primer punt es menciona el tipus de sòl. Els materials més favorables per la formació de corrents d'arrossegalls són, com s'ha comentat, els dipòsits col·luvials, sòls de meteorització, dipòsits glacials, fluvials i volcànics (Costa, 1984).

Tot i que aquests tipus de sòls tenen característiques en comú, el ventall geològic és bastant important com per considerar el geomorfològic el factor més important en quant a la freqüència. De fet, el desencadenant més freqüent dels corrents d'arrossegalls és l'augment de la pressió intersticial causat per un subministrament important d'aigua. L'aport d'aigua es pot produir per pluges intenses, desgel (Owen, 1991), per la combinació d'ambdós fenòmens (Azimi i Desverreux, 1974), més ocasionalment per la fusió ràpida de glaceres o dels mantell nival per erupció volcànica (Pierson, 1992). D'aquesta manera, qualsevol d'aquests fenòmens facilita la saturació de la formació superficial provocant un augment de la pressió d'aigua als porus i la consegüent pèrdua de resistència del material. Les precipitacions de llarga durada i moderada intensitat poden causar corrents, però és més comú que aquests els produeixi una pluja de curta durada i gran intensitat (Caine, 1980). Hovious (1990), Van Asch i Van Steijn (1991) van observar als Alps francesos que precipitacions entre 50 i 100 mm/h caigudes entre 5 i 10 minuts varen desencadenar corrents d'arrossegalls. Altres desencadenants possibles són les variacions causades per terratrèmols (Martínez et al., 1995), o per erupcions volcàniques (Pierson, 1992).

Els mecanismes bàsics de formació de corrents d'arrossegalls són:

- i) Transformació directa a partir d'un lliscament;
- ii) Soscavació dels marges de barrancs durant una avinguda torrencial i la incorporació de grans masses de sediment al corrent;
- iii) Formació d'una presa natural de sediments (per una esllavissada), repressament d'aigua i posterior trencada (Costa, 1984, Johnson i Rodine, 1984, Takahashi et al., 1992, Mora et al., 1993, Pierson, 1992).

No obstant, la majoria dels corrents d'arrossegalls s'originen a partir d'esllavissades (Costa, 1984, Iverson et al., 1997). El moviment s'inicia com un lliscament translacional o rotacional d'una formació superficial granular. El trencament es pot situar a un vessant de muntanya o a una vaguada. Les vagues són especialment susceptibles a la inestabilitat. En elles s'hi afavoreix la acumulació de derrubis (per petites esllavissades) o el desenvolupament d'un nivell freàtic penjat durant una pluja intensa (per convergència de les escorrenties superficial i subsuperficial). La superfície de trencament pot aprofitar el contacte entre el substrat i la formació superficial (trencament pla) o desenvolupar-se al interior de la formació superficial (trencament circular). El gruix de les formacions superficials presents als vessants sol ser reduït (de d'alguns decímetres a 2-4 metres. És per això que s'acostuma a produir trencaments

superficials i de petites dimensions, tot i que poden ser nombrosos en una àrea relativament petita.

Les observacions al camp, els experiments de laboratori i els anàlisis teòrics indiquen que les esllavissades es transformen en corrents d'arrossegalls mitjançant tres processos:

- i)* Trencament generalitzat de la massa esllavissada,
- ii)* líquefacció parcial o completa de la massa causada per la elevada pressió intersticial,
- iii)* transformació de la energia cinètica de translació del lliscament en energia de vibració interna.

Els processos anteriors poden actuar independentment, però en moltes circumstàncies operen en simultaneïtat i sinèrgicament. En Iverson et al. (1997) poden trobar-se els detalls al respecte de la formació dels corrents d'arrossegalls.