

## Conflictos ambientales en cuevas turísticas y estrategias de solución. 2. Exploración, turismo en cuevas, cuevas turísticas y medio ambiente subterráneo

### *Environmental conflicts in show caves and solution strategies. 2. Exploration, cave tourism, show caves and the cave environment*

L.F. Molerio León<sup>1</sup> y Marjorie M. Condis Fernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INVERSIONES GAMMA, S.A.P.O Box 6219, CP 10600, Habana 6, Ciudad de La Habana, Cuba; E-mail: [especialistaprincipal@gmail.com](mailto:especialistaprincipal@gmail.com); <sup>2</sup>Instituto de Ecología y Sistemática. Calzada de Varona, Km. 3 1/2. Capdevilla. CP 10800 AP 8029. C. Habana. Cuba. E-mail: [marjorie.condis@gmail.com](mailto:marjorie.condis@gmail.com)

#### RESUMEN

En este segundo artículo de la serie se describen las principales componentes físicas y bióticas del singular y casi exclusivo medio ambiente subterráneo signado, básicamente, por las condiciones de ausencia de luz y estabilidad térmica e higrométrica del aire y se discuten las principales perturbaciones e impactos ambientales que provoca la visita y uso de las cuevas.

*Palabras clave: cueva turística, impacto ambiental, clima subterráneo, espeleobiología*

#### ABSTRACT

This second paper describes the main physical and biotic components of the singular and almost unique cave environment dominated by the absence of light and the stability of its temperature and humidity. The most important environmental disturbances and impacts due to the visit and use of caves are discussed.

*Key words: show cave, environmental impact, cave climate, speleobiology*

#### INTRODUCCIÓN

Dos grandes grupos de individuos visitan las cuevas: los espeleólogos y los turistas. Entre los primeros se incluyen aquellos visitantes que con objetivos científicos o deportivos, o ambos, realizan visitas sistemáticas a las cuevas y de los cuales puede esperarse un daño menor del medio subterráneo en virtud de su preparación física, técnica e intelectual. Entre los segundos se incluyen todos los visitantes ocasionales de las cuevas cuyo fin básico es la recreación o la curiosidad. Entre ambos están aquellos que se sirven de las cuevas o sus depósitos para satisfacer algunas necesidades sociales, religiosas, cinegéticas o económicas, como el abasto de agua, la extracción del guano de murciélago o la cacería de algunos animales. Ambos grupos impactan el medio subterráneo de diferente modo, intensidad y duración. Algunos de estos impactos son locales, de corta duración y reversibles y otros tienen efectos regionales, son permanentes o de larga duración y, además, son irreversibles. Pocos impactos son positivos.

En los casos mencionados la cueva o parte de ella está sometida periódicamente al impacto de las visitas. Los efectos son diferentes si la cueva –o parte de ella- ha sido habilitada o no para recibir visitas de personas que no son espeleólogos. Y es esta la diferencia básica que marca el impacto del turismo sobre el carso y las cuevas: la adaptación ingeniera.

Para ofrecer al visitante ocasional confort, seguridad y disfrute de las bellezas del mundo subterráneo la persona tiene que estar desprovista del equipamiento individual de progresión e iluminación, moverse por lugares seguros, de cómodo recorrido, iluminados y ventilados. Ello requiere que el operador de la cueva construya pasos cómodos, pavimente caminos, acomode y remueva rocas, ilumine los pasos y ciertas formaciones para lograr buenos efectos visuales, construya servicios sanitarios, facilite el baño y el buceo contemplativo, sirva comidas, bebidas y permita escuchar música. Así, se llega a la más o menos refinada construcción de la “**show cave**”,

término que ha cobrado rápidamente una notable popularidad, en contraposición a la “wild cave”, que se reserva para aquellas cuevas no habilitadas y en la cual el visitante adopta, durante la visita, los implementos propios de los espeleólogos. Un punto de contacto es que en ambas se requiere de un guía especializado. Las diferencias están claras en los casos extremos pero básicamente se concentran en las diferencias básicas que se resumen a continuación:

Show Caves (cuevas habilitadas)	Wild Caves (cuevas no habilitadas)
Iluminación propia y colectiva. La cueva dispone de un sistema central de iluminación y el visitante no acarrea el suyo.	Iluminación individual. El visitante porta su propio sistema de iluminación.
Los senderos, recorridos, accesos y puntos de atracción están marcados y bien definidos por obras construidas al efecto (escaleras, elevadores, barandas, terrazas, miradores).	Los senderos, recorridos, accesos y puntos de atracción no suelen estar marcados.
Elevada frecuencia de visitas con gran número de visitantes cada vez.	Baja frecuencia de visitas con pequeño número de visitantes cada vez.

Centenares de cuevas en todo el mundo caen en alguna de las dos categorías (Figs. 9 y 10 . El símbolo  $\Omega$  muestra las cuevas en operación en España y Austria).



Fig. 9. Cuevas turísticas en España (señaladas con el símbolo  $\Omega$ ).

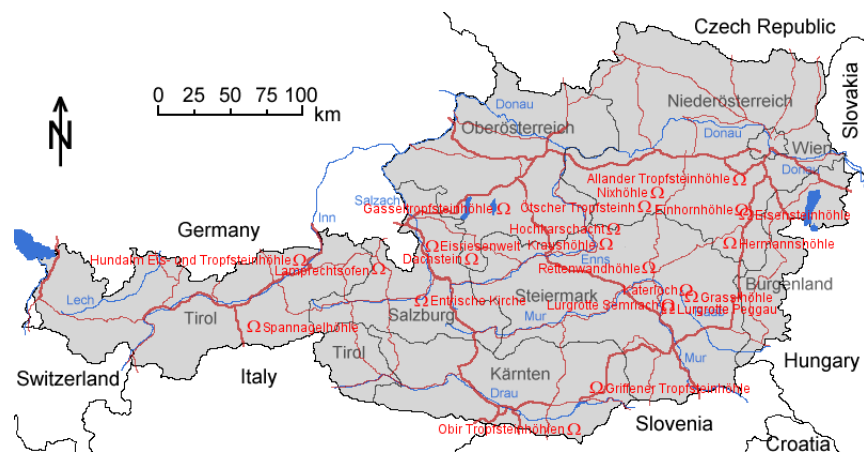


Fig. 10. Cuevas turísticas en Austria (señaladas con el símbolo  $\Omega$ ).

