



SOCIEDAD
ESPAÑOLA
DE ESPELEOLOGÍA
Y CIENCIAS
DEL KARST

SEDECK

BOLETÍN DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ESPELEOLOGÍA Y CIENCIAS DEL KARST / NÚMERO 9 SEDECK / SEPTIEMBRE 2013

La cova de les Cendres (Teulada-Moraira): Cambios culturales y paisajísticos durante 25.000 años de ocupación humana

Dídac Román y

Valentín Villaverde Bonilla

Consideraciones sobre karst y cuevas hipogénicas, con referencias al ámbito valenciano

Policarp Garay Martín

Extensión y límites del ecosistema subterráneo

Alberto Sendra y

Ana Sofia P.S. Reboleira

Pesqueras en los acantilados de la Marina Alta

Jaume Buigues i Vila

Las cuevas del Saliente, norte de Almería. Un ejemplo de cavidades generadas por procesos gravitacionales

González Ramón, Antonio; Carra Vélez, Rubén;

Segura Herrero, Andrés; Sánchez Díaz, Tomas J.;

Gea López, D. Raul; Pérez Martínez, Pedro;

Belmonte Jiménez, Gonzalo y Carra López, Juan Carlos

2 Consideraciones sobre karst y cuevas hipogénicas, con referencias al ámbito valenciano.

Considerations about hypogenic karst and caves, with special referents at Valencia region (Spain).

Garay Martín, Policarp

CITMA, Generalitat Valenciana. Email: garay_pol@gva.es

RESUMEN

Tomando como punto de partida los inventarios espeleológicos del territorio valenciano, se plantea por primera vez un enfoque de espeleogénesis hipogénica (karst hipogénico) para poner de manifiesto una muestra de estas cavidades cuyas características responden a procesos y estructuras de tipo hipogénico. Pero, más que un conjunto de descripciones o una exposición de resultados concretos sobre estudios realizados, lo que se aborda es sobre todo un repaso sobre ideas y conceptos a través de los cuales, y con los ejemplos que se aportan, poder dotar de argumentos "diferentes", sobre espeleogénesis hipogénica, al espeleólogo acostumbrado a observar y estudiar las cuevas y el karst con criterios "tradicionales" y propios del karst epigénico.

El karst hipogénico es entendido aquí como un nuevo modelo natural (*sensu* Eraso, 1975-76) cuyos procesos de karstificación, sin ser absolutamente diferentes a la mayoría de los descritos en el karst tradicional, producen, sin embargo, formas espeleogénicas y patrones de cavernamiento (redes laberínticas, salas gigantes, cúpulas ramificadas y drenes ascendentes), sensiblemente distintos a los modelos descritos para el karst epigénico.

Asimismo, entre las cuevas claramente epigénicas y las cuevas típicamente hipogénicas, se dan formas de transición y casos intermedios, especialmente cuando se incorporan flujos hipogénicos agresivos a determinadas redes o sistemas espeleológicos propios de la cinética kárstica de acuíferos libres o freáticos. Este es el caso de las redes freáticas con influencias hipogénicas, en el sentido dado por Ginés y Ginés (2011) en el karst balear.

ABSTRACT

Taking as a starting point the Valencian territory caving inventories it is proposed for the first time a focus on hypogenic speleogenesis (Hypogenic Karst) and a sample of hypogenic caves is exposed. Rather than a set of descriptions or an exposition on particular results from carried out studies, what is dealt by is mainly a review on ideas and concepts to provide the speleologist, used to observe and study karst and caves with traditional criteria, with different arguments about hypogenic speleogenesis.

The hypogenic karst is understood as a new natural model (*sensu* Eraso, 1975-76) which its karstification processes, without being absolutely different to most of those described by the traditional karst, produce, however, speleogenic shapes and cavernating patterns (labyrinthic networks, gigant rooms, ramified domes, big ascending conducts) sensibly different to the models described in the epigenic karst.

Additionally, amongst clearly epigenic caves and those typically hypogenic, transition states and intermediate cases also form, specially when aggressive hypogenic flows incorporate to determined speleological networks or systems, characteristical of the karstic kinetics and the free aquifers. This is the case of the freatic networks with hypogenic influences, in the sense given by Ginés y Ginés (2011) at the Balear karst.

Palabras clave: karst epigénico, karst hipogénico, cuevas hipogénicas, acuífero kárstico confinado.

Keys words: epigenic karst, hypogenic karst, hypogenic caves, karstic confined aquifer.

Haciendo repaso a los diferentes tipos de cuevas y simas que hemos tenido ocasión de explorar y estudiar durante décadas en el País Valenciano, los espeleólogos disponemos hoy de una muestra representativa de los diferentes procesos espeleogénicos y zonas hidrogeológicas que se pueden encontrar en un macizo kárstico; tanto en lo que respecta a morfologías espeleológicas típicas o representativas de condiciones hidrodinámicas concretas como en lo referente a cavidades más o menos complejas y evolucionadas en las que es posible diferenciar distintas etapas, fases o secuencias ligadas a una evolución geológica y paleoclimática cambiante a lo largo del tiempo, especialmente durante el Cuaternario. En conjunto, son miles de cavidades que constituyen un excelente e interesante laboratorio para realizar investigaciones científicas de todo tipo.

En el karst tradicional (epigénico) las cavidades son el resultado de la espeleogénesis actuante en los mismos acuíferos kársticos (calizas, dolomías o yesos) que observamos en superficie, en los cuales se diferencia una *zona no saturada* (ZNS), donde hay aire y el movimiento del agua lo determina la ley de la gravedad, de otra *zona saturada* (ZS), totalmente inundada y sin aire, moviéndose el agua en función de los gradientes hidráulicos. También se puede diferenciar, entre las anteriores, una zona intermedia o de fluctuación de los niveles piezométricos (ZFP), también denominada *zona epifreática*, en la cual suelen formarse los ríos subterráneos de cierto desarrollo, como la Cueva del Toro (Alcudia de Veo) o la de Sant Josep (la Vall d'Uixó). En este esquema de zonificación hidrogeológica resulta relativamente fácil encajar todas y cada una de las cavidades conocidas y catalogadas en el ámbito del País Valenciano (v.g. Pla, 1953; Donat, 1966; Fernández *et al.*, 1980 y 1982; Arenós, 2004, etc.). La mayoría de ellas (especialmente las simas) se localizan en la ZNS, mientras que sólo unas pocas son cavidades fluviales o sumergidas



Fotografías 1 y 2: Dos de los numerosos "pozos alimentadores" (*feeders*) de la Cova de l'Autopista.

que se sitúen dentro de la ZS o la ZFP.

