

Descripció i anàlisi de la morfometria dels discs: l'espeleotema paradigmàtic de les Coves d'Artà (Capdepera, Mallorca)

Juan J. ENSEÑAT ¹, Gabriel SANTANDREU ¹ i Joan J. FORNÓS ^{1, 2}

¹ Societat Espeleològica Balear. Palma, Mallorca. Email: juanjo.ensenyat@gmail.com

² Grup de Recerca de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Palma.

Abstract

Shields are a rare type of speleothem, with a very characteristic lenticular shape, the size of which can reach several meters in diameter. The cave known as Coves d'Artà, located in the northeast of the island of Mallorca, have an unusually high number of shields. For this reason, a statistical analysis of 242 shields has been carried out, recording their location, dimensions, and orientations. The results obtained support the existence of a relationship between the characteristics of the shields and the fractures in the rock, which contribute to the development of the cavity. The most common morphological characteristics are described and how they contribute to the current appearance of the cave. Despite the fact that all the specimens found are inactive, the observations are contrasted with existing theories about their development. It is also considered that capillarity by itself does not seem sufficient to explain the growth of large discs, suggesting a mixed mechanism, with contributions of water accumulated in the immediate environment at a higher level. The presence of horizontal ribs on the inner faces of most of the observable cases, which do not correspond to growth rings, is noted. The detailed observation of the precipitate of these ribs seems to indicate that they correspond to the final or later stage of development of the shields, with a different growth mechanism, or even to a distinct phenomenon. From a numerical simulation of the growth of a modeled shield, it is also hypothesized that the circular shape is only a consequence of the variation of the calcium carbonate precipitation rate along the growth front.

Resumen

Los discos son un tipo de espeleotema poco frecuente, con una forma lenticular muy característica, cuyo tamaño puede alcanzar varios metros de diámetro. La cavidad conocida como Coves d'Artà, situada al nordeste de la isla de Mallorca, presenta una cantidad inusualmente elevada de discos. Por este motivo se ha realizado un análisis estadístico de 242 ejemplares, registrando su ubicación, dimensiones y orientaciones. Los resultados obtenidos apoyan la existencia de una relación entre las características de los discos y las fracturas en la roca, que contribuyeron a la espeleogénesis de la cavidad. Se describen sus características morfológicas más comunes y cómo contribuyen al aspecto actual de la cueva. Pese a encontrarse inactivos todos los ejemplares identificados, se contrasta la observación con las teorías existentes sobre su desarrollo. Se concluye que la capilaridad, por sí sola, no parece suficiente para explicar el crecimiento de discos de grandes dimensiones, sugiriéndose un mecanismo mixto con aportes de agua de infiltración acumulada a mayor altura en el entorno. Se constata también la presencia de crestas horizontales de precipitado en las caras internas de los discos –en la mayoría de los casos observables– que no corresponden a anillos de crecimiento. La observación detallada de estos precipitados parece indicar que son el producto de la etapa final de desarrollo de los discos o de una etapa posterior a esta, con un mecanismo de crecimiento diferente, o que incluso puede tratarse de un fenómeno distinto. A partir de los resultados de la modelización numérica del crecimiento de los discos, se plantea como hipótesis que la forma circular sea consecuencia de la variación del ritmo de precipitación del carbonato cálcico a lo largo del frente de crecimiento.

Ensenyat, J.J.; Santandreu, G. i Fornós, J.J. (2023): Descripció i anàlisi de la morfometria dels discs: l'espeleotema paradigmàtic de les Coves d'Artà (Capdepera, Mallorca). *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 6: 33-55. ISSN-e 2605-3144. © Societat Espeleològica Balear.
Rebut: 3 setembre 2023; **Revisat:** 26 octubre 2023; **Acceptat:** 14 novembre 2023.
Publicat online: 1 desembre 2023.

Introducció

Sense ser d'una raresa extrema, dins del conjunt dels espeleotemes menys nombrosos hi ha els discs, a vegades també anomenats paletes o escuts (*shields*), terme, aquest darrer, més freqüent en la literatura anglosaxona. La realitat és que els podem trobar en més cavitats del que *a priori* es pensava i quan apareixen no solen fer-ho de manera aïllada. Aquest fet respon a les condicions peculiars necessàries per al seu desenvolupament (DE WAELE & GUTIÉRREZ, 2022). Sense pretendre ser exhaustius i només a títol il·lustratiu, de forma documental es constata una elevada concentració d'aquesta tipologia

d'espeleotemes a les següents coves: les Lehman Caves (Nevada, USA), on KUNDERT (1952) n'inventarià 46 exemplars; la Cueva Titán (Pan de Guajaibón, Cuba) amb 79 discs (YRAOLA et al., 2019); la Cueva de la Araña (Málaga, Espanya) amb més de 100 formacions (DURÁN et al., 2022); i la cova de Jaskyňa Domica (Rožňava, Eslovàquia) amb almenys 450 discs (GAÁL, 2008). A Mallorca s'ha documentat una presència testimonial de discs en algunes coves, com són la Cova des Moro de Manacor (TRIAS, 2000) o la Cova des Pas de Vallgornera de Llucmajor (MERINO et al., 2014), però també es coneix la seva troballa en d'altres, com la Cova de Cornavaques de Pollença o la Cova de sa Campana a Escorca, només per citar-ne dues de ben conegudes. Tot i això, per poder observar fàcilment aquest tipus d'espeleotema la millor opció és visitar les Coves d'Artà (GINÉS, 1995; MERINO et al., 2011; GINÉS et al., 2019), al terme de Capdepera. La realització de la nova topografia d'aquesta cavitat (ENSEÑAT et al., 2021) posà altre cop de manifest l'excel·lent abundància de discs que s'hi poden trobar, així com les grans dimensions d'alguns dels exemplars d'aquest tipus d'espeleotema (Figura 1).

Les Coves d'Artà són un dels llocs turístics més importants de Mallorca, amb una afluència regular de visitants documentada almenys des del s. XVII (GINÉS & GINÉS, 2011). Es desenvolupen seguint un eix S-N, perpendicular a la línia de costa de Canyamel (Capdepera), amb un recorregut gairebé horitzontal d'1,1 km, que es manté a una alçada gairebé constant entorn dels 35 m s.n.m. La seva espeleogènesi està lligada a la dissolució en la zona de mescla costanera guiada pel contacte entre l'estratificació de la roca i un pla de falla, així com a fenòmens de dissolució per la infiltració d'aigua de pluja a través de diàclasis. Successius col·lapses i una extensa decoració d'espeleotemes li confereixen l'aspecte actual. A mesura que s'avança cap a l'interior de la cova, es poden diferenciar tres sectors: la *Balma d'Entrada*, que comprèn tant el mateix accés natural com la *Cova Nova*; la *Primera Cova*, amb els espais anomenats el *Vestíbul*, el *Saló d'Ambaixadors*, i el *Saló de la Reina*; i la *Segona Cova*, formada per les sales de l'*Infern*, la *Glòria*, el *Purgatori* i el *Saló del Teatre* (Figura 2).

La presència de discs al llarg de tota la cavitat i la facilitat d'accés per al seu estudi suposen una oportunitat per aprofundir en l'estudi i la caracterització d'aquest tipus de dipòsit calcari. Així, un cop finalitzada la topografia, s'inicià la recopilació sistemàtica de diverses dades relacionades amb la morfometria dels exemplars identificats i accessibles (orientacions, mida, aspecte, etc.). L'objectiu inicial fou analitzar les possibles correlacions entre aquestes característiques i d'altres aspectes



Figura 1: Disc de quasi 3 m de diàmetre ubicat en la zona de l'*Infern*. Sorgeix d'un gran massís estalagmític (Foto: M.A. Gual).

Figure 1: Disc of almost 3 m in diameter located in the area of *Infern*. It emerges from thick flowstone deposits (Photo: M.A. Gual).

relacionats amb la configuració i l'estructura geològica de la cavitat. L'observació sobre el terreny d'un elevat nombre d'exemplars també ha permès reflexionar sobre el seu procés de formació.

Les teories sobre la gènesi i evolució dels discs des d'una perspectiva històrica

La primera referència documentada d'aquest espeleotema sembla que fou en una comunicació del *Bulletin of the Geological Society of America* (BEVAN, 1931), on s'esmenta la presència de «*many peculiar forms, such as inclined "shields" [...]*» a les coves de la vall de Virgínia (USA). En aquesta ressenya, emperò, no apareix cap descripció. Posteriorment, a la literatura espeleològica francòfona, s'ha fet servir recurrentment el terme «*disques*», denominació més gràfica i il·lustrativa de la seva fisonomia.

L'aparença dels discs és la d'un oval lenticular que, observat amb detall, presenta dues cares paral·leles separades entremig per un estret espai intersticial (GÈZE, 1965; CABROL, 1978; BÖGLI, 1980; COLLIGNON, 1988; MAIRE, 1980; GAÁL, 2008). Poden aparèixer adossats a una colada, a una altra formació, i de vegades també a la roca. En alguns casos, majoritàriament quan creixen inclinats, es pot desprendre la cara inferior, probablement pel seu propi pes, i aleshores és relativament

senzill apreciar en la cara interna del disc uns anells de creixement, amb origen en el punt on s'adossa a l'element del qual procedeix. El més habitual és trobar els discs recoberts d'espeleotemes de degoteig o de flux a la part inferior, havent estat citats amb freqüència fent ús dels termes *drums* o *parachutes* (WHITE, 1988; PALMER, 2007). Les helictites són un altre espeleotema que sovint hi creix a sobre. Ambdós fets poden ocultar la seva característica forma arrodonida i, d'aquesta manera, dificultar la identificació del disc com a tal. La confusió amb un fals sòl pot ser raonable en aquells casos en què el disc es presenta amb inclinació subhoritzontal, ja que la seva cara superior pot no ser distingible fàcilment respecte d'una colada.

Però si bé la seva morfologia singular pareix indiscutible i extensament documentada, la naturalesa de com s'origina i el seu creixement no estan exempts de debat. A les classificacions dels espeleotemes, el més comú és trobar el disc inclòs en la categoria dels espeleotemes erràtics, és a dir, aquells que no són controlats per la gravetat. Precisament per la seva capacitat de creixement ascendent, és també força usual associar el seu creixement a fenòmens de capil·laritat (HILL, 1976; WHITE, 1976, 1988; MOORE & SULLIVAN, 1997; SALOMON, 2000; PALMER, 2007; DE WAELE & GUTIÉRREZ, 2022). Comparteixen pàgines, d'aquesta manera, amb les helictites, les heligmites, les palmatòries o les cicatrius en forma de plat que mostren algunes columnes (*welts*).

Des de la identificació dels discs com a un espeleotema amb entitat pròpia, s'han proposat diverses teories per a la seva gènesi. Sense pretendre ser exhaustius, sinó més aviat il·lustrar l'estat del coneixement a propòsit

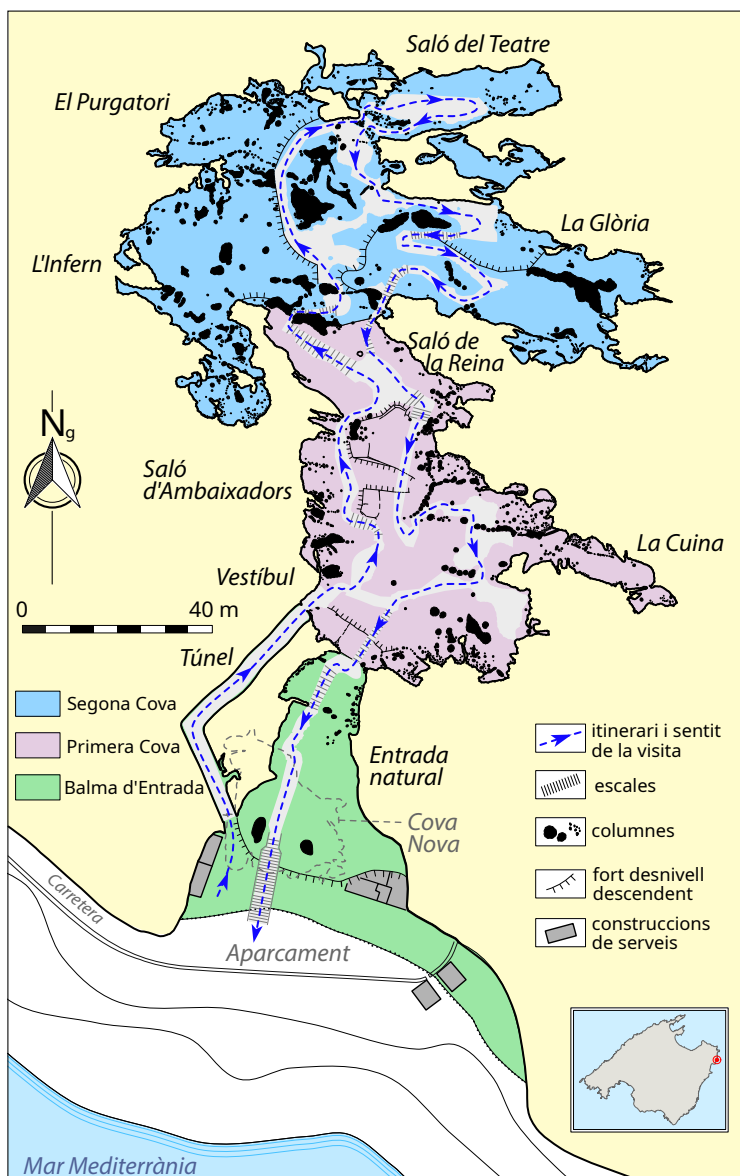


Figura 2: Topografia simplificada de les Coves d'Artà, amb els topònims principals emprats en aquest article.

