

Cossetània Edicions

Espeleologia

Manual pràctic

Pau Pérez i Antoni Torra

A stylized, white, cursive logo consisting of three wavy lines, resembling a mountain range or a stylized 'M'.

Manuals de Muntanya



m

Espeleologia

Manual pràctic

Pau Pérez i Antoni Torra



Cossetània
EDICIONS

Director de la col·lecció Manuals de Muntanya:
Joan Jover

Primera edició: setembre del 2017

© Pau Pérez i Antoni Torra

© de l'edició:
9 Grup Editorial
Cossetània Edicions
C/ de la Violeta, 6 - 43800 Valls
Tel. 977 60 25 91
cossetania@cossetania.com
www.cossetania.com

Disseny i composició: Imatge-9, SL

Impressió: Romanyà Valls, SA

ISBN: 978-84-9034-466-8

DL T 929-2017

Presentació

El llibre que avui tens a les teves mans intenta fer-te arribar uns coneixements fonamentals del món subterrani, de la formació de les cavitats i de les tècniques per poder explorar-lo.

Al llarg d'aquestes pàgines aniràs descobrint com es formen les cavitats, la història dels primers exploradors, com han avançat les tècniques i com aquestes han permès cada vegada més la progressió en l'exploració subterrània.

La finalitat del llibre és donar-te a conèixer de forma senzilla i pràctica totes les tècniques que els autors hem après, practicat i executat durant molts anys de dedicació al món de l'espeleologia, i esperem que et sigui útil i amè.

Com que seria molt extens aprofundir en detall en cada una de les disciplines d'aquesta activitat, hem intentat sintetitzar i extreure el que pot ser-te de més interès i actualitat.

L'espeleologia és una activitat d'equip no sols en l'exploració, sinó també en les seves diverses disciplines. L'estudi d'una cavitat agrupa un conjunt de persones que han de tenir principalment uns coneixements tècnics per a l'exploració. Però és possible que moltes d'aquestes persones, després de l'atractiu de l'exploració *esportiva*, se sentin atretes per algun dels altres àmbits d'estudi de les cavitats.

Introduir-se en aquest món et proporcionarà passió per la natura, una natura que sols es pot gaudir in situ, la resta t'ho han d'explicar. L'exploració subterrània té tots els ingredients per viure una gran experiència.

Avui, després de poc més de cent anys d'exploracions espeleològiques al nostre país, encara es continuen descobrint noves cavitats, o s'aconsegueixen allargar l'exploració per algunes que ja s'havien donat per finalitzades.

Els espeleòlegs catalans no només han explorat el nostre país, també han fet incursions en massissos càrstics de tot el món amb gran èxit en les seves aventures.

Però tingues en compte que la lectura d'aquest llibre mai podrà substituir els bons cursos d'iniciació o de perfeccionament que imparteixen els nostres clubs. La seguretat és bàsica per a qualsevol activitat en el medi natural, i també al món de l'espeleologia, tal com queda reflectit en els diversos apartats d'aquest llibre.

Així doncs, et convidem a tu, lector, i a tothom a descobrir el meravellós i misteriós món subterrani, i a fer-ho amb respecte.

I per acabar aquesta introducció, volem agrair al company Salvador Vives la seva col·laboració en l'elaboració del llibre.

m

1. Quin nom, espeleologia!





Édouard-Alfred Martel, considerat com l'iniciador i el divulgador de l'exploració i l'estudi de les caveres, tenia un gran interès que aquestes investigacions fossin reconegudes com una nova ciència. Ja en la seva primera monografia, *Les Cévennes* (1890), li va aplicar la definició de **grutologia**.

Posteriorment, el 1892, M. L. de Nussac va proposar la definició d'**espeologia**, però Martel la va rebutjar perquè va considerar que la seva etimologia incloïa les cavitats artificials.

El prehistoriador i paleontòleg francès Émile Rivière de Précourt va proposar, l'any 1890, el terme **espeleologia**. Martel va acabar adoptant-lo i el va incloure al seu llibre *Les abîmes* (1894).

QUÈ ÉS?

