

## Relaciones entre la Quimiolitogénesis y la Termocirculación

POR

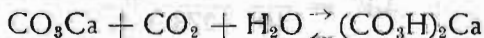
JOAQUIN MONTORIOL POUS

### INTRODUCCION

El mecanismo quimiolitogénico que tiene lugar en las formaciones hipogeas, queda esquematizado en una serie de ecuaciones químicas reversibles, que son la expresión de los equilibrios entre el ácido carbónico y sus productos de disociación, el carbonato cálcico y sus productos de disociación, y el agua y sus productos de disociación:

- 1)  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_3\text{H}_2$
- 2)  $\text{CO}_3\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_3\text{H}^- + \text{H}^+$
- 3)  $\text{CO}_3\text{H}^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^- + \text{H}^+$
- 4)  $\text{CO}_3\text{Ca} \rightleftharpoons \text{CO}_3^- + \text{Ca}^{++}$
- 5)  $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{H}^+$

• Como es bien sabido, esta serie de equilibrios acostumbra a resumirse según la ecuación reversible,



Cuando ésta se desplaza de derecha a izquierda tiene lugar la quimiolitogénesis. Salvo rarísimas excepciones, y prescindiendo de las formas excéntricas sobre las que tanto se ha divagado, hubo durante largos años un completo divorcio entre los físi-

co-químicos y los geomorfólogos que se ocuparon de tal problema. Es por ello que, en colaboración con Thomas Casajuana, llevamos a cabo, durante los años 1952-53, una serie de investigaciones a fin de poner de manifiesto los mecanismos responsables de los diferentes tipos morfológicos que ofrecen las formaciones quimiolitogénicas. A fin de simplificar, agrupamos las diferentes variables en dos grupos: 1) Causas de caudal; 2) Causas climáticas. Combinando sus diferentes intensidades (+), logramos explicar la génesis de seis tipos fundamentales de formas quimiolitogénicas simples.

De los diferentes factores englobados en las causas climáticas, el más importante, y casi el único digno de tenerse en consideración, es la presión parcial del anhídrido carbónico en la atmosfera de la cavidad. Como es natural, tal factor viene profundamente afectado por la aerocirculación de la misma. La barocirculación y la termocirculación en sacos de aire resultan prácticamente despreciables: la primera por funcionar esporádicamente, la segunda por alcanzar raramente las partes profundas del sistema hipogeo. Así pues, la termocirculación en tubo de viento es el mecanismo de aerocirculación más importante por lo que se refiere a nuestro problema.

Si suponemos un sistema hipogeo comunicando con el exterior a través de dos bocas de cotas  $C_1$  y  $C_2$  respectivamente, o sea con una diferencia altimétrica  $h = C_1 - C_2$ , y consideramos una temperatura del aire exterior igual a  $t_b$  y una temperatura del aire interior igual a  $t_a$  y asimismo, para simplificar, admitimos que el paso de un litro de aire ( $P_n$ ) a  $0^\circ\text{C}$  es el que corresponde a  $\frac{C_1 + C_2}{2}$ , tendremos que la diferencia de presión (en gramos por centímetro cuadrado), entre  $C_1$  y  $C_2$ , en el interior de la cavidad, vendrá dado por,

$$\Delta P'' = \frac{h}{10} \frac{273 P_{na}}{273 + t_a}$$

mientras que en el exterior,  $\Delta P'$ , valdrá,

$$\Delta P' = \frac{h}{10} \frac{273 P_{nb}}{273 + t_b}$$

La presión motriz determinante de la termocirculación será igual a  $\Delta P' - \Delta P''$ , y de signo + o -, según los valores de  $t_b$  y  $t_a$ , o sea que vendrá dada por,

$$\Delta P = \frac{h}{10} \left( \frac{273 P_{nb}}{273 + t_b} - \frac{273 P_{na}}{273 + t_a} \right)$$

De la observación de estas relaciones cuantitativas vemos, pues, que en verano ( $t_b > t_a$ ) el tubo de viento funcionará según  $C_1 \rightarrow C_2$ , y en invierno ( $t_b < t_a$ ) según  $C_2 \rightarrow C_1$ . En las estaciones de transición se producirá una inversión de corrientes según las horas del día. La temperatura del aire (entrante o saliente), y sea cual fuere la estación del año, cumplirá que  $t_{C_2} < t_{C_1}$ ; de ahí los conceptos de boca fría y boca caliente.

