

Nou plànol topogràfic de les Coves del Drac (Manacor, Mallorca)

Juan José ENSEÑAT¹, Francesc GRÀCIA^{1,2}, Antelm GINARD¹, Guillem MASCARÓ¹, Gabriel SANTANDREU¹, John Freddy FERNÁNDEZ¹, Miquel TRIAS¹, Joan PÉREZ¹, Pere BOVER¹, Antoni CIRER¹, Vicenç PLA¹, Juan Carlos LÁZARO¹, Damià VICENS¹, Davide ANSALDI¹, Francesc Xavier BASCUÑANA¹, Bernat CLAMOR¹, Andrés LOZANO¹, Miquel Àngel PERELLÓ^{1,3}, Miquel Àngel GUAL¹, Miquel Àngel VIVES^{1,3}, Bernat GAVIÑO¹, Pere GAMUNDÍ¹, Moisès BONNIN¹, Álvaro GRANELL¹, Nicolás BETTON¹, Nick FRANGLÉN¹ i Dirk BORNEMANN¹

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

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

³ Explorextrem.

Abstract

Since F. Will in 1880 made the first map of the Coves del Drac, the following stages of exploration brought forth new topographic surveys. The current underwater exploration has forced a complete revision of the cave and other surrounding minor cavities. Using up to date technology and methodology, the most complete and accurate topographic map is presented, drawn in plan and sections, with several derived metrics. This new topography allows us to estimate the development of the cave in 7,690 m, as well as the projected surface in 71,159 m², of which 39,550 m² belong to underwater galleries and chambers; performing these topographic tasks required measuring 9,815 m of polygonals.

Resumen

Desde que F. Will en 1880 realizase la primera topografía de las Coves del Drac, las siguientes etapas de exploración dieron a luz nuevos levantamientos topográficos. La actual exploración subacuática llevada a término ha obligado a una revisión completa de la cavidad y de otras cuevas menores circundantes. Utilizando la tecnología y metodología actuales se presenta el plano topográfico más completo y preciso realizado, dibujado en planta y secciones, junto con algunas métricas derivadas. La nueva topografía realizada permite evaluar el desarrollo de la cueva en 7.690 m, con una extensión proyectada en planta de 71.150 m², de los cuales 39.550 m² corresponden a las galerías y salas subacuáticas; la realización de estas tareas topográficas ha requerido 9.815 m de poligonales.

Ensenyat, J.J. et al. (2018): Nou plànol topogràfic de les Coves del Drac (Manacor, Mallorca).
Papers Soc. Espeleo. Balear, 1: 65-76. ISSN 2605-3144. © Societat Espeleològica Balear.
Rebut: 9 juliol 2019; Revisat: 16 juliol 2019; Acceptat: 23 juliol 2019.
Publicat online: 6 agost 2019.

Introducció

En espeleologia considerem que el plànol topogràfic d'una cavitat ha de ser un exercici d'equilibri que té com a objectiu cobrir dos aspectes importants, un qualitatiu i l'altre quantitatiu. En primer terme, una topografia espeleològica ha de ser descriptiva, de manera que, interpretant correctament les convencions adequades, qualsevol persona es pugui fer una idea del que es trobaria al visitar la cavitat. A fi de fer-la comprensible, i sobretot en una cavitat de grans dimensions com la que ens ocupa, el topògraf ha d'escollir quins elements són prescindibles en favor de la llegibilitat i quins s'han de representar de manera obligada per tal de deixar constància dels trets principals i definitoris de l'àmbit subterrani. Tota topografia espeleològica té aquest caire subjectiu. En segon terme ha de ser precisa, no tan sols com a fidel representació d'un espai subterrani, sinó també com a base que faran servir ulteriors treballs en molt variades disciplines. La precisió vindrà determinada per la qualitat dels instruments utilitzats, però també per la metodologia emprada i el temps invertit en l'execució.

Tota topografia posa sobre la taula la primera etapa del coneixement que es pot adquirir sobre la cavitat, reflex de l'exploració realitzada fins aquell moment, que alhora és resultat dels mitjans tècnics i humans disponibles. Si en el segle XIX l'espeleologia subaquàtica era senzillament impensable no

és menys cert que els avanços en tècniques de progressió vertical, seguretat personal i sobre tot en il·luminació permeten també veure la cavitat amb altres ulls i trobar continuacions on abans podien passar fàcilment desapercebudes o considerar-se impracticables. Topografia i exploració van de la mà i ambdues de la tecnologia. En aquest sentit podem observar una evolució natural en les topografies preexistents de les Coves del Drac (GINÉS et al., 2018).

La tècnica topogràfica

Vagi per endavant que no és l'objecte d'aquest treball explicar amb detall com es realitza el plànol topogràfic d'una cavitat. Hi ha disponible una extensa bibliografia al respecte per aprofundir al tema (MARTÍNEZ, 1992). En aquest escrit, tan sols esmentarem els conceptes fonamentals a fi d'il·lustrar per una part la motivació de fer una nova topografia d'aquesta coneguda cavitat i per altra la metodologia emprada a l'estudi actual que ens ocupa.

Tècnicament l'exercici de la topografia consisteix en relacionar posicionalment els elements de la cavitat, els límits, els accessos, els espeleotemes i altres accidents rellevants. Fixat un punt d'origen, es determina una posició mesurant la distància en línia recta i la orientació visual de l'altre, tant en el pla horitzontal com en el vertical (Figura 1). En un entorn com és el subterrani, la brúixola esdevé l'instrument primordial per mesurar les orientacions de la poligonal i d'aquesta manera el posicionament dels elements topogràfics requereix de la determinació del seu azimuth respecte del nord magnètic, a partir d'un origen arbitràriament fixat pel topògraf. Per aquest motiu, esdevé fonamental la presència sobre el dibuix tant de la orientació del nord magnètic com de la data de realització, sabut com és que la declinació magnètica és variant amb el temps. La projecció en planta i el desnivell de la distància rectilínia mesurada entre l'origen i el punt a referenciar habitualment es calcula mitjançant la trigonometria aplicada a l'angle indicat pel clinòmetre. Quan fem referència a aquest mètode, basat en la geometria esfèrica, en aquest treball l'anomenarem trigonomètric. No obstant això, en algunes circumstàncies pot ser més senzill mesurar el desnivell directament. Aquest és el cas de la topografia subaquàtica, on la pressió exercida per la columna d'aigua indica la profunditat en el punt on es col·loca el manòmetre que tot bussejador porta sempre a sobre com part fonamental de l'equip d'immersió. Així, de la simple aplicació del teorema de Pitàgores resulta la distància horitzontal. A aquest mètode, basat en la geometria cilíndrica, l'anomenarem mètode geomètric o de desnivells.