Pero, más allá de las formas y tipologías tradicionales y fáciles de explicar, han persistido en nuestro recuerdo y en nuestras notas casos "atípicos" que nos hacían pensar en condiciones hidrodinámicas especialmente forzadas o extraordinarias. Eran cavidades que "sorprendían" bien por sus curiosas morfologías de crecimiento o bien por su complejo desarrollo. ¿Quién no se ha preguntado por qué no se han descubierto más cuevas laberínticas como la **Cova de l'Autopista** (Real de Gandia; Valencia)?, ¿o por qué la **Cueva del Perro** (Cox; Alicante) tiene ese espectacular y extraño pozo que parece atravesar diferentes pisos de la cueva?, ¿o por qué la **Cova de les Calaveres** (Benidoleig; Alicante) tiene esas curiosas y extraordinarias cúpulas cenitales? En fin, son cuevas que no concuerdan bien con los esquemas del karst tradicional, pero que



Fotografía 3 (izda.)
Pared de tipo *boxwork* en la Cova de l'Autopista. La pared de dolomía se areniza y desprende, mientras que la calcita de las venas resiste y sobresale.



Fotografía 4 (dcha.)
Pequeña galería cegada (*dead ends*) por las arenas dolomíticas de la Cova de l'Autopista.

realmente no son tan extraños si tomamos como referentes otros ejemplos más remotos y exóticos. Es, pues, el momento de hablar de las *cuevas hipogénicas*, que suponen otra manera de entender la espeleogénesis.

Es conocido que frente a los *acuíferos kársticos libres* (también llamados freáticos) también hay en la naturaleza los *acuíferos kársticos confinados* (también llamados cautivos), cuyo carácter kárstico queda puesto de manifiesto tanto por las columnas de los sondeos como por los parámetros hidráulicos medidos en ensayos de bombeo. Sin embargo, el espeleólogo generalmente pensaba que ni la espeleogénesis ni las posibles cuevas contenidas en ellos podrían resultar de su interés por no ser fácilmente accesibles. Craso error, si tenemos en cuenta que precisamente han sido *acuíferos confinados* los responsables de la formación de muchas de las mayores cavidades del mundo, en recorrido.

Durante las últimas décadas del siglo XX, la mayoría de los espeleólogos españoles y europeos presenciábamos atónitos, como verdaderas excepciones y rarezas, las lejanas cuevas sulfúricas y termales formadas en el SW de USA (las de Carlsbad, Lechuguilla, Jewell cave, Wind cave y otras), las cuevas de origen hidrotermal formadas en el entorno de la capital de Hungría (como las del Castillo de Buda, Pál-Völgyi, Szemlő-Hegy...) o los grandes sistemas en yesos de la región de Podolia, en Ucrania (Optimisticheskaja,

Ozernaja, Zolushka...). Sin embargo, la reciente difusión, en lo que llevamos de siglo XXI, de un nuevo enfoque general sobre el karst y las cuevas hipogénicas, especialmente vinculado a los *acuíferos confinados*, ha supuesto un punto de inflexión importante en las investigaciones espeleológicas. A mi entender, el trabajo conjunto de Klimchouck, Ford, Palmer y Dreybrodt (2000) y la difusión de numerosos trabajos a través de internet (particularmente a partir de www.speleogenesis.com) marcan el inicio de esta nueva etapa de investigaciones, pues se descubren y se reinterpretan como de origen hipogénico muchas cuevas que hasta entonces no estaba del todo claro que lo fueran. En todos los continentes se multiplican nuevos ejemplos de cuevas hipogénicas y de ello va quedando constancia en una creciente y abundante bibliografía. Otra publicación que también ha alcanzado gran difusión corresponde a las actas de la conferencia internacional de Chernivtsi (Ucrania) sobre *Espeleogénesis hipogénica e Hidrogeología kárstica de acuíferos confinados* (Klimchouk y Ford, 2009), si bien, la lista de referencias de renombre es ya muy amplia.

Hasta aquí venimos diferenciado tácitamente dos tipos de cuevas (epigénicas e hipogénicas) y dos modalidades de karst (epigénico e hipogénico); y estos dos conceptos (epigénico *versus* hipogénico) los hemos relacionado y atribuido, respectivamente, a los *acuíferos kársticos libres* y a los *confinados*

o cautivos. En mi opinión, ésta es la clave del asunto, a pesar de que en la bibliografía encontraremos opiniones de otro tipo, como las que consideran que lo hipogénico responde siempre a determinados procesos corrosivos endógenos (emanaciones de SH_2 que evoluciona a sulfúrico, oxidación de sulfuros metálicos, que también generan ácido sulfúrico y CO_2 , ascenso de aguas termales, etc.) aunque el escenario de actuación sea un acuífero libre (Audra *et alii*, 2009; Palmer, 2011).

Hace bastantes años que Eraso (1969) incidía en explicar con detalle la diversidad de mecanismos de corrosión que se pueden dar en el karst (en aquel momento considerando especialmente el karst epigénico que se desarrolla en rocas carbonatadas): corrosión clásica (por carbónico), corrosión por oxidación-reducción, corrosión por mezcla de aguas (Bögli), corrosión climática (cambios de estado aire-agua-hielo), oxidación de la pirita (y de otros sulfuros), sustitución (dolomitización...) y, además, diferentes procesos orgánicos (corrosión bioquímica) que se dan casi exclusivamente en el epikarst por efecto de la vegetación o de los suelos (ácidos húmicos, nítrico...), etc.

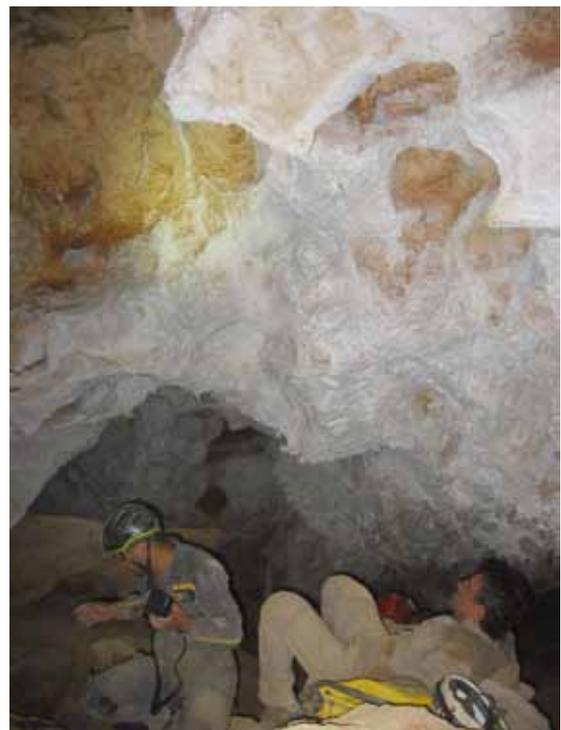
A estos mecanismos de corrosión de carbonatos se podrían añadir otros como el de la karstificación por ácido sulfúrico, no ya el citado, que resulta de la oxidación de sulfuros, sino el generado –entre otras

teorías (ver Jagnow *et alii*, 2000)- a partir de emanaciones de SH_2 relacionadas con yacimientos petrolíferos; o los procesos de karstificación ligados a emanaciones volcánicas, flujos hidrotermales, etc.