Hasta ahora sólo habíamos analizado el problema directo, que es deducir los resultados morfológicos producto de la variabilidad de los factores. Sin embargo, resulta evidente que para el morfólogo es mucho más interesante el problema inverso, o sea basándose en las formaciones quimiolitogénicas, deducir datos respecto a la evolución espeleometeorológica y en consecuencia, espeleomorfológica de la cavidad. Vamos a intentar resolver esta posibilidad, que ya apuntamos en nuestro citado trabajo sobre las formas reconstructivas.

## OBTURACION DE LOS SISTEMAS DE TERMOCIRCULACION

Para su funcionamiento, un mecanismo de termocirculación en tubo de viento exige una comunicación directa entre  $C_1$  y  $C_2$ . Ahora bien, un sistema de termocirculación hipogea es una cosa sumamente irregular, con zonas de escasa sección de circulación expuestas a una obturación fácil. Esta se puede producir mediante tres procesos diferentes.

### a) *Obturación quimiolitogénica* (fig. 1 — I)

Sabido es que las formas estalactíticas y estalagmíticas evolucionan hacia formas columnares y éstas hacia macizos obturantes, siendo muy elevado el número de cavernas en avanzado estado de evolución, cuyo fin penetrable se halla constituido por uno de tales macizos reconstructivos. Téngase en cuenta que la

propias causas de interdependencia entre quimiolitogénesis y termocirculación, hacen que la dinámica reconstructiva se localice preferentemente en aquellas zonas de escasa sección de circulación o sea las más fácilmente obturables.

b) *Obturación por sifón hidráulico* (fig. 1 — III).

Se trata de un caso extraordinariamente corriente, particularmente en la zona de meandros terminales de los grandes sumideros actuales de funcionamiento intermitente (o sea en aquella zona en que el desarrollo vertical ha pasado a subhorizontal). El clásico sifón terminal acostumbra a marcar asimismo el fin de numerosas cavidades.

c) *Obturación por sedimentación arcillosa* (fig. 1 — II)

Seguramente es el mecanismo de obturación más abundante en las formaciones hipogeas de desarrollo horizontal o subhorizontal. Hay que tener presente que en la mayoría de las cavernas el explorador avanza literalmente a ras del techo, debido a los depósitos arcillosos que colmatan casi totalmente el antiguo perfil de la galería. Bastará, por lo tanto, cualquier irregularidad de la bóveda para que se produzca una obturación.

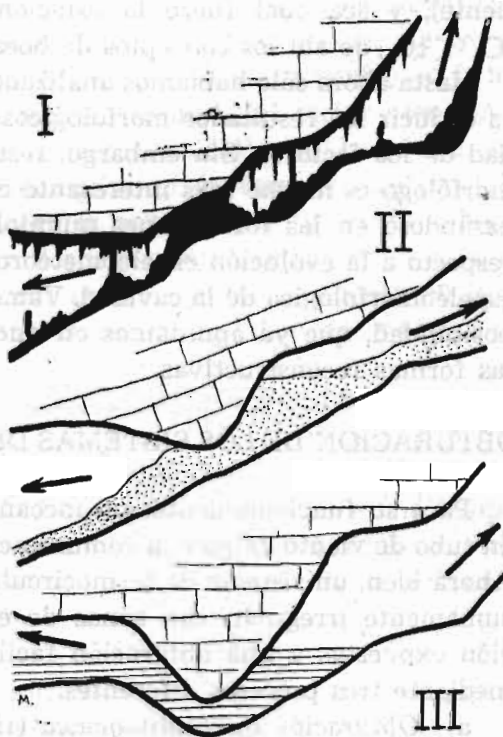


Fig. 1.—Obturación quimiolitogénica; II Obturación por sedimentación arcillosa; III Obturación por sifón hidráulico