Històricament la tècnica topogràfica ha variat poc, basant-se en aquests dos esquemes de mesura. Observant-se només una continua millora dels instruments, des de la mesura de distàncies amb cordes als moderns sistemes LIDAR automatitzats (ZLOT et al., 2014) que proveeixen de representacions tridimensionals. Malauradament el cost econòmic d'aquests sistemes de nova generació els fa encara poc accessibles als grups de recerca espeleològica, a més de ser experimentals en l'àmbit subaquàtic (SCHILLER et al., 2016). De la mateixa manera fora del nostre abast està la recreació tridimensional a partir d'imatges estereoscòpiques (WEIDNER et al., 2017), una tècnica prometedora però encara lluny de ser utilitzable. Per aquest motiu la topografia que és motiu del present treball s'ha realitzat seguint la tècnica clàssica representant bidimensionalment la projecció en el pla horitzontal així com seccions i perfils verticals.

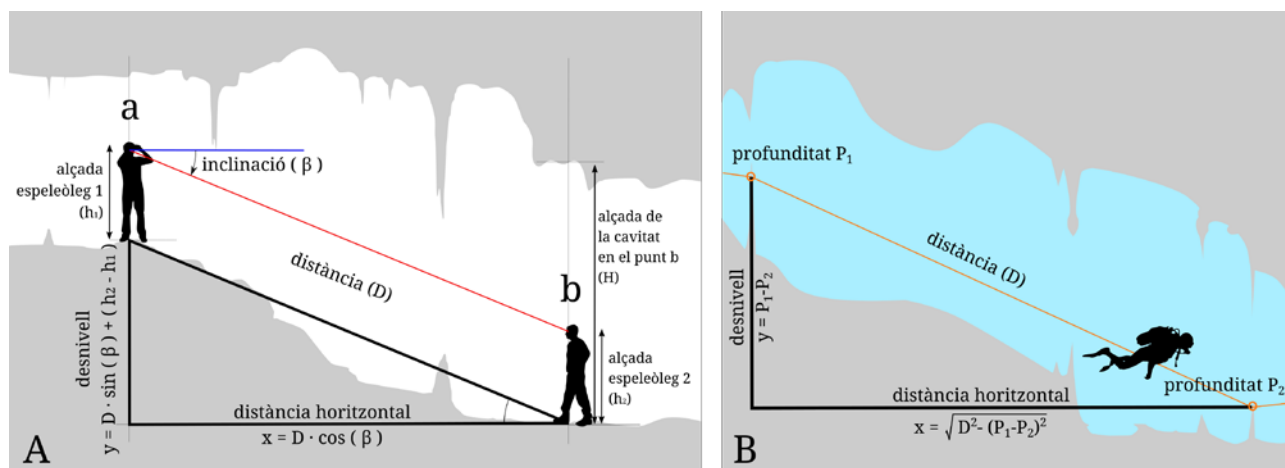


Figura 1: Esquemes i fórmules emprades en topografia espeleològica.
Figure 1: Schemes and formulas used in cave topography.

Les topografies precedents

És un fet que la topografia d'algunes cavitats s'ha actualitzat amb el pas del temps, bé per motius exploratoris, bé perquè la millora tecnològica deixava en evidència alguns defectes dels plànols aixecats prèviament. Una revisió exhaustiva de les topografies disponibles sobre les Coves del Drac es pot consultar a GINÉS et al. (2018), treball on s'inclouen reproduccions de qualitat dels productes cartogràfics que s'han anat publicant al llarg del temps; així mateix a GINÉS & GINÉS (2018), també dins aquesta mateixa monografia, es reproduïxen diferents versions posteriors de les topografies realitzades.



Figura 2: Plànol de F. Will amb les anotacions manuscrites d'É.A. Martel durant l'expedició de 1896 (Font: Arxiu personal d'Angel Ginés).
 Figure 2: F. Will's plan with handwritten annotations by É.A. Martel during the expedition of 1896 (Source: personal archive of Angel Ginés).

No es tracta de manllevar ni mèrit ni importància als treballs que, amb esforç i perícia, elaboraren espeleòlegs precedents sinó d'anar un pas més enllà gràcies a la evolució de la ciència, la tecnologia i, en definitiva, els mitjans a l'abast, sempre amb l'esperit de la crítica constructiva. L'anàlisi del seu treball, des de la tècnica fins als resultats plasmats en el dibuix final, passant pel relat documentat de la corresponent exploració i els estudis que la seguiren, resulten de gran ajut a l'hora d'abordar la actualització del plànol topogràfic de qualsevol cavitat.

La topografia de F. Will (1880)

No podem sinó lloar el treball de Friedrich Will (MADER et al., 2005), qui interrompent el seu treball d'entomòleg i tan sols equipat amb una brúixola, una cinta mètrica, unes canyes de 8 m i unes cordes obté un resultat sorprenent l'any 1880. Amb cinc dies de feina sobre el terreny presentà la primera topografia documentada de les Coves del Drac (GINÉS et al., 2018). Una topografia que no és perfecta, però els errors de la qual probablement siguin derivats de l'ús de rudimentaris instruments i no de la poca traça o mera imaginació de l'autor. Si és criticable algun aspecte, aquest és la falta d'evidències que suportessin la connexió entre tots els llacs, així com que no apareix indicació respecte de la posició del nord. Emperò la intuïció de que hi havia més cova que la que podia observar i que aquesta es trobava submergida, com es veurà, no ha resultat ser incorrecta del tot. D'aquesta topografia no ens consta l'aixecament de cap perfil o secció, havent-se publicat només el dibuix de la planta (WILL, 1880; HABSBURG-LOTHRINGEN, 1884; GAY & CHAMPSAUR, 1885). Els aspectes tècnics sobre la seva metodologia no han transcendit, més enllà de l'equipament emprat. Al no constatar l'ús del clinòmetre només podem conjecturar que s'ajustaria més aviat al mètode de desnivells.