L'**espeleologia** és un conjunt de disciplines científiques, tècniques i esportives que permeten dur a terme l'estudi i l'exploració de qualsevol tipus de cavitat subterrània.

El terme **espeleologia**, tal com el coneixem, data aproximadament de finals del segle XIX i és el resultat de la fusió de dues paraules gregues: **spelaion**, que significa caverna o cavitat, i **logos**, que vol dir tractat o estudi (ciència).

Avui dia aquesta terme no només s'aplica quan es tracta d'un treball o un estudi científic sobre una cavitat, sinó que també s'aplica a l'aspecte esportiu d'una exploració.

m

2. El medi



2.1. L'escorça terrestre

L'escorça terrestre està constituïda per grans plaques litoesfèriques, denominades oceàniques i continentals, que es mouen unes respecte les altres a partir de corrents convectius i que arriben algunes vegades a desplaçar-se uns 15 cm l'any.

Com a conseqüència d'aquests moviments les roques que són arrossegades a l'interior són alterades per l'efecte de les pressions i la temperatura, i donen lloc a diversos tipus de roques, per exemple les plutòniques, les metamòrfiques, les ígnies, les volcàniques... Les denominades roques sedimentàries són les que s'han dipositat en una conca i que procedeixen de l'erosió d'altres roques.

Aquesta dinàmica sotmet els materials (les roques) a grans esforços, que tenen com a resultat deformacions de diversa intensitat. Així, els grans moviments de la tectònica de plaques formen les serralades i provoquen el plegament dels dipòsits sedimentaris.

Aquests esforços, que denominem tectònics, a nivell local es tradueixen en altres fenòmens que donen lloc a plegaments, falles, diàclasis i fractures en general. Tots ells faciliten la penetració de l'aigua a través de les roques, que juga un paper fonamental en el desenvolupament de les cavitats.

2.2. Les roques

No totes les roques són susceptibles de contenir cavitats subterrànies. Per a la formació de cavitats la roca ha de ser soluble a l'aigua, és a dir, que tot depèn bàsicament de la seva composició química. La dissolució és el procés més important en el desenvolupament de la formació de cavitats; les roques on es formen amb més freqüència són les denominades carbonatades, com les calcàries, les dolomies i les evaporites, perquè són les roques més solubles i també les més abundants. També podem trobar que, per les seves condicions de formació, les volcàniques han donat lloc a cavitats, i també ho han fet algunes roques granítiques i la quarsita.

2.2.1. Tipus de roca

Tradicionalment les roques s'han classificat pel seu origen: sedimentàries, metamòrfiques i ígnies.

Les roques sedimentàries s'han dipositat principalment en les denominades conques sedimentàries. El seu origen el trobem en les cadenes de muntanyes, on es produeix l'acció erosiva de les roques existents:

- Les **roques sedimentàries** es poden dividir en tres grans grups segons el seu origen sigui detrític, químic o orgànic.

Les roques detrítiques són les constituïdes per fragmentació de roques erosionades que han sigut transportades i dipositades en altres zones.

Es classifiquen a partir de la mida dels fragments: blocs, còdols, arenes,

arcel·les i lutites. Per a nosaltres, des del punt de vista de l'exploració subterrània, el més interessant són els conglomerats.

Dins de les roques sedimentàries, les carbonatades o bioquímiques són les que es formen per l'acumulació dels minerals precipitats per l'acció d'organismes vius. Estan constituïdes principalment per carbonat de calci i tenen un percentatge de materials detrítics fins; es formen principalment al mar i acostumen a tenir fòssils. En aquest grup de roques, principalment les denominades **calcàries**, és on es desenvolupen majoritàriament els fenòmens càrstics.

Les roques d'origen químic es formen a partir de dissolucions i concentracions elevades, fins arribar a un punt de saturació; les més conegudes són les que s'originen per l'evaporació de l'aigua i les sals, i es denominen **evaporites**.

