

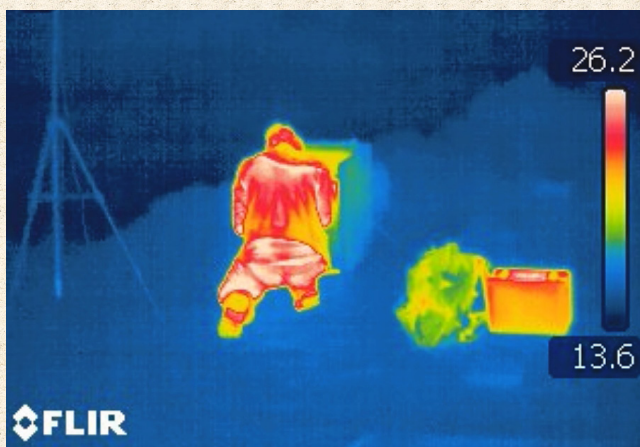
# LA GEOLOGÍA ES NOTICIA

**CONSERVACIÓN DE CAVIDADES  
NATURALES: INFLUENCIA DE LOS  
VISITANTES**

## El caso de la cueva de Altamira

*Sergio Sánchez-Moral, Soledad Cuezva,  
Ángel Fernández-Cortés y Juan Carlos Cañaveras*

(pág. 118)



**NAICA (CHIHUAHUA, MÉXICO)**

## Los cristales gigantes de la mina de Naica se inundan

*Giovanni Badino, José María Calaforra, Paolo Forti*

(pág. 121)



**SIMAS CALIENTES: EN EL  
CORAZÓN DE UNA FALLA ACTIVA**

## El ejemplo de la Sima del Vapor en la Falla de Alhama de Murcia

*Raúl Pérez López y  
José Jesús Martínez Díaz*

(pág. 124)





# CONSERVACIÓN DE CAVIDADES NATURALES: INFLUENCIA DE LOS VISITANTES

## El caso de la cueva de Altamira

SERGIO SÁNCHEZ-MORAL<sup>1</sup>, SOLEDAD CUEZVA<sup>1</sup>, ÁNGEL FERNÁNDEZ-CORTÉS<sup>1</sup> Y JUAN CARLOS CAÑAVÉRAS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Museo Nacional de Ciencias Naturales, MNCN-CSIC, Madrid, España.

<sup>2</sup> Laboratorio de Petrología Aplicada, Universidad de Alicante, Alicante, España.

Las cavidades situadas en ambiente vadoso superior, más próximo a la superficie, son las más accesibles y las que albergan muchas veces un rico patrimonio natural y en algunas ocasiones también cultural. En España son numerosos los ejemplos de cavidades singulares que contienen elementos geológicos, biológicos y/o históricos relevantes. Las especiales características de las cuevas hacen particularmente vulnerables estos enclaves a cualquier tipo de actividad humana. Muchas cavidades kársticas han sufrido a menudo la acumulación en el tiempo de graves problemas de deterioro motivados precisamente por las labores de acondicionamiento en su interior y entorno inmediato realizadas para su adaptación al uso como recurso turístico.

El patrimonio existente en las cuevas se encuentra dentro de un entorno natural dinámico cuyas características intrínsecas difieren sustancialmente de las que se encuentran al aire libre o en el interior de edificios. Por ello es fundamental entender que las cuevas no son sólo el hueco por el que se deambula en su interior sino que forman parte de un sistema natural muy complejo en el que interactúan multitud de factores. Carece de todo sentido comparar una cueva

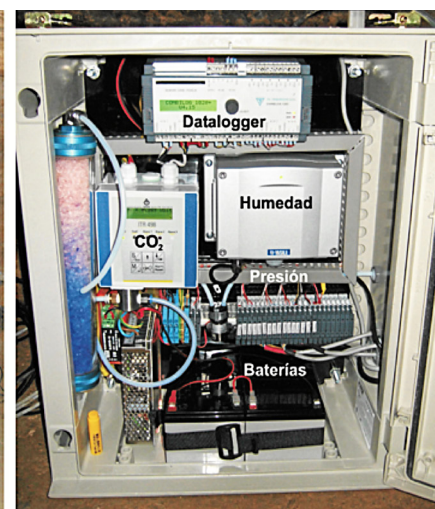
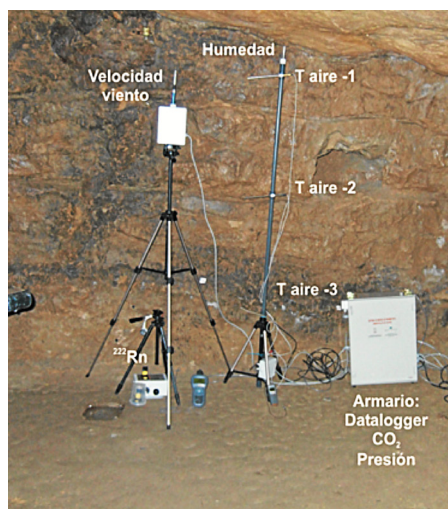