La topografia d'É.A. Martel (1896)

De fet és tan bo el resultat de Will que el mateix Édouard-Alfred Martel, 16 anys després i equipat amb instrumental més precís (brúixola amb ocular i nivell d'aigua, decàmetre i baròmetre aneroide), l'alaba i únicament hi realitza petites modificacions abans d'afegir els seus propis descobriments (MARTEL, 1896, 1903). Com es pot veure en la Figura 2, Martel fa ús d'un recurs molt utilitzat: basar-se en una topografia precedent i no partir de zero, citant-la com a font del seu treball. Martel usa el plànol de Will en la seva exploració, i afegeix anotacions de la seva pròpia mà, i descarta la idea de la connexió subaquàtica general tancant els límits del *llac Negre* i del *llac de les Meravelles*, el primer dia de la seva exploració. El dia següent l'haurà de substituir per un llac immens, el *llac Miramar*, real i navegable, tangible i no imaginat, com a continuació del *llac de la Gran Duquesa de la Toscana*, però desconnectat de la resta. Entre les modificacions encertades a la topografia de Will, hem de destacar les sales que només havien estat apuntades com *profunditats* [sic] en el sector d'*El Sagrario* a la *cova de Lluís Salvador* i el pas rere el *Teatro* a la *cova Blanca*. En canvi descarta tres petits accessos a la connexió subaquàtica entre el *llac de les Meravelles* i el de les *Delícies* en la *cova Blanca*, un dels quals ens sembla identificar amb el que condueix al que hem anomenat *llac d'en Will* per aquest motiu. La seva suposició de que alguns llacs poden estar connectats mitjançant sifons resulta parcialment encertada (*llac de les Delícies* – *llac Negre*, *llac de les Meravelles* – *Petita Platja*). I com es va evidenciar al final de la nostra exploració subaquàtica, es constata la connexió amb la mar a través del Dolç de Cala Murta, però no amb la Cova dels Coloms, que semblava la seva primera opció.

Resulta sorprenent, per més que aprofités la topografia de Will i que el dibuix de la *sala Louis-Armand* no passi de ser un esbós dibuixat en base a les indicacions del seu benvolgut ajudant, que el treball de camp de Martel es realitzés en tan sols 4 dies, del 9 al 12 de setembre de 1896. El seu mètode de treball és semblant al de Will, amb l'excepció de que, en aquest cas, sabem que utilitzà un altímetre per a determinar el desnivell (Figura 3). La brúixola ben anivellada podia ajudar en determinar punts corresponents a la mateixa alçada reduint l'error altimètric.

La topografia de R. Varo (1924)

Hem d'esperar a la segona dècada del segle XX quan l'enginyer de mines Rodrigo Varo va aixecar una nova topografia, que aparegué publicada a l'obra de FAURA Y SANS (1926). I és que, com indica



Figura 3: Altímetre de butxaca - Tipus baròmetre aneroide. Fitzpatrick & Co, Melbourne, circa 1900 (Museums Victoria Collections). <https://collections.museumvictoria.com.au/items/1974454>

Figure 3: Pocket Altimeter - Aneroid Barometer Type.

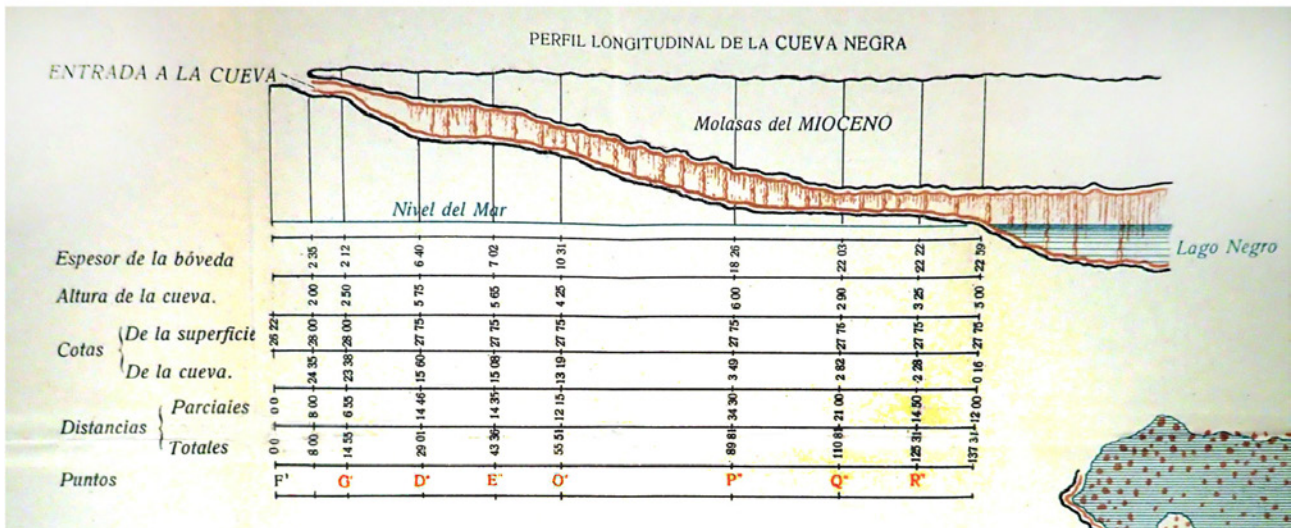


Figura 4: Dalt, detall de la secció de la zona anomenada *El Sagrario* tal i com la representa É.A. Martel.

Abaix, perfil de la cova Negra tal i com la representa R. Varo.

Figure 4: Top, detail of the area called *El Sagrario* as represented by É.A. Martel. Bottom, profile of the *Cova Negra* as represented by R. Varo.

Faura, l'ús de l'aneroide per mesurar la profunditat li costà a Martel alguns dels errors quantificats més significatius. A més de la indicació incorrecta de l'alçada del terreny on se situa l'entrada, en el perfil del sector anomenat *El Sagrario*, Martel anota el fet sorprenent de que alguna sala es troba per sota del nivell de la mar (Figura 4). L'invent de l'altímetre baromètric representà un gran avanç en la cartografia. No obstant això, canvis imprevisibles i incontrolats de la pressió atmosfèrica així com les diferències de temperatura poden introduir errors importants. Més encara quan el desnivell que es pretén mesurar és de tants pocs metres.

Tot i no haver trobat tampoc cap registre acurat de la metodologia emprada hem de suposar que Varo, enginyer industrial amb àmplia experiència en mines i hidràulica, comptava amb els recursos propis de la seva professió i emprà el teodolit per a mesurar orientacions i desnivells amb gran precisió, essent així la primera topografia que emprà el mètode trigonomètric. El camí per on discorren els visitants, lleugerament diferent de l'actual, ja estava ben establert, i principalment sobre ell traça una poligonal que li serveix de guia per després representar la resta de l'espai. Es notori el detall de les seccions, amb determinació de la cota de base, l'alçada de la cavitat i la potència de roca al llarg del recorregut (Figura 4). La qual cosa indica que realitzà un gran esforç en pro del mètode i de la precisió.

Si hem de destacar un tret important de la topografia de Varo és que, a diferència dels anteriors aixecaments, prescindeix completament de fer qualsevol suposició i prescindeix dels treballs precedents. Sembla que Varo no representa res que no hagi mesurat i així desapareix tota representació subaquàtica, i l'espai que Martel va representar amb el nom de *sala Louis-Armand* adquireix la seva veritable dimensió, molt allunyada dels 200 m apuntats per l'ajudant del pioner espeleòleg. Es realitza una topografia on predomina per primer cop la precisió sobre la descripció, que no és vaga. Emperò crida l'atenció l'omissió de parts terrestres de la cavitat ben conegudes, explorades i amb un accés que pensem que no hauria suposat cap rept tècnic. Desconeixem el temps exacte que s'invertí en l'aixecament d'aquesta topografia en concret. Només disposem de la referència explícita, en el citat treball de Faura, al mes de juliol de 1924 per a l'aixecament del plànol de les tres cavitats que són objecte del seu estudi: les Coves d'Artà, les Coves del Drac i les Coves dels Hams.



Figura 5: Esquerra, espeleòleg prenent orientacions per a la confecció de la poligonal principal a la cova Negra. Centre, espeleòlegs a la vora del Llac de les Meravelles mentre es dibuixa el plànol. Dreta, espeleòlegs prenent mides a la cova Blanca (Fotos: M. À. Gual).
 Figure 5: Left, caver taking orientations for the main polygonal in the Cova Negra. Center, cavers near the Llac de les Meravelles while drawing the survey. Right, cavers measuring the Cova Blanca (Photos: M. À. Gual).

Altres topografies

Durant el darrer quart del segle XX i els primers anys del XXI la propietat de la cova i responsable de la explotació turística va encarregar diversos plànols actualitzats que, si bé amb l'ús d'instruments actuals (teodolits i mesuradors basats amb làser) produïren uns resultats encara més precisos en quant a distàncies i orientacions, no aporten una informació espeleològica rellevant, més enllà dels desnivells del camí; essent la seva utilitat limitada al motiu de l'encàrrec: traçat elèctric, plans de prevenció de riscos i seguretat, etc. De la mateixa manera que el de Varo, aquests plànols no representen els racons ni s'endinsen cercant els vertaders límits de la cavitat ni posen de relleu la seva morfologia. Una versió simplificada d'un d'aquests plànols, aixecat als anys 80, fou publicada per GINÉS & GINÉS (1992) essent sovint reproduïda amb posterioritat.

La motivació del nou plànol topogràfic

Amb l'inici de l'exploració subaquàtica el 1990 i la publicació dels resultats en forma de noves extensions (CLARKE, 1991, 1992) es fa palès que la topografia necessita una actualització. El posicionament correcte d'aquestes noves galeries esdevé una necessitat i una nova topografia, que representi amb precisió i detall tota la extensió de la cavitat i la seva morfologia, es converteix en l'opció més adequada.

L'exploració subaquàtica realitzada a partir de l'any 2010 pels espeleobussejadors del Grup Nord de Mallorca, amb els notables descobriments del *sector Subaquàtic de Llevant* (GRÀCIA, 2015; GRÀCIA et al., 2018), no feren si no confirmar aquest fet. En conseqüència, aquest és en darrera instància el motiu de l'execució del present treball.

Metodologia emprada en la topografia actual.

Com hem dit a l'inici no pretenem explicar com es topografia una cavitat. Simplement posar de manifest que la topografia realitzada s'ajusta a la metodologia clàssica per tothom coneguda. Hem abordat aquesta tasca en dues vies paral·leles, la terrestre i la subaquàtica. Tot i conèixer les topografies i les exploracions prèvies es va optar finalment per prescindir d'elles, refer la topografia completament, com si es tractés d'una cavitat inèdita amb els criteris actuals i amb el màxim rigor tècnic al nostre abast.

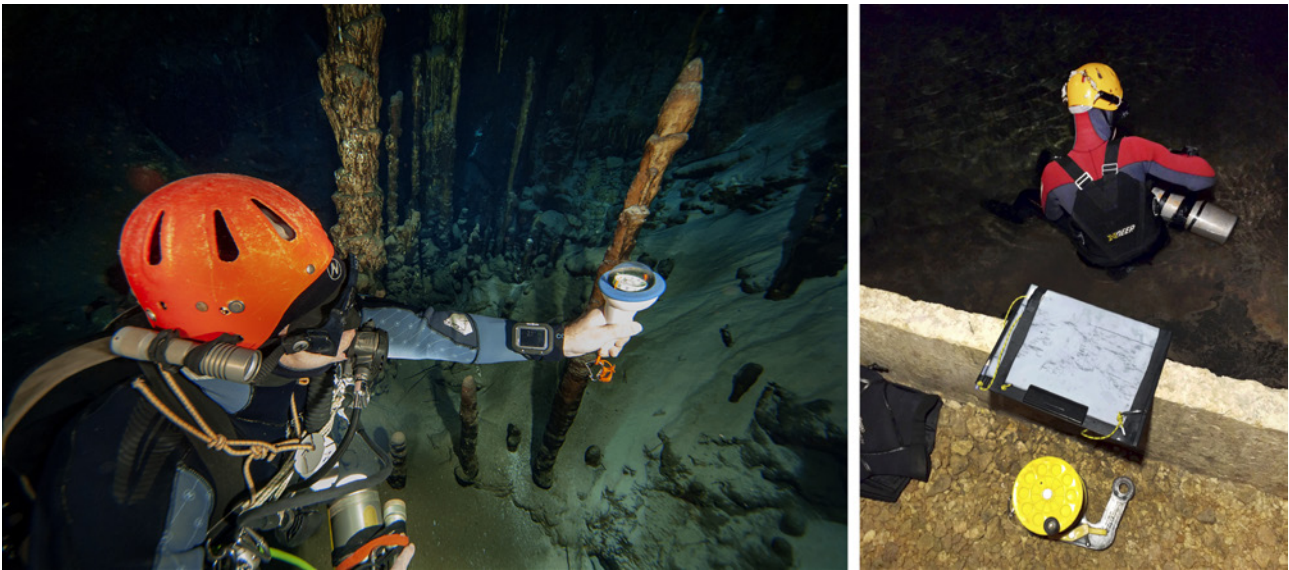


Figura 6: Esquerra, espeleobussejador anotant orientacions dels fils guia (Foto: A. Cirer). Dreta, bussejador preparant-se per a la immersió amb una topografia parcial subaquàtica (Foto: J.J. Enseñat).
 Figure 6: Left, speleodiver noting the orientation of the guide-line (Photo: A. Cirer). Right, diver getting himself ready for immersion with a partial underwater topography (Photo: J.J. Enseñat).

Compaginar l'activitat d'exploració i topografia amb el règim de visites turístiques, que no es podia veure afectat en cap mesura, ha imposat també certs condicionants al ritme de treball. Essencialment la nostra activitat havia de passar desapercebuda per el públic sense cap tipus d'interferència. No es podien deixar punts de referència topogràfics a l'abast de les visites i en alguns llocs els fils-guia subaquàtics, la instal·lació més permanent de tot l'operatiu, no podia afectar a l'estètica dels llacs. Afortunadament la *cova Negra* i la *cova Blanca* d'on arranca la major part del desenvolupament subaquàtic, quedaven fora del recorregut turístic pal·liant parcialment aquest problema.

Tant l'activitat terrestre com la subaquàtica han estat molt semblants i en absolut diferents a les que se segueixen en cavitats més modestes. Inicialment s'ha traçat una poligonal. Aquesta poligonal havia d'incloure com a nodes els punts d'inici dels fils guia dels espeleobussejadors, punts que constituïen la poligonal de la part subaquàtica. Es va decidir també estendre la poligonal a punts exteriors de la cavitat per dues raons: ubicar correctament la cavitat sobre el mapa usant GPS, la qual cosa repercutiria en valuosa informació de referència respecte a la geomorfologia del terreny, la línia de costa i altres cavitats properes; i també per a corregir qualsevol distorsió originada per l'error acumulat de les mesures preses a l'interior. En aquest sentit s'han inclòs a més de les dues entrades, 4 pous de ventilació i canalització elèctrica (2 a la *Cúpula Moragues* i 2 a la *sala de los Herreros*), elements senzills de posicionar exteriorment amb elevada precisió. Lamentablement no hi ha restes exteriors del *pou de les Meravelles*, que hauria estat de gran ajuda per tal de confirmar la correcta posició de la *cova Blanca*, l'únic accés a la qual és l'estret pas a la *sala dels Àrabs*.

Mentre que a la part terrestre, s'ha recollit en un full de dades la distància, orientació i inclinació entre punts (Figura 5), en la part subaquàtica s'ha enregistrat la distància, l'orientació i la profunditat entre els vèrtexs del fil-guia (Figura 6).

La precisió estimada d'aquestes mesures la expressem a continuació:

- Distància: ± 0.10 m
- Orientació: $\pm 1^\circ$
- Inclinació: $\pm 1^\circ$
- Profunditat: ± 0.20 m

A la part terrestre, a partir dels nodes d'aquesta poligonal principal, els equips de treball, típicament de 3 espeleòlegs, han determinat els límits de la roca mare i dels llacs, posicionant els accidents, línies d'escarpament, massissos estalagmítics, columnes i formacions més rellevants. La informació s'ha dibuixat sobre el terreny sobre paper mil·límetrat a escala 1:200. Aquests dibuixos, que podem considerar topografies parcials més que simples croquis, pel seu caire quasi definitiu, s'han combinat amb altres que s'han passat a net a partir d'esbossos i de les mesures anotades sobre el terreny, quan dibuixar *in situ* resultava complicat. Aquest darrer és el cas d'alguns perfils aquàtics (Figura 7). S'han

digitalitzat tant els dibuixos com els fulls de dades topogràfics, comprovant la seva correcció, i un cop transformats en format vectorial s'han enllaçat conformant la topografia completa.

Les dades s'han introduït en el programa *Survex* i s'han exportat a escala per ser superposades digitalment al dibuix a llapis escanejat. Sobre la combinació d'aquestes capes d'informació s'ha dibuixat digitalment la topografia definitiva, en format vectorial.

En la part subaquàtica, on el requisit de temps d'immersió és determinant, la poligonal s'ha completat mitjançant la mesura d'amplades i alçades, perpendiculars a la guia, la qual cosa defineix els límits de la cavitat en una primera aproximació. Impresa la forma projectada en planta sobre paper de polièster, per la seva resistència a l'aigua, en una següent visita s'han posicionat i mesurat els massissos estalagmítics alhora que s'ha esbossat el detall. En aquest cas s'ha emprat el programa *VisualTopo* i igualment s'ha exportat la informació per a incorporar-la al programa de dibuix. Alguns detalls comparatius entre

la poligonal terrestre i la subaquàtica s'expressen a la Taula 1, on es pot apreciar que s'han mesurat 9.815 m de poligonals, dels quals més de la meitat corresponen a galeries i sales subaquàtiques.

Tractant-se d'un espai que ha sofert una més que evident transformació antròpica s'han inclòs en el dibuix elements representatius de l'ús actual, com els embarcadors, els bancs de l'auditori i petites construccions auxiliars. Per tal de completar la descripció s'han realitzat 50 seccions i 7 perfils, intentant representar els trets més característics de la morfologia vertical.

Per a la determinació i dibuix de la línia de superfície exterior en les seccions i els perfils, la qual ens dona la potència de roca per damunt del sostre de la cova, s'han emprat les dades proporcionades per la Infraestructura de Dades Espacials de les Illes Balears, del Servei d'Informació Territorial de les Illes Balears (2018).

Quant a la simbologia emprada s'ha inclòs una breu llegenda en el dibuix, tractant d'ajustar-se en tot moment als estàndards actuals més estesos en topografia espeleològica. El plànol s'ha completat amb la representació en planta de les cavitats més pròximes de les que tenim constància, que podrien estar relacionades en major o menor grau amb les Coves del Drac.

El dibuix s'ha realitzat amb programari lliure genèric d'edició vectorial (Inkscape 0.92), treballant per capes d'informació (els límits, espai submergit, llacs, corbes de nivell, massissos i columnes, blocs, estalagmites, camins, etc) a fi d'agilitzar qualsevol canvi i en format SVG.

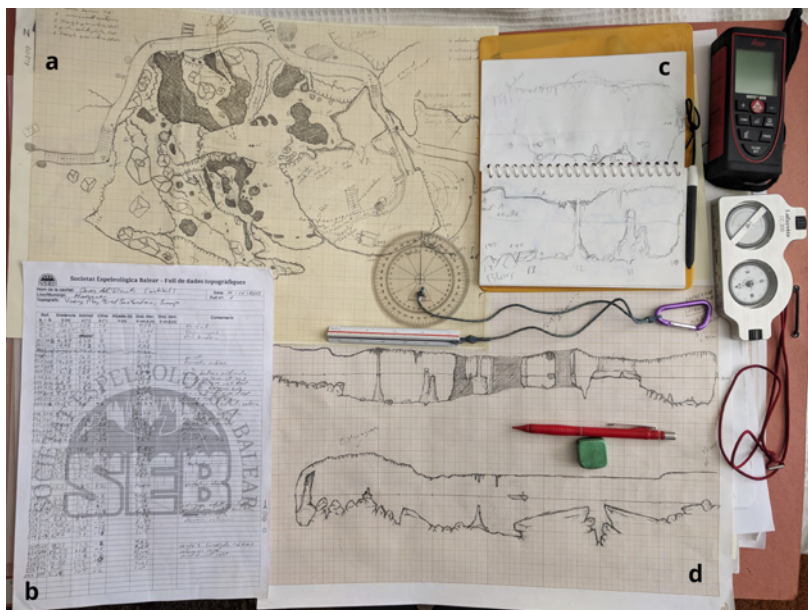


Figura 7: a) Dibuix realitzat dins la cova representant el sector de l'entrada natural. b) Full de dades topogràfiques preses in-situ. c) Esbós del perfil del *Llac Miramar* dibuixat nedant dins l'aigua. d) Perfil del *Llac Miramar* un cop passat a net. En la imatge s'aprecien alguns instruments de mesura i material de dibuix emprat.

Figure 7: a) Sketch drawn in the cave showing the area of the natural entrance. b) Topographic data sheet written in location. c) First outline of the *Llac Miramar* profile, drawn while swimming. d) Final drawing of the *Llac Miramar* profile. In the image you can see some of the used measuring instruments and drawing material.

Poligonal terrestre	Poligonal subaquàtica
643 nodes	911 nodes
24 bucles	12 bucles
6 connexions exteriors	1 connexió exterior
4 455m de longitud total	5 360 m de longitud total
18 enllaços comuns	

Taula 1: Comparativa entre la poligonal topogràfica terrestre i subaquàtica.
Table 1: Comparative between terrestrial and underwater topographic polygonal.

Resultats

Superfície projectada en planta dels diferents sectors

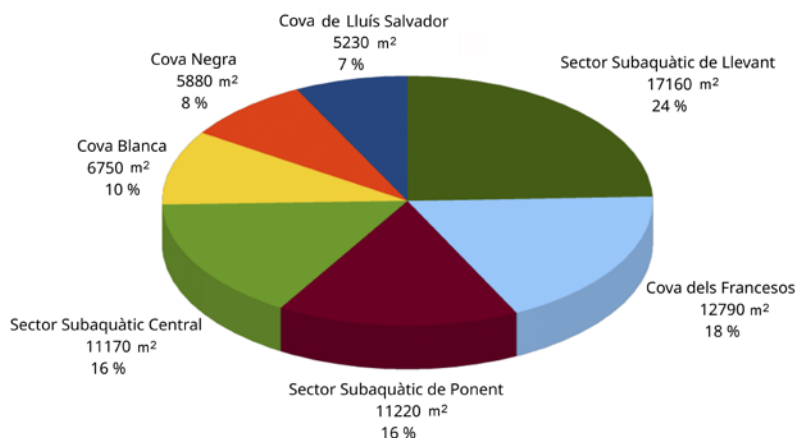


Figura 8: Representació gràfica de la superfície projectada en planta de les principals zones (corresponent a la Taula 1).
 Figure 8: Graphic representation of the horizontal projected surface of the main areas (corresponding to Table 1).

Existeix un cert debat sobre la manera en que una cavitat pot ser comparada amb una altra en base a determinades magnituds com el seu recorregut, el qual manté un component subjectiu a diferència del desnivell i l'extensió projectada (GALÁN, 1995). Partint de que el recorregut no equival necessàriament a la longitud de la poligonal, i seguint com a referència la metodologia emprada a treballs publicats per a la comparació de les cavitats de les Balears (GRÀCIA et al, 2009), el recorregut complet de les Coves del Drac se situa entorn als 7.690 m, dels quals 5.260 m corresponen a la part submergida.

L'extensió màxima projectada de la cavitat és de 840 m, seguint l'eix O-E, i de 440 m en l'eix de N-S. La cota més alta de la cavitat correspon

al sostre de la *cova Blanca*, i se situa als +29 m sobre el nivell del mar actual. Cal ressenyar que en aquest punt la potència de la roca es redueix a no gaire més d'uns 2 m. La cota subaquàtica més profunda enregistrada és de -24 m i es troba en la *galeria de les Delícies*. Per tant, el desnivell total de la cavitat és de 45 m.

Sens la pretensió de ser exhaustius, a manera d'exemple de la informació que es pot extreure de la topografia, la cura amb que s'han dibuixat els detalls permet quantificar alguns aspectes com els que oferim a continuació. Pel que fa a l'extensió projectada en planta de la cova (Taula 2, Figura 8), aquesta assoleix 71.150 m², dels quals 39.550 m² corresponen a les galeries i sales sotaiguades.

En relació amb la Taula 3, s'ha quantificat l'extensió de les majors barreres d'espeleotemes que compartimenten algunes sales de la cova. En aquest sentit, hem de comentar que no s'inclou en aquesta taula el conjunt de massissos estalagmítics situats al nord del *Laberint d'Ariadna*, a la *cova Negra*, i que sumarien entorn als 250 m². Aquests massissos, presenten una solifluxió d'entorn a un metre d'alçada que els separa del sostre, la qual cosa deixa sobre ells un espai practicable. Per aquest motiu no s'ha representat de color negre com la resta. Tampoc es llista el conjunt de massissos que llisten entre el *llac Miramar* i el de la *Gran Duquessa de la Toscana*, d'uns 110 m². D'aquest conjunt, el massís que se situa a l'est veu delimitat part del seu contorn per el pas excavat sobre el traçat turístic i indicat amb el símbol de desobstrucció; sens aquesta alteració, obra de l'activitat humana, el dibuix variaria i amb ell la mesura. En qualsevol cas, els majors massissos estalagmítics mesurats superen amb escreix els 100 m² d'extensió, assolint un d'ells una superfície màxima de 250 m² (Taula 3).

	Zona/Sector	Superfície	Total parcial
Espai terrestre	Cova de Lluís Salvador	5.230 m ²	31.600 m ²
	Cova Negra	5.880 m ²	
	Cova Blanca	6.750 m ²	
	Cova dels Francesos	12.790 m ²	
	Dolç de Cala Murta	150 m ²	
	Sala de la Bella Mort	800 m ²	
Espai subaquàtic	Sector Subaquàtic Central	11.170 m ²	39.550 m ²
	Sector Subaquàtic de Ponent	11.220 m ²	
	Sector Subaquàtic de Llevant	17.160 m ²	
Total		71.150 m²	

Taula 2: Superfície projectada en planta de les diferents zones de la cavitat.
 Table 2: Projected horizontal surface of the different areas of the cave.