- Les **roques metamòrfiques** són aquelles que han sofert en la seva estructura inicial un canvi per l'acció de pressió i temperatura d'origen intern, com per exemple les pissarres.
- Les **roques ígnies** deuen la seva formació a la consolidació del magma. Aquestes roques són força complexes a causa de la seva composició, que és una barreja de materials fosos, i també del contingut d'aigua. Les més característiques són les roques volcàniques i les plutòniques. En les volcàniques, el magma en estat fluid puja a la superfície a través d'un con emissor, i en recobreix l'exterior amb formes de colades que poden tenir diversos quilòmetres.
- Les **roques quarsites** són un cas molt especial. Aquestes roques es dissolen sota condicions climàtiques tropicals.

2.3. El carst

El carst és el resultat dels processos de dissolució en una roca causats per la circulació hídrica. El procés de carstificació dona origen a un conjunt de formes i paisatges propis de les regions càrstiques: les superficials, denominades exocarst, i les de l'interior, que reben el nom d'endocarst.

El terme *carst* ha estat adoptat per definir totes aquestes formes, externes i internes. Prové de la traducció a l'alemany del mot eslau *kras* ('terreny pedregós'), que designa una regió calcària situada a Eslovènia. Com molts altres mots en geologia, es va adoptar quan es van estudiar per primera vegada aquestes formacions.

Els processos càrstics, i amb ells la formació de cavitats, estan supeditats a factors com la litologia, l'estructura (fractures, falles, plecs, etc.), la vegetació, l'aigua i el temps que fa que la roca està exposada als elements. Tots ells contribueixen a iniciar el procés químic que dona lloc a la dissolució de la roca.

El component químic principal de la roca calcària és el carbonat de calci, i aquest s'ha de donar en un percentatge força elevat per a l'esmentada dissolució.

Les diverses característiques de les roques —com la seva litologia, les juntes d'estratificació, les diàclasis, els plegaments, la porositat i la permeabilitat— són de molta importància, però el clima —la temperatura, les precipitacions i l'evaporació— i la vegetació constitueixen uns factors importants en la producció de CO_2 i condicionen l'evolució dels processos càrstics.

Podem imaginar-nos que l'augment de les precipitacions i la temperatura de les aigües condiciona l'evolució del carst.

Un altre factor summament important és la vegetació, ja que és el principal productor natural de CO_2 , que es genera pel cicle vital de les plantes i per la seva acumulació orgànica. En conseqüència, l'absència o no de cobertura vegetal repercutirà sobre la intensitat dels processos de dissolució, erosió, transport i deposició de materials.

Així doncs, la carstificació està condicionada per tots aquests factors. El químic serà el resultat més important, ja que permet la dissolució de les roques.

L'aigua també actua produint una erosió mecànica; la seva acció arrossega material de diverses mides, que també contribueix a l'erosió de les roques.

En resum, l'evolució genètica dels processos càrstics està directament relacionada amb la capacitat que tenen algunes roques de reaccionar directament a determinats elements i ser dissoltes.



2.3.1. Sistemes càrstics

Les roques que formen els massissos de muntanya es troben amb més o menys fissures i presenten una xarxa interconnectada i suficientment densa perquè l'aigua pugui moure's per elles.

En el cas de les roques solubles, l'aigua s'infiltra a través d'aquestes fissures (diàclasis, falles, estrats, etc.) i s'inicia així la formació del que denominem sistema càrstic. Aquest sistema comprèn des de l'absorció de les aigües superficials per la penetració d'un riu exterior o per l'aigua de la pluja o de la neu que cau a la part alta d'un massís, fins a la seva reaparició a l'exterior, depenent del denominat nivell de base.

Totes aquestes fases componen el sistema càrstic. Aquesta dinàmica d'escolament subterrani s'organitza en xarxes o canals de conducció de les aigües. Es tracta, doncs, d'un tipus especial de conques hidrogràfiques.

S'ha de senyalar que poden existir distintes zones hidrològiques en un mateix sistema càrstic, amb límits difusos entre ells i amb dinàmiques de funcionament en ocasions diferents (per exemple, segons les èpoques de l'any).

