

MUNIBE (Ciencias Naturales - Natur Zientziak)	Nº47	7-15	SAN SEBASTIAN	1995	ISSN 0214-7688
---	------	------	---------------	------	----------------

Las dimensiones de las cavidades subterráneas: conceptos utilizados, modo de cálculo y significado de las expresiones cuantitativas

The measurements of caves: concepts, way of to calculate, and meaning of quantitative expressions in speleology

PALABRAS CLAVE: Karst, Espeleología, Topografía subterránea.

KEY WORDS: Karst, Speleology, Underground topography.

Carlos GALAN *

RESUMEN

Se destaca el significado del concepto de Extensión como medida de lo grande que es una cavidad horizontalmente. Se señala que Extensión y Desnivel son conceptos semejantes, que definen la amplitud máxima entre los puntos extremos de una red de galerías, en sentido horizontal y vertical, respectivamente. Se comenta y discute el significado de las diferentes expresiones cuantitativas utilizadas en Espeleología.

SUMMARY

The meaning of Spreading concept is pointed. This concept indicates who very big is a cavity horizontally. Spread and Deep are similar concepts. They define the maximum length between the extrem points of a maze of galleries, in horizontal and vertical sense, respectively. The meaning of quantitative expressions used in Speleology is commented.

LABURPENA

Adierazteko zein hurgune handia den horizontalki neurri bezala, hedapenaren kontzeptua, nabarmentzen da. Hedapena eta desnibela antzeko kontzeptuak dira, definitzen dutenak galeri multzo baten hasiera eta buekaeraren arteko zabaltasun handiena, zentzu horizontalean eta bertikalean dagokionez. Espeleologian erabiltzen diren zenbait espresio ezberdinen esanahiak aipatzen dira.

INTRODUCCION

Diversos autores han señalado numerosas veces la insuficiencia de las listas de grandes cavidades y la inadecuación que presentan las cifras desnudas para expresar la importancia real de los fenómenos kársticos (COURBON & CHABERT, 1986). Particularmente hemos asistido a una preferencia por los grandes desniveles, que ha relegado a un segundo plano otras dimensiones y características de los sistemas subterráneos.

En nuestra opinión, la "pobre significación" que presentan las listas de cavidades que se elaboran a nivel mundial y regional es producto de dos factores. Por un lado, el Desarrollo de una cavidad es un concepto poco adecuado para reflejar la importancia de las dimensiones horizontales de una red de galerías. Por otro, Desnivel y Desarrollo son conceptos no equiparables y, por lo tanto, no permiten efectuar

ningún tipo de comparación (CHABERT, 1988). Las listas de grandes cavidades frecuentemente son asimiladas como una clara referencia a la importancia o magnitud de simas y cuevas, pareciendo que las cavidades más grandes de estas listas son las más "importantes". Muchos espeleólogos se han preguntado ¿por qué una sima de 500 m de desnivel es más importante que una cueva de 5 km de desarrollo?; ¿equivalen las simas de -1.000 m -a nivel mundial- a las cavidades cuyo desarrollo alcanza 1,10, 20, 50, 100 o cuántos km, y por qué?; ¿una cueva de 2 km de desarrollo, pero que apenas ocupa 200 m en planta, es realmente más grande que otra de 1 km pero constituida por una amplia galería única?; ¿las cuevas que poseen una gran cantidad de pequeños laterales y laberintos de pisos superpuestos, son en realidad tan grandes como sugiere la cifra de su desarrollo?. Muchas de estas preguntas carecen hoy de respuesta. Y si bien es cierto que las cavidades de gran desnivel ilustran lo que es un concepto claro y fácil de entender, no ocurre lo mismo cuando se

* Sociedad de Ciencias Aranzadi. Museo de San Telmo. 20.003 San Sebastián. Spain.

habla del desarrollo de una cavidad, ya que éste concepto no ilustra ni refleja de modo adecuado la importancia de las dimensiones de una cavidad en sentido horizontal.

FENOMENOS KARSTICOS Y ESPELEOLOGICOS

Los conductos accesibles al ser humano -las cavernas- son sólo una parte del karst. Y aunque con el paso del tiempo puede aumentar considerablemente el conocimiento del conjunto de cavidades que encierra un macizo kárstico, no todo el karst es accesible. Características geológicas e hidrogeológicas pueden imponer y a menudo imponen importantes restricciones para el acceso directo al karst profundo. Por tanto, este último requiere ser expresado por parámetros que son propios de la estructura y funcionamiento del acuífero kárstico como sistema: superficie de la cuenca, valor de la infiltración, caudales circulantes, volumen de las reservas, capacidad de regulación y almacenamiento, características de la descarga en las emergencias del sistema. En este sentido, fenómenos kársticos, como sumideros y surgencias, que se revelan impracticables para la exploración directa, pueden ser de gran importancia e interés a nivel del sistema. Del mismo modo, las pequeñas dimensiones de algunos conductos pueden imponer restricciones al acceso a importantes volúmenes subterráneos.

En general, está muy lejos de ser cierto que las redes de cavernas permitan seguir los caminos que recorren las aguas en el interior de un macizo kárstico. En la mayoría de los casos las cavernas accesibles sólo representan una parte del sistema, correspondiente a grandes conductos en la zona de infiltración o zona vadosa del karst, o también a algunas partes próximas de la zona saturada o freática que es alcanzable mediante el buceo de sifones y surgencias. En algunos casos ha podido ser explorado cierto número de kilómetros de conductos sumergidos, en la zona saturada, pero estos casos han sido más bien raros.