Figure 2: Simplified topographic map of the Coves d'Artà, with the main place names used in this paper.

d'aquest tipus d'espeleotema, tot seguit es presenta un breu recorregut a través de les principals contribucions que aborden aquest fenomen, a les que s'ha tingut accés:

- Malgrat no haver pogut accedir als treballs originals, segons diverses fonts (RENAULT, 1976; HILL & FORTI, 1986; STANKOVIĆ & ČÍLEK, 2005), sembla que Josef Kunkský suggerí, en primer lloc (l'any 1950), que els discs creixien mitjançant la circulació d'aigua a través de l'espai intersticial que s'observa amb molta freqüència entre les dues cares que els conformen (Figura 3a).
- KUNDERT (1952), a partir de la seva experiència a les Lehman Caves (Virgínia), determinà que apareixien com a continuació de fissures en les parets de roca de la cova. Postulà que eren concrecions formades inicialment dins d'aquestes fissures i que, després, la dissolució de la roca al seu voltant les deixava exposades.
- MOORE (1958) plantejà que un petit moviment causat per les forces de marea gravitacionals, actuant sobre ambdues cares de l'espeleotema, és el mecanisme que manté la fractura intersticial dels discs oberta a llarg termini, permetent la circulació de l'aigua per l'interior. Una idea que ja en el seu moment costava lligar de forma general amb les arbitràries orientacions dels discs.
- L'any 1974 es troba documentada, a la Grotte de Pont de Ratz (Hérault, França), l'emissió d'aigua en forma de brollador en alguns discs (CABROL, 1978). Una circumstància que es repetirà posteriorment també a altres cavitats franceses i de Cuba. L'autor interpretà que, excepcionalment, pot existir una pressió hidrostàtica important a l'interior, relacionada amb episodis de pluges intenses. Aquests brolladors, assenyalà, no semblen contribuir a la formació del disc, que l'autor considera causat per un flux lent de l'aigua.
- RENAULT (1976) va fer una recopilació crítica d'algunes teories existents, incloses les citades anteriorment. Entre elles, esmentà la teoria d'A. Cavaillé -del 1960- referent a la creació dels discs a partir de fractures en columnes (*disques de colonnes*), segons la qual el canal d'alimentació de l'estalactita inicial seria el responsable d'alimentar-los. Després, per diversos mecanismes de corrosió, la columna corresponent desapareixeria, deixant només el disc. Però aquest plantejament, com el de Kundert, també presentava grans inconvenients per descriure la majoria d'exemplars.
- També HILL (1976) i CABROL (1978) relacionaren alguns discs amb els cinturons de sobre-creixement (*welts*) que es veien en columnes fracturades horitzontalment, considerant que el mecanisme de creixement, per capil·laritat, era similar.
- WEBB (1991), després de trobar unes formacions amb una morfologia de cresta ovalada que s'alçaven completament verticals sobre el terra a les coves Matilda i Gorange (Nullarbor Plain, Austràlia), introduí el que considera un nou tipus d'espeleotema, les *stegamites*. La descripció original del terme el relaciona amb els discs, però apunta a certes diferències que Webb aprecià en les línies de creixement, descrivint-les com línies horitzontals en el cas de les estegamites, en comptes dels anells corbats dels discs.
- JAIMEZ & GUTIÉRREZ (2016) descartaren les suposicions sobre el retrocés de la roca de Kundert, analitzant la duresa dels materials de la Cueva de Conrado Camacho i la Cueva del Salón (Cuba). A la vegada, proposaren un model de creixement dels cristalls basat en l'observació de macles cícliques de CaCO_3 , que li donaria a la formació el seu aspecte circular.
- DURÁN et al. (2022), després d'estudiar les formacions de la Cueva de la Araña (Màlaga), anomenà *estegamitas* als discs que hi creixen amb un desenvolupament vertical. Aquest autor, a més, elaborà una teoria mitjançant la qual l'assentament dels sediments, sota colades pavimentàries, afavoriria la formació d'esquerdes en les quals s'originarien aquests espeleotemes.
- SALA et al. (2022) realitzà, al sistema de coves de Demänová (Eslovàquia), un estudi de les cicatrius en fractures sobre espeleotemes intentant correlacionar aquestes amb fenòmens de microsismicitat local. Aquests creixements sobre les cicatrius correspondrien, en determinades circumstàncies, als estadis inicials dels discs que allà s'hi poden trobar.

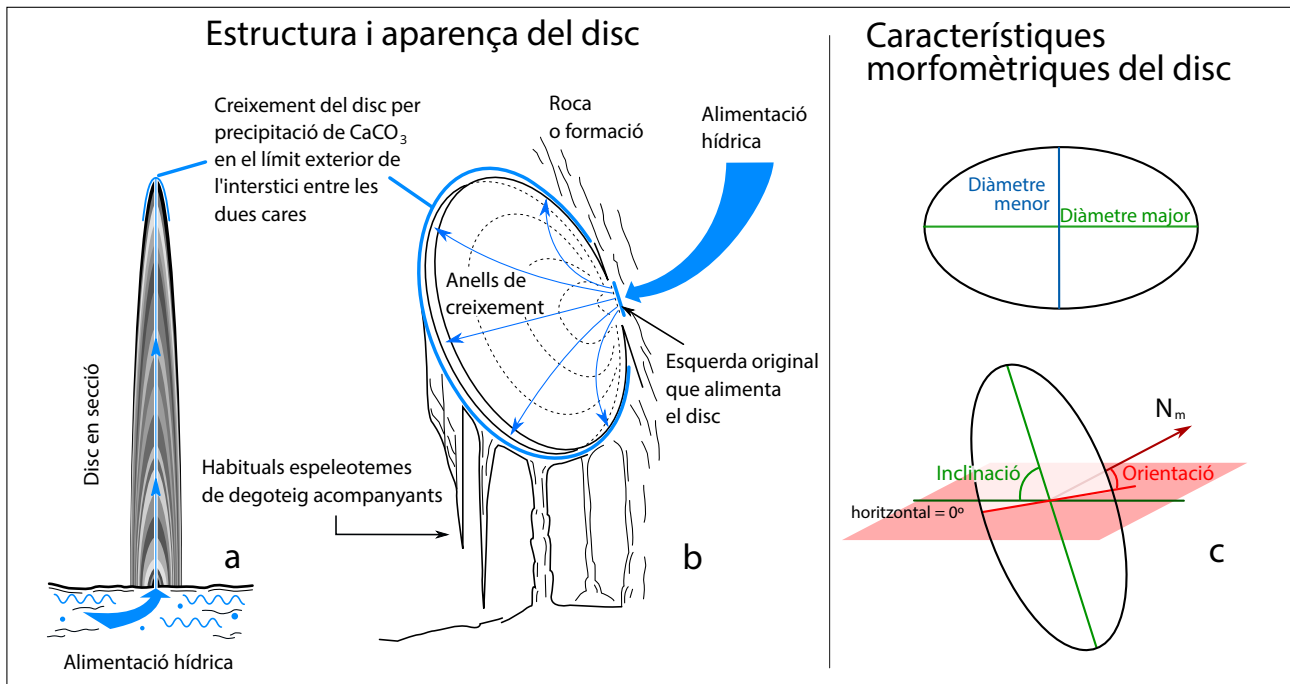


Figura 3: Esquema descriptiu d'un disc. a) Tall idealitzat en secció. b) Perspectiva mostrant la disposició d'espeleotemes que creixen a partir de l'excedent d'aigua que emana del seu límit. c) Esquema que indica les característiques morfomètriques mesurades en aquest article.

Figure 3: Descriptive diagram of a shield. a) Idealized section. b) Perspective showing the arrangement of speleothems that grow from the excess water emanating from their limits. c) Diagram showing the morphometric characteristics measured in this paper.

Al marge d'aquest recorregut cronològic, s'ha de dir que en alguns treballs s'esmenta la presència d'uns precipitats, en forma de línies horitzontals, adossats a les cares internes dels discs. HILL (1976) i DAVIS (2005) les atribueixen a nivells d'inundació dins del disc. Sobre aquest fenomen es faran alguns comentaris més endavant en aquest treball.

En resum, avui dia sembla existir un consens entorn del fet que el disc creix des d'una esquerda inicial en el seu suport, mitjançant un flux lent d'aigua, carregada amb carbonat càlcic, a través de la fissura intersticial. El precipitat es produeix principalment en el límit exterior, on es veu afavorida la degasificació, fent créixer així la formació (Figura 3a, 3b). També sembla generalitzada la idea que la capil·laritat és el principal mecanisme que promou el moviment de l'aigua entre les cares. S'ha documentat, que existeix, si més no de manera estacional, una pressió hidrostàtica important a l'interior del disc, la qual no està clar si juga, o no, un paper en el seu desenvolupament. No obstant això, el debat sobre els condicionants necessaris per a la seva formació encara continua obert, així com l'explicació de la seva característica forma quasi circular.

Mètode

Si bé és cert que a les Coves d'Artà els discs són abundants, s'han de tenir presents dos trets de la cavitat que dificulten les tasques del seu estudi sobre el terreny. El primer és que l'exploració completa de la cavitat no ha estat capaç d'identificar cap disc actiu avui per avui. Això implica que altres processos morfogenètics que han seguit actius posteriorment els han anat recobrint parcialment de colades i altres espeleotemes, fet que sovint impossibilita determinar les seves autèntiques dimensions. El segon obstacle és la ubicació d'alguns dels discs. A vegades, apareixen penjats, en parets i columnes a més de 4 m d'alçada sobre el terra de la cavitat, cosa que dificulta l'accés i arriba a impedir la caracterització morfomètrica.

Per tal de poder relacionar la morfometria dels discs i els condicionants estructurals de la cavitat s'han classificat els discs en tres conjunts segons el seu origen aparent sigui el terra, una paret o una altra formació (columna, massís estalagmític o, fins i tot, un altre disc). Això és perquè se sospitava *a priori* que la relació del disc amb la fracturació del material en què es desenvolupa la cavitat podria ser diferent en els tres casos.

També s'ha anotat la seva inclinació i orientació (Figura 3c) en segments d'arc de 5°, perquè les dificultats de l'observació, més que la resolució de la brúixola (Suunto LB-20; $\pm 1^\circ$), no permeten una precisió major.

Quan ha estat possible també s'han mesurat els eixos major i menor amb resolució d'1 cm. No s'han considerat discs per sota dels 15 cm de diàmetre. *A posteriori*, pel tractament de les dades, s'han arrodonit les mesures fins a 50 cm a múltiples de 2 cm; en l'interval entre els 51 i 200 cm s'han arrodonit a múltiples de 5 cm i per longituds majors s'han arrodonit a múltiples de 10 cm. S'ha decidit aquest processament de les dades, perquè l'error derivat de les irregularitats en la superfície del disc, que són causades principalment per altres espeleotemes que s'hi superposen, és major que la precisió de l'instrument de mesura. S'ha observat que habitualment com més gran és el disc més grans són també els espeleotemes que l'acompanyen.

Utilitzar l'oval o l'el·lipse per definir la forma més comú del disc no es pot considerar aplicable de cap manera en sentit geomètric estricte. Ambdues corbes resembren circumferències deformades i és en aquest sentit figuratiu que s'empren en aquest treball. Els discs presenten sovint distorsió en una direcció. De l'estudi matemàtic de les seccions còniques prové el concepte d'excentricitat, que quantifica el grau de deformació de la corba respecte a la circumferència. L'excentricitat d'aquesta forma geomètrica és senzilla de calcular a partir de la longitud dels dos eixos, utilitzant la fórmula

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{d^2}{D^2}}$$

on D correspon al diàmetre de l'eix major i d al diàmetre de l'eix menor. Així s'ha calculat en aquest treball.

Inicialment, també es pretenia mesurar el gruix dels discs, però els recobriments d'altres espeleotemes, que afecten pràcticament a tota la població a caracteritzar, ha posat de manifest que es tracta d'una aproximació poc realista.

S'han mesurat les direccions aparents de fractures en el sostre de la cavitat utilitzant també intervals de 5°. El fet que la major part de les parets i el terra de la cova es presenta recoberta d'espeleotemes, implica que algunes zones del sostre de la cavitat són, pràcticament, l'únic lloc on es poden estudiar directament les fractures en la roca.

Per conèixer la distribució dels discs dins la cavitat s'ha traçat una quadrícula de 4x4 m sobre la topografia i s'ha anotat la posició de tots els discs que s'han pogut identificar, fins i tot aquells que no era possible mesurar.

De més a més de l'estudi estadístic, s'ha recollit un fragment d'un disc trencat on s'aprecien unes crestes de precipitats horitzontals a l'interior. S'han fet làmines primes per observar-les al microscopi petrogràfic. També s'han estudiat mitjançant difractometria de raigs-X dues mostres d'aquest fragment per tal de determinar la seva composició mineralògica i contrastar les possibles diferències: una del precipitat que forma aquestes crestes i l'altra del que forma el cos del disc. Els paràmetres emprats en la difracció, feta amb un aparell Bruker-D8-Advance dels Serveis Científicotècnics de la Universitat de les Illes Balears, són un voltatge de 40 kV i corrent de 40 mA, amb radiació CuK α . L'adquisició es va fer dels 3 als 70° 2 θ . La mida de cada pas va ser de 0,020 i el temps per pas de 96 segons. Posteriorment, els difractogrames varen ser analitzats mitjançant el programari Diffrac Suite EVA v. 4.4.

Per finalitzar aquest treball s'ha realitzat una simulació numèrica de la forma que pot adquirir el creixement d'un disc a partir d'una esquerra rectilínia, tot considerant només factors geomètrics macroscòpics. Per a la qual cosa s'ha utilitzat el llenguatge de programació Python 3.11, en un equip amb processador Intel Core i5 i sistema operatiu GNU-Linux 6.1. La descripció del model es presenta més endavant, a l'apartat corresponent.

Descripció dels discs de les Coves d'Artà

Abans d'exposar els resultats, es descriurà qualitativament com es presenten els discs que han estat objecte d'aquest estudi: el seu aspecte, algunes de les seves característiques macroscòpiques i microscòpiques, i la funció que comparteixen amb columnes i massissos estalagmítics per aconseguir individualitzar alguns espais de la cova.

Discs que actuen com envans

Els discs de les Coves d'Artà, com pràcticament tota la resta de formacions en aquesta cova, es veuen arreu ennegrits per una patina fosca, conseqüència residual dels sistemes d'il·luminació previs a l'enllumenat elèctric, basats en la combustió de diversos materials (MARTEL, 1896; GARAU, 2005). Els recobriments d'helictites i els «paracaigudes» d'estalactites i banderes són freqüents. Però és el fet



Figura 4: a) Discs formant envans que tanquen sales, compartimentant la cavitat, a la *Segona Cova*. Els més destacats es ressalten amb línies vermelles. També s'aprecien els recobriments d'espeleotemes accessoris, excèntrics i estalactites en un disc penjat a 3 m d'alçada. b) En un altre lloc de la mateixa sala, s'assenyala amb línia discontinua un disc que tanca l'espai fins a tocar amb la roca del sostre, a 1,4 m d'alçada (Fotos: J.J. Enseñat).