Diversos autors han establert classificacions per zones, amb diferents noms, i també subdivisions segons les distintes propietats de cadascuna i la seva idiosincràsia o el lloc en la cavitat. El seus límits no sempre són fàcilment identificables.

- **Zona d'absorció:** és el sector superior d'un massís, on les aigües de pluja o neu s'escolen en profunditat. La penetració s'efectua pels nombrosos punts d'infiltració. També existeix la possibilitat que un cabal procedent de zones no càrstiques entri a l'interior de l'aquífer per un punt determinat.
- **Zona vadosa:** l'aigua infiltrada s'escola en profunditat, generalment amb força rapidesa, moguda per la gravetat. És la franja no saturada d'aigua. Aquí es poden observar fases d'infiltració de les aigües i sectors formats en diferents etapes de circulacions anteriors.
- **Zona epifreàtica:** és una franja ambigua d'oscil·lació piezomètrica que en ocasions pot induir a confusions. Aquest sector ens permet observar com la circulació de les aigües actua en els conductes de forma forçada o a pressió i en altres en circulació lliure, depenent de la secció de la galeria. Aquesta zona s'inunda esporàdicament.
- **Zona freàtica saturada:** on l'aigua ocupa tots els conductes depenent de les aportacions i de la seva evacuació, així com que el material existent tingui la suficient capacitat de retenció. Si les aigües no tenen una lliure evacuació s'aniran acumulant i aquest sector quedarà inundat. En canvi, si existeix una bona descàrrega, no es produirà l'acumulació i ens trobarem amb una circulació lliure.

El denominat **nivell freàtic** ens marcarà el nivell piezomètric de l'aquífer. És una línia difusa i molt variable, que depèn de les èpoques de pluges, de desglaç o d'estiu. La podem identificar en superfície per la localització de fonts, rius, etc. (surgències).



A la zona freàtica es donen els principals processos de dissolució de la roca.

A mesura que la xarxa càrstica es desenvolupa té lloc un eixamplament progressiu dels conductes per on circula l'aigua. A les zones vadoses i freàtiques aquesta circulació de l'aigua es denomina a *pressió* quan ocupa la totalitat de les galeries.

Aquestes condicions influeixen sobre les formes de les galeries, que tendeixen a adquirir seccions circulars o el·líptiques.

Amb tot l'exposat tindriem elaborat, en part, el que denominariem cicle càrstic. Inicialment les aigües s'infiltraen en el massís i excaven, gràcies a la corrosió, una sèrie de petites esquerdes fins que arriba a circular-hi l'aigua. Aquesta penetració de l'aigua al massís també pot tenir lloc de forma més concentrada i cabalosa a través d'una dolina, un avenc o una cova, que reben el nom d'engolidor o de *sumider*.

Quan l'aigua aflora a l'exterior pot rebre diversos noms; el més habitual és el de font, però segons el seu origen i el lloc del país també s'anomena surgència, deu, brollador, ressurgència... L'exemple més gràfic i més proper que tenim per explicar un sistema de circulació subterrània és el de les aigües de la glacera de l'Aneto, que són engolides (*sumider*) al Forat dels Aigualluts (geogràficament, a la vall de l'Ésera) i que tenen la ressurgència als Güells de Jueu (a la Vall d'Aran). És a dir, aigües que geogràficament eren mediterrànies canvien de vessant pels conductes subterranis cap a l'Atlàntic.

Com s'ha comentat, si la roca calcària té una espessor suficient, l'aigua té tendència a progressar en profunditat a través de les fractures existents, fent néixer un nou conducte i abandonant les galeries ja excavades; és crea així una nova xarxa activa. Aquest procés es pot repetir nombroses vegades. Aquestes galeries superiors reben el nom de fòssils i són les que generalment més s'exploren. En les zones semiinundades la possibilitat d'exploració està condicionada al fet que l'aigua no les cobreixi en la seva totalitat.

2.4. Les formes externes. Paisatge càrstic

Les formes externes d'un massís calcari no sempre estan lligades a la intensitat de la dissolució, ja que, com hem comentat, està condicionat al lloc en què es trobi el massís, al clima, a l'existència de sòl, a la litologia, a l'estructura i també a les condicions prèvies anteriors, com per exemple si han estat recobertes d'una capa de glaç. Tots aquests factors condicionen el desenvolupament de les formes exteriors.