Fig. 1. Estación de monitorización ambiental instalada en la Sala de Policromos (Altamira).

natural (p.ej.; Altamira) con un museo (ej: Museo del Prado), como se ha podido leer recientemente en la prensa <http://www.europapress.es/cantabria/noticia-gael-guichen-conservador-seria-terrible-si-altamira-vuelve-cerrar-publico-20160215164146.html>.

El caso de las cuevas que albergan arte rupestre es especial ya que antes de su descubrimiento permanecieron confinadas y protegidas durante miles de años, permitiendo el mantenimiento de unas condiciones ambientales estables desde el cierre natural y en algunos casos un excepcional grado de conservación. En esos casos, el objetivo principal debe ser deducir y comprender cuáles han sido las condiciones que han permitido la preservación a lo largo de tanto tiempo. Esas condiciones serían las óptimas para la conservación de las representaciones artísticas o, al menos, –y dados los numerosos cam-

bios ambientales de carácter natural que podrían haber sufrido desde su elaboración–, las condiciones menos malas para su preservación.

El primer objetivo de cualquier estudio enfocado a la conservación de una cavidad natural debe ser distinguir los principales mecanismos de deterioro y, de manera precisa, diferenciar los debidos a causas naturales y los derivados de la acción antrópica, incluidas las modificaciones provocadas tanto en el interior del ambiente subterráneo como en su zona externa. Esto solo puede alcanzarse mediante la aplicación de metodologías de estudio que abarquen la geología, geomorfología, hidrología, hidroquímica, microclima, geo-microbiología, aerobiología y su integración en modelos de funcionamiento de las cavidades kársticas estudiadas. El objetivo final es alcanzar un conocimiento detallado de la problemática de estos sistemas naturales

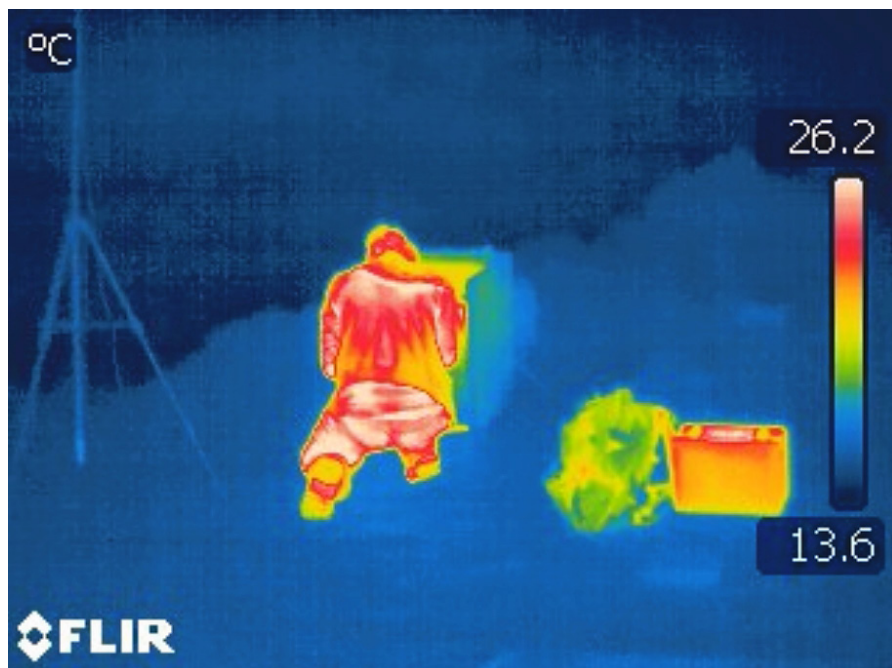


Fig. 2. Imagen termográfica de un investigador en el interior de la Sala de Policromos (Altamira).

sentaciones artísticas rupestres más emblemáticas de la cueva— por la entrada de una sola persona es evidente y cuantificable. A continuación vamos a explicar cómo se detecta ese impacto y por qué es perjudicial.