Igualmente, los ejemplos de travesías que constituyen perforaciones hidrogeológicas corresponden a casos especiales de sistemas de montaña ("alpinos") con escaso o nulo desarrollo de la zona saturada. Pero, la mayoría de los sistemas kársticos poseen cierto grado de regulación y un desarrollo relativamente importante de la zona saturada, que hasta el momento se ha revelado muy poco propicia para la penetración del ser humano. Su estudio se realiza en gran medida con la ayuda de métodos y técnicas indirectos, propios de la hidrogeología y la geoquímica (BAKALOWICZ & MANGIN, 1980). En este sentido, el acceso a cavidades que alberguen tramos de los principales colectores de un macizo es de gran interés, y

hace que dichas cavidades sean importantes para entender el drenaje subterráneo, aunque sus dimensiones sean modestas.

En consecuencia, la importancia de los fenómenos espeleológicos sólo en ocasiones podrá ser equivalente o indicadora de la importancia de los fenómenos kársticos. Conscientes de esta limitación, en lo que sigue nos referiremos únicamente a los parámetros medibles que caracterizan las partes del karst accesibles al ser humano.

DESNIVEL Y VERTICALIDAD

El Desnivel ha sido definido como la diferencia en altitud entre el punto más alto y el más bajo de una cavidad (alcanzados y medidos por el hombre). Corresponde por tanto a su amplitud vertical. Esto es sabido y no ofrece dudas. Aquí sólo queremos indicar, ya que a menudo parece olvidarse, que el desnivel no ilustra sobre la verticalidad de una cavidad ni sobre la complejidad de su trazado.

Importantes desniveles pueden alcanzarse en cavidades parcial o totalmente compuestas por galerías descendentes, y es un hecho conocido que en muchas grandes simas sólo una parte del desnivel corresponde a pozos verticales. El desnivel tampoco informa sobre la complejidad de una cavidad. Un buen ejemplo lo suministra el trazado de la Sima Zampory, situada en el karst de Larra (País Vasco), que en sus 250 m de desnivel encierra una red de galerías con más de 1.000 m de pozos verticales (BRESSAN, 1988). Conviene por tanto retener que el desnivel sólo ilustra sobre una diferencia de altitud. La verticalidad de una cavidad es expresada mucho mejor por la suma de tramos verticales.

El cálculo del desnivel no ofrece dudas, tal vez con la única excepción de la elección del punto cero. En el caso de dolinas que prosiguen en sima, o de amplias bocas abiertas en una ladera inclinada, actualmente se acepta que el punto cero debe ser establecido en el punto a partir del cual se constituye una cavidad cerrada (Figura 1). Igualmente el desnivel se cuenta entre el punto más alto y el más bajo de una cavidad, sin importar la posición de la boca, ya que ésta puede ocupar una posición intermedia (Figura 2).

La verticalidad de una cavidad puede ser apreciada en un perfil desplegado de la misma; obsérvese al respecto que los perfiles proyectados distorsionan la inclinación de las galerías (Figura 3), por lo cual su utilización para ilustrar cómo es una cavidad no es recomendable, salvo que se trate de esquemas globales en los que sólo se pretende dar una visión espacial idealizada. En este sentido, toda buena topografía de una cavidad (sea sima o cueva) debe incluir además de un plano en planta, el perfil desplegado

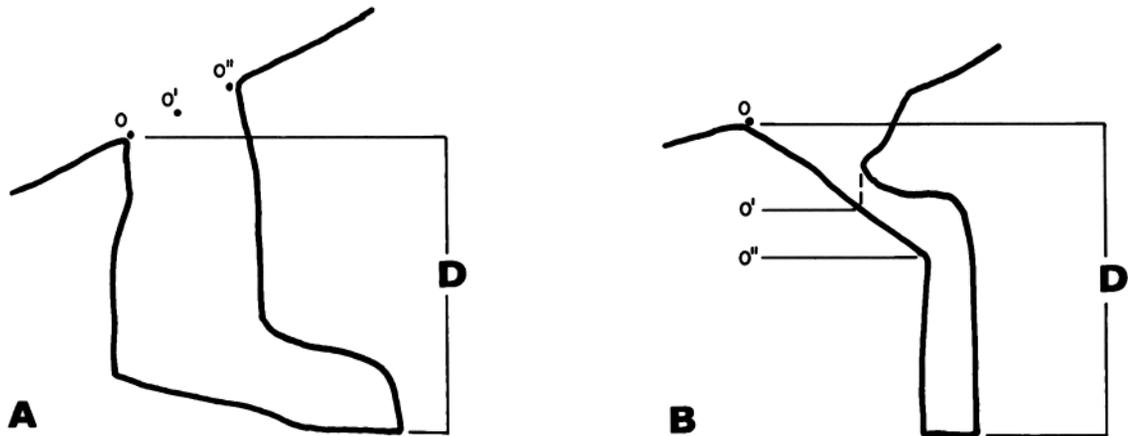


Figura 1. En B se muestra el caso de una dolina que prosigue en sima. En A una sima de amplia boca abierta en una ladera inclinada. En ambos casos se representa el perfil. El punto 0 se establece en el punto a partir del cual se constituye una cavidad cerrada (como si fuera el punto de rebose de un recipiente que se llenara de líquido). 0' y 0'' deben ser descartados como punto 0, pero pueden acotarse en el plano, para ofrecer una descripción de cómo es realmente la cavidad. El Desnivel D es la diferencia de cota entre el punto más alto (en este caso el punto 0) y el punto más bajo de la cavidad.