Sin embargo, a pesar de que estos mecanismos (especialmente el de la karstificación sulfúrica de origen profundo) han sido tradicionalmente vinculados a sistemas kársticos hipogénicos, entiendo e insisto en que la principal diferencia entre un karst hipogénico -o una cueva hipogénica- de otro que no lo sea no es solamente el mecanismo particular de la karstificación, sino, sobre todo, los controles físico-químicos y estructurales bajo los cuáles ésta se produce. Es decir, que la principal diferencia estaría en el carácter cinético de la karstificación epigénica (ligada a los flujos vadosos o freáticos de un acuífero libre) frente al balance de masas que se da en la karstificación hipogénica, debido al contacto reposado entre la roca (las paredes de los huecos) y el agua agresiva, en un medio extraordinariamente tranquilo y lento. Aquí, la karstificación se produce de forma extensiva y penetrante (incrementando notablemente la porosidad total y el

Fotografía 5 (izda.) Restos de un tabique de roca (*partitions*) debido al crecimiento "coalescente" de galerías.

Fotografía 6 (dcha.) *Outlets* en la Cova de l'Autopista





Fotografía 7 (izda.)
Elongación vertical de un conducto de la Cova del Far, atribuida al efecto de la fluctuación piezométrica en la zona de "descompresión" del acuífero confinado.



Fotografía 8 (dcha.)
Desarrollo de conductos inclinados en la Cova del Far. Foto: José Manuel Ros.

coeficiente de almacenamiento del acuífero), si bien, ocasionalmente pueden llegar a ser notables los flujos corrosivos ascendentes (fluidos poco densos, ascenso de gas, flujos térmicos...) que son habituales bajo estas condiciones.

El primer caso (karst epigénico = acuífero libre) corresponde a un sistema abierto, ya que intercambia energía y materia con el exterior (recarga hídrica, solutos, materia orgánica, carga terrígena, CO₂...). En cambio, el karst hipogénico (= acuífero confinado) se comporta prácticamente como un sistema cerrado, que no interactúa con el exterior y consume sus propios recursos. Éste es el principal y determinante aspecto para concretar estos conceptos (epigénico *versus* hipogénico), y con esta concepción podemos también entender que nos hallamos ante un "nuevo" MODELO NATURAL en el que se da una CONVERGENCIA DE FORMAS características claramente diferentes de las observadas en los karsts hipogénicos; todo ello en el sentido que ha venido propugnando Eraso (1975-1976) y Eraso y Pulina (2011).

Si tenemos en cuenta que, además de la

corrosión de los carbonatos, hay otros procesos de karstificación que actúan sobre otros tipos de rocas (disolución iónica responsable del karst salino y del karst en evaporitas, o la hidrólisis que actúa sobre los feldespatos, etc.), y que en estas rocas (al menos en yesos, notablemente), también se dan cavernas y morfologías hipogénicas cuando constituyen acuíferos confinados, se demuestra que la citada teoría de "los modelos naturales y la convergencia de formas" funciona, una vez más.

Las formas características a las que me refiero son ampliamente conocidas (véase, por ejemplo, Klimchouk, 2007 y 2009) y entre ellas se comprueba que existe una clara semejanza dinámica a pesar de que las rocas en las que se dan sean distintas (calizas, dolomías, yesos...) y los agentes y procesos de karstificación también lo sean (disolución iónica, corrosión clásica, procesos hidrotermales, corrosión sulfúrica, etc.).

Siguiendo los ejemplos de estas publicaciones, las formas características de las cuevas hipogénicas se pueden resumir *grosso modo* en puntos de alimentación (*feeders*), morfologías de huecos y galerías (a menudo formas de conductos coalescentes y restos de tabiques o *partitions*, etc.), marcas de pared (como las texturas de *boxwork*, y especialmente marcas de ascenso de flujos corrosivos: *rising wall channels*) y formas de bóveda o descargas ascendentes (*outlets*). De todas estas formas se muestran ejemplos

en las fotografías 1 a 16, que se incluyen en este trabajo, todas ellas correspondientes a cavidades valencianas citadas en el texto.

UNA PRIMERA APROXIMACIÓN AL “MODELO NATURAL” DE LAS CUEVAS HIPOGÉNICAS

De forma simple y eludiendo detalles, podemos decir que en un acuífero kárstico libre, el agua se desplaza a través de conductos que se originaron y agrandan a su paso; asimismo, por disolución, el agua en movimiento puede originar sobre las paredes, techo y suelo de estos conductos marcas y huellas de disolución (*scallops*, *flutes*, acanaladuras, entalladuras de corrosión...) y cuando coexisten depósitos de sedimentación terrígena puede formar otro tipo de estructuras de disolución (*pendants*, canales de bóveda...) e incluso, entrando los conductos en carga y quedando aire atrapado contra la bóveda, pueden dar lugar a cúpulas de disolución. En todo caso, el proceso de karstificación es un proceso cinético que viene determinado por el movimiento y circulación del agua en el acuífero, tanto en régimen vadoso como freático.