Figure 4: a) Shields forming walls that define chambers, splitting the cavity, located in the *Segona Cova*. The most prominent ones are highlighted with red lines. Overgrowths of accessory speleothems, helictites and stalactites can also be seen in a shield hanging at a height of 3 m. b) In other location of the same chamber, dashed red line highlights where the shield touches the rock completely closing the space, at 1.4 m high (Photos: J.J. Enseñat).

que alguns discs quedin engolits per colades adjacents el que pot fer-los difícils de trobar o fins i tot fer-los desaparèixer completament. Per il·lustrar aquest fet es pot visitar la zona est de la *Segona Cova*, on es posa de manifest que els discs han actuat com a murs de contenció de rebliments de colades força potents. Així, un cop superat un desnivell abrupte, de més de 2 m, al qual s'accedeix per una petita obertura en la paret de la cova, es revela que la paret lleugerament volada per on es davalla és un gran disc (Figura 4a) i que dues de les quatre parets de la sala són enfilacions de discs coalescents. Aquests discs compartimenten l'espai des del terra fins quasi topar amb la roca del sostre (Figura 4b). Es pot observar una paret que podria passar per un massís estalagmític d'aspecte molt pla. Però, la desobstrucció duta a terme, probablement per un explorador, revela la naturalesa de l'envà, amb el característic crui que separa ambdues cares de la formació. Al darrere, una colada pavimentària rebleix el buit fins a una alçada de mig metre. No és un fenomen aïllat, ja que es poden trobar altres exemples d'aquest tipus de configuració en diversos llocs de la cova.

S'ha vist, d'aquesta manera, que els discs poden aparèixer en conjunts alineats, d'orientacions i inclinacions quasi idèntiques. En alguns casos sembla evident que apareixen en diversos punts d'una mateixa fractura, i a mesura que van creixent s'adhereixen fins a tancar l'espai entre ells. L'aparent encavalcament d'alguns trams, suggereix que originalment eren discs independents.

Discs que originen altres discs

Una altra situació observada és la dels discs que creixen clarament a sobre d'altres discs. S'ha vist que molts d'ells es desenvolupen en plans quasi idèntics als del disc original. Semblaria que en algunes circumstàncies, com podria ser una variació a la baixa del subministrament d'aigua, es podria arribar a segellar el límit del disc, de forma parcial o total. De manera que, en reprendre l'activitat, la formació només podria créixer per uns indrets determinats no obstruïts, o amb una oclusió més feble. Si s'accepta la hipòtesi que el disc seguís el pla de la fractura que l'alimenta, en aquests casos semblaria lògic que un nou disc segueixi el mateix pla de l'original. Un cas diferent és quan el disc pateix una fractura en

algun altre indret de les seves cares, el que acaba resultant, tot sovint, en un nou disc que quasi sempre creix ortogonal al primer. Així mateix, s'ha de fer notar que en aquests casos els discs solen presentar una forma que no és un cercle complet, sinó una forma en planta equivalent a un arc de circumferència.

La formació que els guies turístics anomenen l'*Elefant*, arran de la semblança amb aquests grans mamífers, està formada per almanco dos discs que correspondrien al cos i al cap de l'animal i que podrien exemplificar l'espeleotema que ha crescut en dues etapes. Primer s'hauria desenvolupat el disc del cos i en un segon estadi hauria crescut el disc corresponent al cap (Figura 5). Les formacions d'acompanyament, cortinatges de més de 7 m d'alçada que pengen del segon disc, posen de manifest que aquest no creix des del terra. El disc precursor, més gran, pareix sorgir d'una colada parietal, malgrat que el volum d'aquesta colada, que ha continuat creixent posteriorment, fa difícil assegurar-ho.

No molt lluny, a mig camí entre la *Glòria* i el *Saló del Teatre*, a la *Segona Cova*, hi ha un monumental conjunt format per almenys 7 discs que procedeixen clarament l'un de l'altre, compartint alguns d'ells un mateix disc precursor. Aparentment, el conjunt s'origina en un massís estalagmític.

Poques vegades és senzill determinar clarament el punt d'origen d'un disc. Ni tan sols si procedeix d'una fractura en un espeleotema o en la roca subjacent. Hi ha discs grans, més llargs en el sentit horitzontal que en el vertical, que es podria pensar que sorgeixen

del terra i quan creixen toquen una paret. Lleugeres variacions en l'orientació del pla poden dur a pensar en l'escenari descrit anteriorment d'uns quants discs adjacents sorgits d'un seguit d'esquerdes properes més o manco alineades. Però ben bé podria ser que l'origen fos la paret, i el seu desenvolupament horitzontal fos una successió de discs que creixen un de l'altre. En el *Saló del Teatre*, també a la *Segona Cova*, podem observar enfilalls de crestes sobre colades que, sense haver arribat a desenvolupar-se com els discs que hi ha al seu voltant, il·lustren el primer escenari. En un altre indret del mateix espai, un conjunt de discs adjacents podria il·lustrar el segon escenari (Figura 6).

Discs amb excentricitat elevada

A l'espai de la *Segona Cova* anomenat l'*Infern* hi ha discs amb una excentricitat notable que creixen adossats a columnes, a 10 m d'alçada, i dels quals pengen extraordinaris cortinatges (Figura 7). A la topografia de PEÑA (1882), s'assenyala l'evocador microtopònim «*vela de barco*» per un d'aquests



Figura 5: Espeleotema anomenat l'*Elefant* per la similitud de la forma amb l'animal. Està format per, almenys, dos discs. El disc de l'esquerra, de mida menor, sorgeix del disc gran i segueix el mateix pla de desenvolupament. Grans banderes de 7 m d'alçada pengen del disc fins a tocar el terra de la sala (Foto: M.A. Gual).

Figure 5: Speleothem called l'*Elefant* because of its similarity to the shape of the animal. It is formed by at least two shields. The shield on the left, smaller in size, grows from the bigger shield on the right following the same plane of development. 7 m high draperies are hanging from the shield to the ground of the chamber (Photo: M.A. Gual).



Figura 6: Antiga postal on es mostren alguns discs del Saló del Teatre. La forta inclinació dels discs afavoreix el creixement de les banderes que es poden observar a la seva part inferior.

Figure 6: Old postcard showing several shields of the Saló del Teatre. The steep slope of the shields enhances the growth of draperies on its lower part.



conjunts, en referència no tant al disc com a les dimensions de les banderes crescudes a sota d'ell. Per explicar l'excentricitat aparent del disc es podria recórrer al cas dels discs que creixen adjacents a un disc original. Però la corba suau que descriu el seu contorn i que l'eix més gran sigui horitzontal dona peu a considerar l'efecte de la gravetat en l'aigua que es mou dins del disc. La hipòtesi més estesa a l'hora de justificar que els discs creixin contra la gravetat és l'ascens de l'aigua per capil·laritat, però fins i tot aquesta es veu limitada per la gravetat. Aquest fet, afavoriria que els discs de major mida fossin més llargs que alts i imposaria un límit teòric pel seu creixement en alçada.

Discs incipients

Un altre fet que es repeteix en uns quants indrets de la cova és l'agrupació del que podríem anomenar discs incipients. Quasi sempre sobre una colada pavimentària, apareixen agrupats en un radi d'entre 1 i 2 m. Són unes crestes de forma irregular, verticals o subverticals en general, de petita alçada (inferior als 30 cm) i no sempre alineades (Figura 8). La colada de la qual sorgeixen aparenta, per la seva sonoritat en ser colpejada, tenir un cert espai buit a sota, o un sediment poc compactat. Aquests discs, que probablement alguns autors no dubtarien a anomenar estegamites, sembla que han detingut el seu creixement en una etapa molt primerenca del seu desenvolupament. Més grans que les cicatrius que curen altres fractures, aquests discs mostren una estructura desorganitzada, en comparació amb la dels discs ovalats que es troben arreu, amb nombroses interseccions i superposicions entre ells. Per la seva peculiar forma, no tan arrodonida, i les seves petites dimensions s'han exclòs de l'anàlisi estadística. Es consideren discs en aquest treball perquè tot indica que es formen mitjançant un mecanisme idèntic. Però podrien haver acabat evolucionant fins a assolir l'aspecte circular característic en cas

Figura 7: Antiga entrada a la Segona Cova. A 10 m d'alçada es pot veure un disc que presenta una elevada excentricitat, amb cortinatges estalactítics que arriben a terra (Foto: J.J. Enseñat)

Figure 7: Old entrance to the Segona Cova. At an elevation of 10 m, there is a shield with a high eccentricity, with draperies that reach the ground (Photo: J.J. Enseñat).

d'haver seguit dinàmics. Potser existí una competència pels recursos hídrics necessaris que ho impedís, o simplement el concurs de condicions necessàries per al seu creixement no fou l'adequat. El que es pot dir és que no s'han observat conjunts de discs ben desenvolupats amb una complexitat morfològica anàloga. Els espeleotemes amb aquestes característiques es troben almenys en tres llocs de la *Segona Cova*: a l'est de la *Glòria*, al *Saló del Teatre* i al *Purgatori*.

Discs anecdòtics

No és estrany trobar els discs emergint d'una colada en forma semicircular, fent dubtar de si és aquesta la seva forma o mig disc ha estat engolit. Ja s'ha dit que aquesta és la manera més comuna com es presenten quan creixen sobre la cara d'un altre disc. D'altra banda, les estalactites i altres espeleotemes competeixen amb els discs per l'espai, interposant-se en el seu creixement i alterant la seva forma. Però el cas més anecdòtic pot ser el que es dona a les interseccions dels discs entre ells.

A la *Segona Cova*, hi ha un conjunt excepcional de tres discs disposats en forma d'estrella que, per la particular configuració, dibuixen un arc de prop d'un quart de cercle (Figura 9). La principal hipòtesi és que tres discs propers amb direccions que s'intersecten en un mateix punt es desenvoluparen de manera independent fins al punt d'establir contacte, frenant el seu creixement en la intersecció.

Un altre fenomen excepcional es localitza en l'espai inferior de l'*Infern*, també a la *Segona Cova*, en forma d'un disc obert de bat a bat, dins el qual sembla haver començat a créixer un nou disc (Figura 10a). L'obertura de les cares externes podria ser deguda a un accident de tipus mecànic o una distensió sobtada del suport on creixia. Aquest cas ofereix una visió poc habitual d'ambdues cares interiors del mateix disc. En aquest cas resulta molt cridaner el patró interior de

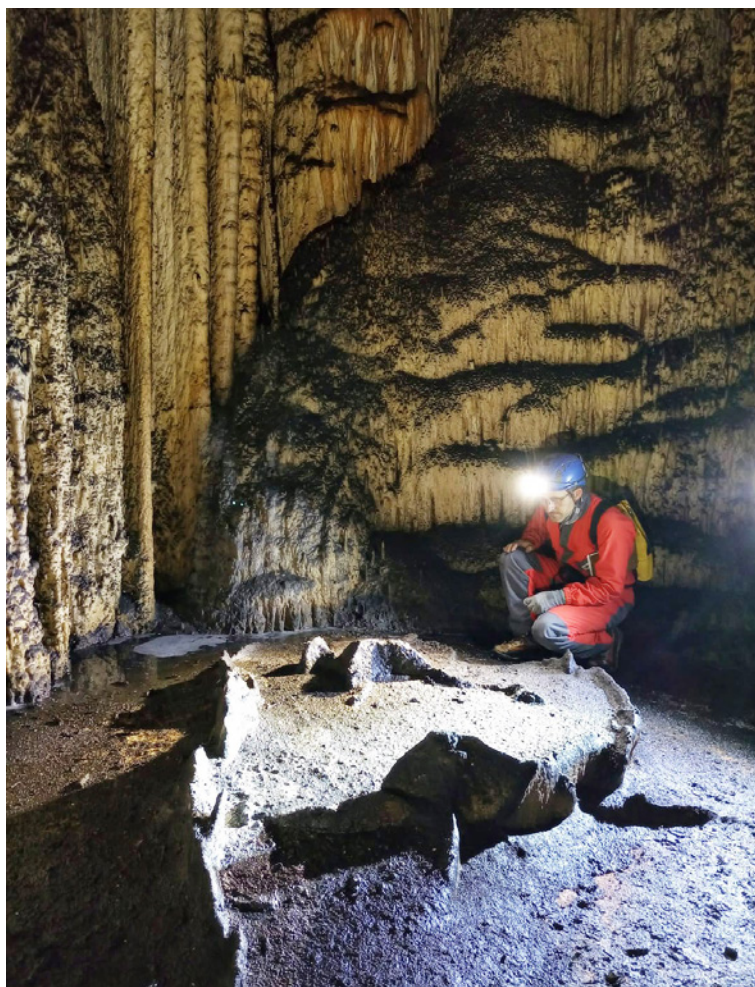


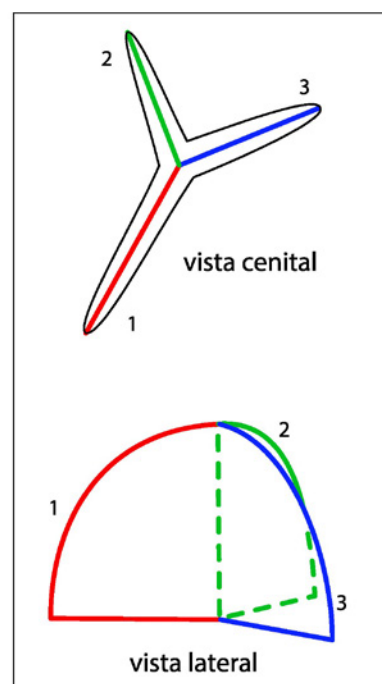
Figura 8: Conjunt de crestes al terra que podrien ser discs incipients, amb una disposició irregular i un desenvolupament aparentment interromput. Està situat en un indret allunyat del recorregut turístic, a la *Segona Cova* (Foto: G. Santandreu).

Figure 8: Set of ridges on the ground that could be incipient shields, with an irregular arrangement and an apparently incomplete development. It is located in an area away from the tourist route, in the *Segona Cova* (Photo: G. Santandreu).



Figura 9: Singular disc triple. La possible col·lisió del creixement de tres discs independents dona lloc a aquesta formació (Foto: J.J. Enseñat).

Figure 9: Singular triple shield. The possible collision while growing of three independent shields raised this formation (Photo: J.J. Enseñat).