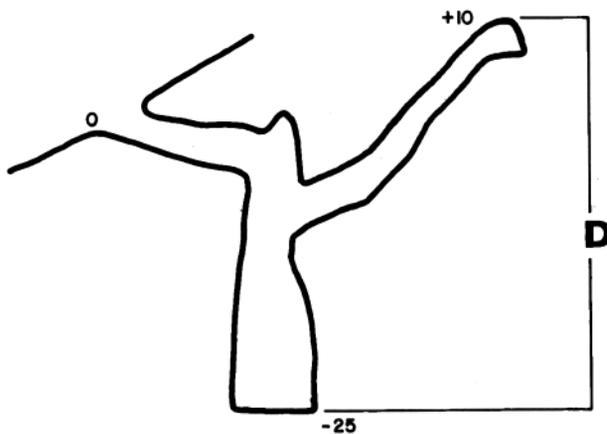


Figura 2. Representación en perfil de una sima (o cueva) que posee galerías más elevadas que la boca. El Desnivel se mide entre el punto más alto (+10m) y el más bajo (-25m), y es por tanto de 35 m. El punto 0 (boca) ocupa una posición intermedia. La expresión completa del Desnivel es: $D = 35 \text{ m } (+10\text{m}; -25\text{m})$.

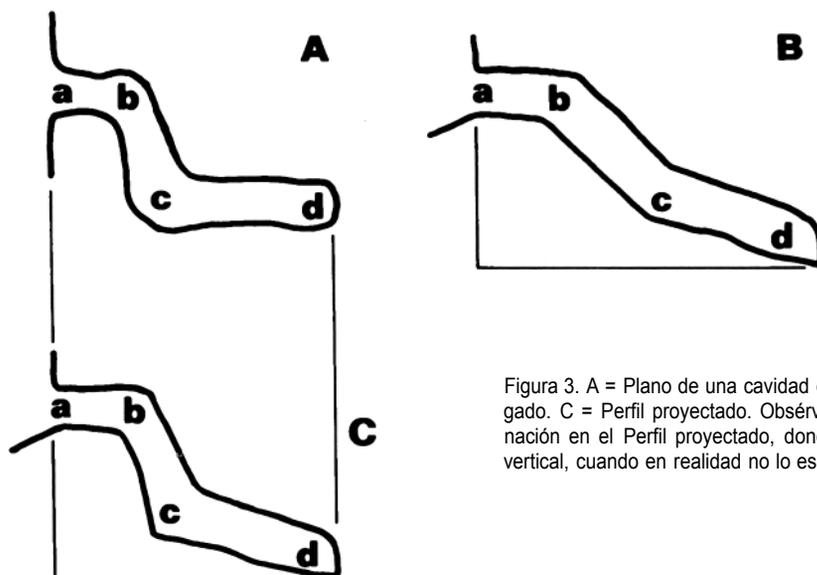


Figura 3. A = Plano de una cavidad en Planta. B = Perfil desplegado. C = Perfil proyectado. Obsérvese la distorsión de la inclinación en el Perfil proyectado, donde el tramo b-c parece casi vertical, cuando en realidad no lo es.

de sus principales galerías. En la Tabla 1 se presenta un listado de las cavidades de mayor desnivel, a nivel mundial.

Tabla 1. Las grandes cavidades mundiales: Desniveles mayores de -1.000 m.

1. Gouffre Jean Bernard	Francia	-1.602 m
2. Gouffre Mirola	Francia	-1.520 m
3. V. Pantjukhin	URSS	-1.508 m
4. Lamprechstofen	Austria	-1.483 m
5. Sima del Trave	España	-1.441 m
6. Boj Bulok	URSS	-1.415 m
7. Sima Bu-56	País Vasco	-1.408 m
8. Sistema Cuicateca	México	-1.386 m
9. Snieznaja	URSS	-1.370 m
10. Ceki 2	Yugoeslavia	-1.370 m
11. Lukina Jama	Yugoeslavia	-1.355 m
12. Sistema Huautla	México	-1.353 m
13. Sima P.S.Martin	País Vasco	-1.342 m
14. Siebenhengste	Suiza	-1.284 m
15. Gouffre Berger	Francia	-1.278 m
16. Cosa Nostra Loch	Austria	-1.265 m
17. Torca de los Rebecos	España	-1.255 m
18. Iliukhin	URSS	-1.240 m
19. Akemati	México	-1.226 m
20. Abisso Olivifer	Italia	-1.220 m
21. Schwersystem	Austria	-1.219 m
22. Veliko Sbrago	Yugoeslavia	-1.198 m
23. C.Fighiera-Corchia	Italia	-1.190 m
24. Sistema Arañonera	España	-1.185 m
25. Dachstein - Mamuthöhle	Austria	-1.180 m
26. Jubiläumsschat	Austria	-1.173 m
27. Anou Ifflis	Argelia	-1.170 m
28. Sima 56 Andara	España	-1.169 m
29. BT-6 Río de Soudet	País Vasco	-1.166 m
30. Kijahe Xontjoa	México	-1.160 m
31. Abisso W le Donne	Italia	-1.155 m
32. BI-BI5 Escuain	España	-1.150 m
33. Pozo del Xitu	España	-1.148 m
34. Arabiskaja	URSS	-1.110 m
35. Schneeloch	Austria	-1.101 m
36. Sima GESM Málaga	España	-1.098 m
37. Jaberbunnrog	Austria	-1.078 m
38. Sótano de Ocotempa	México	-1.070 m
39. Pozzo della Neve	Italia	-1.050 m
40. Vandima	Yugoeslavia	-1.042 m
41. Akemabis	México	-1.040 m
42. Cukurpinar Düdeni	Turquía	-1.037 m
43. Meanderhöhle	Austria	-1.028 m
44. Torca Urrielo	España	-1.022 m
45. Coume d'Hyuernéde	Francia	-1.018 m

EXTENSION Y DESARROLLO

Las opiniones sobre el Desarrollo –medida adicionada de todas las galerías de una cavidad–han sido y son muy contradictorias. Desde aquella de CORBEL (1959), para quien el desarrollo da más una idea de la paciencia del topógrafo que de la importancia real de una cavidad, a otras que consideran el desarrollo como expresión del camino que recorren o han recorrido las aguas bajo tierra.