### ¿Cómo se monitorizan las condiciones ambientales de una cavidad natural para su conservación?

Las condiciones ambientales de las cuevas son muy especiales y, en general, su temperatura es muy estable y la humedad del aire está muy próxima a la saturación durante todo el año. Sin embargo es muy común que las concentraciones de algunos gases como el CO<sub>2</sub> y el Radón (<sup>222</sup>Rn) fluctúen mucho y durante algunos meses alcancen concentraciones muy elevadas. Conocer las condiciones ambientales en condiciones próximas a las naturales es fundamental

y la posibilidad de elaborar medidas de protección adecuadas.

En los últimos tiempos se ha generado una gran polémica sobre si algunas cuevas, como la de Altamira, deben o no admitir visitas turísticas. Nuestro equipo de investigación ha trabajado allí a lo largo de dos décadas, la última cuando la cueva estaba cerrada al turismo. Durante ese tiempo se han llevado a cabo estudios detallados sobre todos los aspectos citados anteriormente y, además, realizamos un análisis muy detallado del impacto provocado por el régimen de visitas turísticas que estuvo en vigor desde 1982 hasta 2002. En numerosos informes y artículos científicos previos habíamos demostrado la influencia negativa de la entrada de visitantes en la conservación de las pinturas. Antes de que los gestores de la cueva decidieran su reapertura se nos preguntó reiteradamente para que contestáramos a estas preguntas:

¿No puede entonces entrar nadie en la cueva sin perjudicar a la conservación?

¿Es perjudicial que entre un único visitante a contemplar las pinturas?

Nuestra respuesta basada en el análisis de un gran número de datos obtenidos mediante la monitorización microambiental de la cueva a largo plazo fue concluyente: el impacto provocado en el microambiente de la Sala de Policromos —la sala que contiene las repre-

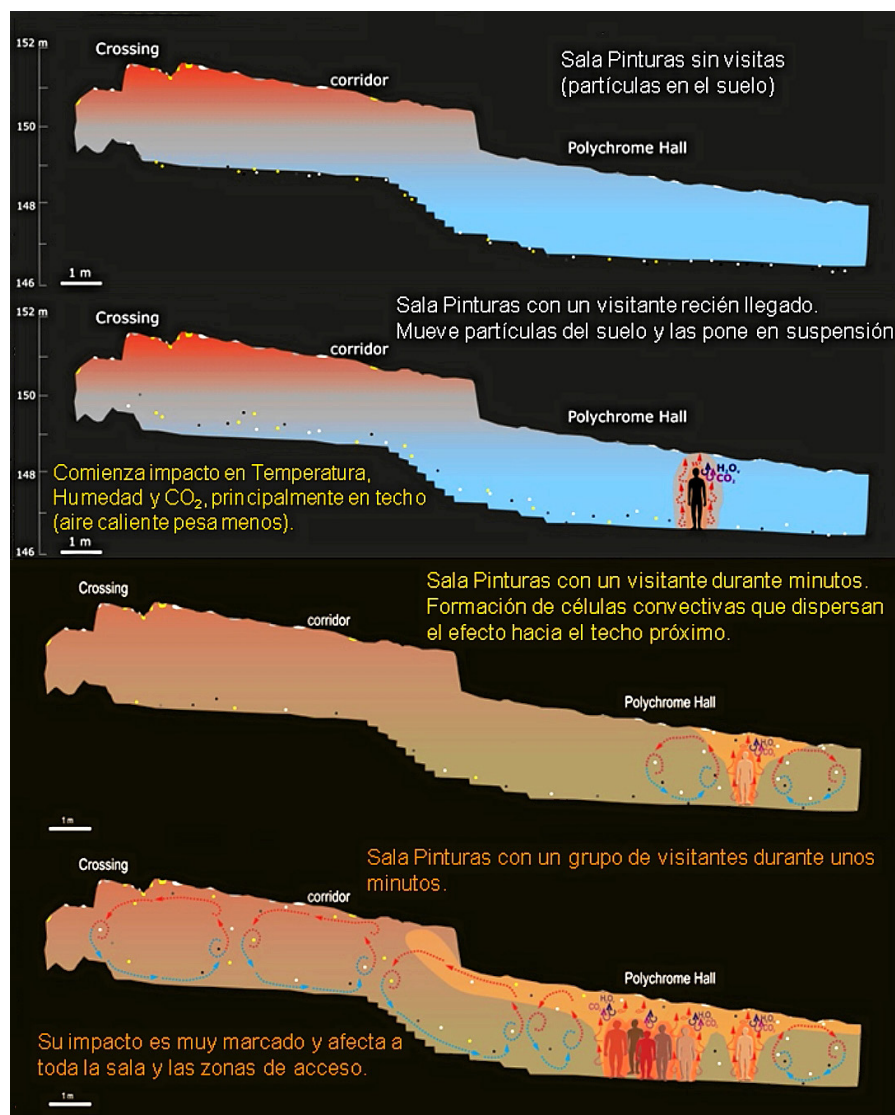


Fig. 3. Esquema del impacto que genera la entrada de visitantes a la Sala de Policromos (Altamira).