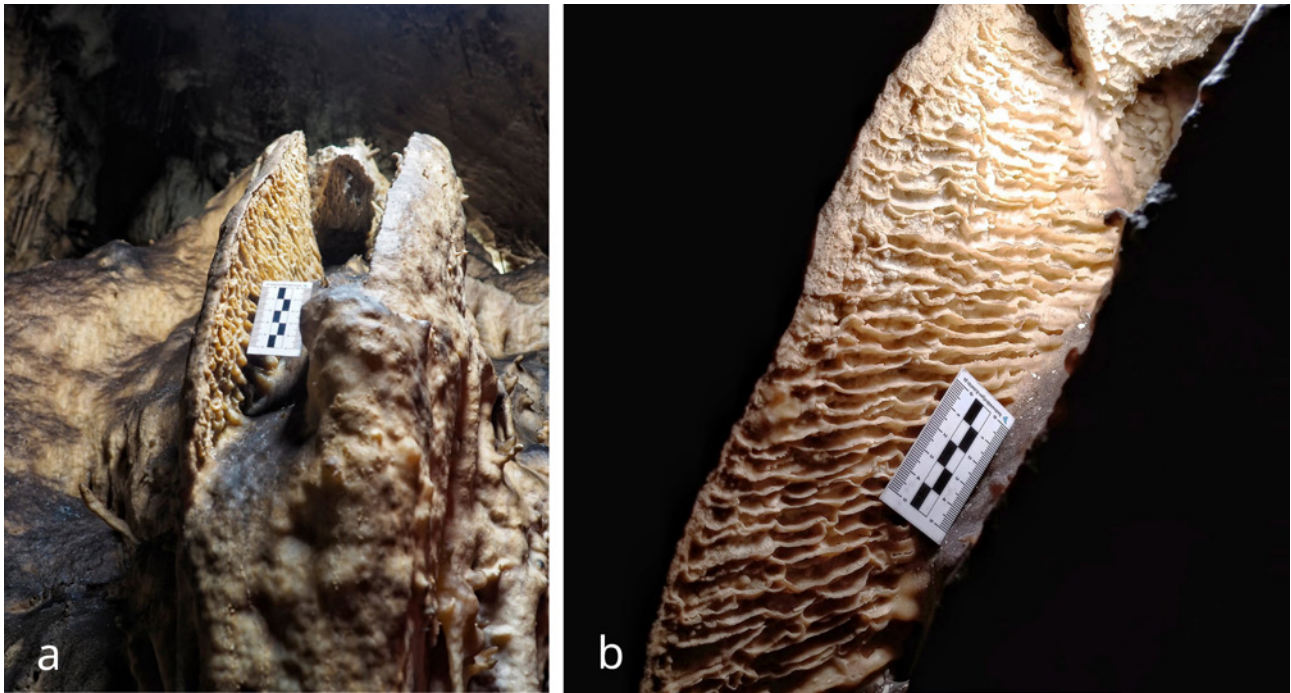


Figura 10: a) Disc obert, per algun procés de distensió mecànica, pertanyent al nivell inferior de l'*Infern*. b) El disc exposa el seu interior amb un característic patró de crestes horitzontals (Fotos: G. Santandreu).

Figure 10: a) Open shield due to some process of mechanical forces. It is located in the lower level of the zone called l'*Infern*. b) The shield exposes its interior faces with a characteristic pattern of horizontal ribs (Photos: G. Santandreu).

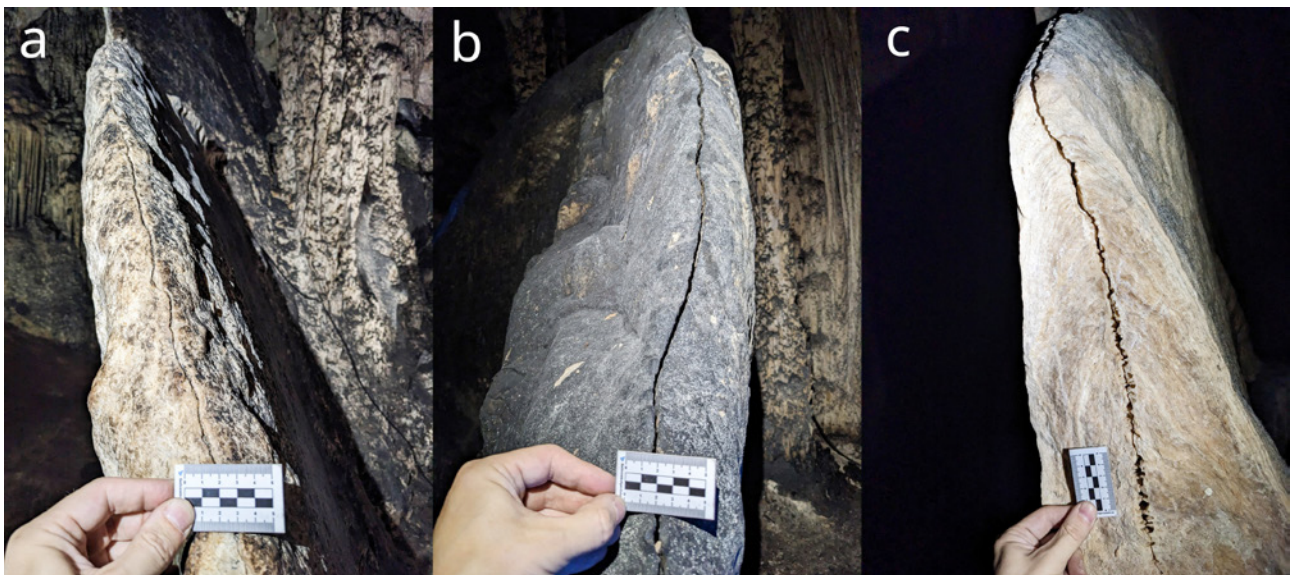


Figura 11: Fissures intersticials en alguns discs: a, b) discs de la zona del *Saló del Teatre*; c) disc de la zona del *Vestíbul*, mostrant les crestes horitzontals desenvolupades a l'interior de l'espeleotema (Fotos: J.J. Enseñat).

Figure 11: Interstitial fissures in several shields: a, b) shields in the *Saló del Teatre* area; c) shield in the *Vestíbul* area, showing the horizontal ribs existing inside the crack (Photos: J.J. Enseñat).

crestes en forma de línies horitzontals, que es veuen a banda i banda. És tan atapeït que impedeix observar els anells de creixement (Figura 10b).

Estructura i creixement cristal·lí

En molts dels discs de les Coves d'Artà que conserven ambdues cares es pot observar externament la separació entre elles (Figures 11a, 11b). En molts dels exemplars trencats, que han perdut total o parcialment una cara, es pot apreciar sobre el característic patró de creixement radial, amb franges de creixement concèntriques, un altre patró en forma de bandes horitzontals més o menys marcades.

No és possible afirmar que existeixi a l'interior de tots els discs, però sí que s'han vist indicis en gairebé tots els que presenten una obertura suficient per permetre l'observació (Figura 11c). HILL (1976) ja havia fet notar com es veien, a l'interior d'alguns discs que havien perdut parcialment una cara, unes línies horitzontals que atribuï a nivells d'aigua. En un estadi de major o menor degradació, aquest fenomen es pot veure fàcilment, per exemple, al *Saló de la Reina*, a la *Primera Cova*. GILLIESON (1996), fent-se ressò precisament de les estegamites de les coves del planell de Nullarbor (Austràlia) i referint-se concretament a les franges horitzontals, citades com de color negre, admet que hi ha una certa disputa sobre el seu origen.

Amb aquests dubtes plantejats, s'ha recollit un fragment trencat en un dels discs del *Saló del Teatre*, on aquestes línies són ben tangibles, per estudiar un tall en secció. De l'anàlisi mineralògica i cristal·lina de la secció efectuada d'aquesta mostra, es desprèn que hi ha hagut almenys dues etapes de precipitació de l'espeleotema, corresponents a dos processos diferents: la primera etapa està formada per una alternança molt marcada de làmines clares i obscures, les quals mostren una forta curvatura en una secció transversal del disc (Figura 12a). Un dels extrems de les làmines és pràcticament perpendicular al pla de la cara interna del disc, mentre que l'altre, de forma asimptòtica, es comprimeix cap a la part exterior, amb característiques típicament similars a les d'una colada. Totes formen una estructura concèntrica expansiva, en forma de ventall, en la secció interna del disc. Els cristalls que les configuren presenten una fàbrica columnar compacta, amb forma elongada, que es disposen de manera perpendicular a les làmines. La laminació observada ve marcada per una fina capa de micrita, encara que no es veu un excés de punts de nucleació. Aquesta fàbrica columnar és característica del creixement per selecció geomètrica i se sol formar a partir d'una fina làmina d'aigua que recorre la superfície exterior de l'espeleotema i, molt probablement, en condicions de desgasificació associades a la ventilació de la cavitat (FRISIA & BORSATO, 2010). La segona etapa presenta un creixement perpendicular al pla corresponent a la cara interna del disc (Figura 12b) i en continuació no òptica perpendicular als cristalls de les làmines prèviament descrites, les quals mostren un acabament irregular en el contacte. Presenta el típic creixement esferulític de tipus fibrós i radiaxial (FRISIA, 2015). També hi són observables bandes de creixement diferenciades per la tonalitat del color. La seva morfologia externa correspon a una sèrie de bandes crestades d'ordre quasi centimètric paral·leles i clarament horitzontals que contrasten amb les formes concèntriques comentades anteriorment. Aquest creixement se sol donar en condicions d'elevada supersaturació i normalment en presència de Mg; com pot ser el cas d'aqüífers localitzats en rocams dolomítics en



Figura 12: Fragment d'una de les cares d'un disc trencat del *Saló del Teatre*. a) En el tall en secció es pot veure el creixement natural del disc, amb diferents coloracions causades per les impureses contingudes a l'aigua. També es veu l'estructura de les crestes més recents, amb una coloració uniforme, causada per un creixement relativament ràpid. b) S'observa que el patró de crestes a la cara interna és essencialment rectilini i horitzontal (Fotos: J.J. Fornós).

Figure 12: Fragment of one of the sides of a shield from the *Saló del Teatre*. a) In the section of the plate, the natural growth of the shield can be seen, with different colorations caused by the impurities in the water. It can also be seen the structure of the later ribs, with a uniform coloration, caused by a relatively fast growth. b) The pattern of ribs seen on the inner face is basically straight and horizontal (Photos: J.J. Fornós).

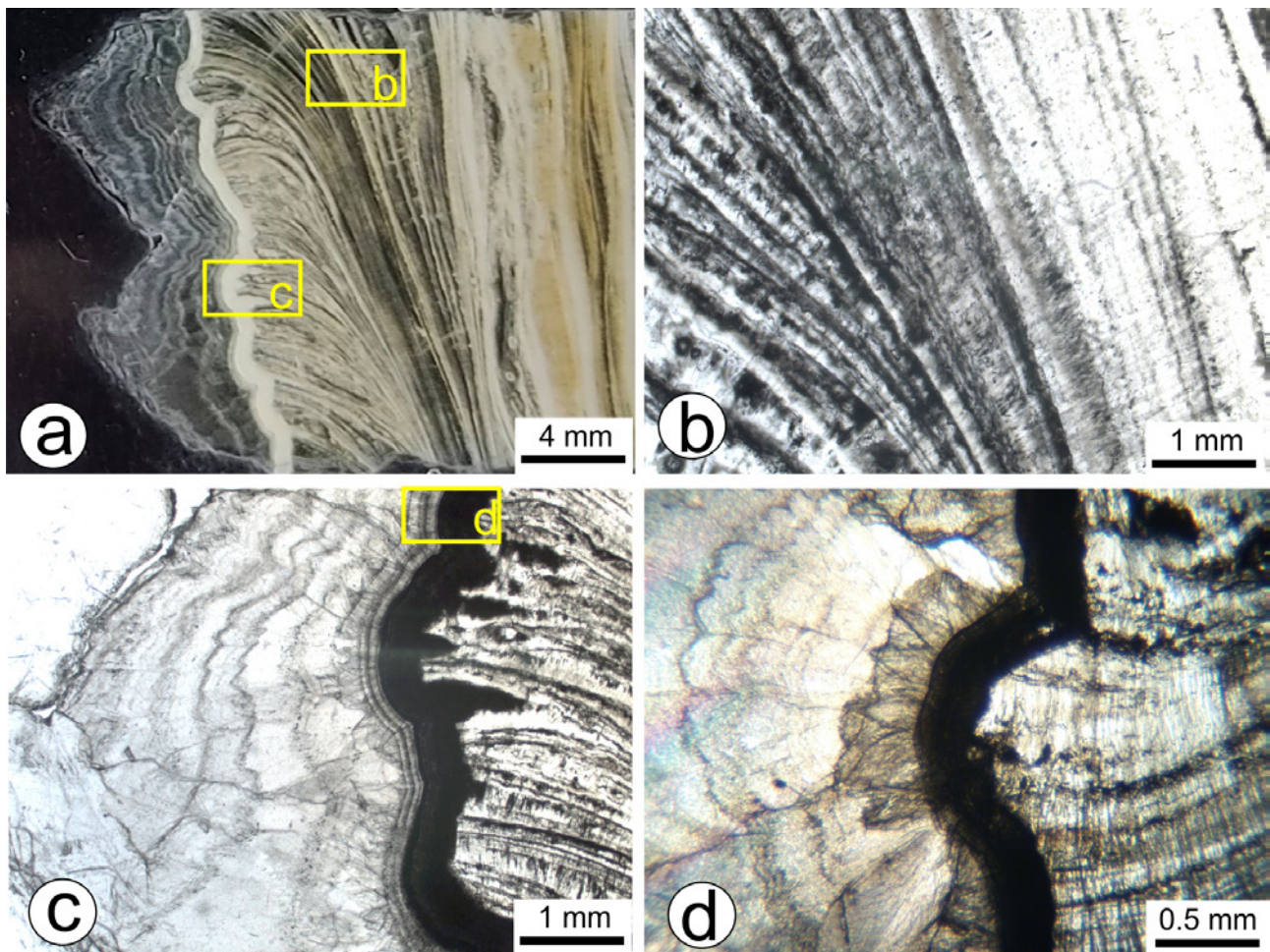


Figura 13: Làmines primes. a) Secció més interna d'un disc (llum paral·lel). b) Alternança de làmines de diversa coloració amb la típica fàbrica columnar elongada similar a la de les colades (llum paral·lel). c) Capa de calcita micrítica que separa les dues etapes de creixement. Observi's la penetració entre les làmines primigènies (nicols creuats). d) Precipitat més exterior de la part interna del disc amb la segona etapa de creixement mostrant una fàbrica esferulítica formada per cristalls de tipus fibrós i radiaxial (nicols creuats).
 Figure 13: Thin sections. a) Innermost section of a shield (PPL). b) Alternation of various colors laminae with the typical elongated columnar fabric similar to that of flowstones (PPL). c) Layer of micritic calcite that separates the two stages of growth. Note the penetration between the earlier laminae (XPL). d) Outermost precipitates from the inner part of the shield with the second stage of growth showing a spherulitic fabric made up of fibrous and radiaxial type crystals (XPL).