Por el contrario, en los acuíferos confinados, la circulación del agua es extraordinariamente lenta, y hasta podríamos decir que casi inexistente, pues es sabido que la permanencia del agua en estos acuíferos (figura 1) puede llegar a ser de centenares e incluso miles de años (Custodio y Llamas, 1976; p. 1273). Por ello, los procesos físico-químicos de la karstificación es evidente que ya no son de tipo cinético, sino que responden a balances de masas que se dan en un medio tranquilo y a lo largo y ancho del contacto entre los huecos de una roca soluble y un agua agresiva, capaz de karstificarla (por corrosión o por disolución). En consecuencia, en lugar de conductos de circulación, la espeleogénesis que se dará en estos acuíferos es más bien de cavidades reticulares y laberínticas (*network mazes*) de

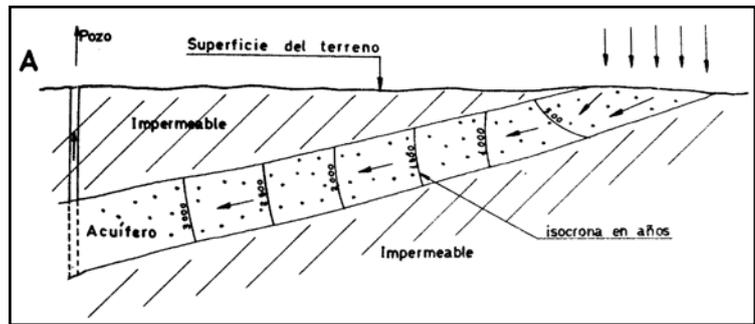


Fig. 1 Esquema de un acuífero confinado con una estimación del tiempo de permanencia del agua (tomado de Custodio y Llamas, 1976).

desarrollo marcadamente bidimensional o tridimensional.

La mayoría de estas redes tienen tendencia a crecer “hacia arriba” con una componente ascendente que resulta relativamente fácil de entender si tenemos en cuenta, por una parte, que nos hallamos en situaciones de sobrecarga hidráulica y elevada presión confinante (por lo tanto es el techo de la estructura el que soporta directamente esa presión o empuje “hacia arriba”), y por otra, que puede haber ascenso de gases o de flujos menos densos y originados a cierta profundidad, siendo éstos capaces de desplazarse siguiendo vías ascendentes existentes o de nueva formación.

En todo caso, no es habitual que encontremos estructuras de flujo (circulación) más allá de las que forman durante su ascenso los citados fluidos agresivos y burbujas (gases). Sus efectos son estructuras y morfologías “de flujo ascendente” que resultan netamente distintas a las que originaba la circulación hidrogeológica ligada a los gradientes hidráulico.

A menudo, la morfología de estas redes de cavernas laberínticas se adapta a desarrollos planares (uno o varios planos superpuestos) y más o menos inclinados y paralelos a la geometría de los contactos hidrogeológicos y la estructura geológica del acuífero confinado que las contiene. Sin embargo, en los casos en que los ascensos de fluidos y gases agresivos son importantes, el desarrollo de la espeleogénesis puede tender a un modelo más arborescente e irregular

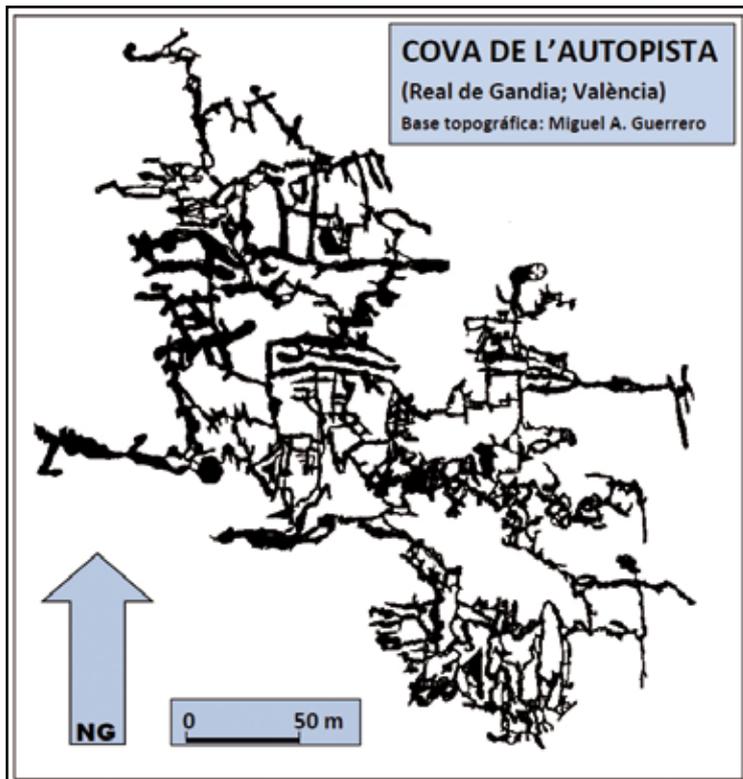


Fig. 2
Red laberíntica de la Cova de l'Autopista, desarrollada sobre un plano inclinado unos 20° al Norte.

(tridimensional).

Evidentemente, estos sistemas son prácticamente inaccesibles al espeleólogo –y al espeleonauta– cuando se están formando. Pero cuando el relieve evoluciona y los acuíferos cautivos dejan de serlo (al vaciarse y ocupar posiciones relativamente elevadas y vadosas, en ZNS), cualquier abertura casual se convierte en un punto de penetración (a veces diminuto) que permite al espeleólogo acceder a complejos y laberínticos sistemas, a menudo difíciles de topografiar pero generalmente muy “agradecidos” espeleométricamente hablando. Este es el caso de la conocida Cova de l'Autopista (GEM, SCAV y CUM, 1987), cuya múltiple boca de acceso se abrió casualmente durante la construcción de la autopista de peaje A-7 en el término municipal de Real de Gandia (figura 2). Y es el caso también de la menos conocida Cova del Far (en la Serra Gelada, en término municipal de Alfàs del Pi), accesible a través de una diminuta boca originada por el retroceso reciente (Holoceno) de la ladera donde se abre. Ambas cavidades han sido objeto de un reciente estudio, coordinado por Alberto Sendra, que esperamos poder

ver publicado en breve.

OTROS MODELOS NATURALES DE CUEVAS HIPOGÉNICAS EN ACUÍFEROS CONFINADOS

Además del “modelo natural” que representan las redes cavernarias de desarrollo laberíntico (*maze caves*), más o menos reticuladas (*network maze caves*) o irregulares (*spongework maze caves*), hay cuevas hipogénicas que responden a otros patrones o modelos naturales claramente diferentes, a pesar de que en todos ellos suelen concurrir morfologías de detalle (de crecimiento ascendente) similares.

Así, son de destacar gigantescas salas, como las detectadas en el interior del macizo montañoso de Rhodope, cerca de Chepelare (Bulgaria). Sebev (1970) y Dublyansky (1974 y 2000) dieron a conocer la existencia, entre otras, de una gigantesca sala de unos 238 hm³ de volumen, de unos 800x620x479 metros, descubierta ya en 1959 y “explorada” mecánicamente en las campañas de sondeos de los años 1966 a 1969. Estas salas se encuentran completamente inundadas por aguas muy corrosivas, con una temperatura en torno a 90°C y con una presión de hasta 170 atmósferas. La roca encajante corresponde principalmente a mármoles proterozoicos confinados por gneises que los cabalgan.