Fig. 4. Microconcauidades generadas por corrosión en zona decorada del techo de la Sala de Policromos y detalle de las colonias de bacterias blancas que las usan como hábitat preferente.

para poder determinar y cuantificar las modificaciones que implican la entrada de personas a su interior, tanto por la apertura de las puertas de acceso, como por su deambular por la cavidad.

En la foto adjunta se pueden ver los equipos instalados en la Sala de Policromos. Con ellos se monitorizaban en continuo la Temperatura del aire a tres alturas, la humedad ambiental y la velocidad del viento próxima al techo de las pinturas, la concentración de CO<sub>2</sub> y Radón y la presión atmosférica. Además, en los últimos dos años (2010-2012) se registraban los niveles de partículas en suspensión en el aire durante todo el tiempo de trabajo en su interior mediante un contador portátil capaz de registrar hasta 6 tamaños de partículas distintos en cada momento (0,3-0,5, 0,5-1, 1-3, 3-5, 5-10 y > 10 micras). Asimismo, se realizaron estudios termográficos que permitían localizar las principales fuentes de calor o frío en el interior. En la figura adjunta se observa una imagen de un miembro de nuestro equipo durante la descarga de datos en la Sala de Policromos.

Los estudios realizados demuestran que en un ambiente confinado como una cueva, las personas se comportan como fuentes de calor, CO<sub>2</sub> y vapor de agua como consecuencia de su propio meta-

bolismo y, además, provocan la puesta en suspensión de numerosas partículas (aerosoles) procedentes tanto del exterior de la cueva como del interior. El aire exhalado por la respiración humana, cargado en H<sub>2</sub>O-vapor, se encuentra a mayor temperatura que el aire de la cueva y posee menor densidad, por lo que tiende a ascender junto a las partículas en suspensión. Por tanto, se aproxima a la zona superior junto al techo que resulta una zona de condensación preferencial debido, además, a la menor temperatura de la roca. Ese es uno de los grandes problemas de cuevas en las que la mayor parte de las pinturas rupestres se encuentra precisamente en el techo.

La condensación de agua en el techo puede actuar de dos formas: acumulándose y provocando un progresivo “lavado” del techo hasta su caída al suelo, o bien, provocando un proceso de disolución progresivo de la roca caliza que actúa como soporte de las pinturas. El CO<sub>2</sub> aumentado por la entrada de los visitantes se disuelve en las aguas de goteo y de condensación. La cinética de esta reacción química requiere unos cinco minutos y, una vez empieza, el agua adquiere las características de un disolvente iniciándose los procesos de corrosión en las superficies carbonata-

das. Los pequeños huecos provocados por esa corrosión actúan además como nichos de preferencia para el establecimiento y desarrollo de las colonias microbianas.

Además del impacto directo en el microambiente de la Sala de Policromos, la entrada de visitantes provoca cambio en la relación de temperatura con las áreas próximas modificando la circulación del aire en el interior de la cueva. El aumento de temperatura en la Sala de Policromos permite la comunicación con la zona de la Entrada a la cueva donde existe una gran proliferación de colonias microbianas en paredes, suelo y techo. El desplazamiento del aire contribuye al progreso de la masa de aire con micro-partículas de agua, polvo y esporas microbianas hacia el interior de la cueva, favoreciendo de este modo los fenómenos de condensación y corrosión del techo, así como la dispersión e instalación de colonias de microorganismos hacia el interior de la cueva.

La entrada de visitas a una cavidad produce, por tanto, modificaciones sobre determinados parámetros microclimáticos que intervienen de forma directa en los procesos físico-químicos que determinan el equilibrio del sistema ambiental kárstico. Las alteraciones introducidas pueden desestabilizar la dinámica ambiental de la cavidad y desencadenar procesos de deterioro que causen graves problemas en la conservación.

Por tanto, sería importante que en el momento de descubrirse una cueva, se llevara a cabo un análisis cualitativo y cuantitativo de los impactos generados sobre los parámetros microclimáticos por la entrada de personas en un determinado ambiente kárstico (p.ej. investigadores), con el objetivo de evaluar el grado de vulnerabilidad del medio, los umbrales “aceptables” asimilados por el ambiente, así como los umbrales “perjudiciales” que originan desequilibrios que en la mayor parte de los casos son irreversibles. ●