## PARTICULARIDADES DEL MEDIO AMBIENTE SUBTERRÁNEO

El ecosistema subterráneo se caracteriza por la ausencia de luz en su mayor parte, el silencio casi completo y las particulares propiedades del aire cavernario. Presenta dos niveles interactuantes: el físico y el biológico. En el **nivel físico** agrupa aquellos elementos que conforman el medio ambiente hipogeo; es decir, el microclima, el sustrato geológico, los movimientos de masas, como los derrumbes y deslizamientos y el flujo de gases y líquidos, en particular, aire y agua. En el **nivel biológico** agrupa la biota, es decir, la flora y la fauna mayor o menor adaptada al medio ambiente subterráneo. Estos dos niveles se extienden, también, al sistema soporte de la cueva, definido como aquel con el que se intercambia materia y energía y que, en principio, como las cuevas constituyen fragmentos truncados (o no) de redes de drenaje comienza en la zona de alimentación del conducto y termina en la zona de descarga del sistema local de flujo al que ella se vincula.

En las cuevas, estos niveles presentan un equilibrio tan precario que las menores perturbaciones externas le impiden conservar un estado óptimo de funcionamiento. Ello, muchas veces, provoca resultados catastróficos para la supervivencia de cualesquiera de sus elementos como, en no pocas ocasiones, para el sistema soporte de la cueva.

El **microclima** se caracteriza por presentar tres zonas: de penumbra, donde los componentes físicos y biológicos se vinculan al medio exterior y presenta variaciones apreciables de luz, temperatura, humedad y materia orgánica; la zona intermedia (o de temperatura variable), que es un área de oscuridad completa donde la temperatura y la humedad oscilan con la media exterior y la zona profunda, donde la temperatura y humedad son constantes y casi estables. Los **flujos de masa** consideran el agua, que es el transportador de materiales y nutrientes hacia y desde la cueva, y el aire, que provoca cambios de temperatura, humedad, y de las concentraciones de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> en la cueva. Lo integran, también, la transferencia de materiales desarrollada por animales que viven en la cueva pero obtienen su comida en superficie, la radiación, principal suministrador de energía y las rocas y sedimentos que provocan alteraciones en el flujo de masa interno.

El **nivel biológico** de las cuevas es sorprendente. Si bien la abundancia de vida no es una de las características más importantes de las cuevas, la fauna y la flora que viven en ellas, con diferentes niveles de adaptación, constituyen una extraordinaria manifestación de la diversidad biológica. La fauna se clasifica en tres grandes grupos: los **Troglobios**, que son especies obligadas de las cuevas, que no podrían sobrevivir en otros hábitat; los **Troglofilos**, especies facultativas que viven y se reproducen en cuevas, pero pueden hacerlo en micro hábitat frescos, oscuros, protegidos y húmedos en superficie y los **Trogloxenos**, que usan las cuevas como refugio por su microclima favorable. También hay especies que llegan accidentalmente a las cuevas y no adaptadas a la vida en el subsuelo. Excepto algunas briofitas (musgos), la flora no puede adaptarse a las condiciones de oscuridad y humedad de las cuevas. Por último, se encuentran las **bacterias**. En este caso, debido a la falta de producción de energía dentro de la cueva los organismos, en su mayoría son heterótrofos, es decir, que se alimentan de cualquier planta o animal aunque se exceptúan algunas bacterias que sintetizan químicamente el hierro (ferrobacterias) o el nitrógeno (nitrobacterias).

### **Nivel Físico**

#### **El clima de las cavernas**

El clima de las cavernas se caracteriza, en general, por los siguientes elementos:

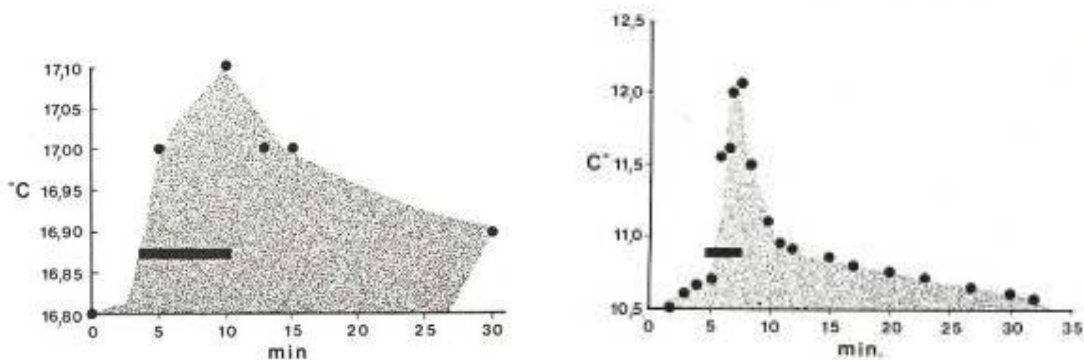
- La oscuridad total, que reduce los efectos directos e indirectos de la radiación solar, como la evaporación y el calentamiento diurno.
- Pequeñas variaciones diarias, estacionales e hiperanuales de la temperatura del aire.
- Bajo nivel de perturbaciones del aire interior, como la presencia de vientos o corrientes de aire.
- Elevada humedad del aire interior, debida a las bajas perturbaciones que sufre el aire interior.

Aunque, sin embargo, hay notables excepciones de estas regularidades y, así, se reconocen fuertes oscilaciones de temperatura y humedad en muchas cuevas, tanto de climas templados como tropicales. Del mismo modo, la ocupación parcial o total de la caverna, su uso ocasional, la iluminación artificial, la apertura o sellaje de entradas o claraboyas, desvío de ríos, sustitución de la

fauna subterránea o desecación de lagos son factores que impactan fuertemente sobre el clima de las cavernas. Es precisamente el clima subterráneo el que condiciona la estabilidad de las reacciones químicas y los procesos físicos que tienen lugar en su interior y controla el crecimiento y desarrollo de las espeleotemas y el que soporta la diversidad biológica subterránea. De todos estos elementos, la temperatura del aire es, quizás, el más importante.