Este último punto de vista es cierto pero engañoso, ya que las aguas subterráneas pueden excavar caminos múltiples, pero también pueden seguir unos pocos caminos y profundizar en ellos su trabajo, ampliando enormemente los diámetros (Figura 4). En consecuencia, el volumen de una cavidad (siempre de más difícil cálculo) es mejor indicador de la importancia del trabajo de excavación efectuado por las aguas.

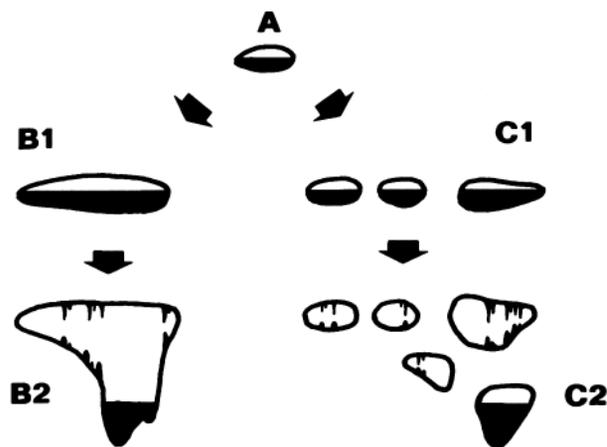


Figura 4. Representación de la evolución de una cavidad (en Secciones). Una galería inicial (A) puede evolucionar ampliando enormemente un único conducto (B1-B2). En otro caso (C1-C2) puede generar múltiples conductos a distintos niveles. Las cavidades de tipo C tendrán un Desarrollo mucho mayor que las de tipo B, pero su Volumen total es similar.

En el cálculo del desarrollo existen dos criterios de medida opuestos: el de continuidad y el de discontinuidad. El primero de ellos corresponde a la medida adicionada de todos los tramos de la poligonal topográfica. El segundo (discontinuidad) acepta la medida de la poligonal de la galería principal, pero en las galerías secundarias o laterales sólo toma en cuenta la poligonal que se inicia en la intersección de ambas, ya que considera que de otra forma se sumaría repetidas veces los semi-diámetros o parte de la anchura de la galería principal (Figura 5). Según este último criterio, cuanto mayor sea el ancho o diámetro de las galerías, menor será el desarrollo (Figura 6), lo

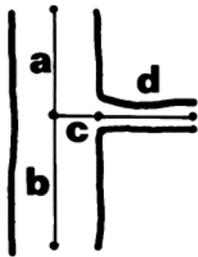


Figura 5. Según el criterio de Continuidad, el Desarrollo es la suma de todos los segmentos de la poligonal topográfica (a+b+c+d). Según el criterio de Discontinuidad, el Desarrollo no toma en cuenta el segmento c (semidiámetro de la galería principal) y equivale sólo a la suma de a+b+d.

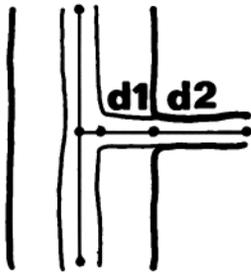


Figura 6. Según el criterio de Discontinuidad, al aumentar el diámetro de la galería principal el Desarrollo disminuye (el segmento d2 es menor que d1; el semidiámetro -segmento c de la Figura 5- aumenta). Resulta un contrasentido, según este criterio, que al ser la cavidad realmente mayor (galerías más amplias), el Desarrollo resulte ser menor. Por ello, para el cálculo del Desarrollo, debe preferirse el criterio de Continuidad (medida adicional de todos los segmentos de la poligonal topográfica).

cual es un contrasentido y, además, introduce una gran complicación para efectuar un cálculo real, ya que muchas veces el arranque de las galerías laterales puede tener diversas inclinaciones y no resultar fácil su medida. Por ello, el criterio más práctico resulta el de continuidad, además de que no ofrece dificultades de interpretación. La poligonal, por otro lado, en la medida que resulte posible, debe ser trazada por el centro de la galería.

Ha sido argumentado que muchos topógrafos levantan poligonales muy zigzagueantes, con lo cual aumentan artificialmente el desarrollo (Figura 7). Esto

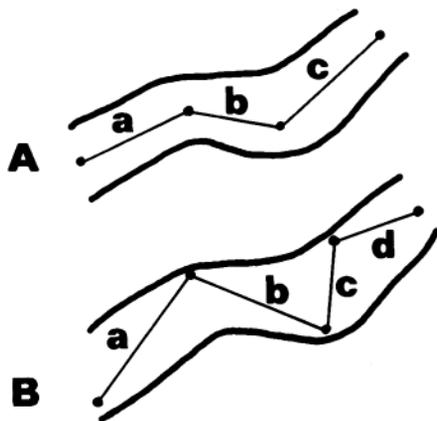


Figura 7. La poligonal topográfica debe ser trazada por el centro de la galería, con el menor número posible de puntos topográficos (A). En el caso B la poligonal es muy zigzagueante y aumenta artificialmente el Desarrollo.

es ya una cuestión de seriedad u honestidad del topógrafo. Desde luego, las mejores topografías son aquellas conservadoras, que no tratan de aumentar o exagerar las cifras, y en este sentido el mejor criterio es el de efectuar el levantamiento topográfico con el menor número posible de puntos, lo que, además de evitar exageraciones resulta lo más eficaz y rápido cuando se efectúa el levantamiento en la cueva. Los espeleólogos que tratan de ser eficaces, al igual que en exploración, consideran que la topografía óptima es aquella realizada sin perder tiempo y utilizando el mínimo de puntos que resulte indispensable.