En primera aproximación, la obturación arcillosa es semejante a un sifón hidráulico en el que el agua ha sido substituída

por las arcillas. Hay, sin embargo, una diferencia fundamental: el sifón hidráulico precisa de una galería con desarrollo longitudinal en U (vasos comunicantes) o de una inflexión de la bóveda sobre un tramo horizontal; en cambio la obturación arcillosa puede desarrollarse sobre una galería en pendiente (tal como se observa en la figura).

d) *Consideración general*

Podría objetarse que tales procesos obturantes no son capaces de inhibir un mecanismo de termocirculación en tubo de viento, por cuanto sólo actuarían sobre alguna de las ramas de la red del sistema (galerías y microfisuras). Ello no obstante, por el procedimiento que estudiaremos en el apartado próximo, pueden ponerse de manifiesto casos de inhibición total. Su existencia es posible gracias a que los factores que regulan los procesos obturantes, no se hallan localizados en puntos, sino sobre áreas y volúmenes más o menos grandes. En efecto las colmataciones arcillosas vendrán en función de niveles de base kársticos locales que afectarán, en una amplia zona, a todo el conjunto de galerías y microfisuras de un sistema; por otra parte, la quimilitogénesis obturante vendrá asimismo favorecida, en extensas zonas, bien sea por un mayor aporte hídrico, debido a una mayor fisuración (diacclas, leptoclasas), bien sea por una disminución de las secciones de circulación, debida a una mayor resistencia de la roca a la erosión y corrosión (ambas causas dependerán de factores litológicos que serán constantes en un amplio volumen). En lo que se refiere a los sifones hidráulicos, carecen de interés para nuestro estudio, ya que o siempre se hallan cerrados o se abren y cierran con período muy corto (lluvias). En el caso de galerías en conducción forzada, bajo el nivel de base, un descenso del mismo puede abrir un tubo de viento.

e) *Método de investigación*

Se trata, como es natural, de deducir la evolución espeleomeeteorológica, y en consecuencia el desarrollo de un mecanismo de obturación a partir de la morfología quimolitogénica. A ma-

nera de ejemplo, vamos a aplicar el método a la gran caverna menorquina de Na Polida (desarrollada en las calizas jurásicas del cabo Pantinat, península de s'Albufereta) que, en la actualidad, no presenta la menor muestra de termocirculación en tubo de viento.)

En la fig. 2 se ha esquematizado la disposición de las formas reconstructivas en varios puntos de la caverna. Se encuentran los siguientes tipos de concreciones: a—estalactitas mixtas; b—estalactitas de caudal; c—estalactitas climáticas; d—excéntricas, helictitas; e—estalagmitas mixtas; f—estalagmitas climáticas; g—estalagmitas compuestas (estalagmita mixta+estalagmita climática); h—columnas estalactítico-estalagmíticas.

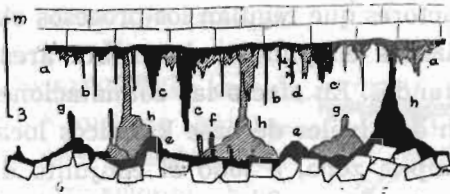


Fig. 2.—Esquema de la disposición de las formas quimiolitogénicas en la Cova de Na Polida (ver explicación en el texto)

Hay una ausencia total de estalagmitas de caudal con o sin desarrollo en palmera. Cabe observar que las formas b son posteriores a las c, mientras que las a son porterioriores a las c, según indican las relaciones de superposición y confirma el distinto grado de decalcificación.

Vemos pues que los distintos tipos de formas exigen las siguientes oscilaciones (CA=causas de caudal; CL=causas climáticas):

#### I—Formas bóveda

2—Tipo "a" : —CA,—CL

1—Tipo "c" : +CA,—CL

3—Tipo "b" : —CA,+CL

#### II—Formas piso

1—Tipo "e" : +CA,+CL

2—Tipo "f" : —CA,+CL

En lo que hace referencia al piso, y siendo igual +CL, el cambio actuó según +CA → -CA, según indican las formas g. En lo que se refiere a la bóveda, el paso ocurrió según -CL → +CL, según indican las relaciones morfológicas y confirma el distinto grado de decalcificación. Las formas b y f son contemporáneas (-CA, +CL). Luego la sucesión total (bóveda + piso) ha sido:

$$\langle c \rangle \rightarrow \langle a \rangle \rightarrow \langle e \rangle \rightarrow \langle b \rangle + \langle f \rangle$$

o sea,

$$(+CA, -CL) \rightarrow (-CA, -CL) \rightarrow (+CA, +CL) \rightarrow (-CA, +CL)$$

