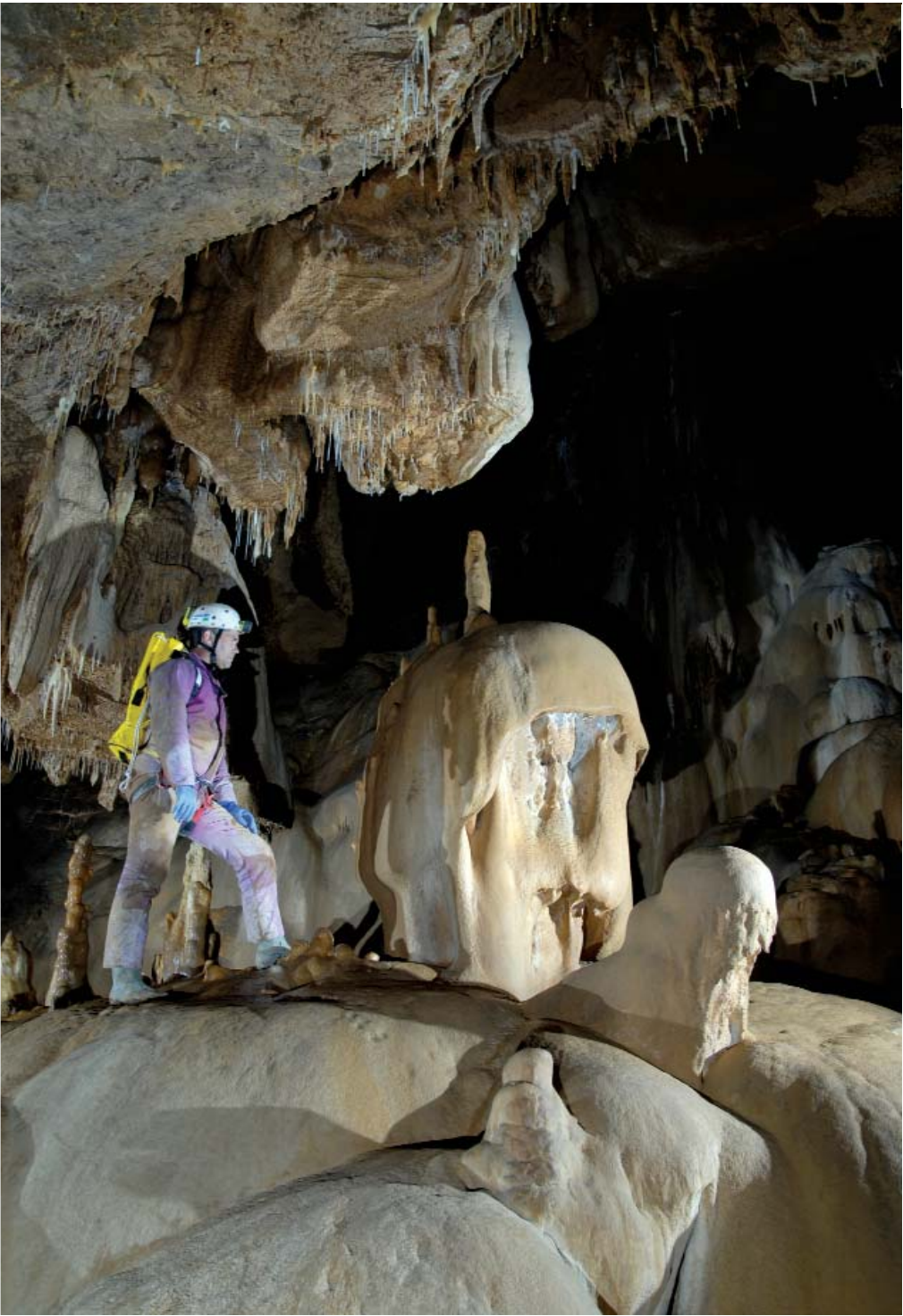


Estudio microclimático de la cavidad de Mendukilo

ENEKO AGIRRE IRAETA

Biólogo y gerente de la Cueva de Mendukilo. Presidente del Comité Técnico de la ACTE



JABIER LES

La cueva de Mendukilo se encuentra en tierras del Concejo de Astitz (valle de Larraun), en las faldas de la sierra cárstica de Aralar (Navarra). Esta cueva, que ha sido utilizada durante decenios como establo de montaña, está adecuada para recibir turistas y escolares desde el 22 de julio del 2005. Desde su apertura han pasado por la cueva más de 40.000 visitantes.