èpoques relativament àrides, encara que el seu creixement implica unes condicions de flux constant (FRISIA & BORSATO, 2010).

Els dos precipitats es poden trobar separats puntualment per una banda obscura (en nicols creuats) de calcita amb fàbrica micrítica (Figura 13d) que acaba amb una fina laminació, similar a l'estromatolítica, desenvolupada de forma paral·lela al pla interior del disc. Aquesta banda recobreix de forma irregular l'extrem interior de les làmines de creixement i presenta indentacions les quals penetren puntualment els seus límits. Les làmines en aquest punt presenten un acabament irregular, probable símptoma de corrosió prèvia (Figura 13c). Encara que aquest tipus de fàbrica se sol relacionar amb un grau elevat de supersaturació que dona lloc a un important nombre de punts de nucleació, probablement, també estan relacionats amb processos associats a l'activitat biològica (FRISIA & BORSATO, 2010). Tanmateix, el color clar que s'observa en llum paral·lel (Figura 13a) fa pensar que la matèria orgànica hi és absent.

Modelització del creixement dels discs

Una forma propera a la circumferència és la més característica del disc, un fet que es troba en l'origen del seu nom, però el motiu pel qual adquireix aquest aspecte no resta clar. Es presenta a continuació una modelització bidimensional del creixement del disc amb un plantejament macroscòpic. Això vol dir que en aquest model es prescindeix de qualsevol consideració sobre les característiques i disposició dels cristalls o altres condicionants del creixement a petita escala.

Figura 14: Equacions i esquemes simplificats del model de creixement d'un disc. Les equacions (A, B, C, D) i les restriccions (H), determinen el moviment del front de creixement, juntament amb varies funcions del ritme de creixement (E, F, G). L'esquema de l'estadi inicial (a baix) il·lustra l'evolució del front de creixement a les dues primeres iteracions del model.

El moviment d'un punt es descriu amb l'esquema de detall (dalt, a la dreta), on es pot veure el desplaçament d'acord amb les variables de les equacions.

Figure 14: Simplified representation of the components used in the shield growth algorithm. Equations (A, B, C, D) and restrictions (H), determine the movement of the growth front, with several growth rate functions (E, F, G). The initial state schema (bottom) shows the evolution of the growth front in the first two iterations of the model. The movement of a point is described in the detail schema (upper, right), where it can be seen with the variable used in the equations.

El model es fa bidimensional com a simplificació de la pròpia morfologia de l'espeleotema, que es presenta en un pla, amb l'origen en un segment línia –corresponent a l'esquerra del rocam on apareix– que en el model serà el front de creixement inicial.

Es considera que el front de creixement del disc avança una certa distància en un interval de temps determinat, en direcció perpendicular a la tangent del front i que la velocitat de creixement en un punt no pot variar de forma abrupta o arbitrària respecte dels punts del voltant. Aquestes consideracions es justifiquen perquè les aportacions de material dipositable, provinent del flux d'aigua de l'interior, i les condicions exteriors causants del precipitat –això és l'ambient exterior del disc– no s'espera que variïn localment.

Com a restriccions de la simulació s'ha imposat que el creixement no pot ser negatiu, ni per darrere de la línia marcada pel front inicial, i que els extrems del front estan fixats en tot moment (Figura 14H).

Així, s'ha discretitzat el segment de línia corresponent a l'esquerra inicial, de longitud L , en un conjunt de $N+1$ punts. Cada punt \vec{x}_n avança en el pla amb les equacions de moviment

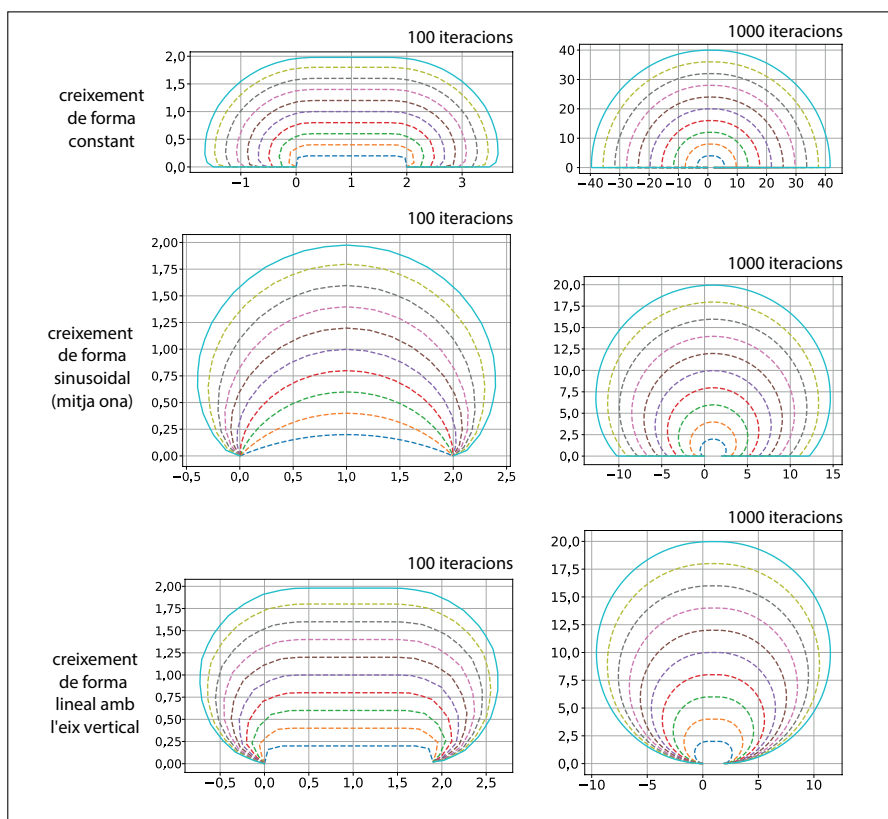
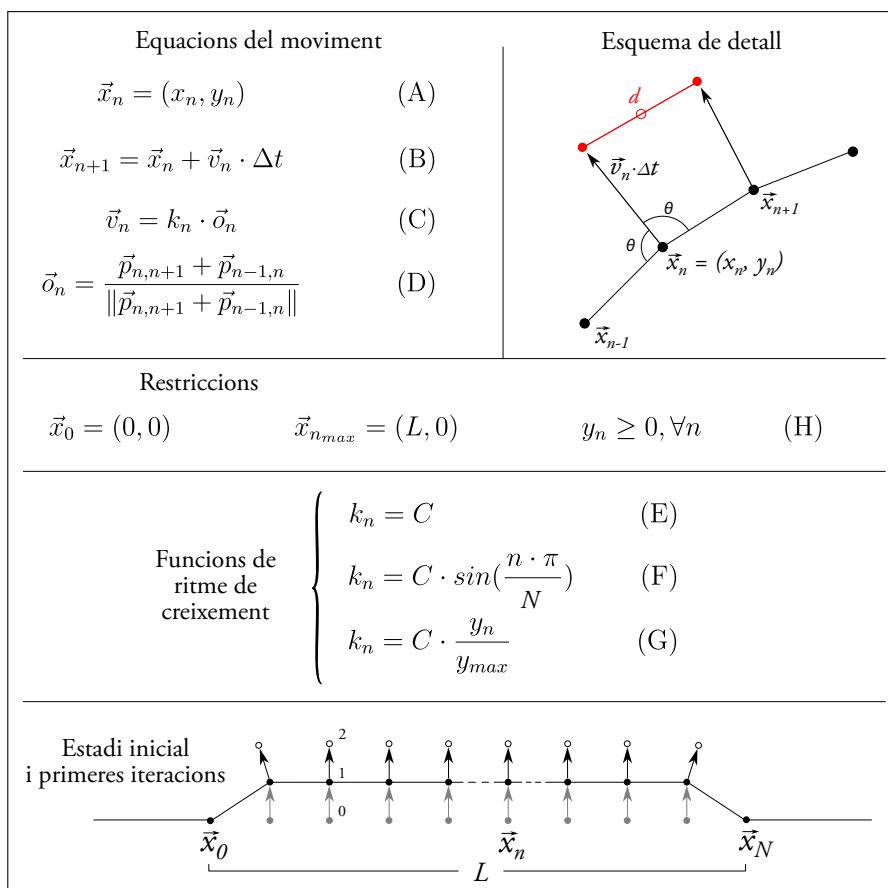


Figura 15: Resultats de la simulació numèrica per diferents funcions del ritme de creixement del disc: una funció constant (a dalt), una funció de mig sinus (al centre) i una funció lineal amb l'alçada (a baix).

Figure 15: Results of the numeric simulation for different growth rate functions of the shield: a constant function (up), a half sinus wave function (middle), and a growth rate proportional to height function (bottom).

de la Figura 14 (A, B, C, D). El vector unitari de creixement (\vec{o}_n) en el punt \vec{x}_n , es calcula a partir de la suma dels vectors perpendiculars als segments amb els punts veïns (de \vec{x}_{n-1} a \vec{x}_n) i posteriors (de \vec{x}_n a \vec{x}_{n+1}). Quan la distància d que separa dos punts consecutius supera en un factor 1,5 la separació inicial $L/(N+1)$, s'interpol·la un nou punt entre ambdós, amb la finalitat de mantenir un front de creixement amb una discretització similar al llarg de tota la seva extensió.

S'han avaluat tres funcions pel ritme de creixement, k : un ritme de creixement constant C , que presenta un salt abrupte al valor zero en els extrems (Figura 14E); un ritme de creixement sinusoïdal, de mitja longitud d'ona (Figura 14F); i un ritme de creixement que augmenta linealment amb la distància a la línia de base (Figura 14G). Els ritmes de creixement de les funcions F i G de la Figura 14, normalitzats a un valor màxim C , pretenen descriure un escenari on s'espera que el precipitat disminueixi en les proximitats dels extrems del front de creixement, on s'ha de fer nul.

La simulació mostra en els tres casos que els fronts de creixement conserven un aspecte amb una curvatura petita en els estadis inicials, quan la mida del disc té unes dimensions de l'ordre de magnitud de la longitud de l'esquerda. En canvi, després d'un nombre suficient d'iteracions del model, el disc s'engrandeix amb uns fronts de creixement gairebé circulars (Figura 15).

Distribució, morfometria i mineralogia dels discs

A les Coves d'Artà s'han identificat clarament 242 discs. La distribució i densitat espacial sobre la topografia de la cova es pot veure a la Figura 16. Això representa una densitat global de

2,8 discs per cada 100 m², assolint-se concentracions màximes de fins a 7 discs ben desenvolupats en una parcel·la de 16 m², en diversos llocs de la *Segona Cova*. A la *Balma d'Entrada* es troben només 2 exemplars, a la *Primera Cova* se n'identifiquen 59 i a la *Segona Cova* es compten 181. Segons el punt on semblen originar-se: 82 creixen des del terra, 80 des d'una paret, 25 apareixen de fractures en altres discs i 55 sorgeixen d'altres formacions.

Sobre una mostra de 175 exemplars s'observa una excentricitat molt variable, presentant-se un valor mitjà d' $\varepsilon=0,52$ amb $\sigma=0,29$. Així i tot, hi ha un gens menyspreable conjunt de 31 discs circulars, amb $\varepsilon=0$ (Figura 17).

Sobre aquesta mateixa mostra, el càlcul del diàmetre mitjà obté un resultat de 142 cm, amb $\sigma=102$. El 75% dels discs presenta un diàmetre mitjà per sota de 190 cm (Figura 18a). Del conjunt de 31 discs circulars, 25 tenen una mida inferior a 100 cm de diàmetre mitjà i la resta d'exemplars en cap cas superen els 260 cm. El més petit mesurat correspon a un disc circular de 20 cm de diàmetre, mentre que el més gran és un de 620 cm de longitud per 210 cm d'alçada. El disc amb major diàmetre segons l'eix vertical fa 310 cm. En aquests càlculs s'han omès aquells discs dels que no s'han pogut amidar ambdós eixos.

Respecte a la inclinació, sobre una mostra de 221 exemplars, predominen els verticals i subverticals: el 55% dels discs creixen amb una inclinació per sobre dels

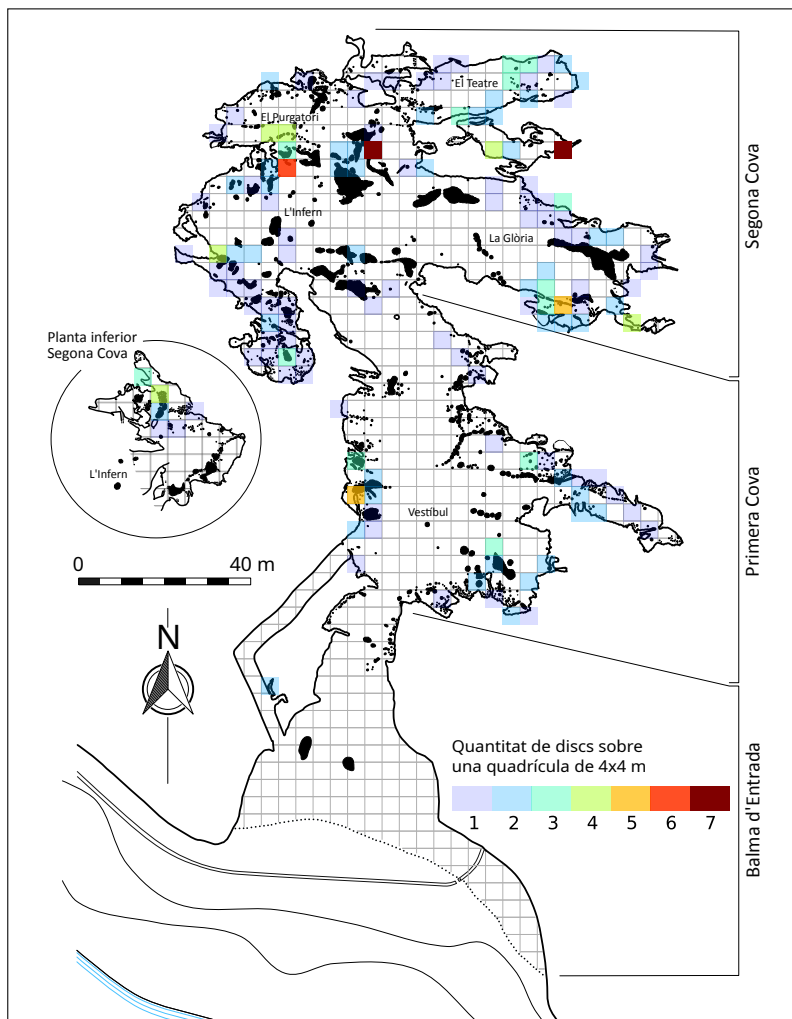


Figura 16: Distribució espacial dels discs a les Coves d'Artà. Es pot observar que la concentració és major en les zones properes a la perifèria de la cavitat i els grans massissos estalagmítics que la divideixen.

Figure 16: Spatial distribution of the shields in the Coves d'Artà. It can be observed that the concentration is higher in the peripheral areas of the cavity and the large flowstone deposits that compartmentalize the chambers.

80° respecte del pla horitzontal (55 són completament verticals), mentre que no s'observa cap disc amb una inclinació per sota dels 20° (Figura 18c). És de destacar que s'han detectat pocs discs amb un diàmetre superior a la mitjana i amb una inclinació per sota dels 60° (Figura 18b).

Pel que fa a les orientacions, els resultats són molt més heterogenis i depenen de les agrupacions considerades. Per a tot el conjunt de discs, no s'identifica cap direcció clarament preferent (Figura 19d). Dit això, si se separen els discs en funció del punt d'origen aparent, aquells que sorgeixen de les parets mostren una preferència per la direcció WNW-ESE (Figura 19a), mentre que els que surten de terra ho fan per la direcció N-S (Figura 19b). La combinació d'ambdós conjunts, dibuixa una direccionalitat més difusa, però encara guarda una lleugera tendència cap a l'WNW-ESE. Els discs que sorgeixen d'altres formacions, exclouent altres discs, no presenten cap correlació clara (Figura 19c).

Per tal de poder comparar les direccions dels discs amb les principals línies de fracturació de la roca, es varen dur a terme altres mesures complementàries d'orientacions. L'anàlisi combinada de 9 fractures clarament observades al sostre de la cavitat, on la roca és visible, i les 10 alineacions d'espeleotemes (columnes), que

Figura 18: a) Histograma del nombre de discs en relació amb la seva mida. La majoria de discs presenten unes dimensions inferiors als 2 m. b) Relació entre la inclinació dels discs i la seva mida. S'observa l'absència de discs grans amb plans de desenvolupament horitzontals o subhorizontals. c) Histograma del nombre de discs en relació amb la seva inclinació. S'aprecia una majoria de discs amb tendències verticals i subverticals.

Figure 18: a) Histogram of the number of shields related to its size. The majority of the shields have a dimension inferior to 2 m. b) Relationship between the inclination of the shields and their size. Is noted the absence of large shields with horizontal or subhorizontal planes. c) Histogram of the number of shields related to its inclination. Can be seen a majority of vertical or almost vertical shields.

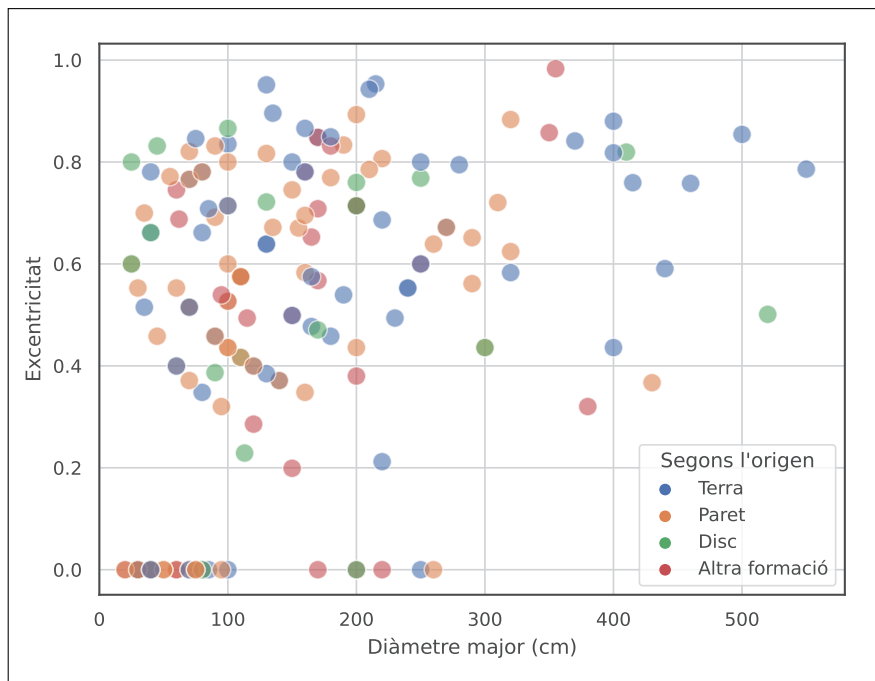
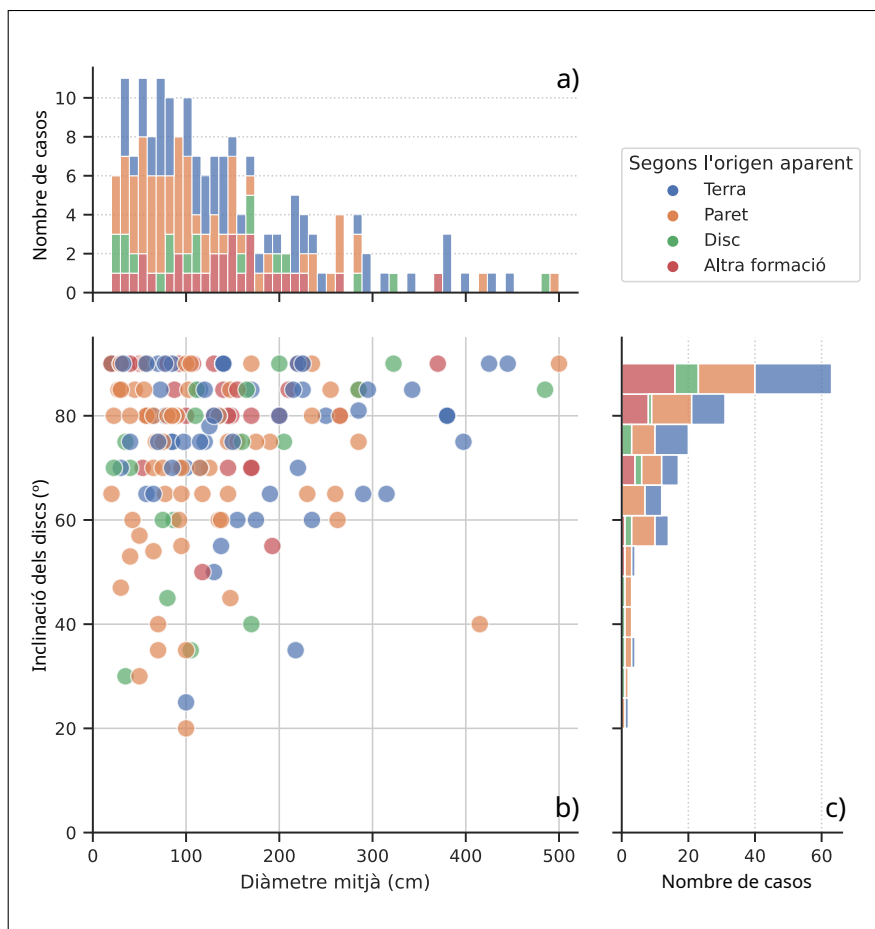


Figura 17: Relació entre l'excentricitat dels discs i el seu diàmetre major. Es pot veure que els discs circulars tenen una mida inferior als 3 m de diàmetre, però de forma general hi ha discs allargats independentment de les seves dimensions. Els colors distingeixen les agrupacions dels discs segons el seu origen: el terra, una paret, un altre disc o un altre espeleotema.

Figure 17: Relationship between the eccentricity of the shields and their greatest diameter. It can be seen that the circular shields are less than 3 m in diameter, but in general there are elongated shields regardless of their dimensions. Colors distinguish the group of shields depending on their origin: the floor, a wall, another shield, or other speleothem.



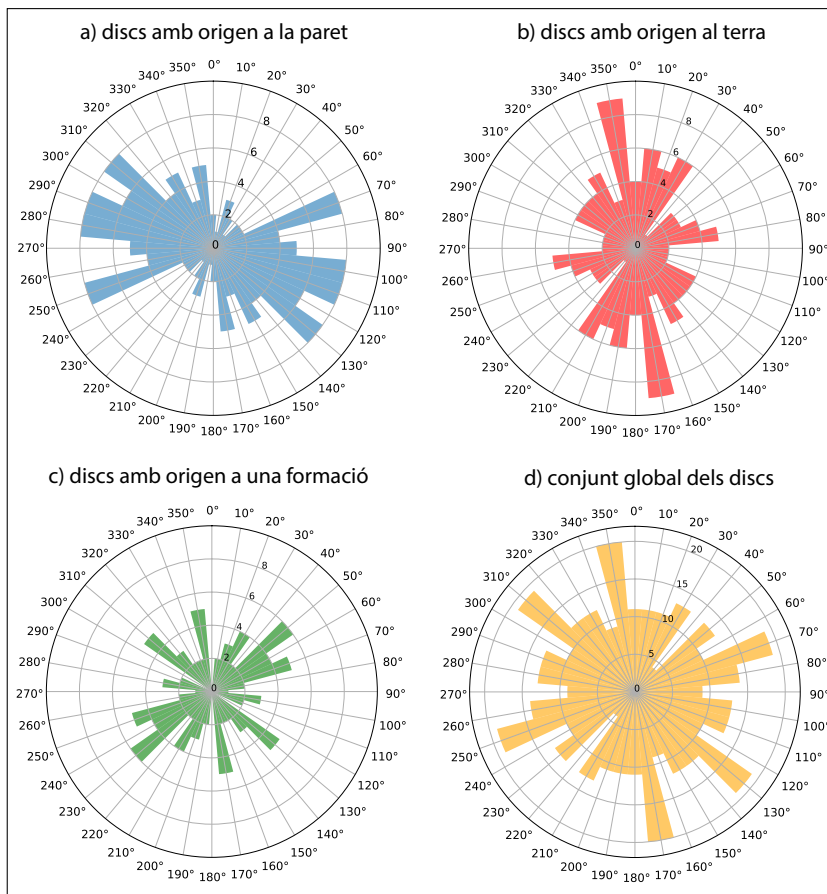


Figura 19: Histograma polar de les orientacions dels discs, respecte al nord magnètic. Els discs que sorgeixen d'una paret (a) presenten una orientació compatible amb les diaclasis de la roca. Els discs que sorgeixen del terra (b) pareixen seguir tendència S-N, probablement relacionada amb la falla que propicia el desenvolupament de la cova en aquesta direcció. Els discs que sorgeixen d'una altra formació (c) no pareixen seguir cap direcció determinada. (d) El conjunt total dels discs mesurats tampoc mostra una clara direccionalitat.

Figure 19: Polar histogram built with orientations of the shields, referred to magnetic north. The shields emerging from a wall (a) present an orientation compatible with the rock joints. The shields emerging from the ground (b) seem to follow a S-N trend, probably related to the fault that favors the development of the cave in this direction. The shields emerging from another formation (c) do not seem to follow any clear direction. (d) The whole population of measured shields also does not show a clear directionality.

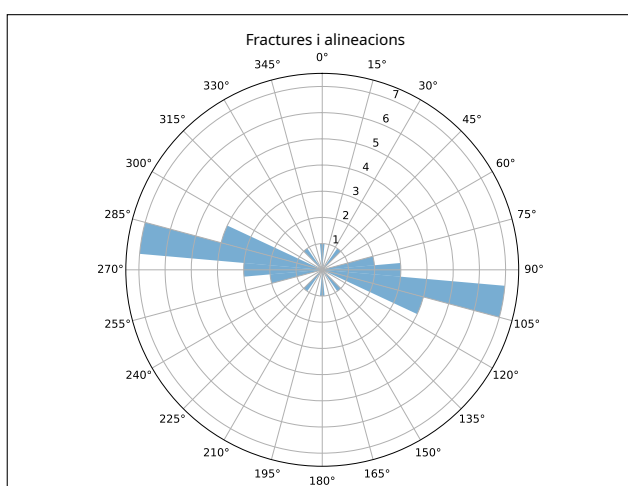


Figura 20: Orientació de les fractures en la roca i alineacions de columnes en la cavitat. Es pot veure que majoritàriament presenten una tendència compatible amb les diaclasis de la roca, visibles en el sostre de la Cuina, el Saló del Teatre i l'Infern.

Figure 20: Orientation of the fractures in the bedrock and column alignments in the cavity. It can be seen that most of them present a tendency compatible with the orientation of rock joints, visible in the ceiling of the Cuina, the Saló del Teatre and l'Infern.

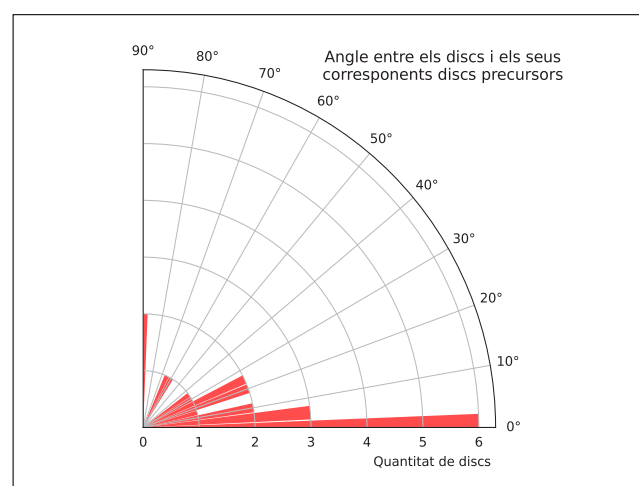


Figura 21: Angles entre els plans dels discs que apareixen sobre altres discs i el pla del corresponent disc precursor. S'observa una tendència majoritària a seguir el mateix pla i en menor grau una tendència gairebé perpendicular.

Figure 21: Angles between the planes of the shields that develop on other shields and the plan of the corresponding precursor shield. There is a majority tendency to follow the same plan and to a lesser degree an almost perpendicular tendency.

serien conseqüència indirecta de fractures similars, mostra un control segons l'eix E-W (Figura 20). S'ha d'admetre que el conjunt de mostres és reduït. Això s'explica per la dificultat que es presenta en aquesta cova per accedir directament a la roca, a causa de l'extensa decoració d'espeleotemes.

També s'han analitzat els discs que creixen d'altres discs. Per veure la relació entre ells, s'ha agafat com a referència el pla del disc d'origen. Sobre una mostra de 22 exemplars, un 36% segueixen un pla que divergeix amb un angle inferior a 10° respecte al pla del disc precursor, i un 76% divergeixen en menys de 30° (Figura 21).

Per acabar, l'anàlisi mineralògica efectuada per difractometria de raigs-X indica que els discs estan formats per calcita amb molt baix contingut de magnesi. La mostra recollida en el propi cos del disc indica un valor de presència de Mg (MgO : 0,03; CO_3 : 0,97) lleugerament inferior al reblliment de la part intersticial del disc (MgO : 0,06; CO_3 : 0,94), fet que queda reflectit en el lleuger desplaçament del pic corresponent a la cara (1,0,4) tal com s'observa a la Figura 22.

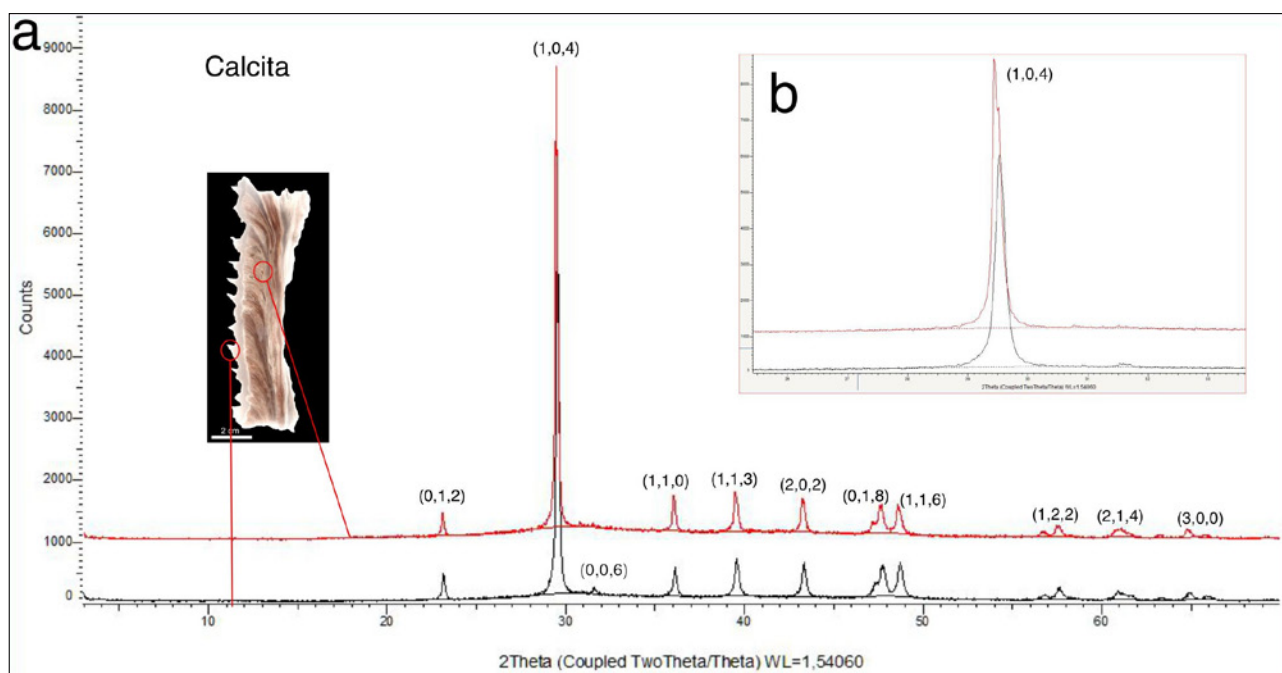


Figura 22: a) Difractograma de les dues mostres analitzades del fragment de disc de la Figura 12. b) Ampliació del segon pic. La composició difereix molt lleugerament en la concentració de Mg (Font: Serveis Científico-Tècnics de la UIB).
 Figure 22: a) Diffractogram of the two samples analyzed from the shield fragment in Figure 12. b) Enlargement of the second peak. The composition differs very slightly in the Mg concentration (Source: Serveis Científico-Tècnics de la UIB).

Discussió dels resultats

Tot i no ser un espeleotema que es pugui considerar molt estrany, la quantitat de discs, en nombres absoluts, que es troben a les Coves d'Artà, és remarcablement elevada considerant la informació publicada sobre altres cavitats d'arreu del món. Analitzant la seva distribució, la densitat de discs, si bé és baixa en les zones més properes a l'exterior, augmenta ràpidament a mesura que s'avança cap a l'interior de la cova. S'ha de fer notar que al plànol topogràfic utilitzat per il·lustrar la distribució espacial dels discs (Figura 16) no apareix representat l'espai corresponent a la *Cova Nova*, un nivell inferior de la *Balma d'Entrada*. El motiu és que a la *Cova Nova* no s'ha localitzat cap exemplar. El fet que els discs desapareguin amb la proximitat a l'exterior podria estar condicionat per dos factors: les condicions hidrològiques necessàries per al seu desenvolupament, que serien més propícies en les zones més internes, i que actualment encara són més actives; i, en menor mesura, el deteriorament general dels espeleotemes en la part de la cova més exposada a agents externs, que pot haver fet desaparèixer algunes formacions fins al punt de no poder ser identificables.

De treballs precedents (GINÉS et al., 2019; ENSEÑAT et al., 2021) es coneix que les Coves d'Artà presenten un desenvolupament en un eix gairebé S-N, seguint un pla de falla en aquesta direcció i aprofitant l'estratificació que cabussa uns 30° en direcció E. Alhora, la cavitat es veu clarament influenciada per una sèrie de diàclasis en direcció de 105°. Així, no només grans sales (conjunt de la *Glòria* i l'*Infern*, la *Cuina* o el *Saló del Teatre*) resten orientades en aquesta direcció, sinó que nombrosos conjunts de formacions (com estalactites i columnes), pareixen alineades de la mateixa manera. Les morfologies més vistoses que presenta la roca són les formes de dissolució en el sostre de diferents indrets (el *Saló del Teatre* i la *Cuina* principalment), formant solcs paral·lels que recorren el sostre al llarg d'una vintena de metres, essent aquesta orientació de 105° ± 5° directament mesurable.

De l'anàlisi estadística es desprén que en el cas dels discs la correlació no és tan evident. Perquè es formi un disc sembla que és necessària una esquerda en el material sobre el qual creix, i són molt pocs els casos on s'observa la seva aparició directament per sobre de la roca. Però s'ha de dir que en aquesta cavitat les parets de roca amb absència d'espeleotemes es limiten essencialment a regions del sostre, algunes d'elles a gran alçada. Pràcticament tot el perímetre de la cavitat està recobert per dipòsits de precipitat, amb alguns recobriments parietals de més de 10 m d'alçada. El fet que els discs apareguin de manera més freqüent sobre colades i altres formacions té dues interpretacions no exclouents. Per una banda, les colades podrien ser reblerts posteriors que envolten discs amb origen a les fractures que les

pròpies colades acaben recobrint. Per altra banda, la colada és un material senzill de fracturar de forma neta —amb fissures molt fines—, requisit necessari per formar un disc. La transmissió de les esquerdes de la roca a les colades parietals pot ser difícil de justificar sense recórrer a fenòmens de microsismicitat. Però la correspondència entre els discs i les diàclasis sembla estar present. Si es consideren només els discs que sorgeixen de les parets (bàsicament de colades parietals) es pot constatar una tendència compatible amb l'orientació de 105° (Figura 19a). El que apuntaria al control estructural exercit per les diàclasis sobre els discs.

La formació d'esquerdes en colades pavimentàries per assentament dels materials subjacents poc cohesionats (blocs, sediments, etc.) és més senzilla d'assumir. S'ha de tenir present, a més, que en els espais entre aquests materials subjacents s'hi podria haver acumulat l'aigua necessària per mantenir l'alimentació del disc. Així doncs, la predominança de la direcció S-N, que mostra el grup dels discs que creixen des del terra (Figura 19b), pot estar relacionada amb el fet que la mateixa cova presenta una estructura desnivellada seguint aquesta direcció. Part de la regió W es desenvolupa a un nivell més baix (conjunt *Infern-Purgatori*). Tractar d'advertir si la falla està relacionada amb aquest desnivell estructural, i si aquest fet intervé afavorint fractures en aquest sentit més eficaçment que les diàclasis, seria totalment especulatiu. Però no es pot negar que estructuralment la direcció S-N és característica de la cavitat i que un conjunt significatiu de discs la segueix.

En referència al tercer conjunt, el dels discs que creixen a partir d'altres formacions (columnes, massissos estalagmítics i altres discs), no es veu una direcció predominant. La manera com es fractura una columna pot tenir més a veure amb febleses estructurals de la seva construcció que amb l'estructura geològica de l'entorn de la cova. Així, com era previsible, les direccions d'aquest conjunt de discs presenta un caràcter molt aleatori (Figura 19c). Pel que fa als discs que creixen a sobre d'altres discs queda palès el fet que majoritàriament segueixen essencialment els mateixos plans (Figura 21). Es podria arribar a considerar que tot el conjunt correspon a un sol disc, d'aspecte irregular, amb un únic origen que subministra l'aigua pel seu creixement. Però s'ha decidit distingir i mesurar separatament cada part com un disc independent, d'acord amb el límit on el pla de les seves cares o la forma del seu perímetre presenta una inflexió perceptible. S'ha considerat que, malgrat tot, en aquest segment del front de creixement del disc original es donen les condicions per generar un nou exemplar de l'espeleotema amb totes les característiques que li són pròpies.

Sobre la naturalesa del creixement dels discs en general, de la llei de JURIN (1718) es desprèn que l'aigua, a temperatures al voltant dels 20°C , per assolir alçades de 3 m mitjançant capil·laritat entre dues plaques paral·leles, la separació entre aquestes hauria de ser micromètrica. La concentració d'impureses dissoltes variaran els càlculs, però és d'esperar que el resultat es mantindrà dins del mateix ordre de magnitud en quant a la separació de les plaques. En conseqüència la capil·laritat pot explicar l'ascens de l'aigua només fins a una certa alçada. STANKOVIĆ & CÍLEK (2005) també raonaren en aquest sentit, sense plantejar altra hipòtesi alternativa. Per construir discs de dimensions majors, la pressió hidrostàtica per diferència de potencial podria ser una solució al problema. Si s'accepta que en algun moment la separació intersticial pot arribar a aconseguir les amplades mil·limètriques o properes al centímetre que en alguns casos s'observen (Figura 11), no es pot imaginar altre mecanisme capaç de substituir la capil·laritat. Aquesta pressió seria capaç d'inundar els espais intersticials menys estrets, fent arribar l'aigua als límits superiors. Els discs sota aquestes condicions funcionarien a la manera de les geisermes, segons la seva definició més àmplia. En casos excepcionals aquest escenari seria la causa dels brolladors documentats a altres coves (CABROL, 1978) i probablement afavoriria el creixement d'espeleotemes de degoteig i de flux sota el disc.

Val a dir, que l'amplada dels espais intersticials dels discs observables actualment poden no correspondre al període en què els discs estaven en plena evolució. Però la mida de les bandes de cristallitzacions horitzontals que es troben a l'interior apunta al fet que aquestes amplades corresponen a moments en què l'espai intersticial sí que era capaç d'emplenar-se d'aigua. Per tant, s'ha de considerar que l'escenari hidrològic que permet la formació de discs és bastant complex i difícil de modelitzar. Probablement, es tracti d'un procés que evoluciona des d'unes etapes inicials on predomina la capil·laritat, amb un règim de flux més lent i constant, a uns estadis finals on pressions més altes, potser amb fluxos més elevats i irregulars, es fan necessàries. Tot plegat suggereix que distensions, causades tal vegada per la gravetat o la mateixa pressió de l'aigua a l'interior, poden engrandir la separació entre les cares a mesura que va creixent el disc. Tampoc es poden descartar mecanismes de dissolució del precipitat que eixamplin l'espai a l'interior mentre a la zona perimetral es manté una fissura estreta, la qual limitaria el flux, com proposen STANKOVIĆ & CÍLEK (2005).

De l'absència de discs grans amb una inclinació baixa es pot inferir que la distensió entre les cares, pel seu propi pes, incrementa la separació intersticial més ràpidament que en els discs més verticals. I d'aquesta manera, amb l'eixamplament, es modifica el règim hídric necessari per al creixement.



Figura 23: Gran disc inclinat del Saló de la Reina, a la Primera Cova. Aquest exemplar supera els 4 m de diàmetre i manté una inclinació propera als 40°. És un fet excepcional, fora de la tendència estadística observada en aquest treball (Foto: A. Merino).
 Figure 23: Big sloped shield located at Saló de la Reina, in the Primera Cova. This shield exceeds 4 m in diameter with slope close to 40°. This is an exceptional situation out of the stadistic trends observed in this paper (Photo: A. Merino).

O, fins i tot, es pot pensar que els fa més propensos a trencar-se si no s'han pogut desenvolupar sota espeleotemes que els suportin adequadament. En ambdós casos el disc deixaria de créixer. L'excepció es troba en l'exemplar del Saló de la Reina de les Columnes amb un diàmetre de 420 cm i una inclinació de 40° (Figura 23). I és precisament la magnitud dels espeleotemes de degoteig i de flux associats sovint als discs el que porta a suposar que del front de creixement del disc sovint pot sorgir una quantitat d'aigua notable, almenys de manera estacional.

El fet que els discs que creixen sobre una de les cares d'un altre disc no presentin una forma circular completa –el que és directament observable, doncs no hi ha disc a l'altre costat– porta a pensar que tal vegada el cercle és una forma cap a la qual el disc pot evolucionar, però no necessàriament la que presenta en tot el seu estadi evolutiu.

D'acord amb les simulacions numèriques realitzades, la forma circular o semicircular del disc correspondria a un estadi en el qual l'espeleotema ha crescut prou perquè l'esquerda original es pugui considerar una font d'aspecte puntual. Resulta raonable pensar que la fractura d'una cara d'un disc es pot estendre per gairebé tot el seu diàmetre. Així, en aquest cas és d'esperar una morfologia corresponent a un estadi primerenc o mitjà de l'evolució del disc en el model presentat.