La **temperatura del aire subterráneo** está controlada por la temperatura del aire exterior, la temperatura de las rocas y la temperatura del agua, así como por la latitud y altura a la que se encuentra la cueva, la morfología y disposición de las galerías subterráneas, el número de entradas y su altitud y, en ciertos casos, por el tipo y distribución de ciertos especímenes de la fauna subterránea y los productos asociados a los ciclos biogeoquímicos subterráneos.

Es notable el efecto de los visitantes sobre la temperatura del aire subterráneo y, en consecuencia sobre la humedad relativa y la reversibilidad de los procesos de disolución, concrecionamiento y redisolución de las espeleotemas o formaciones secundarias, por un lado y sobre la fauna subterránea, por el otro. La Fig. 11 muestra dos ejemplos de perturbaciones provocadas por el paso de visitantes en dos galerías subterráneas. En la gráfica de la derecha se nota cómo el máximo incremento de la temperatura se alcanzó a los 10 minutos de iniciado el paso de un grupo de 105 turistas; 20 minutos más tarde aún no se habían restablecido las condiciones iniciales. En el caso del gráfico de la Fig. el regreso a las condiciones iniciales no se produjo sino hasta 35 minutos después de haber comenzado el impacto de la visita del grupo de 87 turistas.



**Fig. 11. Variación de temperatura debido al paso de grupos turísticos (izquierda, Grotte di Castellana, Italia; derecha Grute de Remouchamps, Bélgica) tomado de Chiesi, Ferrini y Badino, 1999.**

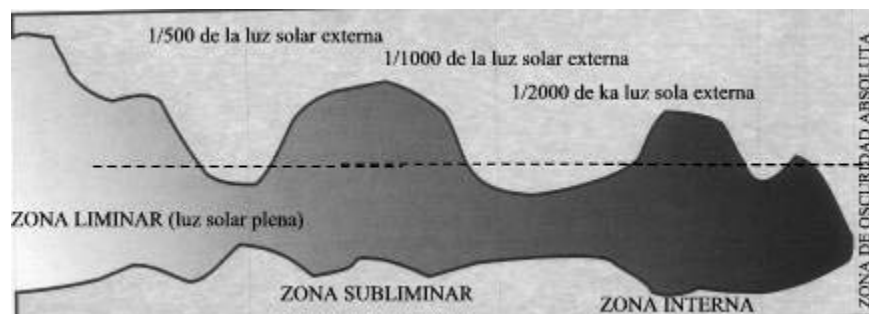
Existen efectos debidos a la iluminación y al paso de los turistas en cuevas adaptadas o usadas con fines turísticos. Los efectos de la iluminación artificial son varios, y se manifiestan en el incremento de la temperatura del aire y la roca en su área de influencia, la disminución de la humedad relativa, la presencia de microorganismos. Tómese en consideración que la iluminación en los períodos de actividad turística constituyen una fuente de energía totalmente independiente del nivel energético de la cavidad. La visita de los turistas implica el ingreso a un medio estable, frágil y vulnerable, de un número relativamente importante de personas durante un cierto intervalo de tiempo. Esta intervención implica el riesgo de contaminación térmica, química y biológica.

En cuanto concierne al aspecto térmico, se explica por la presencia de visitantes que disipan más o menos calor en virtud de las características climáticas (temperatura, humedad relativa) del sector de la cueva y de la velocidad de desplazamiento del visitante. La contaminación química está asociada, sobre todo a la liberación de dióxido de carbono y su incorporación a la atmósfera de la cueva, que puede dañar las pinturas rupestres o las formaciones secundarias, como ha ocurrido en las Cuevas de Altamira o Lascaux, donde la visita de turistas ha sido totalmente prohibida.

La **oscuridad** es el aspecto más notable del mundo subterráneo. Aún cuando las cuevas y túneles pueden estar iluminados, salvo los que se usan para el transporte vial, no están iluminados de modo permanente. Estas condiciones de oscuridad y de ausencia de focos interiores de emisión de calor o frío disminuyen notablemente el efecto de evaporación en el subsuelo. La mitigación de la radiación solar contribuye decisivamente a ello. Por lo común, el movimiento del aire dentro de una caverna es tan lento que a unos pocos cientos de metros de la entrada de una caverna el aire adquiere aproximadamente la misma temperatura de la roca de las paredes, de modo que, en las partes más profundas de las cavernas, la temperatura del aire suele estar controlada por la de las rocas que, en suma, es aproximadamente igual a la temperatura media anual del aire exterior.

La **fluctuación diaria y estacional** de la temperatura en la superficie de la Tierra tiende a disminuir según el calor se mueve hacia el interior de la cueva y a través de las rocas. Una fluctuación diaria de 30°C de temperatura se reduce a una fluctuación no mayor de 1°C a 57 centímetros de profundidad. De igual modo, una oscilación anual de alrededor de 1°C a la profundidad de 11 metros. Esto es lo que se conoce como gradiente geotérmico. Como quiera que las cuevas suelen encontrarse a más de 11 metros de profundidad, de ordinario presentan variaciones de temperatura menores de 1°C. Las **condiciones térmicas** de la roca son una función de una propiedad conocida como conductividad térmica, así como de la densidad de la roca, su capacidad calorífica y, por supuesto, nuevamente, de la temperatura del aire exterior y equivale, aproximadamente a 1/535 veces la variación exterior (Fig. 12).

Período	Denominación	Alcance en profundidad (penetración de la longitud de onda)
24 horas	Ciclo Diario	1,25 m
28 horas	Ciclo lunar	6,6 m
1 año	Ciclo anual	24,0 m
11 años	Ciclo solar	79,5 m
20 000 años	Precesión de los equinoccios	3 400 m
1 000 000 años	Ciclo hipotético	24 000 m



**Fig. 12. Zonación lumínica de una cueva horizontal.**

Esto es particularmente importante para el estudio de los cambios climáticos ya que, probablemente, el evento climático más antiguo registrado en una cueva, sea el último estadio climático de la edad de hielo del Pleistoceno. Como han señalado otros autores, asumiendo que el ciclo a la cual pertenece comenzó hace 40 000 años, y que la temperatura mínima promedio fue de unos 10°C menos que la actual, la fórmula anterior indica que el efecto de esta última glaciación igualaría 1°C a la profundidad de 1 464 metros. Como la cueva más profunda del mundo es, actualmente la Sima de la Pierre Saint Martín (-1474 metros), la temperatura en su fondo, presumiblemente, refleja la temperatura media anual de la región 40 000 años atrás.