Una de les característiques que crida l'atenció d'un paisatge càrstic és l'absència pràcticament total de sòl. Això comporta una filtració de les precipitacions ràpida i, per tant, una comunicació directa amb els conductes subterranis.

El flux hídic generalment circula en profunditat i és molt rar trobar en una regió càrstica valls amb aigua superficial. No obstant això, existeix; sobretot quan la circulació hídrica prové d'una zona de roques impermeables.

Les aigües travessen el massís calcari sense penetrar a l'interior i el tallen, formant els denominats **canyons** o **engorjats**. Aquesta excavació del massís calcari és més important verticalment que lateralment.

També tenim les denominades **valls seques**, on les aigües penetren a la vall fins que desapareixen.

Quan aquestes aigües són absorbides en la seva totalitat, el lloc per on el cabal fluvial penetra es denomina **engolidor** o **sumider**. Així mateix, l'afllorament d'aquestes aigües és una **ressurgència**.



Una d'aquestes formes superficials que crida l'atenció són els **rasclers**. Els més característics són unes canals en la superfície de la roca fetes per la corrosió de l'aigua. Les seves arestes poden ser molt primes i tallants. La profunditat de les ranures pot tenir des d'un mil·límetre fins a diversos metres. El terme *rascler* inclou una gran diversitat de formes i mides.

Unes altres formes superficials de dimensions més notables, i possiblement més característiques del paisatge càrstic, són les **depressions càrstiques** tancades, on l'absorció de les aigües cap a l'interior s'efectua de forma més lenta.

La típica **dolina** és la que té forma d'embut, d'amplada superior a la profunditat, i el seu origen estaria lligat a l'existència d'un punt d'absorció privilegiat com a conseqüència de la intersecció de dues o més fissures. Es troben de nombroses formes, amb processos i característiques diferenciades.

La dissolució de la calcària farà que augmenti la captació d'aigua, i això comportarà una més gran energia d'erosió. En els seus vessants i al fons s'acumularà l'argila, que es dipositarà com un residu que conté la calcària.

També n'existeixen d'altres que reben el nom de dolines d'enfonsament o de pou, amb vessants escarpats que acostumen a estar associats al resultat de la ruptura del sostre per sobre d'una galeria subterrània.

Existeixen nombroses formes geomètriques de les dolines, cosa que ha donat lloc a una amplia terminologia.

Les depressions tancades d'aspecte allargat i irregular en el seu contorn, de dimensions considerables, es denominen **uvales**. La seva gènesi vindria a ser el resultat de la fusió de diverses dolines que s'haurien desenvolupat més en profunditat que en amplada.

Una depressió de grans dimensions, que fins i tot pot tenir 30 km de llarg per 10 d'ample, rep el nom de **pòlie**. Aquesta vall tancada, de vessants abruptes i fons pla recoberts d'argiles, on l'aigua penetra a l'aquífer subterrani, deu la seva formació, generalment, a accidents tectònics i a oscil·lacions dels nivells de l'aquífer. En ocasions el fons del pòlie es transforma en un llac.

Les **coves** són cavitats on predomina el component horitzontal.

Els **avencs** són cavitats on predomina el component vertical.

2.5. Les formes internes

Quan examinem els plànols de diverses cavitats en planta, podem observar la disposició de les **galeries** i els **pous**. Aquesta mirada ens proporcionarà força informació que ens ajudarà a entendre la seva formació. Unes tenen forma de xarxes i s'entrecreuen entre elles, altres són trams rectilinis, però sempre s'orienten de forma constant.

Tot això es deu principalment a la disposició dels estrats i a la proliferació de diàclasis o falles que han actuat sobre les roques. Així tindrem que unes es formen seguint els plans d'estratificació i la seva disposició és la direcció dominant de les capes, i que altres es formen seguint les direccions de les diàclasis. El més normal és la combinació de les dues.