Vemos pues que el ritmo de las infiltraciones ha sufrido dos oscilaciones completas,

$$+CA \rightarrow -CA \rightarrow +CA \rightarrow -CA$$

mientras que las causas climáticas han pasado sólo por,

$$\boxed{-CL \rightarrow +CL}$$

De todo ello deducimos, pues, que en un principio la cueva presentaba una termocirculación en tubo de viento, la cual, por obturación del sistema, ha dejado de funcionar en la actualidad. Las investigaciones geomorfológicas pusieron de manifiesto que se trataba de una obturación quimiolitogénica.

Es evidente que mientras -CL → +CL es, teniendo en cuenta cuanto llevamos dicho, relativamente fácil, el paso contrario, +CL → -CL, será sumamente improbable. En efecto, este cambio exige una desobturación durante la evolución espeleogénica de la cavidad, cosa que según nuestras estadísticas ocurre en un muy reducido número de cavidades, capaz de producir la doble oscilación, -CL → +CL → -CL. Téngase además en cuenta que la quimiolitogénesis es índice de la madurez morfológica de una cavidad, no habiéndose desarrollado sino muy posteriormente a la primera "puesta en marcha" del mecanismo de aerocirculación.

Podemos deducir de todo ello que las cavidades evolucionan-

das con una termocirculación actual, pueden proporcionar una prueba indirecta sobre la validez del método, ya que no deberán presentar relaciones morfológicas quimiolitogénicas que exijan el paso  $-CL \rightarrow +CL$ . Pues bien, en nuestras investigaciones no hemos hallado nunca la menor excepción a tal principio.

### DESMANTELAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE TERMOCIRCULACION

Para que se produzca un mecanismo de termocirculación en tubo de viento se precisa una diferencia altimétrica  $h=C_1-C_2$ , entre la boca fría y la boca caliente del sistema hipogeo. Ahora bien, el desmantelamiento debido a la erosión subaérea puede llevar a  $C_1 \approx C_2$ , con lo que  $h \rightarrow 0$ , y como  $\frac{h}{10}$  es factor que multiplica a toda la expresión que da  $\Delta P$ , el valor de la termocirculación se anulará, con lo que ocurrirá  $-CL \rightarrow +CL$ . Con ello las concreciones sufrirán una evolución morfológica parecida a la de un caso de obturación.

En la práctica resulta improbable que se anule la termocirculación, pues es difícil que se llegue a  $C_1 = C_2$ ; por ello se producirá, en la mayoría de los casos, sólo una atenuación de la misma, con el resultado de ser menos evidentes los cambios morfológicos en los procesos reconstructivos.

Un caso muy demostrativo, estudiado por nosotros, con cese total del mecanismo de aerocirculación y las consiguientes consecuencias en cuanto a los cambios en la quimiolitogénesis, lo constituye la Cova del Parrillo — Serra (desarrollada en el macizo kárstico que se extiende entre El Perelló (Tarragona) y el mar Mediterráneo. El estudio geomorfológico de la citada cavidad puso de manifiesto que se trataba de una oquedad residual, que en una primera fase de su espeleogénesis no era más que la zona de meandros terminales de un sumidero, lo cual exige el desmantelamiento de las capas suprayacentes, y el cese



de la termocirculación que presentaba el antiguo sumidero ( $-CL \rightarrow +CL$ ). Así pues, las conclusiones sacadas del estudio morfológico general de la cavidad, concuerdan con las deducciones llevadas a cabo a partir de la evolución de las formas reconstructivas de la misma.

## CONSIDERACIONES FINALES

De todo cuanto acabamos de exponer en los apartados anteriores, vemos que el estudio de las relaciones entre la quimio-litogénesis y la termocirculación, puede llevar a la resolución de numerosos problemas concernientes a la evolución morfológica de las cavidades subterráneas. Cuando iniciamos tales estudios, nuestra única ambición era poder explicar la génesis de los tipos fundamentales de formas litogénicas, pero al aplicar sistemáticamente el método a un elevado número de cavidades, hemos podido comprobar que las deducciones teóricas sobre los sistemas cuadraban siempre con los resultados obtenidos a partir del estudio geológico general de las mismas.