La temperatura del aire exterior también está condicionada por la latitud y la altitud sobre el nivel del mar. Esto es especialmente notable en los continentes. En América del Norte, por ejemplo, la diferencia entre Canadá y el Sur de los Estados Unidos es de 5 a 20°C. En cuanto a la altitud, una

diferencia de 2000 metros en altitud puede provocar una diferencia de temperatura del aire de casi siete grados centígrados. En el Trópico, sin embargo, estas diferencias se amortiguan mucho más al igual que en las zonas glaciales y periglaciales. Dos casos especiales son aquellas cuevas que presentan anomalías térmicas, como las cuevas de calor o las cuevas frías, a las que nos referiremos más adelante. Algunos autores han establecido una relación entre la temperatura media del aire de las cuevas, la latitud y la altitud de las mismas.

En la mayor parte de los casos en que las circulaciones de aire y de agua no sean violentas, a cierta distancia de la entrada se encuentra una zona de temperatura aproximadamente invariable. Pero, más allá, puede producirse un fenómeno completamente opuesto y estrechamente relacionado con el número de accesos a la cueva y su distribución en altura. Uno de estos fenómenos es el lento aumento de temperatura, considerado **normal**, en climas templados, y que a veces también se manifiesta en los trópicos o, por otro lado, un descenso de la misma, la llamada **inversión**.

La existencia de diferentes entradas en una misma red subterránea es un agente importante del clima subterráneo en cuanto concierne a sus efectos sobre la distribución de la temperatura, la humedad relativa y la circulación del aire.

El **tipo térmico normal** corresponde, esencialmente, con simas verticales, del tipo de pozos angostos o compuestos por varias chimeneas que unen, entre sí, varios pasos oblicuos. En este tipo de cavidades, por debajo de la zona superficial de elevada variabilidad y después de la zona invariable, se registra un ascenso de la temperatura mayor que el que debía esperarse solamente de la diferencia de altitud en una atmósfera generalmente saturada de vapor de agua o muy cerca de la saturación. En el Abismo de Kluc, donde la temperatura media exterior es de 18,5°C, se observa un aumento de 1,2°C por cada 180 m de profundidad.

El **tipo térmico inverso** corresponde al descenso de la temperatura por debajo de la zona invariable y es común en cuevas de entrada amplia. Suele darse aquí el fenómeno denominado de inversión de temperatura donde el aire frío, más denso que el aire caliente, se acumula en el interior, mientras que los accesos se calientan. Esta es la razón por la cual algunas cavidades descendentes son cavidades frías, cuya temperatura se muestra inferior a la media del lugar. La Cueva del Frigorífico, en el Escambray cubano es un caso típico. Un caso muy bien estudiado, el del Abismo Enrico Revel, en La Spezia, Italia, presenta un descenso sistemático de temperatura con la profundidad.

En cuanto concierne a la humedad relativa, generalmente es muy alta, próxima al 100%, lo que significa que el aire de la mayor parte de las cuevas está saturado de vapor de agua. Ello es debido tanto a que los techos paredes y piso están humedecidos con aguas de rezumamiento en contacto con el aire circulante. La constancia de la temperatura en las partes internas de la cueva permite que la alta humedad se mantenga casi indefinidamente. Cerca de las entradas, no obstante, la humedad relativa puede ser más baja debido, parcialmente, a que la humedad exterior es usualmente más baja y, en parte, también, a que la temperatura de la cueva difiere de la temperatura exterior del aire. Una caída en la temperatura incrementa la humedad y una elevación en la temperatura la disminuye. Así, en el verano, el aire que penetra en una cueva fría se satura rápidamente sin absorber agua de las paredes de la cueva. En invierno, el aire se calienta cuando entra en las cuevas y, en una pequeña distancia, su humedad disminuye. En los sectores más profundos, la humedad de este aire caliente se eleva, lentamente, hasta alcanzar un nivel de saturación. El efecto opuesto ocurre cuando las corrientes de aire fluyen hacia el exterior de los conductos subterráneos.

Los efectos de la circulación del aire son especialmente notables en el control del clima subterráneo y pueden modificar, completamente, los efectos y regularidades descritos anteriormente. Estos fenómenos son más importantes en cuevas con varias entradas a diferentes alturas, pero los circuitos de convección también se producen en cuevas con una sola entrada y, bajo ciertas condiciones se pueden producir los llamados cmitores, o corrientes de aire falsas,



especialmente asociados, en Cuba, a los flujos de aire en cuevas que constituyen trampas térmicas de calor.

### Tipos de cuevas de acuerdo con la circulación del aire

En general se conoce como **circulación en saco de aire** la que se produce en cuevas con una sola entrada, o cuevas estáticas, y **circulación en tubo de viento** la que se realiza en cuevas con diferentes entradas, también llamadas cuevas dinámicas. En ambos casos, la circulación puede ser ascendente o descendente, múltiple o sencilla. El esquema de funcionamiento clásico de Gézé (Fig. 13) se describe a continuación.

En el **saco de aire**, la circulación varía según la estación y en correspondencia con que la cavidad sea ascendente o descendente o, incluso, horizontal respecto a la abertura del "saco". Durante el verano, el aire que penetra en la cavidad se enfría al contacto con el aire y las paredes de la cueva. El enfriamiento la hace descender y el aire regresa al exterior próximo al piso de la cavidad. En cavidades ascendentes, el circuito de convección iría hasta el fondo y se emitiría aire fresco por la entrada; si fuese descendente, suele quedar una bolsa de aire frío permanente y el circuito provoca una débil corriente de aire. Si es horizontal, suele conservarse aire frío en las zonas deprimidas. Pero en invierno, todo este esquema se invierte. El aire exterior penetra en la cavidad, calentándose, y generando una bolsa de aire caliente en una cueva ascendente, o una gran aspiración a nivel del piso, si fuese descendente o conservación de aire caliente en las bóvedas altas si fuese horizontal. En climas templados, durante la primavera y el otoño, se presentan esquemas más suavizados.