Si ara observem les topografies de les cavitats en secció vertical, tindrem l'oportunitat de veure les cavitats de perfil i com les galeries es desenvolupen horitzontalment o en pendent. La intersecció d'una diàclasi o la mateixa estratificació pot tallar la galeria i donar lloc a un **pou**. Si són oberts a l'exterior es denominen avencs, i si són a l'interior del sistema es denominen pous; en ocasions tallen una galeria i s'anomenen pous en cascada. Per la seva morfologia tendeixen a tenir una forma d'embut invertit, amb la boca més estreta que la base. Moltes vegades el final d'un pou és una esquadra allargada sinuosa o rectilínia, de difícil progressió, que denominem **meandre**.

La base d'un pou generalment ens dona accés a una sala, i sovint a l'eixamplament d'un conducte. En ocasions, les grans sales es troben en la cruïlla de diversos conductes, i són conseqüència de les condicions favorables per a la dissolució que han donat lloc a un volum superior a les galeries.

El perfil de les galeries té diverses i variades formes; això es deu principalment a la composició de la roca calcària, ja sigui aquesta més compacta



Índex general

PRESENTACIÓ	3
1. QUIN NOM, ESPELEOLOGIA!	5
2. EL MEDI	7
2.1. L'escorça terrestre	8
2.2. Les roques	8
2.3. El carst	9
2.4. Les formes externes. Paisatge càrstic	12
2.5. Les formes internes	14
2.6. El reompliment	16
2.7. Carstificació en altres tipus de materials	19
2.8. Cavitats en altres materials	20
2.9. Altres	20
3. CLIMATOLOGIA	21
4. HISTÒRIA DE L'ESPELEOLOGIA	23
4.1. Els orígens	24
4.2. Des de l'inici fins al 1800	24
4.3. Del 1800 al 1900	26
4.4. Del 1900 en endavant	27
5. L'EQUIPAMENT DE L'ESPELEÒLEG	33
5.1. Elements de protecció	34
5.2. Elements d'il·luminació	39
5.3. Elements de progressió	40
6. MATERIAL COL·LECTIU	51
6.1. Escales (electrons)	52
6.2. Torn mecànic	52
6.3. Ancoratges	52
6.4. Plaquetes d'instal·lació	54



6.5. Mosquetons.....	55
6.6. Cordes (dinàmiques i estàtiques).....	56
6.7. Nusos	58
6.8. La farmaciola	64
6.9. Transport del material	64
6.10. Comunicacions i transmissions	65
7. TÈCNIQUES DE PROGRESSIÓ.....	67
7.1. Progressió horitzontal.....	68
7.2. Progressió vertical	69
7.3. Passamans	75
7.4. Tirolines	75
7.5. Pènduls.....	76
7.6. Escalada (lliure i artificial)	76
7.7. Cavitats amb aigua	77
7.8. Travessies.....	77
7.9. Hivernals.....	78
7.10. Tècniques de fortuna	78
8. ALTRES ESPECIALITATS	81
8.1. Espeleobusseig.....	82
8.2. Cavitats artificials	82
9. PREPARACIÓ I PLANIFICACIÓ.....	83
9.1. Prospecció exterior, campanya i expedició.....	84
9.2. Campament i bivac subterrani.....	84
9.3. Topografia	85
9.4. Alimentació.....	87
9.5. Entrenament	88
10. LA PREVENCIÓ	91
10.1. Autosocors.....	92
10.2. Espeleosocors.....	93
11. ASPECTES D'INVESTIGACIÓ	95
11.1. La vida a les cavitats.....	96
11.2. La prehistòria	97



12. LA PROTECCIÓ DEL MEDI SUBTERRANI.....	99
13. DADES DE REFERÈNCIA	103
13.1. Les 10 cavitats més fondes del món.....	104
13.2. Cavitats que passen dels -1.000 metres, agrupades per països	104
13.3. Relació de les grans cavitats mundials que superen els 200.000 metres de recorregut	104
13.4. Els tres pous coneguts més fondos.....	105
13.5. Les tres sales subterrànies més grans	105
14. BIBLIOGRAFIA	107