Evidentemente no son cuevas accesibles al espeleólogo, pero nos indican y reproducen un nuevo modelo de cuevas hipogénicas: grandes volúmenes debidos a una karstificación intensa y concentrada, capaz de consumir un gran volumen continuo de roca a cierta profundidad y en un marco geotérmico muy evidente.

Durante las XVII Jornadas de la SEDECK (celebradas en Karrantza, octubre de 2006), Adolfo Eraso incidió en la importancia que a menudo tienen los mecanismos de corrosión por oxidación-reducción en el karst (Eraso 1969) y volvió a referir su ya conocida teoría (Eraso, 1996) sobre la intervención de aguas

termales cargadas de Mg en el determinante proceso local de dolomitización de caliza Urgo-Aptiense que desencadenó la formación de la impresionante Sala Jon Arana (Torca del Carlista). Con este planteamiento y ante la proximidad de los manantiales termales del Molinar (Balneario Padres Palotinos), algunos de los asistentes a las jornadas comprendimos que nos hallábamos claramente ante una extraordinaria cueva hipogénica. Una reciente exploración a la Torca del Carlista (con el club Espeleotorre, de Torredembarra) nos ha permitido completar el esquema, al comprobar que los niveles dolomitizados están relativamente profundos y por debajo de niveles margosos y sabulosos (con un buzamiento medio de 43° al Sur) que habrían actuado como capa confinante (es la estructura de un acuífero confinado).

Y referido al territorio valenciano, últimamente barajamos la hipótesis de si la gran sala de la Sima del Campillo (Tous) ¿no podría responder al hundimiento de una primera gran sala de origen hipogénico que se habría formado en un acuífero confinado, teniendo como techo las margas blanquecinas de la *Formación Margas de Alarcón*? En fin, por ahora esto no es más que una simple conjetura, pero lo traigo a colación para que el lector compruebe lo "contagioso" y, asimismo, arriesgado que puede llegar a ser una excesiva predisposición mental por lo hipogénico. En todo caso, es

un nuevo punto de vista que se puede tener en cuenta para futuros estudios, pues, en definitiva, nadie hasta ahora ha dado una explicación motivada sobre la formación de la mayor sala subterránea natural del ámbito valenciano.

Por otra parte, siguiendo los pasos de la "escuela húngara", entre las teorías y modelos de cuevas hidrotermales que durante décadas han sido desarrolladas y propuestas, llama la atención una dualidad de modelos (véase Muller y Sarvary, 1977):

- Cuevas del tipo *Satorkopuszta*: una sala basal (límite de exploración) que puede ser asimilada a una cámara magmática, a partir de la cual se desarrolla una red ascendente y arborescente de cúpulas.
- Cuevas laberínticas: formadas por agua ascendente a través de una formación caliza confinada (acuífero confinado). Ejemplo: *Cserszegtomajikut*.

Collignon (1983) describe grutas termales del norte de África (macizo des Bibans, Argelia) que forman redes de cúpulas coalescentes y yuxtapuestas. Quizá con este modelo coincida la parte ascendente (redes de cúpulas ascendentes) del "modelo

Fotografía 9 (izda.)
Outlets en la Cova del Far.

Fotografía 10 (dcha.)
Bóvedas corrosivas de la Cova de les Calaveres.



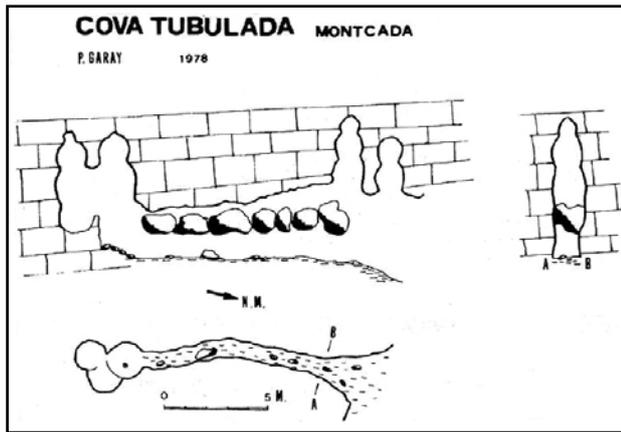


Fig. 3 (izda.) Topografía de la Cova Tubulada (publicada en Fernández *et al.*, 1980)

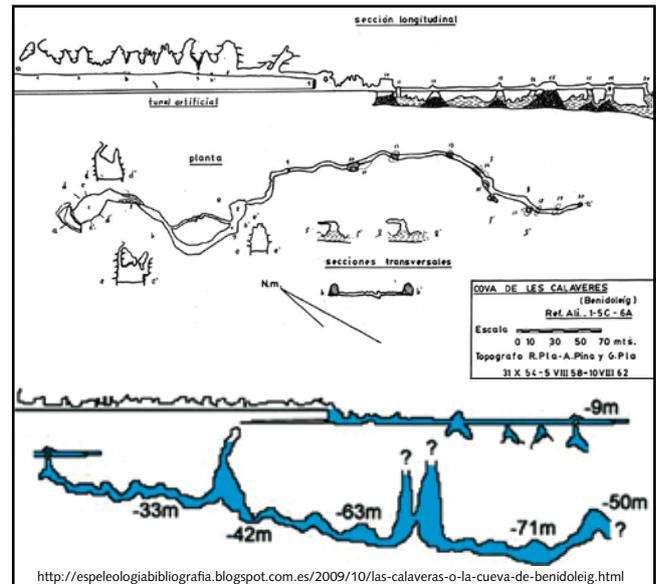


Fig. 4 (dcha.) Arriba topografía de la Cova de les Calaveres (del Grupo Spéos, de Alcoi) donde se aprecia el carácter ascendente de la surgencia (drenada artificialmente por un túnel artificial) y la abundancia de grandes outlets a lo largo de la cueva. Abajo detalle de la zona sumergida de Virgata i Sergi, 2008)

Satorkopuszta". Sin embargo, mientras no se demuestre la existencia de la gran cámara inferior, podemos considerar también que se trata de un modelo en sí mismo, separado y diferente al de las grandes salas. En todo caso, identifico con este modelo una serie de pequeñas cavidades existentes en calizas del Mioceno próximas al paraje del Tos Pelat (Moncada; Valencia), posiblemente una antigua zona de descarga ascendente del acuífero calizo y parcialmente confinado que se extiende hasta las proximidades de Llíria, unos 20 km al Noroeste de este sector. Se trata de un acuífero interesante pero prácticamente olvidado en los estudios hidrogeológicos regionales.