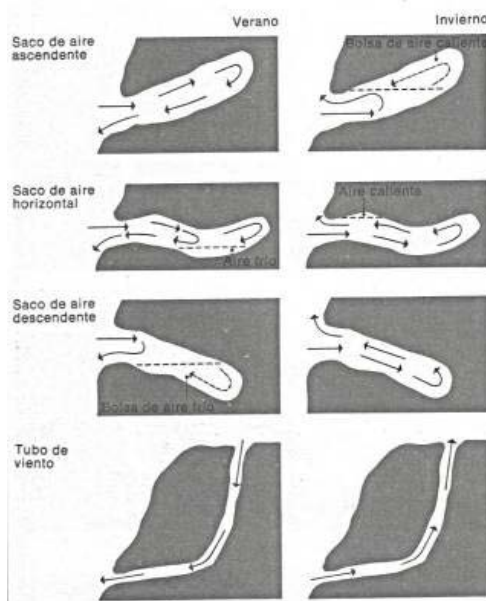


Fig. 13. Tipos de cuevas de acuerdo con la circulación del aire.

En el **tubo de viento**, las entradas superiores siempre son más cálidas que las inferiores, ya que el aire caliente es más ligero y tiende a ascender. Pero como el aire interior suele ser más caliente que el exterior en toda la cavidad durante el invierno, se producirá una entrada del aire exterior por la entrada inferior, un calentamiento interno y una expulsión, a veces particularmente intensa por las entradas de la cumbre, a veces llamadas "huecos" o "pozos sopladores". En el verano, como la cavidad en su conjunto es más fresca que el exterior, el aire frío suele salir violentamente por la entrada inferior y atraerá el aire de los niveles superiores. En ciertas angosturas la velocidad del viento puede ser particularmente alta y permite calcular su presión motriz. No pocas veces, la presencia de corrientes de aire constantes han sido excelentes indicadores para proseguir la exploración de muchas cavernas.

Este **efecto de chimenea directo o inverso** se presenta, normalmente sobre ciclos anuales y, en invierno o después de lluvias intensas, forman columnas de vapor de agua visibles a gran distancia. Es el fenómeno llamado de las cuevas humeantes, que ha permitido descubrir no pocos accesos, a diferentes alturas, de grandes sistemas cavernarios, particularmente en el Occidente de Cuba. Un fenómeno a veces adscrito al efecto de chimenea o a la circulación más general, de tubo de viento, es el de las “**cuevas que respiran**”. No es un fenómeno muy estudiado que se produce cuando el aire se mueve hacia el interior por unos pocos minutos y hacia el exterior por otros tantos, como si la cueva, en realidad, estuviese respirando. El fenómeno es semejante al llamado “Resonador Compuesto de Helmholtz”. El agente que lo produce es, probablemente, la turbulencia del viento que sopla cuando pasa la entrada. La velocidad es menos importante, ya que el resonador responde a pequeñas perturbaciones en la corriente de aire que están en fase con la frecuencia de resonancia.

Los **cambios de presión** pueden producir, también, corrientes de aire. La mayor parte de las entradas a los conductos subterráneos están ventiladas debido al intercambio de aire con el exterior. Tal intercambio varía en función de la presión cambiante en la atmósfera exterior. Estos cambios son de dos tipos **periódicos y no periódicos**. El más importante es el **cambio periódico** que ocurre con un período de 24 horas resultante de la diferencia de temperatura del aire entre el día y la noche. Durante el día, el aire es más caliente, se hace menos denso y la presión disminuye. Durante la noche ocurre lo contrario. Normalmente, el aire, entonces, comienza a fluir hacia la cavidad al atardecer y desde ella, al amanecer. Variaciones no periódicas están asociadas con el paso de un frente de tormenta o un huracán. Entonces, tales efectos se superponen a la fluctuación diaria y la cueva se ajusta al efecto resultante de ambos cambios.

Un fenómeno particularmente interesante es el de las **trampas térmicas**. Se trata de cuevas o sectores de cuevas donde las regularidades descritas anteriormente no se cumplen y están asociadas, por ello, a focos internos de emisión de calor o de frío. Las trampas térmicas pueden ser permanentes, episódicas o estacionales. Las trampas de calor son comunes en climas tropicales mientras que las frías lo son de climas templados. Las primeras suelen asociarse a la conjugación de factores morfológicos y biológicos y, en particular con la producción local de calor derivada de reacciones exotérmicas biogeoquímicas, entre las que destacan la descomposición del guano del murciélago *Phylonicteris poeyi*, de hábitos especialmente gregarios. En Cuba hay notables ejemplos de las llamadas “cuevas de calor”.

Las trampas frías más espectaculares son las llamadas cuevas de hielo, y están asociadas a cuevas situadas a gran altitud que presentan una temperatura inferior a la congelación cuando la temperatura media anual es inferior a 0°C y, por ende, contienen hielo durante todo el año (Fig. 14) es uno de los más notables ejemplos de este tipo. Ledenika o Cueva Fría, en Bulgaria, es una de las más famosas del mundo. No obstante se han reconocido en el Trópico Húmedo. Cueva Fría en el Escambray cubano es un excelente ejemplo.

### **Nivel biótico**

Uno de los aspectos más interesantes de los ecosistemas subterráneos es la biota (bacterias, flora y fauna) que habita en la compleja red de galerías, grietas, fisuras y pasajes del subsuelo, algunos de ellos permanente o temporalmente inundados de agua. Por lo general, la diversidad biológica y la biomasa son relativamente bajas. En estos ecosistemas, básicamente en las partes más profundas, están representados pocos ejemplares de pocas especies, aunque con atributos que los hacen únicos. Otro aspecto es que los animales que habitan las cuevas exhiben diferentes estados de adaptación a tal ambiente, debido, ante todo, a las singulares condiciones de iluminación, silencio, humedad relativa, presión y temperatura, que convierten al sistema subterráneo en un entorno terrestre excepcional. De acuerdo con tal nivel de adaptación se han propuestos diversos sistemas que pretenden clasificar a los organismos cavernícolas en diferentes categorías ecológicas. El que se ofrece a continuación es el más extendido y fue propuesto por Schiner (1854) y completado por Racovitza (1907):