A nuestra manera de ver, cuando se pueda disponer de un gran número de observaciones en tal sentido, que den una mayor validez estadística a la exactitud del método, ésta podrá emplearse no solamente para comparar sus resultados con los obtenidos mediante otros métodos morfológicos, sino para deducir directamente consecuencias en cuanto a la evolución espeleogénica de las cavidades estudiadas (evolución de los sistemas, relaciones con la erosión subaérea, fases de sedimentación arcillosa, fases litogénicas, cambios del nivel de base kárstico, etc.).

## R É S U M É

On analyse d'abord les rapports qui existent entre la dynamique chimico-lithogénique et la circulation thermique de l'air dans un "tube de vent".

On étudie ensuite les mécanismes susceptibles de provoquer l'arrêt du fonctionnement d'un "tube de vent":

I—Obstruction (a-obstruction chimico-lithogénique; b—obstruction par siphon hydraulique; c—obstruction par sédimentation argilense); II—Démantèlement dû à l'érosion sous-aérienne.

Utilisant alors les conclusions obtenues à partir des analyses antérieures, on cherche les rapports entre la morphologie lithogénique et l'évolution générale spéléogénique des cavités afin d'obtenir une nouvelle arme de travail à utiliser dans les recherches sur la géomorphologie hypogée.

## S U M M A R Y

Firstly studies the actual relations between the chemolithogenic dynamics and the thermal aerocirculation in wind tube; and then the mechanisms able to cause a stop in the normal functioning of a wind tube:

I—Stoppage; a—Chemolithogenic stoppage; b—by hydraulic siphon; c—by clay sedimentation. II—Dismantling due to subaerial erosion.—It tries to find out (making use of the conclusions from the above studies) the relations between lithogenic morphology and spelæogenic general evolution of the cavities, so as to obtain a new working-tool with which to carry out researches into hypogeal geomorphology.

## BIBLIOGRAFIA

CRESTANI, G. e ANELLI, F. *Ricerche di meteorologia hipogea nelle Grotta di Postumia*. Publ. 143 dell'Uf. Idr. Magistrato alle acque di Venezia, Mem. III, Ist. Ital. Speleol. ser. Geol.—Geof., mem. 3, 162 pp., 10 tab. Venezia 1939.

MONTORIOL POUS, J. *Meteorologia hipógea*. Urania, Bol. de la Soc. Astr. de España y América y de la U. N. A. C. A., núm. 228, 22 pp., 14 figs. Tarragona 1951.

MONTORIOL POUS, J. y ANDRES BELLET, O. *Estudio de la Cova del Parrillo-Serra*. Ciencia y Montaña, Bol. del C. M. B., 3-4 trim., 5 pp., 1 fig. Barcelona 1956.

MONTORIOL POUS, J. y ASSENS CAPARROS, J. *Estudio geomorfológico e hidrogeológico del karst de la península de s'Albufereta (Fornells, Menorca)*. Rassegna Speleologica Italiana, anno IX, fasc. 1, 46 pp., 17 figs., 2 láms. Cómo 1957.

MONTORIOL POUS, J. y THOMAS CASAJUANA, J.M. *Sobre la abundancia relativa, en las formaciones hipógeas de estalactitas y estalagmitas, con algunas consideraciones sobre la morfología de las mismas*. Urania, Bol. de la Soc. Ast. de España y América y de la U. N. A. C. A., núm. 235, 8 pp., 3 figs. Tarragona 1953.

SCALA, C. *Su alcuni aspetti del dinamismo stalagmogenico*. Atti del VI Congresso Nazionale di Speleologia, 4 pp. Trieste 1954.

TROMBE, F. *Gouffres et cavernes du Haut Comminges*. Travaux scientifiques du C. A. F., II, 80 pp., 28 figs., 12 fots. París 1943.

TROMBE, F. *Quelques aspects des phénomènes chimiques souterrains*. Annales de Speleologie, t. VI, fasc. 1, 15 pp., 3 fots. París 1951.