La cueva de Mendukilo se abre en las calizas del urgoniense, en la falda sur de la sierra, en cota 750 m, con una morfología predominantemente descendente. Presenta una amplia entrada, que mantiene su volumen en la primera sala (Artzainzulo). Continúa por la galería de acceso (Jentileio), que presenta un estrechamiento, única zona donde son sensibles las corrientes de aire, comunicando con dos salas: la galería de Laminosin y la Morada del Dragón. A continuación de la última, se comunica, a través de otro estrechamiento, con la sala del Guerrero, bajando luego hacia la galería de los Intxisus, zona más profunda de la cueva (a -100 m de la boca).

La habilitación de la cueva se ha realizado dando prioridad en todo momento a la propia cavidad y siguiendo dos premisas principales: minimizar los posibles impactos al máximo y colocar instalaciones e infraestructuras reversibles. Los trabajos manuales en el interior de la cavidad han sido casi artesanales. De las cinco salas que dispone la cueva, dos han quedado sin habilitar por la necesidad de ampliar sus accesos (provocando actuaciones irreversibles) y con el fin de dejar espacios vírgenes a la fauna subterránea (especialmente quirópteros y troglóbios).

Sala del Guerrero.

HABILITACIÓN DE LA CUEVA Y CONTROL DE LAS VISITAS

Para la boca de entrada, se ha diseñado una verja especial con barrotes horizontales con el fin de impedir el paso de los visitantes y facilitar el tránsito de los quirópteros. La rampa de arcillas de bajada de la primera sala (Artzainzulo), se ha habilitado con material granular y euroadoquín, permitiendo la filtración del agua. El resto del recorrido en la cueva discurre por una pasarela flotante metálica y galvanizada, que podría ser desmontada y retirada en caso de necesidad. Las visitas se realizan siguiendo el ritmo de las luces dinámicas, evitando así la aparición del mal verde estimulando por la luz artificial.

Todas estas medidas son necesarias pero no suficientes, si no van acompañadas de una gestión controlada y sostenible de las visitas. El control y la calidad se obtienen con visitas guiadas en grupos reducidos. Pero la afluencia masiva de visitantes puede impactar seriamente en la climática de la cavidad provocando procesos irreversibles de corrosión y descalcificación. En este campo cobran especial interés los estudios climáticos de las cavidades turísticas, ya que dotan a los gestores de las mismas con una herramienta útil para buscar la capacidad de carga o acogida sostenible de la cavidad.

IMPACTO DE LAS VISITAS EN LA CLIMÁTICA DE LA CUEVA

La presencia de personas en el interior de las cavidades puede generar diferentes tipos de contaminación térmica, química y biológica. La influencia de las visitas a una cavidad sobre la temperatura del aire o de la roca ha sido extensamente caracterizada en diferentes estudios de cavidades turísticas, por ejemplo Stelcl (1990, 1992) o Villar et al. (1984 b, c). En este campo hay que destacar los estudios iniciales de Andrieux (1970 a, b, 1971 a, b y 1972), fruto de la tesis doctoral de este autor en la gruta francesa de Niaux (Andrieux, 1969), sobre la influencia de la presencia humana en el microclima de una cavidad. La cantidad de personas que a diario permanecen cierto tiempo en la cueva es una fuente importante de generación de calor y aporte de CO₂ a la atmósfera confinada. Por ello, la definición de un umbral de equilibrio debe ser una práctica común en la gestión ambiental de cualquier cavidad turística, ya que permite establecer un régimen óptimo de visitas, clave en la conservación del patrimonio cástico (Forteza Pérez (Editor), 1993; Juberthie, 1995).

Así, la capacidad de acogida de visitantes de una cavidad corresponde con el flujo máximo de personas que recorren ésta sin alterar los parámetros ambientales críticos hasta el límite de sus fluctuaciones naturales.

La única forma de mantener el atractivo de la cavidad y evitar su deterioro en el tiempo es mediante el cumplimiento de ciertas normas esta-

blecidas en el régimen de visitas a la cavidad, las que solo pueden ser dictadas después de un estudio profundo de las características microclimáticas de la cueva, el conocimiento de los mecanismos de transferencia de masa y energía entre los sistemas gaseosos, sólidos y líquidos y entre el sistema interior y el exterior de la cavidad.

Con este objetivo, en enero del 2006, se ubicaron tres estaciones climáticas (Entrada, Laminosin y la Morada del Dragón) en el interior de la cavidad de Mendukilo y una más en el exterior (Casa de Acogida). El estudio lo está realizando la Sociedad de Ciencias Espeleológicas

Sala del Guerrero.



JABIER LES

Alfonso Antxia en colaboración con especialistas de la Universidad del País Vasco. El objetivo es prolongar el estudio a lo largo de cuatro años para conseguir datos concluyentes en cuanto a la capacidad de acogida de Mendukilo.

PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN Y REGISTRO DE LAS VISITAS

Teniendo en cuenta el volumen de la cueva y siguiendo el principio de precaución, se estableció el cupo máximo en 375 personas/día en temporada alta. Se realizan 15 entradas al día en gru-

Resultados generales y promedios del primer año de estudio (2006)				
ESTACIÓN	T prom. (°C)	T max. (°C)	T min. (°C)	Hr prom.
Exterior (Edificio)	11,8	33,2	-6,4	81,9
Entrada	8,41	15,4	-3	98,86
Laminosin	8,70	9,2	8,2	100
M. Dragón	8,59	8,9	8,0	100
ESTACIÓN	P. atm prom.	CO ₂ prom. (ppm)	CO ₂ max (ppm).	
Exterior (Edificio)	929,54	436,82	520,1	
Entrada	927,97	499,1	1554	
Laminosin	931,51	835,52	2342,6	
M. Dragón	932,09	700,06	1729,5	

Sala del Guerrero.

pos de 25 personas como máximo. Todos los días se registran y apuntan las entradas realizadas. Así, una vez al mes se descargan los datos acumulados en los *dataloggers* de las estaciones climáticas y se entregan a la sociedad responsable del estudio las visitas realizadas ese mes. Contrastando los picos de los diferentes parámetros de las estaciones con las visitas realizadas, se puede observar el impacto de las mismas y el tiempo de recuperación que necesita la cavidad.

PARÁMETROS A MEDIR

Normalmente se considera la temperatura, el contenido de dióxido de carbono del aire y las variables fisicoquímicas relacionadas con la calidad del agua, como los parámetros imprescindibles en el control ambiental de una cavi-

dad. Para el caso del estudio de Mendukilo, se consideraron además críticos, otros parámetros como la humedad relativa, temperatura de la roca y el agua y el comportamiento de la presión atmosférica.

Hay que tener en cuenta que los incrementos prolongados en la concentración de CO₂ en el aire y el disuelto en el agua de condensación o infiltración, puede truncar el equilibrio químico en los procesos espeleogenéticos de la cavidad. En este sentido, Dragovich y Grose (1990) en Fernández Cortes (2005) estiman una concentración de CO₂ en el aire de 2.400 ppm como límite máximo de riesgo para la corrosión de la caliza.

Más información: www.mendukilo.com
Contacto: mendukilo@mendukilo.com

CONCLUSIONES

En la cueva de Mendukilo existe una zonación bien diferenciada desde el punto de vista climático, representada por:

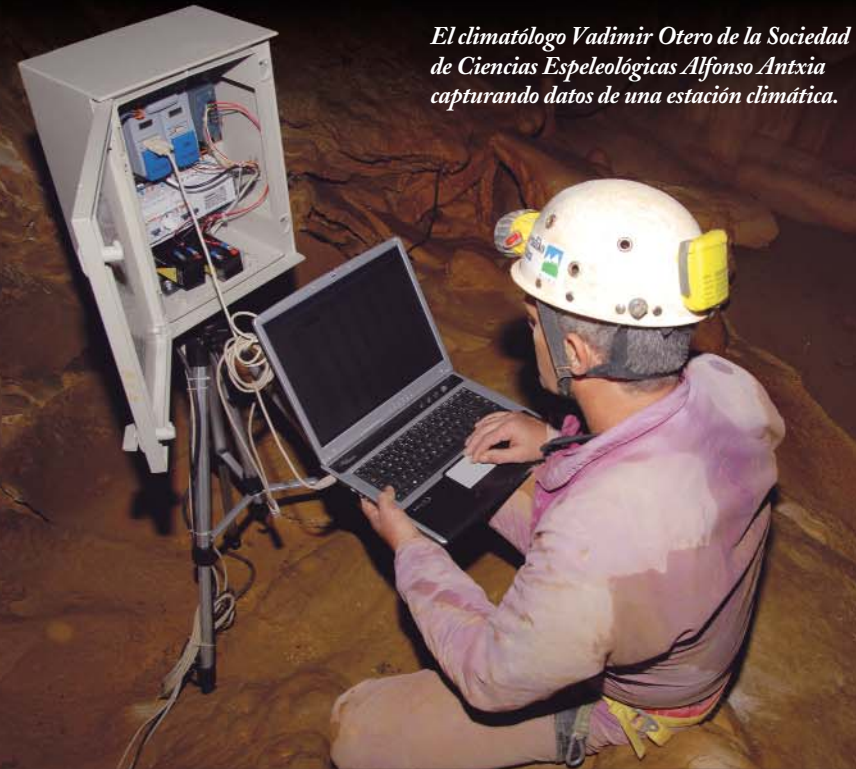
- **Sala de Entrada (Artzainzulo):** zona de transición desde el exterior hacia el interior de la cueva. Es el sector de mayor influencia del clima epigeo sobre el hipogeo, donde se aprecian las mayores variaciones de la temperatura y la humedad relativa.
- **Sector profundo:** representada por las salas Laminosin y La Morada del Dragón. Es el sector más estable desde el punto de vista climático. Aunque presenta una cierta influencia desde el medio epigeo, esta se aprecia minimizada por factores que autorregulan el clima como la matriz rocosa de la cavidad, la morfología de la cueva y los volúmenes de las salas.
- **Sector de mezcla de fluidos:** representado por la galería de acceso (Jentileio), donde se confluyen las masas gaseosas de los sectores profundos y la sala de entrada.

En cuanto a los parámetros medidos, destacar algunas conclusiones:

- **Humedad Relativa:** en el sector de la entrada está regulado por las variaciones de la temperatura y la dirección del aire.
- **Temperatura:** el régimen natural de las temperaturas en el interior de la cueva no es alterado por los grupos de visitantes.
- **Dióxido de carbono:** las estaciones de Laminosin y la Morada del Dragón son las más afectadas por los grupos de visitas, registrando las concentraciones más elevadas. La sala de entrada no presenta grandes concentraciones por su comunicación directa con el exterior gracias a una boca de grandes proporciones.
De los sectores en que se realizan las mediciones, la estación Laminosin presenta la mayor concentración de dióxido de carbono en la cueva, principalmente en el periodo de verano, cuando son más numerosas las visitas y el nivel del agua es mínimo o están secos los lagos.
La estación de la Morada del Dragón acusa los niveles de acumulación de dióxido de carbono en las zonas inferiores de la cueva (Guerrero-Intxisus), en los meses de octubre y noviembre, cuando la concentración de este gas se eleva a niveles muy superiores al resto de la cavidad.

- **Circulación del aire:** la cueva en general presenta una circulación en forma de saco de aire, apreciándose una ligera circulación en tubo de viento entre la entrada y la Morada del Dragón.
De forma global la dirección de los procesos es: de exterior a interior en invierno, del interior de la cueva hacia el exterior en verano y de forma intermitente en los periodos de transición, es decir, en primavera y otoño.
Se concluye finalmente que la variable crítica para regular los grupos de visitantes en la cueva será el dióxido de carbono, aunque se debe seguir monitoreando el comportamiento del resto de las variables por su importancia en la dirección de los procesos.

Los datos y conclusiones que figuran en este artículo han sido extraídos de la memoria del primer año de estudio de la Sociedad de Ciencias Espeleológicas Alfonso Antxia.



El climatólogo Vadimir Otero de la Sociedad de Ciencias Espeleológicas Alfonso Antxia capturando datos de una estación climática.



JABIER LES