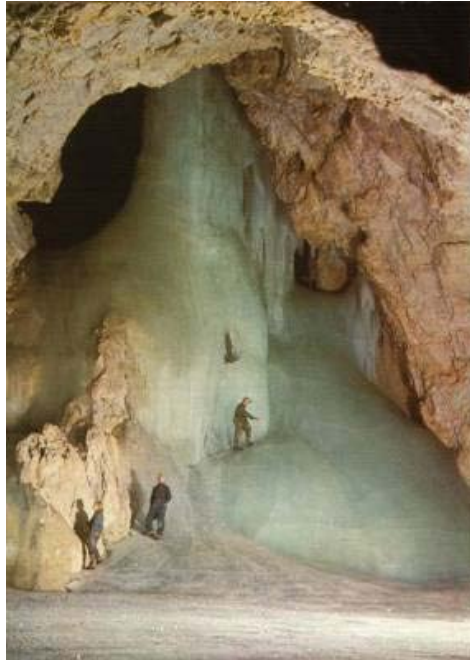


Fig. 14. Salón de la Eisriesenwelt, la Cueva de Los Gigantes de Hielo, en los Alpes Austríacos.

<b>Troglobios</b>	Son los verdaderos animales de las cavernas, que no podrían sobrevivir en un ambiente diferente. Por lo general exhiben adaptaciones morfológicas evidentes (despigmentación, anofthalmia o reducción ocular, alargamiento de los apéndices). Ejemplos: peces (Fig. 15) y camarones ciegos, grillos de cueva, etc.
<b>Troglófilos</b>	Especies facultativas que normalmente viven y se reproducen en cuevas, pero que también pueden ser encontradas en hábitat frescos, húmedos, oscuros y protegidos del ambiente epigeo. Suelen separarse en dos grupo, los subtroglófilos, que presentan adaptación al ambiente subterráneo y usan la caverna solamente como refugio temporal, y los eutroglófilos, que están bien adaptados a la vida bajo tierra, pero que en condiciones favorable pueden volver al ambiente epigeo. Estos animales son la fuente de origen de todos los troglobios.
<b>Troglóxenos</b>	Especies que utilizan las cuevas como refugio, pero que no completan su ciclo de vida en ellas. Por lo general regresan periódicamente a la superficie en busca de comida o para reproducirse. Muchas de ellas son especies de hábitos nocturnos. Los murciélagos (Fig. 16) son el caso más común, aunque se pueden mencionar a las ratas, majáes (Fig. 17), lechuzas, avispas, entre otros.

Como cualquier otra clasificación que pretenda esquematizar o encasillar la extraordinaria diversidad del mundo viviente, esta no es más que una forma de aproximación a la realidad. Otros autores han añadido otras categorías, como “**especies de umbral**” (aquellas que habitan en las zonas de penumbra, cerca de las entradas), “**especies accidentales**” (aplicado a las especies epigeas que por alguna razón pueden ser halladas, en un momento determinado, en el interior de una cueva, pero por lo general sin llegar a constituir una población en la misma), “**parásitos**” (especies parásitas que por su condición dependen del hospedero y no de los factores cavernarios para su supervivencia), etc. En el caso de la fauna acuática, los términos de troglobio, troglófilo y troglóxeno son sustituidos por estigobio, estigófilo y estiglóxeno. Sin embargo, a diferencia de la fauna terrestre, en la acuática son muy raros los estiglóxenos. Los animales más comunes en las cuevas son los troglófilos, que pueden formar más de la mitad de la comunidad cavernícola. Los menos comunes son los troglobios, los verdaderos cavernícolas que, en algunas cuevas de países templados pueden llegar a constituir hasta el 20% de la población total pero, en el trópico pueden ser tan bajos como el 5% o resultar totalmente inexistentes. Una de las explicaciones dadas a este

fenómeno ha sido el de la mayor abundancia de recursos tróficos en las cuevas tropicales, lo cual haría que la selección natural favorezca el desarrollo de un número importante de nichos mutuamente exclusivos, mientras que en las cuevas templadas la menor abundancia de alimento obligaría a los animales a explotar las pocas fuentes disponibles y a sobrevivir adaptándose a condiciones más extremas.

Entre las adaptaciones que presentan las especies animales troglobias, proceso que recibe el nombre de **troglobización**, se pueden mencionar las siguientes: Despigmantación del tegumento, atrofia ocular; adelgazamiento de los apéndices, con hipertrofia de otros órganos no ópticos; y una tasa metabólica muy baja. Adicionalmente, se pueden observar otras adaptaciones, como: (1) gigantismo, (2) puesta de un menor número de huevos, pero estos de mayor tamaño que el de especies afines; (3) cuerpo estilizado, con los apéndices muy alargados; (4) entre los insectos, puede ocurrir apterismo (pérdida o atrofia de las alas); (5) simplificación, reducción o asimetrías en ciertos órganos internos (tubo digestivo, gónadas, glándulas endocrinas, etc.); (6) cambios de la conducta (ausencia de ritmos diurnos y estacionales, fototropismo negativo o indiferencia a la luz, pausada exploración en la búsqueda de alimento y escasa agresividad depredadora, etc.). El origen de los troglobios y el valor adaptativo de sus reducciones estructurales han sido motivo de encontradas discusiones científicas y aún se continúa investigando sobre el tema. Algunos, incluso, han llegado a postular que los troglobios no se han originado en las cuevas, sino que habitan en estas porque sus ojos degenerados y la falta de pigmento les impiden continuar habitando en el medio hipogeo.