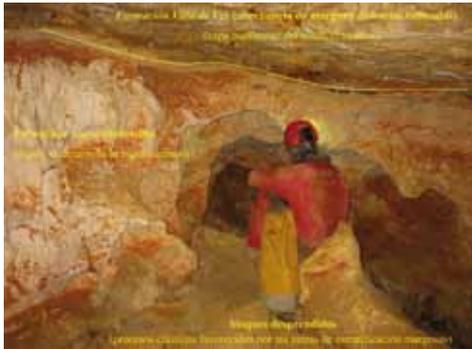
En este sector, la **Cova Tubulada** (Moncada; Valencia) es, a pesar de sus modestas dimensiones (unos 15 m de recorrido), una expresiva muestra de cavidad formada por un conjunto arracimado de cúpulas coalescentes y yuxtapuestas, que forman una "falsa galería" (figura 3). En los techos de otras cuevas y abrigos cercanos siguen proliferando formas similares: conductos ascendentes y redondeados que perforan la roca (*outlets*).

También presenta numerosas cúpulas ascendentes y estructuras esponjosas (*spongework*) casi todo el techo de la **Cova de les Calaveres** (Benidoleig; Alicante).

Pero en este caso no observamos una red coalescente ni arborescente de cúpulas, tal como la hemos entendido y visto en ejemplos anteriores, sino que se trata de un verdadero conducto principal más o menos rectilíneo y amplio (figura 4). Presenta un desarrollo ascendente y de carácter surgente (en gran parte inundado) por ser un punto de descarga lateral del Subsistema Castell de la Solana (Pulido, 1979), parcialmente confinado, sobre todo en el sector donde se produce esta descarga. Tanto por el carácter ascendente de este dren (asciende desde el acuífero confinado) como por la espectacular morfología corrosiva de su bóveda, no hay duda de que nos hallamos ante una espeleogénesis de tipo hipogénico.

Hasta aquí hemos destacado varias modalidades de cavidades hipogénicas con los que hemos podido identificar o asimilar diversas cavidades valencianas (o españolas, en el caso de la Torca del Carlista). Concretamente hemos referido y diferenciado las siguientes clases:

1. **Redes laberínticas** (aunque hay muy diversas): COVA DE L'AUTOPISTA
2. **Salas gigantes** (Torca del Carlista): ¿SIMA DEL CAMPILLO?
3. Salas con ramificaciones ascendentes (tipo Satorkopuszta)



3.b. **Redes de cúpulas** (coalescentes y ramificadas): COVA TUBULADA

4. **Drenes ascendentes** y amplios: COVA DE LES CALAVERES

En todos estos casos considero que siempre hay una estructura de acuífero confinado dentro de la cual se ubica o se desarrolla la espeleogénesis hipogénica.

La primera de estas modalidades o clases (*REDES LABERÍNTICAS*) engloba, a su vez, diferentes tipos de sistemas laberínticos. En principio resulta posible distinguir algunos sistemas de carácter más ramificado y tridimensionales (al parecer responden más al predominio de flujos muy corrosivos y ascendentes) de otros más reticulados y de predominio bidimensional (planar o multiplanar) que se desarrollan en la proximidad o en contacto de capas confinantes más o menos inclinadas. Este segundo caso lo identificamos con las redes yesíferas de Ucrania, pero también el de la Cova de l'Autopista, que se desarrolla en un acuífero dolomítico Cenomaniense (*Formación Dolomías de Alatoz*) teniendo como capa confinante a la *Formación Dolomías y margas dolomíticas de Villa de Ves*, que buzanan unos 20° al Norte (figura 5).

Las citadas redes laberínticas se habrían desarrollado en el seno de un acuífero confinado, donde la inclinación dominante de la red cavernaria (tanto si el desarrollo es bidimensional como tridimensional) viene a coincidir con la estructura principal y/o el buzamiento de los contactos litoestratigráficos.

En el caso de la **Cova del Far** (Alfàs del Pi; Alicante), aunque la estructura geológica es inclinada (Yébenes, 1996): un acuífero calizo (calcarenitas), confinado por margas del Albiense superior que buzanan unos 30° al NW, la parte explorada de la cueva no se desarrolla en el contacto con la capa confinante, ni tiene la inclinación de la estructura, sino que presenta un carácter casi horizontal (figura 6). Al parecer, la corrosión habría actuado sobre todo en la parte superior del acuífero confinado, donde la presión disminuye (la desgasificación del CO₂ se completa o se agudiza) y éste pasa a adquirir finalmente un carácter freático. Es decir, la karstificación es intensa (por la llegada de los flujos hipogénicos ascendentes) pero se desarrolla sobre todo acoplándose a las condiciones freáticas que se dan en el límite y parte superior del acuífero, que deja de ser confinado para convertirse gradualmente en libre. La oscilación piezométrica se nota más y ello redundaría en un relativo recrecimiento o elongación vertical de los conductos que forman la red, manteniendo en todo caso su morfología hipogénica: un laberinto reticular (*network maze*) con sus canales verticales de alimentación (*feeders*) y sus estructuras de fuga ascendente (*outlets*), todo ello formando una yuxtaposición –más que superposición– de conductos.

Entiendo que la Cova del Far forma parte de una red hipogénica, desde el punto de vista de la espeleogénesis, y aunque distal o relativamente elevada, todavía ubicada dentro del límite y estructura geológica del propio acuífero confinado.

Fig. 5 (izda.) Esquema que muestra el desarrollo y morfología general de la Cova de l'Autopista, excavada en el contacto entre dos formaciones litoestratigráficas.

Fig. 6 (dcha.) Corte geológico de la Serra Gelada (tomado de Yébenes, 1996), con la posición que ocupa la Cova del Far, desarrollada en la parte alta (calcarenitas) de la unidad C2, teniendo como capa confinante las margas de la unidad C3.



Fotografía 11 (izda.) Grandes *outlets* en el vestibulo de la Cova de les Calaveres. Uno de ellos (izquierda) alcanza el exterior (un espeleólogo da la referencia de escala), formando un pozo de unos 25 metros.



Fotografía 12 (dcha.) Cúpulas (*outlets* coalescentes) en el interior de la Cova Tubulada.

En la gran sala de la Torca del Carlista (y opcionalmente en la del Campillo, si fuera el caso) es evidente que lo que vemos hoy es una traslación hacia arriba del hueco hipogénico original (formado dentro de un acuífero confinado), como consecuencia de colapsos y de un proceso clástico remontante. Es decir, realmente presenciamos la evolución geomorfológica de lo que en origen pudo ser una SALA GIGANTE en sentido hipogénico

Las cavidades ascendentes y ramificadas de la tercera modalidad (CÚPULAS RAMIFICADAS) se caracterizan por sus formas redondeadas a modo de cúpulas coalescentes, formando "pseudogalerías/pseudopozos" cuyos desarrollos e inclinación pueden variar considerablemente de unos casos a otros. Sus irregulares desarrollos tienden a ser ramificados o incluso arracimados. Este modelo parece ser el caso más claramente vinculado al ascenso de gases o flujos corrosivos en el seno del acuífero confinado, quizá ya cerca de su límite y en transición hacia condiciones freáticas normales (ZS).

La principal diferencia entre la modalidad anterior y la de la clase 4 (DRENES ASCENDENTES) es que ésta responde a una descarga hídrica bien definida y localizada, procedente de una unidad hidrogeológica que, antes de surgir al exterior, recorre un trayecto confinado, de manera que

hay un gran conducto ascendente (desde un acuífero confinado y con aguas muy agresivas) amplio y bien definido: en cierto modo un manantial vaclusiano pero con la salvedad de que procede de un medio hipogénico (acuífero confinado) aunque forme parte de un contexto regional más o menos freático. Nuestro ejemplo más claro es la Cova de les Calaveres, pero quizá la situación no diste demasiado del caso de la Cova del Moraig (Benitatxell; Alicante) que constituye un interesante conducto de descarga submarina del Subsistema de la Depresión de Benissa después de haber circulado el agua a cierta profundidad y supuestamente bajo condiciones de confinamiento, bajo las margas de "facies tap", del Mioceno marino de la región. Para más detalles y discusión sobre este ejemplo me remito a las intervenciones de José M^a Cortés y de Juan José Rodes, previstas en estas XXIV Jornadas de la SEDECK donde presentamos también este trabajo.

CUEVAS O REDES FREÁTICAS CON INFLUENCIA HIPOGÉNICA

En sus clasificaciones morfogenéticas de cavidades kársticas de Mallorca y de las Islas Baleares, Joaquín y Ángel Ginés (2009 y 2011) diferencian, por una parte las "cuevas hipogénicas", refiriendo ejemplos de pequeñas cavidades formadas por



Fotografía 13 (izda.)
Outlets en la boca
de la Cova Tubulada.



Fotografía 14 (dcha.)
Cuencos de
disolución
ascendente (*solution
pockets*) e incipiente
boxwork en el Avenc
de la Clapissa.

cúpulas coalescentes, y por otra una nueva clase a la que denominan *redes freáticas con influencias hipogénicas*. El prototipo de esta modalidad es la ya famosa Cova des Pas de la Vallgornera, una red laberíntica de 67 km de recorrido, en parte aérea y en parte sumergido, ubicada en el acuífero libre costero de la plataforma neógena del sur de la isla de Mallorca, y desarrollada en calizas recifales muy porosas. Resulta muy llamativo que una buena parte del sistema (su sector Oeste) presente evidencias geomorfológicas de una intensa actividad hipogénica (Merino y Fornós, 2010). La explicación de estas formas ha sido entendida por la incorporación al acuífero freático de aguas hipogénicas profundas, ligadas a una anomalía geotérmica descrita en este sector de la isla (*ops. cit.*).

A diferencia de la Cova del Far (ligada a la estructura de un acuífero cautivo), la mallorquina es una red freática ubicada en un acuífero libre, a pesar de las claras influencias hipogénicas que manifiesta una parte notable de la cavidad.

No conocemos en el territorio valenciano ningún caso similar, pero la existencia de esta modalidad, nos ayuda a entender mejor un par de aspectos que habían llamado nuestra atención en la **Cova de Sant Josep** (la Vall d'Uixó; Castellón). Esta cueva es el dren principal de un acuífero libre que se desarrolla

en dolomías triásicas (*Muschelkalk*), pero la temperatura de 19°C de sus aguas (casi 3°C por encima de lo esperable) es indicativa de una anomalía geotérmica, cuyo origen está en un aporte puntual de aguas termales procedentes de un acuífero confinado (areniscas y argilitas del Triásico inferior) en el entorno de Alfonteguilla (Garay, 2001). A lo largo de la cavidad se observan algunas cúpulas ascendentes (*outlets*) que distaban bastante de ser simples cúpulas de corrosión de bóveda como las observadas en otras cavidades freáticas. Entendemos ahora, que en cierto modo hay una clara relación causa-efecto entre los dos hechos expuestos.

Además de estos ejemplos, referidos a redes freáticas que han recibido aportes hipogénicos, se puede también citar un caso singular, por tratarse de una cavidad propia de la ZNS, realmente una fractura o "diaclasa" (según el argot espeleológico), que en uno de sus extremos y en sus cotas más profundas (-60 m desde la boca), alcanza un sector donde predominan las formas hipogénicas con un carácter muy restringido y local. Se trata del **Avenc de la Clapissa** (Serra; Valencia), una fractura de marcada dirección N-S y unos 150 m de longitud, que en profundidad y en uno de sus extremos alcanza una zona donde el acuífero llegó a estar confinado, y en ella se pasa hoy bruscamente de una



Fotografía 15 (izda.)
Disolución
hipogénica de tipo
boxwork en el Avenc
de la Clapissa.



Fotografía 16 (dcha.)
Surcos ascendentes
(*rising wall
channels*) y
micropits en el
Avenc de la Clapissa.

morfología gravitacional y vadosa a una morfología donde predominan estructuras y formas típicas del karst hipogénico. Lamentablemente no se alcanza ningún desarrollo espeleométrico especial, pero resulta interesante e ilustrativo como referencia de una cavidad mixta (epigénica con influencias hipogénicas): una sima que llegó a alcanzar no ya la zona saturada de un acuífero libre, sino la zona de desgasificación (flujos corrosivos ascendentes) de un acuífero confinado aledaño.

Antes de finalizar estas notas debo insistir en que la clasificación que exponemos está basada en una serie de casos y experiencias concretas y, aunque conocemos otras clasificaciones de cuevas hipogénicas, como la de Audra *et al.* (2009), no se ajustan estrictamente a nuestro concreto planteamiento y marco regional, por lo cual, y teniendo en cuenta nuestras limitaciones de espacio y de objetivos, hemos eludido entrar en más consideraciones al respecto.