El desarrollo, como expresión del recorrido que efectúa el espeleólogo en la cueva, es también un criterio discutible. Quien opina que las cavidades laberínticas son mayores que aquellas de galerías amplias, se olvidan de que a partir de cierta anchura, dominable en exploración, el espeleólogo ha de recorrer en las galerías amplias ambas paredes y el suelo intermedio en busca de continuaciones, ya que si sólo siguiera un camino único podría pasarse por alto la existencia de galerías laterales. Por lo tanto, la revisión de una galería amplia o de gran anchura, muchas veces implica efectuar recorridos tan o más importantes que si se trata de un laberinto de pequeñas galerías. Aquí también se revela inadecuado el criterio de discontinuidad, ya que el desarrollo disminuiría al aumentar el volumen de las galerías, es decir, al ser más grandes realmente.

La medida del desarrollo debe tener en cuenta la suma de todos los tramos de la poligonal, sean estos horizontales, verticales o inclinados, y no únicamente la medida sobre una proyección en planta (desarrollo horizontal). La poligonal se entiende que comprende sólo a la poligonal principal de la red de galerías, pero sin contar los puntos accesorios para medida de anchuras o perímetros de salas. En simas o cuevas de boca muy amplia es correcto sumar a la profundidad o longitud, la anchura de la zona basal o terminal (Figura 8), ya que en caso contrario se estaría depreciando una dimensión importante de la cavidad; mientras que en cavidades de pequeño diámetro o anchura, depreciar este dato es habitual, precisamente porque es poco importante como medida de la magnitud real de una cavidad.

El desarrollo, en cavidades poco complejas, es muy ilustrativo de su importancia. Pero en cavidades laberínticas (muy ramificadas o con muchos laterales) puede obtenerse grandes desarrollos, de muchos km, en redes que ocupan moderadas o pequeñas superficies. Basta comparar las topografías de diversas cuevas para darse cuenta de que en muchos casos las cuevas laberínticas más que grandes son complejas, y que su desarrollo, aunque sea importante, no refleja en absoluto lo grande que es -compara-

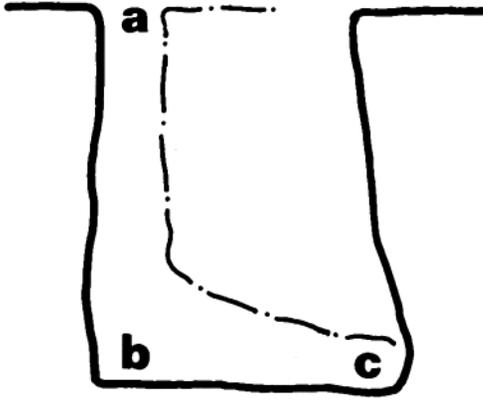


Figura 8. La línea de trazos representa una cavidad de anchura moderada, incluida en el plano de otra cavidad mucho más amplia (línea continua). El Desarrollo, en ambos casos, debería ser la suma de los segmentos $ab + bc$ (criterio de Continuidad). Obsérvese que existe un problema de escala. Si la cavidad es muy amplia ($ab = bc = 100$ m), el Desarrollo de la parte representada será de 200 m. Si la cavidad es pequeña ($ab = bc = 10$ m), en el caso de ser la anchura moderada (línea de trazos, diámetro = 1 m) el Desarrollo se calcula de la misma forma (Desarrollo = 20 m); en el caso de ser de gran anchura (línea continua, diámetro = 10 m) en el cálculo del Desarrollo tiende a despreciarse una de las dimensiones (ab ó bc), quedando un Desarrollo subestimado ($D = 10$ m). Obsérvese que en simas o cuevas de boca muy amplia (existen casos en que el ancho o profundidad pueden ser del orden de 400 m), despreciar una de estas dimensiones reduce mucho el Desarrollo, lo cual es un contrasentido, ya que el orden de magnitud es realmente importante, y ha sido necesario efectuar el levantamiento de una poligonal topográfica para expresar y representar en el plano las dimensiones reales de este tipo de cavidades. También puede apreciarse que resulta un contrasentido atribuir un Desarrollo mayor a la cavidad de la línea de trazos, cuando puede ser incluida -hasta varias veces- en la cavidad de línea continua, siendo obvio que esta última es mucho más grande (mayor Volumen).

tivamente—la cavidad (CORBEL, 1959). Si a ésto sumamos que el cálculo del desarrollo se puede prestar a interpretaciones diversas, según el criterio de medición que utilice el topógrafo, se comprenderá que el desarrollo a menudo se revela como un indicador muy poco adecuado para expresar la importancia real de una cavidad. En la Tabla 2 se presenta una lista de las cuevas de mayor desarrollo, a nivel mundial.

Tabla 2. Las grandes cavidades mundiales: Desarrollos mayores de 40 km.