Massissos estalagmítics	Superfície
Massís subaquàtic de la Galeria de la Connexió	250 m ²
Massís nord de la Cova Negra	180 m ²
Massís central de les Galeries Hipòstiles	170 m ²
Massís Cúpula Moragues/Sala de los Herreros	160 m ²
Massís sud de la Cova Blanca	155 m ²
Massís septentrional del Laberint d'Ariadna	145 m ²
Massís est de la Cova Negra	110 m ²

Taula 3: Massissos estalagmítics de major extensió ordenats de major a menor.
Table 3: Speleothem barriers of greater extension ordered from highest to lowest.

Llacs de major extensió	Superfície	Longitud	Amplada màx
Llac Miramar (sense Canal Blau)	3 050 m ²	116 m	36 m
Llac de les Delícies	635 m ²	80 m	21 m
Llac Negre	495 m ²	48 m	14 m
Llac de la Gran Duquessa de la Toscana	440 m ²	52 m	12 m
Canal Blau	435 m ²	90 m	7 m
Llacuna Estígia	277 m ²	55 m	7 m
Llac de les Meravelles	247 m ²	57 m	6 m
Bany de Diana	180 m ²	21 m	14 m
Llac de la Mar	142 m ²	56 m	5 m

Taula 4: Llacs de major extensió ordenats de major a menor.
Table 4: Lakes of greater extension ordered from highest to lowest.

Finalment, a la Taula 4 es recullen les dimensions dels llacs de major extensió. Òbviament, el més important de tots és el *llac Miramar* (també conegut com a *llac Martel*) amb més de 3.000 m² de superfície; així mateix, s'han mesurat altres vuit llacs que superen els 100 m² d'extensió. Cal afegir que en tots els casos les àrees, calculades sobre el dibuix, s'han obtingut mitjançant un algoritme implementat en llenguatge Python basat en el Teorema de Green (STEWART, 2012)

Conclusions

Elaborar el nou plànol topogràfic (Figura 9) amb el grau de detall i exigència que ens havíem proposat ha suposat un repte important. La importància de la cavitat, en termes espeleològics però també històrics i culturals, no ens permetia en consciència rebaixar els nostres objectius.

Diverses raons imponderables han ajornat la finalització del treball sobre el calendari previst. Quan semblava que el dibuix gairebé no plantejava incògnites, revisions rutinàries donaren lloc a nous descobriments com el de la *galeria de la Mar* i la seva connexió amb el Dolç de Cala Murta, o el *llac d'en Will* i la seva connexió subaquàtica que comunica la *cova Blanca* i la *cova dels Francesos*, completats el gener de 2019 (GINÉS et al., 2018).

El resultat ha conformat una visió completa de la cavitat i per primer cop exhaustiva. Tot i que, en rigor, mai es pot descartar l'existència de continuacions en cap cavitat, podem afirmar que la topografia que presentem en aquest treball representa tot l'espai conegut a data de publicació, sens reserves, inclosos alguns espais inèdits tant subaquàtics com terrestres, amb la precisió que els recursos tècnics al nostre abast ens han permès.

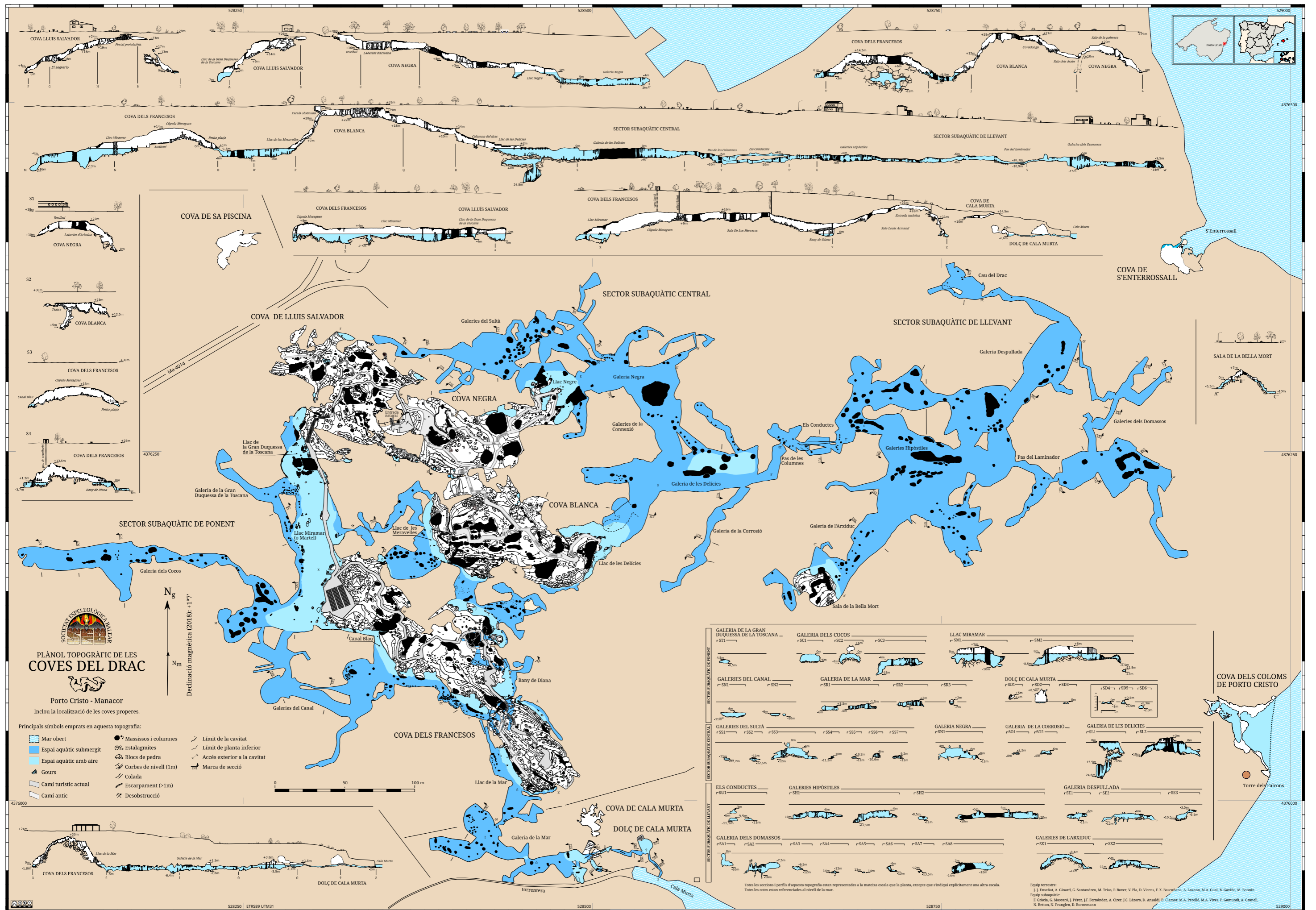


Figura 9: Topografia de les Coves del Drac, elaborada per la Societat Espeleològica Balear.
 Figure 9: Topography of the Coves del Drac, made by the Societat Espeleològica Balear.