Tot plegat apunta al fet que la longitud de la fractura i el temps de desenvolupament de la formació esdevenen factors equiparables en importància per definir la forma del disc, i se suma a d'altres factors que puguin afectar a la distribució de l'aigua, com la gravetat o diferències en el gruix de l'esquerda. Una fractura irregular, bé sigui en amplada o en direcció, podria evolucionar cap al que s'ha anomenat un disc incipient en aquest treball. Potser alguns d'aquests discs incipients poden evolucionar cap a l'aspecte que WEBB (1991) anomenà estegamites. Localment, algunes línies de creixement sí que es podrien presentar, sota certes circumstàncies, gairebé horitzontals –paral·leles a l'esquerda inicial– o amb una curvatura baixa. Mentre que uns altres discs, si es donen les circumstàncies propícies,

podrien seguir el seu desenvolupament i adquirir l'aspecte oval o circular tan característic. Però no es veu justificació per considerar que es tractin d'espeleotemes diferents als discs si es considera el seu mecanisme de creixement.

Sobre el model numèric elaborat es pot raonar que en el cas d'ajustar-se a un ritme de creixement uniforme el disc creixeria de forma radial a partir d'un origen no puntual, la qual cosa resulta amb el temps en una forma semicircular. Per aconseguir la forma completament circular, en canvi, sembla necessari introduir en la funció del ritme de creixement un efecte de reducció del ritme en les proximitats dels extrems del front de creixement. Si bé s'ha argumentat que es pot identificar aquesta reducció amb una disminució del flux hídric, aquesta no deixa de ser una hipòtesi introduïda *ad-hoc*.

Per aprofundir en aquesta qüestió cal un estudi més acurat, un model més elaborat i, sobretot, una observació detallada dels anells de creixement dels discs en exemplars complets.

Sobre els patrons horitzontals que creixen a l'interior dels discs, l'anàlisi apunta al fet que es formen un cop que el disc sofreix una separació important de les seves cares. Sembla clar que pertanyen a un estadi en el qual tot assenyalava al fet que el disc ha deixat de créixer com a tal. Qüestió a part és l'aparent regularitat de la freqüència vertical que s'observa en aquestes línies, d'ordre de magnitud centimètrica. La causa d'aquesta aparent regularitat no es pot explicar amb les dades disponibles avui per avui.

Conclusions

L'anàlisi estadística dels discs de les Coves d'Artà mostra una predominança dels exemplars amb una disposició vertical o subvertical, així com la d'exemplars amb una mida inferior a 200 cm de diàmetre mitjà.

La correlació entre les orientacions dels discs i les fractures de la roca (diàclasis i falles), que són determinants per entendre la morfogènesi de la cavitat, sembla existir quan el disc creix en una paret o al terra. Això succeeix principalment en les direccions WNW-ESE i N-S, respectivament. Aquest fet és compatible amb la hipòtesi que una part dels discs estan relacionats amb la fracturació de la roca que actua canalitzant els recursos hídrics necessaris. Tampoc es descarten mecanismes de microsismicitat pel reajustament del subsòl, format per blocs i sediments, que podrien causar fractures en colades pavimentàries. En canvi, no s'identifica cap direcció predominant quan els discs creixen sobre altres espeleotemes.

El mecanisme de creixement dels discs presenta certes incògnites no resoltes. Tot plegat apunta que el mecanisme hídric que alimenta el disc és complex, i reduir únicament la gènesi a la capil·laritat no és suficient. Sembla necessària la participació de mecanismes complementaris. Així, per explicar la pressió hidrostàtica observada per alguns autors, hauria d'existir una retenció de columna d'aigua d'infiltració amb una altura superior en els voltants de l'esquerda que origina el disc. Aquesta retenció, bé en la porositat de la roca, bé en esquerdes o en sediments acumulats al darrere de colades i altres espeleotemes propers, actuaria com una sort d'aquífer captiu alimentant el disc amb major o menor pressió de forma estacional o episòdica. Per tant, podrien confluir ambdós fenòmens i, en cas de ser així, el disc podria estar més relacionat amb una geisermita que amb una heligmita.

No es pot concloure de les observacions una explicació senzilla de les raons per les quals a partir d'algunes esquerdes es formen espeleotemes d'aspecte tan divers com unes cicatrius de pocs centímetres de gruix, unes complexes crestes d'aspecte irregular o discs de grans dimensions. Però algunes observacions i els càlculs realitzats apunten en el sentit que la forma circular del disc podria ser només un dels possibles estadis resultants del creixement d'aquest espeleotema.

Considerada l'anàlisi mineralògica duta a terme, també sembla que hi ha indicis suficients per sostenir la idea que els patrons horitzontals observats a l'interior de l'espai intersticial d'alguns discs es corresponen amb un estadi final en l'evolució del disc o, fins i tot, posterior a la seva formació. Es tracta d'un creixement ràpid de precipitat que es produeix quan el disc ja ha deixat de créixer com a tal o està a punt de fer-ho.

Per acabar, s'ha d'emfatitzar el fet que cap dels discs de la cova és actiu des d'un punt de vista morfogenètic ni s'aprecien evidències d'activitat recent. Només s'han trobat formacions que poden correspondre a diferents estadis evolutius, però tots interromputs. No s'ha realitzat tampoc cap intent de datació, així com tampoc es pot inferir indirectament la seva antiguitat. Tot plegat només permet aproximar-se al funcionament hidrològic d'aquestes formacions i fer propostes, el més plausibles possible, a propòsit de la seva gènesi. Així s'han de considerar les contribucions aportades en el present treball.

Agraïments

Volem expressar la nostra gratitud a la propietat de les Coves d'Artà, els Srs. Tomás Zaforteza i Javier Enseñat; a l'encarregat, Miquel Ginard; i a tots els guies, per la seva col·laboració i excel·lent disposició, demostrada al llarg de les recurrents visites dutes a terme a la cova.

A Àngel Ginés i Joaquín Ginés, per la seva ajuda en l'àmbit bibliogràfic, aportant la seva experiència amb valuosos comentaris, i a Lluís Gómez-Pujol per la revisió del text.

A Miquel À. Gual i Antoni Merino, per proporcionar algunes fotografies excel·lents per il·lustrar aquest treball, i a tots els companys de la *Societat Espeleològica Balear*, que d'alguna manera han contribuït a poder presentar els resultats d'aquest treball.

Aquest treball forma part del projecte finançat pel MCIN i la Agencia Estatal de Investigación PID2020-112720GB-I00/AEI/10.13039/501100011033.

Bibliografia

- BEVAN, A. (1931): Caverns and associated features in the Valley of Virginia [abstract]. *Bulletin of the Geological Society of America*, 42: 324-325.
- BÖGLI, A. (1980): *Karst Hydrology and Physical Speleology*. Springer-Verlag. 284 pàgs. Berlín.
- CABROL, P. (1978): *Contribution à l'étude du concrétionnement carbonaté des grottes du sud de la France: morphologie, genèse, diagenèse*. Mémoires du Centre d'Etudes et de Recherches Géologiques et Hydrologiques. Université des Sciences et Techniques du Languedoc. 275 pàgs.
- COLLIGNON, B. (1988): *Spéléologie: Approches scientifiques*. Edisud. 236 pàgs. La Calade. Aix-en-Provence.
- DAVIS, D.G. (2005): Speleothems: helictites and related forms. In: CULVER, D.C. & WHITE, W.B. (eds.) *Encyclopedia of Caves*. Elsevier Academic Press. 549-554. Burlington.
- DE WAELE, J. & GUTIÉRREZ, F. (2022): *Karst Hydrogeology, Geomorphology and Caves*. Wiley & Sons Ltd. 888 pàgs. Chichester.
- DURÁN, S.R.; DURÁN, J.J.; SÁNCHEZ, J.E. & VADILLO, I. (2022): Descubrimiento de un conjunto excepcional de estegamitas en una nueva cavidad aparecida en el interior de una cantera de calizas en La Araña, Málaga, Sur de España. In: *Minas y Cuevas: Patrimonio Geológico y Turístico*: 71-83. VIII Congreso Español sobre Cuevas y Minas Turísticas. Pulpí.
- ENSEÑAT, J.J.; PLA, V.; SANTANDREU, G.; VALERO, A.R.; BASCUÑANA, X.; GRÀCIA, F.; ENTRENA, A.; PILARES, A.; NAVARRO, N.; TRIAS, M.; ARANDA, C. & GUAL, M.A. (2021): Nou plànol topogràfic de les Coves d'Artà (Capdepera, Mallorca). *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 4: 47-74.
- FRISIA, S. (2015): Microstratigraphic logging of calcite fabrics in speleothems as tool for palaeoclimate studies. *International Journal of Speleology*, 44 (1), 1-16.
- FRISIA, S. & BORSATO, A. (2010): Chapter 6 Karst. In: ALONSO-ZARZA, A.M. & TANNER, L.H. (eds.) *Carbonates in continental settings: facies, environments, and processes. Developments in Sedimentology*. Elsevier. Vol. 61: 269-318. Amsterdam.
- GAÁL, L. (2008): The stone beauty of caves. In: *Caves of the world heritage in Slovakia*. State Nature Conservancy of the Slovak Republic. 168 pàgs.
- GARAU, C. (2005): *Les Coves d'Artà. Capdepera (Mallorca)*. Edicions Documenta Balear. 106 pàgs. Palma.
- GÈZE, B. (1965): *La Spéléologie Scientifique*. Éditions du Seuil. 190 pàgs. Paris.
- GILLIESON, D. (1996): *Caves: Processes, Development and Management*. Blackwell Publishers Ltd. 324 pàgs. Oxford.
- GINÉS, A. (1995): Els espeleotemes de les coves de Mallorca. *Endins*, 20 / *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 3: 87-97.
- GINÉS, J.; FORNÓS, J.J. & GUAL, M.A. (2019): *Coves d'Artà. Canyamel (Mallorca)*. 32 pàgs. Palma.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (2011): Les coves turístiques de les Illes Balears: antecedents i estat de la qüestió. *Endins*, 35 / *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 17: 333-344.
- HILL, C. A. (1976): *Cave minerals*. National Speleological Society. 136 pàgs. Huntsville.
- HILL, C. A. & FORTI, P. (1986): *Cave minerals of the world*. National Speleological Society. 238 pàgs. Huntsville.
- JAIMEZ, E. & GUTIÉRREZ, D.A. (2016): Rotación de cristales en maclas cíclicas o de giros: nueva hipótesis sobre el origen de las paletas o escudos de calcita. *Gota a Gota*, 11: 57-64.
- JURIN, J. (1718): An account of some experiments shown before the Royal Society; with an enquiry into the cause of some of the ascent and suspension of water in capillary tubes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 30: 739-747.
- KUNDERT, C.J. (1952): The Origin of the Palettes, Lehman Caves National Monument, Baker, Nevada. *The American Caver*, sept 1952: 32-33.
- MAIRE, R. (1980): Eléments de karstologie physique. *Spelunca, Spécial*, nº3: 56 pàgs. París.

- MARTEL, E.A. (1896): Sous Terre (neuvième campagne). Cueva del Drach, à Majorque - Scialets du Vercors - Chouruns de Dévoluy. *Ann. Club Alpin Français*, 23ème année. 368-413 + 1 plànol. París.
- MERINO, A.; FORNÓS, J.J. & GINÉS, A. (2011): Espeleotemes i minerals de les coves de les Illes Balears. *Endins*, 35 / *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 17: 183-198.
- MERINO, A.; GINÉS, J.; TUCCIMEI, P.; SOLIGO, M. & FORNÓS, J. (2014): Speleothems in Cova des Pas de Vallgornera: their distribution and characteristics within an extensive coastal cave from the eogenetic karst of southern Mallorca (Western Mediterranean). *International Journal of Speleology*, 43 (2): 125-142.
- MOORE, G.W. (1958): Rôle of earth tides in the formation of disc-shaped cave deposits. *Actes du Deuxième Congrès International de Spéléologie. Bari - Lecce - Salerno*. 1: 500-506. Castellana-Grotte.
- MOORE, G.W. & SULLIVAN, N. (1997): *Speleology, Caves and the Cave Environment*. Cave Books. 176 pàgs. St. Louis.
- PALMER, A.N. (2007): *Cave Geology*. Cave Books. 454 pàgs. Dayton.
- PEÑA, P.A. (1882): Apéndice. Plá de las covas de Arta. *Anuari de la Associació d'Excursions Catalana. Any primer 1881*. Tipografia de Jaume Jepús. 313-316 + 1 plànol. Barcelona.
- RENAULT, P. (1976): Les concrétions en disque. *Spelunca*, 2 (4^e série): 55-60.
- SALA, P.; BELLA, P.; SZCZYGIEL, J.; WRÓBLEWSKI, W. & GRADZIŃSKI, M. (2022): Healed speleothems: A possible indicator of seismotectonic activity in karst areas. *Sedimentary Geology*, 430: 106105.
- SALOMON, J.N. (2000): *Précis de Karstologie*. Presses Universitaires de Bordeaux. 250 pàgs. Pessac.
- STANKOVIČ, J. & CÍLEK, V. (2005): Stegamites: first finds of the unusual cave formations in Slovakia. *Bulletin of the Slovak Speleological Society*, special edition 2005: 31-35.
- TRIAS, M. (2000): La Cova des Moro (Manacor, Mallorca) i alguns destacats aspectes de la seva morfologia. *Endins*, 23: 73-77.
- WEBB, R. (1991): Stegamites - A form of cave shield. *Proceedings of 18th Conference of the Australian Speleological Federation*: 95-98. Margaret River.
- WHITE, W.B. (1976): Cave Minerals and Speleothems. In: FORD, T.D. & CULLINGFORD, C.H.D. (eds.) *The Science of Speleology*. Academic Press. 267-327. Londres.
- WHITE, W.B. (1988): *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. Oxford University Press. 480 pàgs. New York.
- YRAOLA, J.; BALDOQUIN, Y.; MONTESINO, L.D.; MENÉNDEZ Y. & SOSA R. (2019): Estudio de las paletas o escudos de calcita de la Cueva Titán en el Elemento Natural Destacado «Pan de Guajaibón» (Cuba). *Gota a Gota*, 18: 58-61.



Aquest article es distribueix sota els termes de la llicència CC-BY-NC-ND 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