CONCLUSIÓN

A través de un repaso a los catálogos espeleológicos de la Comunidad Valenciana, y habiendo realizado antes un recorrido sobre bibliografía y ejemplos referidos a la espeleogénesis hipogénica, se aportan y comentan diferentes ejemplos de cuevas hipogénicas en el ámbito territorial valenciano.

Se pone de manifiesto la vinculación directa que existe entre la espeleogénesis hipogénica y los acuíferos confinados, defendiendo que, más que los diferentes procesos de karstificación, es la estructura hidrogeológica (de acuífero confinado) y la dinámica del proceso (más ligado al balance de masas que a la cinética) lo que determina el MODELO NATURAL de las cuevas hipogénicas.

Se sugiere y propone diferenciar hasta cuatro clases o modalidades de cuevas hipogénicas (*redes laberínticas, salas gigantes, cúpulas coalescentes y drenes ascendentes*) dentro de este modelo natural que queda definido por una clara CONVERGENCIA DE FORMAS: los diferentes tipos de morfologías características de la espeleología hipogénica.

BIBLIOGRAFÍA

- ARENÓS DOMÍNGUEZ, J. (2004): SICE-CS sistema informático de catalogación espeleológica (provincia de Castellón). Espelo Club de Castelló. (ver también blog actualizado del catálogo www.cuevascastellon.uji.es).
- AUDRA PH., MOCOCHAIN L. BIGOT J.Y. y NOBÉCOURT J.C. (2009): Hypogene Cave Paterns. In: Klimchouk A.B. y Ford D.C. (eds.) Hypogene Speleogenesis and karst Hydrology of Artesian Basins. Ukrainian Inst. of Speleology, Special Paper 1: 17-22. Simferopol
- COLLIGNON B. (1983): Spéleogénèse hydrothermale dans les Bibans (Algérie). Karstologia, 2: 45-54.
- CUSTODIO, E. y LLAMAS M.R. (1976): Hidrología Subterránea. Ed. Omega. 2359 pp. Barcelona.
- DONAT, J. (1966): Catálogo espeleológico de la provincia de Valencia. Memorias del Inst. Geol. Min. de España, t. LXVII.
- DUBLJANSKY V.N. (2000): A giant hydrothermal cavity in the Rhodope Mountains. In: Klimchouk A., Ford D.C., Palmer A.N. & Dreybrodt W. (Eds.). Speleogenesis: Evolution of karst aquifers. National Speleological Society, Huntsville. 317-318.
- FERNÁNDEZ J., GARAY P. y SENDRA A. (1980): Catálogo espeleológico del País Valenciano. T. I. FVE.
- FERNÁNDEZ J., GARAY P. GIMÉNEZ S. IBAÑEZ P. y SENDRA A. (1982): Catálogo espeleológico del País Valenciano. T. II. FVE.
- ERASO, A. (1969): Mecanismos sobre la corrosión en el Karst y su repercusión en la Geodinámica kárstica. Bol. Geológico y Minero, t. LXXX-II: 146-168.
- ERASO, A. (1975-1976): Nuevo método en la investigación del karst, los modelos naturales y la convergencia de formas. Speleon, 22: 35-42. CEC. Barcelona.
- ERASO A. (1996): Cueva de Pozalagua y Torca del Carlista. fascículo en: Tecno ambiente, nº 59. TIASA. Madrid.
- ERASO, A. y PULINA, M. (2011): Cuevas en hielo y ríos bajo los glaciares. (3ª edición). Glackma.
- GRUP ESPELEOLÒGIC MURTA, SPELEO CLUB ALPINO VALENCIANO y CLUB UNIVERSITARIO DE MONTAÑA (1987): Primeros resultados topográficos de la Cova de l'Autopista (Real de Gandia, La Safor). Lapiaz, 16: 48-51. FVE.
- GARAY P. (2001): El dominio triásico Espadán-Calderona. Contribución a su conocimiento geológico e hidrogeológico. Publ. Tesis Doctoral en microfítxes. Universitat de València.
- GINÉS J. y GINÉS A. (2009): Proposta d'una nova classificació morfogenètica de les cavitats càrstiques de l'illa de Mallorca. Endins, 33: 5-18. FBE.
- GINÉS J. y GINÉS A. (2011): Classificació morfogenètica de les cavitats càrstiques de les illes Balears. Endins, 35: 85-102. FBE.
- JAGNOW D.H., HILL C.A., DAVIS D.G., DUCHENE H.R., CUNNINGHAM K.I., NORTHUP D.E. y QUEEN J.M. (2000): History of sulfuric acid theory of speleogenesis in the Guadalupe Mountains, New Mexico. Journal of Cave and Karst Studies, 62(2): 54-59.
- KLIMCHOUK A.B. (2007): Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective. Special Paper, 1. National Cave and Karst Research Institute. Carlsbad, NM. 106 pp.
- KLIMCHOUK A.B. (2009): Morphogenesis of hypogenic caves. Geomorphology, 106: 100-117.
- KLIMCHOUK A.B., FORD D.C., PALMER A.N. y DREYBRODT W., (2000): Speleogenesis: Evolution of karst aquifers. National Speleological Society. 527 pp. Huntsville, Alabama.
- KLIMCHOUK, A. B. y FORD, D. C. (2009): Hypogene Speleogenesis and karst hydrogeology of Artesian Basins. Ukrainian Institute of Speleology, Special Paper 1. Simferopol, 280 pp.
- MERINO A. y FORNÓS J. (2010): Los conjuntos morfológicos de flujo ascendente (Morphologic Suite of Rising Flow) en la Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca). Endins, 34: 87-102. FBE.
- MÜLLER P. y SARVARY I. (1977): Some aspects of developments in Hungarian speleology theories during the last ten years. Karszt és Barlang, special issue: 53-60.
- PALMER A.N. (2011): Distinction between epigenic and hypogenic maze caves. Geomorphology, 134: 9-22.
- PLA, G. (1955): Catálogo de Cavidades de la Provincia de Alicante. Speleon, t. VI (1-2): 37-51. (ver también blog actualizado del catálogo www.cuevasalicante.com).
- PULIDO BOSCH A. (1979): Contribución al conocimiento de la Hidrogeología del Prebético Nororiental (provincias de Valencia y Alicante). Memoria del Instituto Geológico y Minero de España, 95: 1-410.
- SEBEV D.G. (1970): Giant caverns in Rhodopes. Rodopski Peschernjak (Chepelare), 50: 34 pp.
- YÉBENES A. (1996): Estratigrafía y estructura de la Serra Gelada. Cuadernos de Geografía, 60: 201-222. Universitat de València.