1. Flint Ridge-Mammoth Cave	USA	556.000 m
2. Optimisticeskaja	URSS	165.000 m
3. Höllloch	Suiza	135.000 m
4. Jewel Cave	USA	117.965 m
5. Siebenhengste	Suiza	110.000 m
6. Ozernaja	URSS	107.300 m
7. Coume d'Hyournéde	Francia	94.843 m
8. Ojo Guareña	España	89.070 m
9. Zolushka	URSS	82.000 m
10. Wind Cave	USA	78.620 m

11. Friars Hole System	USA	77.800 m
12. Sistema Purificación	México	76.632 m
13. Sistema Huautla	México	70.100 m
14. Fisher Ridge Cave System	USA	67.300 m
15. Organ Cave System	USA	60.510 m
16. Clearwater System	Malasia	60.000 m
17. Sistema Caballos-Valle	País Vasco - Cantabria	58.000 m
18. Mamo Kananda	Papua - Nueva Guinea	54.800 m
19. Dent de Crolles	Francia	54.800 m
20. Red de l'Alpe	Francia	53.680 m
21. Sima P.S.Martin	País Vasco	52.700 m
22. Easegill Cave System	Gran Bretaña	52.500 m
23. Gua Air Jerniht	Malasia	51.600 m
24. Hirlatzhöhle	Austria	50.625 m
25. Raucherkarhöhle	Austria	50.000 m
26. C. Fighiera-Corchia	Italia	49.800 m
27. Kap Kutan	URSS	46.100 m
28. Crevice Cave	USA	45.385 m
29. GranCavernadeSto.Tomás	Cuba	45.000 m
30. Cumberland Caverns	USA	44.445 m
31. Ogof Ffynnon Ddu	Gran Bretaña	43.000 m
32. Sima SI-44	País Vasco	42.000 m

Pero tal vez lo más importante a destacar es que: el desarrollo no es una dimensión sencilla, equiparable al desnivel. El equivalente al desnivel, en sentido horizontal, es la Extensión de una red (Figura 9), que puede definirse como la mayor amplitud horizontal entre los puntos extremos de la red de galerías (y que puede medirse fácilmente en la proyección

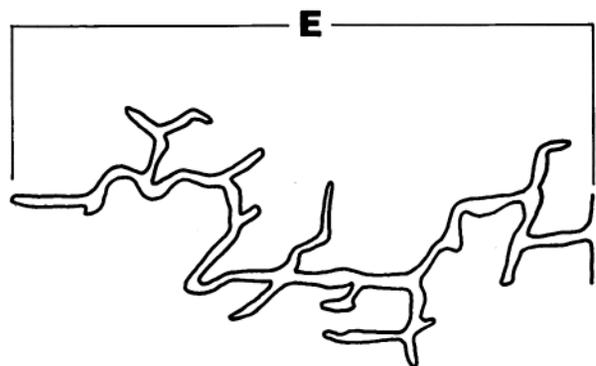


Figura 9. La Extensión (E) corresponde a la amplitud máxima horizontal existente entre los puntos extremos de una cavidad, y se mide fácilmente sobre la proyección de las galerías sobre un plano en planta. Obsérvese en este ejemplo que el desarrollo de la galería principal puede ser el doble de la Extensión, y que el Desarrollo total de la red de galerías casi lo triplica. Una cavidad de gran desarrollo no es necesariamente una cavidad muy extensa o muy grande.

de las galerías sobre un plano en planta). Obviamente, la extensión no ilustra sobre la complejidad del trazado, como tampoco lo hace el desnivel.

Si comparamos desarrollo y extensión de cavidades nos encontraremos con que muchas cavidades de gran desarrollo son poco extensas. Las cuevas de Optimisticescaja y Ozernaja (URSS) por ejemplo, poseen desarrollos de 165 km y 107 km, respectivamente, mientras que su extensión respectiva es de 2 y 1,8 km. Es decir, varias de las mayores cavidades mundiales según su desarrollo (ocupan el 2º y 6º lugar mundiales) tienen una extensión relativamente modesta. Esto hace pensar que frecuentemente el desarrollo expresa mal lo grande que pueda ser una cavidad en sentido horizontal. Un listado de las cavidades más extensas, a nivel mundial, es presentado en la Tabla 3.

Tabla 3. Las grandes cavidades mundiales: Extensiones mayores de 5 km.

1. Flint Ridge-Mammoth Cave	USA	11,37 km
2. Sistema Caballos-Valle	País Vasco (3)	7,44 km
3. Sima P.S.Martin	País Vasco	7,14 km
4. Sist.Subt.Verneau	Francia	7,00 km
5. Kazamura Cave (1)	Hawaii	7,00 km
6. Siebenhengste	Suiza	6,50 km
7. Castleguard Cave	Canadá	6,48 km
8. Grotte de Gournier	Francia	6,36 km
9. Sima SI-44	País Vasco	6,30 km
10. Sima Bu-56	País Vasco	6,20 km
11. Sistema Palmarito	Cuba	6,12 km
12. Rhar Boumaza	Argelia	6,00 km
13. Crevice Cave	USA	5,90 km
14. Gruta do Padre	Brasil	5,76 km
15. Baradla - Domica	Hungría (4)	5,70 km
16. Sistema Majaguas-Cantera	Cuba	5,70 km
17. Cathedral-Falmouth Cave (2)	USA	5,67 km
18. Friars Hole System	USA	5,60 km
19. Sima Lonné Peyret	País Vasco	5,40 km
20. Sistema Purificación	México	5,24 km
21. Hölloch	Suiza	5,00 km
22. Cocklebiddy Cave (2)	Australia	5,00 km

Notas: 1 = Cavidad de la lava. 2 = Sistema sumergido. 3 = País Vasco - Cantabria. 4 = Hungría - Tchechoslovaquia.

La relación Extensión/Desarrollo se aproxima a 1:1 en cavidades constituidas por una única galería rectilínea. En cavidades sinuosas puede alcanzar valores de 1:2 a 1:5. En cavidades ramificadas son frecuentes valores de 1:10. Y en cavidades laberínticas, extraordinariamente ramificadas, puede ser alcanza-

dos valores próximos a 1:100. Igualmente, el desarrollo aumenta mucho cuando se trata de redes de galerías con varios niveles superpuestos.

Si la relación Extensión/Desarrollo ilustra sobre la complejidad o ramificación del trazado, la Extensión expresa la distancia horizontal realmente recorrida por las aguas subterráneas, independientemente de la sinuosidad del recorrido. La extensión es por tanto una cifra de claro significado, que ilustra sobre la amplitud horizontal de la red, mientras que el desnivel corresponde a la amplitud vertical. Por ello, creemos que cuando se confeccionan listados de grandes cavidades, a nivel mundial o regional, sería de gran interés incluir los datos de extensión, ya que a menudo dan una idea de lo grande bastante más sólida que la expresada por los desarrollos.

El desarrollo, por sí sólo, dice muy poco, pero relacionado con otros parámetros aumenta su significación: una cavidad de gran desarrollo y gran extensión es sin duda una gran cavidad, pero si su extensión es muy pequeña estaremos en presencia de una cueva muy ramificada en vez de grande. Para dos cavidades igualmente extensas, la que ostente mayor desarrollo tendrá mayor complejidad en su trazado. Todo ello independientemente del volumen o diámetro de sus galerías. Y desde luego, según nuestro modo de ver, el volumen da una idea mejor del trabajo de excavación efectuado por las aguas subterráneas que el desarrollo (Figura 10), ya que la diferencia

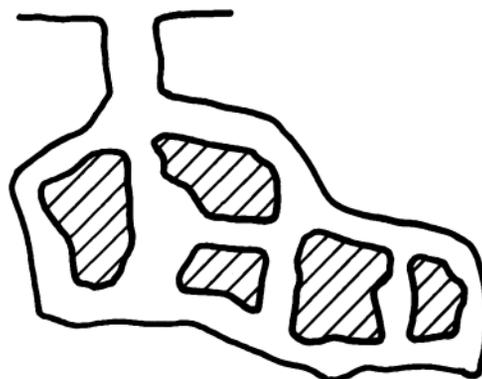


Figura 10. Esta figura puede verse como un plano en planta o como un perfil, indistintamente. Si consideramos que las zonas internas rayadas son zonas o pilares de roca compacta, limitados por un perímetro externo también de roca compacta, la cueva con pilares posee una red de galerías de considerable Desarrollo. Si suponemos que la cavidad evoluciona reduciendo los pilares hasta que éstos desaparecen, nos queda una cavidad en forma de gran sala o de galería única muy amplia. Con igual Extensión, la cueva con pilares tiene un Desarrollo mayor que sin ellos, cuando es obvio que en la cueva sin pilares (sala de gran Volumen) el tamaño real es mucho mayor (el Volumen subterráneo excavado es mayor). Esto puede hacer reflexionar sobre qué se entiende por grande al hablar de una cavidad. Independientemente de su Desnivel, una cueva constituida por galerías amplias (de gran Volumen) o muy extensas (de gran Extensión) ¿es menor que otra de gran Desarrollo pero constituida por galerías pequeñas o poca extensas?

estriba en ampliar uno o unos pocos conductos en un caso (cuevas de gran volumen) o bien en excavar sucesivos y pequeños conductos en varias posiciones o varios niveles en el otro (cuevas de gran desarrollo).

Una revisión de las topografías publicadas de las grandes cavidades mundiales muestra que es relativamente reducido el número de cavidades de gran extensión: sólo algo más de 20 cavidades en el mundo superan los 5 km de extensión. El "record" lo ostenta el sistema Flint Ridge - Mammoth Cave (USA), con 11,3 km. Desde luego, sería de interés confeccionar con más datos, actualizados, un listado de las cavidades más extensas.

UN EJERCICIO DE REFLEXION: EL INDICE IS

La equivalencia de significado entre los conceptos de Desnivel y Extensión, aplicable uno a las dimensiones verticales y el otro a las horizontales, nos ha llevado a reflexionar que es posible dar una idea unificada de la importancia espeleométrica de las distintas cavidades, sean simas o cuevas, recurriendo a

una expresión sencilla, cosa que parecía difícil o imposible de lograr utilizando el Desarrollo, ya que éste expresa un concepto distinto.

Desnivel y Extensión dan una idea de lo grande que es una cavidad en sentido vertical y horizontal, independientemente del volumen excavado o de la complejidad del trazado. El Índice Speleo que proponemos (IS o Speleological Index) relaciona estas dos magnitudes y es definido como: el producto del Desnivel por la Extensión (expresados ambos en km) dividido entre 2. Gráficamente corresponde a la superficie de un triángulo cuya base es la extensión de la red de galerías y su altura el desnivel.

El IS no es la única forma posible de relacionar esas dos magnitudes, pero la hemos elegido (entre varias posibles) por su simplicidad y facilidad de cálculo. En la Tabla 4 presentamos un listado de cavidades con IS mayor que 1. Este listado ha sido confeccionado con los datos disponibles, por lo que su revisión y actualización seguramente agregará nuevos datos y un número mayor de cavidades.

Puede apreciarse que para alcanzar un valor IS igual a la unidad, una sima de -1.000 m debe tener 2

Tabla 4. Las grandes cavidades mundiales: Cavidades de IS mayor que 1.

Cavidad	País	IS	Desnivel	Desarrollo	Extensión
1. Sima P.S.Martin	País Vasco	4,79	-1.342 m	51,2 km	7,1 km
2. Sima Bu-56	País Vasco	4,36	-1.408 m	15,0 km	6,2 km
3. Siebenhengste	Suiza	4,17	-1.284 m	110,0 km	6,5 km
4. Gouffre Berger	Francia	2,73	-1.241 m	20,6 km	4,4 km
5. Gouffre Jean Bernard	Francia	2,72	-1.602 m	17,9 km	3,4 km
6. Sistema Huautla	México	2,52	-1.353 m	70,1 km	3,7 km
7. Sistema Purificación	México	2,35	-904 m	76,6 km	5,2 km
8. Hölloch	Suiza	2,17	-867 m	135,0 km	5,0 km
9. Grotte de Gournier	Francia	2,16	-680 m	15,1 km	6,4 km
10. C. Fighiera-Corchia	Italia	2,14	-1.190 m	49,8 km	3,6 km
11. Sima Lonné Peyret	País Vasco	2,09	-774 m	17,0 km	5,4 km
12. Coume d'Hyournéde	Francia	2,04	-1.018 m	90,0 km	4,0 km
13. Sistema Caballos-Valle	País Vasco	2,02	-542 m	58,0 km	7,4 km
14. BT-6 Río de Soudet	País Vasco	1,99	-1.166 m	7,0 km	3,4 km
15. Snieznaja	URSS	1,93	-1.370 m	19,0 km	2,8 km
16. Lamprechtsofen	Austria	1,78	-1.483 m	14,6 km	2,4 km
17. Sistema Arañonera	España	1,73	-1.185 m	6,5 km	2,9 km
18. Sist. Subt. Verneau	Francia	1,36	-370 m	32,1 km	7,0 km
19. Sima SI-44	País Vasco	1,31	-415 m	42,0 km	6,3 km
20. Sistema Cueto-Coventosa	España	1,30	-815 m	27,2 km	3,2 km
21. Castleguard Cave	Canadá	1,25	-387 m	18,6 km	6,5 km
22. Jaberbunntrög	Austria	1,23	-1.078 m	28,0 km	2,3 km
23. Tanne Froide - T. Cochons	Francia	1,15	-825 m	15,5 km	2,8 km
24. Garma Ciega - Cellagua	España		-825 m	9,2 km	2,5 km

km de extensión, y una cavidad de 5 km de extensión debe alcanzar -400 m de desnivel. Si se tiene en cuenta que relativamente pocas cavidades en el mundo alcanzan gran desnivel o extensión, puede comprenderse que sólo algo más de 20 cavidades tendrán un valor IS igual o mayor que la unidad.

Los valores máximos actuales del IS se aproximan a 5 (Sima de la Piedra de San Martín, País Vasco, 4.79). Para superar un valor IS = 5, una cavidad de 5 km de extensión deberá tener la fantástica cifra de -2.000 m de desnivel; y un -1.000 deberá tener la no menos fabulosa cifra de 10 km de extensión.

Por otro lado, la utilización del Índice Speleo coloca en una posición más justa a muchas cavidades, de grandes dimensiones, que en los listados actuales parecen relegadas al olvido. Puede servir de ejemplo el Sistema Caballos-Valle (País Vasco-Cantabria), de 7,4 km de extensión y -542 m de desnivel, con IS = 2,02; o el Sistema Purificación (México), de 5,2 km de extensión y -904 m de desnivel, con IS = 2,35.

DISCUSION

Puede argumentarse que si una cavidad es estrictamente horizontal, o estrictamente vertical, el IS será cero. Este caso es teórico pero no real, ya que siempre podrá tomarse el diámetro de la galería para expresar una de las dimensiones.

También puede argumentarse que las cavidades de gran desnivel se ven favorecidas con este índice. P.ej.: una cueva de 100 km de extensión y sólo 100 m de desnivel tendrá un IS = 5. Esto es cierto pero, inversamente, una sima de 1 km de extensión deberá tener -10 km de desnivel para IS = 5.

En realidad los valores IS más altos corresponden a cavidades extensas y profundas a la vez, mientras que las de muy escasa extensión o desnivel alcanzan valores mucho más bajos. Pero, ¿qué es una gran cavidad en ambas dimensiones?, ¿no es precisamente éso?. Si el desnivel y la extensión expresan lo grande que es una cavidad en una sola dimensión, el IS expresa lo grande que es la cavidad considerando a la vez ambas dimensiones.

CONCLUSIONES

Hemos querido destacar la importancia del concepto de Extensión, que pocas veces se calcula o se menciona en las publicaciones. El Desarrollo sigue siendo un parámetro de interés, pero refleja más bien la complejidad de la red de galerías y no su amplitud en sentido horizontal. El mejor indicador de la importancia del trabajo de excavación o cavernamiento será sin duda el Volumen de la cavidad. El IS propuesto es en cambio un ejercicio de reflexión, sin otras pretensiones, pero puede dar una idea de qué entendemos por grande -en sentido vertical y horizontal simultáneamente- al referirnos a cavidades.

Esperamos que esta nota despierte la polémica entre los espeleólogos y contribuya a lograr una forma sencilla de expresar los datos sintéticos con mayor significación que los listados actuales.

BIBLIOGRAFIA

BAKALOWICZ. M. & A. MANGIN

1980 L'acuífère karstique: sa définition, ses caractéristiques et son identification. *Mem.h.ser.Soc.Geol.Fr.*, 11: 71-79.

BRESSAN, A.

1988 Complexe de Zampory: Z 124 Titian koskolein xiloa, Z 1240 Sima Betty, IPV 140 Sima Apestegeia. *Spelunca, FFS*, 32: 9-10.

CHABERT. C.

1988 Les grandes phenomenes karstiques francais par les chiffres. *Karstologia, FFS & AFK*, (11-12): 1-6.

CORBEL. J.

1959 Les grandes cavités de France et leurs relations avec les facteurs climatiques. *Ann.Spél.*, 14 (1-2): 31-47.

COURBON. P. & C. CHABERT

1986 Atlas des grandes cavités mondiales. Paris, 256 p.

DROUIN, P.; V. BOZIC & G. PINTAR

1993 Le coin des grands: *La chronique des -1.000 m. Spelunca, FFS*, 51: 12.