Agraïments

Com s'ha expressat anteriorment aquesta topografia només ha estat possible gràcies a la col·laboració d'un gran nombre de persones. Més enllà dels autors, que han intervingut en major o menor grau en el procés de mesurar la cavitat i dibuixar el plànol, volem donar les gràcies a tots aquells que, de forma desinteressada i amateur, tant en l'activitat subaquàtica com terrestre, han contribuït a dur a bon terme aquesta obra.

Hem d'agrair a la propietat de les coves la bona predisposició vers nosaltres i especialment al Sr. D. Maties Servera, director de l'empresa "Cuevas del Drach", la seva amabilitat i col·laboració. Indubtablement també hem d'esmentar a tot el personal de serveis i guies de les coves que ens han ajudat sense reserves a localitzar elements rellevants interiors i exteriors sobre el terreny, especialment a Àngela Servera, Rafel Nadal, Antoni Llull, Antoni Adrover, Miquel Torrens, Miquel Adrover, Montserrat Vallespir, Gabriel Sancho i Gabriel Santandreu.

Bibliografia

- CLARKE, O. (1991): Diving in Drach. *Descent*, 101: 32-33.
- CLARKE, O. (1992): Diary of cave diving expedition to Drach: 1991. *Journal Cwmbrian Caving Club 1991-1992*, 13-17.
- FAURA Y SANS, M. (1926): *Cuevas de Mallorca*. XIV Congreso Geológico Internacional, Excursión C-5. Instituto Geológico de España. Gráficas Reunidas, S.A. 78 pàgs + 10 làms. fotos + 4 plànols. Madrid.
- GALÁN, C. (1995): Las dimensiones de las cavidades subterráneas: conceptos utilizados, modo de cálculo y significado de las expresiones cuantitativas. *Munibe*, 47: 7-15. Donostia.
- GAY, S. & CHAMPSAUR, B. (1885): *Album de las Cuevas de Artá y Manacor*. Luis Fábregas, Librería Española. 50 pàgs + 25 gravats. Palma de Mallorca. Barcelona.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1992): Las Coves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes históricos y espeleogenéticos. *Endins*, 17-18: 5-20. Palma.
- GINÉS, A.; SANTANDREU, G.; GRÀCIA, F.; ENSEÑAT, J.J. & GINÉS, J. (2018): Principals etapes de l'exploració i topografia de les Coves del Drac (Manacor, Mallorca). *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 1: 1-20. Palma.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (2018): Aspectes històrics i bibliogràfics de les Coves del Drac (Manacor, Mallorca). *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 1: 21-47. Palma.
- GRÀCIA, F. (2015): *Les cavitats subaquàtiques de les zones costaneres del llevant i migjorn de Mallorca*. Tesi Doctoral. Programa de Doctorat de Geografia, Universitat de les Illes Balears. 984 pàgs. Inèdita.
- GRÀCIA, F.; GINARD, A.; VICENS, D. & GINÉS, J. (2009): Recull de les cavitats de major recorregut i major fondària de les Balears. *Endins*, 33: 139-152. Palma.
- GRÀCIA, F.; MASCARÓ, G.; PÉREZ, J.; FERNÁNDEZ, J.F.; CIRER, A.; LÁZARO, J.C.; ANSALDI, D.; CLAMOR, B.; PERELLÓ, M.À.; VIVES, M.À.; GAMUNDÍ, P.; GRANELL, À.; BETTON, N.; BORNEMANN, D. & FRANGLEN, N. (2018): Les exploracions subaquàtiques a les Coves del Drac (Manacor, Mallorca). *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 1: 105-116. Palma.
- HABSBURG-LOTHRINGEN, L.S. (1884): *Die Balearen in Wort und Bild geschildert*. Brockhaus. Band 5/2. Leipzig, Alemanya.
- MADER, B. (2005): Reiseskizzen von den Balearen. Der Entomologe Friedrich Will und Erzherzog Ludwig Salvator. *Endins*, 28: 61-70. Palma.
- 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.
- MARTEL, E.A. (1903): Les cavernes de Majorque (Iles Baléares). *Spelunca, Bull et Mém. Soc. Spéléol.*, 5 (32): 1-32 + 8 làms. fotos + 1 plànol. París.
- MARTÍNEZ, A. (1992): *Topografía espeleológica*. Federación Española de Espeleología. 132 pàgs. Barcelona.
- SCHILLER, A. & RENARD, P. (2016): An optical laser device for mapping 3D geometry of underwater karst structures: first tests in the Ox Bel'Ha system, Yucatan, Mexico. *Boletín Geológico y Minero*, 127 (1): 99-110. Madrid.
- STEWART, J. (2012): *Calculus. Early transcendentals*. 7th Edition. Publisher: Brooks/Cole.
- WEIDNER, N.; RAHMAN, S.; QUATTRINI LI, A. & REKLEITIS, I. (2017): Underwater cave mapping using stereo vision. 2017 *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Singapore, 2017, pp. 5709-5715. DOI: 10.1109/ICRA.2017.7989672
- WILL, F. (1880): *Plano de la Cueva del Drach. Situada en el predio Son Moro (Manacor, Isla de Mallorca) propiedad del Sr. Dn. José Ygnacio Moragues. Escala 1:500*. Lit Catalana. 1 plànol. Palma.
- ZLOT, R. & BOSSE, M. (2014): Three-dimensional mobile mapping of caves. *Journal of Cave and Karst Studies*, 76 (3): 191-206. Huntsville, USA. DOI: 10.4311/2012EX0287

Adreces d'internet relatives al programari i recursos en línia emprats i de referència

Survex <http://survex.com>

VisualTopo <http://vtopo.free.fr>

Inkscape <http://inkscape.org>

Scalable Vector Graphics <https://www.w3.org/Graphics/SVG/>

IDEIB <http://ideib.caib.es/visor/>



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>