Fig. 15. Pez ciego



Fig. 16. Murciélago frugívoro

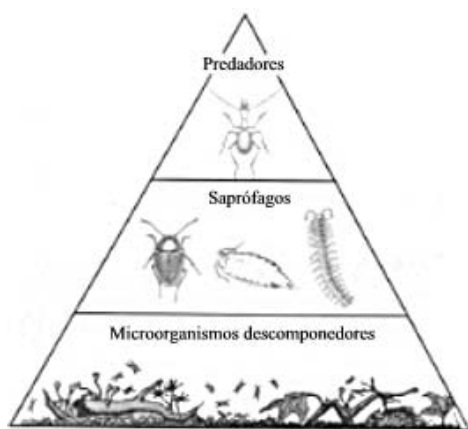


Fig. 17. Majá de Santa María (*Epicrates angulifer*) en la Caverna de Santa Catalina, Matanzas, Cuba

Como los principales factores limitantes del ecosistema cavernícola son el alimento y el agua, la mayoría de los organismos terrestres son estenohidróbicos, de manera que están restringidos a galerías o grietas donde no solamente hay suficiente alimento, sino también suficiente humedad, factores que determinan el grado de complejidad de la comunidad. La diversidad biológica subterránea está positivamente correlacionada con el contenido orgánico de los sustratos, por lo que las cuevas que disponen de bajo suministro de alimento tienen pocos habitantes (Fig. 18).

En las cuevas, el flujo de energía está relacionado con la distribución de iluminación en la cavidad. En la zona subliminar o de penumbra pueden ser detectadas pequeñas cantidades de luz, por lo que ciertas plantas despigmentadas pueden crecer. Las pteridofitas sufren alteraciones en el ciclo de reproducción de esporas, en tanto los musgos y las hepáticas pierden el esporangio. Las angiospermas no producen flores o frutos y los hongos no producen cuerpo frutificante. Las algas también tienen problemas de reproducción, pero pueden adaptarse mejor que otras plantas, creciendo con una intensidad menor que 1/2000 de la luz exterior. Finalmente, los líquenes perecen al alterarse su relación simbiótica. En general, las plantas se consideran troglóxenos, excepto en el caso de algunas briófitas que, bajo ciertas condiciones, pueden clasificarse como troglófilas.

Como no existe fotosíntesis en las cuevas, la mayor parte de los nutrientes son traídos desde el exterior en las aguas de escurrimiento, de infiltración, en residuos vegetales que caen en los sumideros o en las excrecencias de animales que se alimentan en el exterior y llegan a la caverna a descansar. La cantidad de alimento disponible para los troglobios es limitada y no sería suficiente de no ser por la extrema eficiencia con que la utilizan. Todos los organismos son prácticamente heterótrofos y la cadena alimenticia se aproxima a un sistema ecológico cerrado. Los únicos animales que pueden considerarse autótrofos son las bacterias quimiosintéticas, que tienen la habilidad de sintetizar su propia sustancia en ausencia de luz.



**Fig. 18. Cadena alimenticia subterránea.**

La cadena alimenticia comienza entonces, por los descomponedores, que se encargan de transformar la madera, el guano, la vegetación en descomposición, cadáveres y otra materia orgánica para que puedan ser utilizadas por animales a niveles superiores. Aquí se incluyen, en el medio terrestre, las bacterias, protozoarios y hongos. Le siguen los saprófagos, pero también los coprófagos, necrófagos y pequeños omnívoros, como las cucarachas, mientras que en el medio acuático se incluyen copépodos, isópodos y moluscos, entre otros. El tercer y más alto nivel lo forman los depredadores, que tienen numerosos representantes en las cuevas, como los murciélagos carnívoros, las ratas, ofidios (culebras y majáes), peces, ranas y sapos, las arañas, alacranes, ciempiés, hormigas y ectoparásitos de murciélagos y ratas.

De acuerdo con sus hábitos de vida, cada especie animal ocupa uno o varios de los estratos (techo, paredes, suelo, acuatorios) y zonas (entrada o zona de umbral, zona de penumbra y zona de oscuridad absoluta) de la cueva. Sin embargo, aunque algunos troglófilos son capaces de

penetrar en la parte profunda de la cueva (que es la más estable climáticamente y la que además posee la mayor humedad), en esta proliferan los troglobios, pues es aquí donde hallan los máximos requerimientos ecológicos (lo cual no les impide, a veces, incursionar en otras zonas de la cueva).

## BIBLIOGRAFIA

- Algeo, Katie (1995): **Mammoth Cave and the Making of Place**. Western Kentucky University, 27:
- Bella, Pavel; Jozef Hlavac; Peter Gazik (2001): **Protection and Management of Show Caves in Slovakia** . ABSTRACT SPELEO BRAZIL 2001 Brasília DF, 15-22 de julho de 2001 13th International Congress of Speleology 4th Speleological Congress of Latin América and Caribbean 26th Brazilian Congress of Speleology .
- Caumartin, A. (1975): **La conservación de las cavidades habilitadas**. Escuela Catalana de Espeleología, Barcelona, 12:
- Chiesi, M., G. Ferrini, G. Badino (1999): **L'impatto dell'uomo sull'ambiente di grotta**. Quaderni Didattici 5. Erga Edic.Genova, 18:
- Department of Conservation, (1999): **Karst Management Guidelines. Policies and Actions**, Head Office, Wellington, New Zealand, 28:
- Díaz, R.; L.F. Molerio León; M. Guerra Oliva; E. Flores Valdés; E. Rocamora Alvarez (1990): **Resultados de la Expedición V Congreso de la UJC (Cuenca del río Unimazo, Escambray)**. Congr. 50 Aniv.Soc.Espel. Cuba, La Habana: 62
- Federazione Speleologica Pugliese (1989): **Problemi di inquinamento e salvaguarda delle aree carsiche**. Soc. Espel. It. Club Alp. Ital., Bologna, 139:
- Fesnock, Amy L. (1996): **Developing a Cave or Mine Management Plan**. Pinnacles National Monument, National Park Service, Paicines, California, 11:
- Forest Service, USDA PART 290 (1990): **Cave Resources Management**. Washington, 2:
- Georgia Conservancy Teaching Conservation Environmental Education Materials (1997): **What Would You Do to Protect Caves?** PROJECT WILD'S Ethi-Reasoning and Ethi-Thinking Activities.4:
- Gutiérrez Díaz, J; J.M. García & L.F. Molerio León (1982): **Vulnerabilidad de los Acuíferos Cárlicos a los Procesos de Nitrificación**. Coloquio Internac. Hidrol. Cárlica de la Región del Caribe, UNESCO, La Habana:523-536
- IUCN (1995): **World Heritage Nomination – Summary Caves of the Aggtelek and Slovak Karst (Hungary/Slovak Republic)**. Summary prepared by IUCNMXMC (March 1995) based on the original nomination supplied by the Governments of Hungary and Slovakia. This original and all documents in support of this nomination will be available for consultation at the meetings of the Bureau and the Committee, 19:
- Jeong, Gi Young; Soo Jin Kim, Sae Jung Chang (2002): **Black carbon pollution of speleothems by fine urban aerosols in tourist caves**. Amer. Min, 7:
- López, C.M., M.A. Iturralde, R. Claro, L. Ruiz, G. Cabrera, L.F. Molerio León, M. Roque, A.R. Chamizo, L. García, J.L. Gerhartz, G. García, H. Pérez, A. Pino, M.M. Sentí, R. Borroto, Y. Rodríguez (2001): **Introducción al conocimiento del Medio Ambiente. Universidad para Todos**. Edit. Academia, Ciudad de La Habana, 31:

Molerio León, Leslie F. (1981): **Hidrogeología y Climatología de la Cueva La Mariana. Contribución al Estudio de las Cuevas de Calor.** *Voluntad Hidráulica*, La Habana, XVIII (57):2-9

Molerio León, Leslie F.; M. Hernández Moret; O. Velázquez Sánchez; M. Guerra Oliva & M. Labrada Cortés (1990): **Estudio Experimental de Resistencia a Cargas Dinámicas en la Bóveda de una Caverna.** Congr. 50 Aniv.Soc.Espel. Cuba, La Habana: 88

Molerio León, Leslie F. (1990): **CLEO. Presentación de un Algoritmo para el Cálculo de la Estabilidad de las Cavernas.** Congr. 50 Aniv.Soc.Espel. Cuba, La Habana: 89

Molerio León, Leslie F.; E. Fariñas Padrón & O. Azcue Manso (1990): **Procesos Termodinámicos en la Cueva de La Virgen, Ciudad de La Habana, Cuba.** Congr. 50 Aniv.Soc.Espel. Cuba, La Habana: 53

Molerio León, Leslie F. (1993): **Problemas Ingenieriles en Áreas Cársicas: La Estabilidad de las Cavernas.** II Jornadas Venezolanas de Geología Ambiental, Maracaibo, Venezuela, 15:

Molerio León, Leslie F.; C. Aldana Vilas; E. Flores Valdés; E. Rocamora & Ana M. Sardiñas (1995): **Resultados de un Ensayo con Trazadores Artificiales en la Gran Caverna de Santo Tomás, Pinar del Río, Cuba.** Congr. Internac. LV Aniv. Soc. Espel. Cuba y Primera Reunión Iberoamericana, La Habana,:95

Molerio, L.F.; E. Flores & A. Menéndez (1997): **Vulnerability of Karstic Aquifers. Draft Report.** IHP-V Project 3.2. Monitoring Strategies for Detecting Groundwater Quality Problems, La Habana, 10:

Molerio León, L.F.; E. Flores Valdés; M. Guerra Oliva; A. Menéndez Gómez; C. Bustamante Allen; E. Rocamora Alvarez (1998): **Evaluación, Aprovechamiento y Protección de las Aguas Subterráneas en las Zonas de Montaña de Cuba.** Geología y Minería '98. Memorias, Volumen I, Versiones Resumidas,: 441-444

Molerio León, L.F. (2002): **Evaluación de la calidad ambiental de cuevas turísticas. Estudios de Factibilidad para elaborar Planes de Manejo.** Bol. Informativo de Montañismo México (98): 4-5. También en <http://www.montanismo.org.mx/espeleo/evalua-cav1.htm>;

Molerio León, L.F. (2002): **Calidad ambiental de cuevas turísticas.** Rev. Se Puede, La Habana, 6(26), 5:

Molerio León, L.F. (2002): **Primeras mediciones de Radón en cuevas cubanas.** Com. Hidrogeología Cársica. Sociedad Espeleológica de Cuba.

Molerio León, L.F. (2004): **Cambios climáticos y espeleotemas: efectos del equilibrio y el fraccionamiento isotópico en depósitos de cavernas.** Mapping, Revista Internacional Ciencias de la Tierra. Marzo de 2004. Madrid, Spain :88-91

Molerio León, L.F. (2004): **Los mogotes del Valle de Viñales, Monumento Nacional, Pinar del Río, Cuba.** Mapping Interactivo. Diciembre 2004, 15:

Molerio León, L.F., E. Balado Piedra, R. Fernández Ortega, R. Gutiérrez Domech, E. Jáimez Salgado, J. R. Fagundo Castillo, J. B. González Tendero, R. Lavandero Illera, J. Martínez Salcedo, M. Condis, L. F. De Armas, J. L. Clinche Crego, J. Pajón Morejón, E. Dalmau Hevia, T. Crespo Díaz, A. Graña González, E. Vento Canosa, M.G. Guerra Oliva, A. Romero Emperador, M. C. Martínez Hernández, A. Martínez Zorrilla (2004): **El Mundo Subterráneo. Universidad para Todos.** Edit. Academia, Ciudad de La Habana, 31:

Parks and Wildlife Commission of the Northern Territory (2000): **Cutta Cutta Caves Nature Park Plan of Management**, 41:

Pérez-Conca S., F (1977): Problemas Ambientales de áreas cársticas. Parte 1: La cueva y su ecosistema. Bol. Soc. Ven. Espeleol. 8(16): 155-174

Pérez-Conca S., F (1978): **Problemas Ambientales de áreas cársticas. Parte 2: El efecto de la ocupación humana sobre el ecosistema cavernícola.** Bol. Soc. Ven. Espeleol. 9(17): 73-96

Piñera Caso, J.& L.F. Molerio León (1982): **Estudios de Impacto Ambiental en Complejos Hidroeconómicos.** Conf. Cient. XX Años de Desarrollo de la Hidráulica, La Habana:

Solomon, S.B.; R. Langroo, J.R. Peggie, R.G. Lyons, J.M. James (1993): **Occupational Exposure To Radon In Australian Tourist Caves. An Australia-Wide Study Of Radon Levels Final Report Of Worksafe Australia Research Grant (93/0436).** Department of Physics, University of Auckland, Private Bag University of Sydney, 26:

WOMBEGAN KARST CONSERVATION RESERVE (1999): **Plan of Management. Jenolan Caves Reserve Trust, New Zealand**, 37: