

LAS CUEVAS HELADAS DEL PIRINEO: CRÓNICA DE UNA SORPRESA EFÍMERA

Las cuevas heladas del Pirineo son cavidades singulares, inéditas desde el punto de vista científico, que contienen acumulaciones de hielo fósil heredado de las condiciones climáticas de los últimos milenios, en riesgo inminente de desaparición como consecuencia del calentamiento climático actual.

**POR CARLOS SANCHO, ÁNCHEL BELMONTE,
MIGUEL BARTOLOMÉ, MARÍA LEUNDA
Y ANA MORENO**

Las cuevas heladas del Pirineo: crónica de una sorpresa efímera

A veces la naturaleza nos hace regalos inesperados. Las cuevas heladas son uno de ellos. Pero se trata de sorpresas efímeras, incapaces de perdurar en las condiciones climáticas actuales de ascenso de temperatura año tras año. Pequeños secretos que duermen un corto sueño geológico. A pesar de todo, las cuevas heladas de los Pirineos, aunque conocidas y exploradas por los espeleólogos desde hace casi un siglo, habían pasado prácticamente desapercibidas para la Ciencia. La primera cueva helada descubierta por el espeleólogo francés Norbert Casteret en 1926 es la Espluca Negra o Gruta Helada de Casteret. Localizada en el corazón del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, a 2650 m de altura, forma parte de la red de galerías y simas del Macizo de Monte Perdido, la montaña caliza karstificada más alta de Europa.

Junto con algunos ejemplos en la Cordillera Cantábrica, Peña Castil es, tal vez, el más significativo, el Pirineo aragonés acoge buena parte de cuevas heladas españolas. No obstante, la primera cueva helada reconocida en España fue la de Altavista en el Teide, hoy desprovista ya de hielo, que fue visitada por Alexander von Humboldt en 1799. En la Europa alpina y áreas centroeuropeas y euroasiáticas son frecuentes las cuevas heladas, del mismo modo que en zonas concretas de Estados Unidos, Canadá y China.

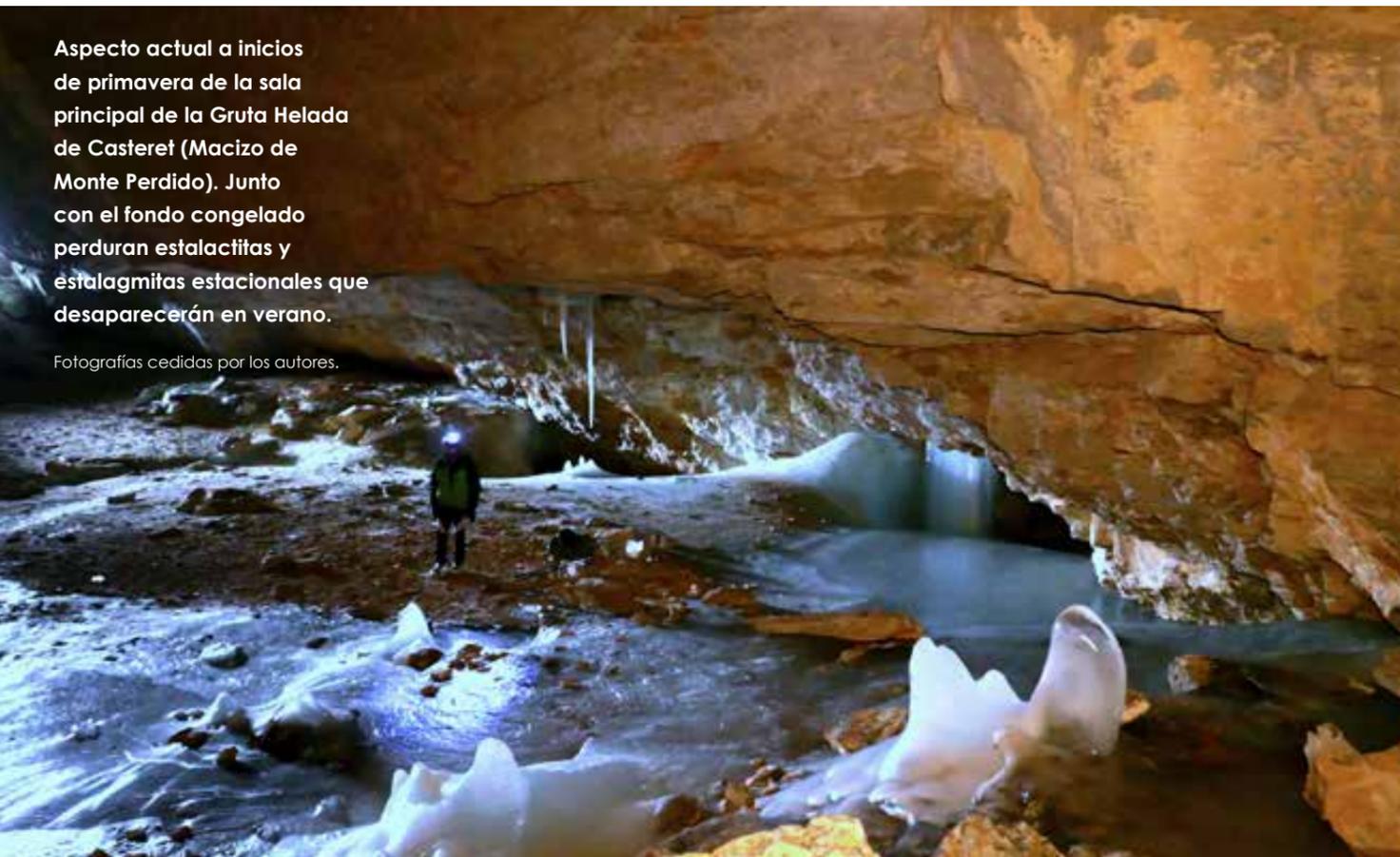
Las cuevas pirenaicas con hielo permanente no han despertado el interés de la comunidad científica hasta hace poco tiempo y, como consecuencia, no han sido objeto de investigación hasta casi la actualidad. Tal vez la escasa comunicación entre grupos espeleológicos y centros de investigación, junto con la dificultad de trabajar en alta montaña y en entornos hostiles, sean las causas principales. Los primeros

Hielo de transformación de nieve formado hace entre 6 y 2 mil años en la Cueva Helada A294 (Macizo de Cotiella). En los últimos años, la masa de hielo está sufriendo una fusión acelerada, tal y como se observa al comparar fotografías de 2011 y 2015. En la actualidad todavía se acumula nieve en la rampa de acceso durante el invierno que desaparece en verano.



Aspecto actual a inicios de primavera de la sala principal de la Gruta Helada de Casteret (Macizo de Monte Perdido). Junto con el fondo congelado perduran estalactitas y estalagmitas estacionales que desaparecerán en verano.

Fotografías cedidas por los autores.



escarceos científicos con las cuevas heladas en los Pirineos se inician en el año 2008 con el estudio de la cueva A294 localizada en el Macizo de Cotiella. Desde ese momento la investigación se ha precipitado en una cascada de intervenciones programadas en otros macizos con resultados preliminares altamente positivos.

Pero ¿qué es una cueva helada? Son cavidades en roca que contienen hielo perenne. Existen numerosas cuevas que pueden albergar hielo estacional generado en invierno y primavera, pero que desaparece totalmente a finales de verano. En este caso, no se habla de cuevas heladas. Es necesario que el balance de la masa de hielo (diferencia entre el hielo

generado y el fundido) sea positivo durante sucesivos ciclos anuales para conseguir un registro de hielo que pueda perdurar en el tiempo.

La siguiente pregunta resulta obligada. ¿Cómo se forma el hielo en el interior de una cavidad? Dos son los requisitos obvios necesarios para este menester: agua y frío. A su vez son diferentes las formas de tener agua en el interior de una cueva y también son distintos los mecanismos responsables del enfriamiento. El agua puede acceder a las cuevas en forma de nieve introducida por ventiscas y tormentas invernales, permaneciendo en zonas próximas a las entradas, pero también puede ser agua que se infiltra a partir de la fusión de nieve acumulada

Las cuevas heladas del Pirineo: crónica de una sorpresa efímera



Hielo de congelación formado en los últimos 1000 años alojado en el fondo de la Cueva Helada de Soaso (Macizo de Arañonera).

Fotografías cedidas por los autores.

“Una cueva helada registra las características de las precipitaciones de nieve originales que se deducen a partir del análisis isotópico del hielo”.

sobre los macizos que alojan las cavidades, discurre por los conductos y queda retenida en zonas encharcadas de cualquier sala o galería, donde se congela. A su vez, las temperaturas por debajo de cero se alcanzan por almacenamiento de masas de aire frío en el interior de cuevas que solo poseen una entrada, o bien por corrientes de aire a baja temperatura cuando las cuevas tienen varias entradas. Así podemos tener hielo de transformación de nieve y hielo de congelación de agua. A estos dos tipos generales de hielo hay que añadir de manera más anecdótica el formado por procesos de sublimación inversa a partir del vapor de agua existente en las cuevas.

En tercer lugar, ¿qué interés científico nos mueve en el estudio de las cuevas heladas? Básicamente se trata de descifrar la información del clima y las condiciones ambientales del pasado reciente almacenadas en el hielo. Una cueva helada registra las características de las precipitaciones de nieve originales y, a veces, incluye también restos de la vegetación circundante a la cavidad. Estas señales paleoambientales adquieren su máximo interés siempre y cuando seamos capaces de conocer la edad de formación del hielo. Por otro lado, los cambios climáticos del pasado, especialmente los acaecidos durante el Holoceno (últimos 11.700 años), constituyen una llave para estudiar el cambio climático actual y futuro que ya nos afecta.

Resulta paradójico que el conocimiento del clima del pasado derivado de la investigación de las cuevas heladas sirva para avanzar en el conocimiento del clima actual y futuro y que, a la vez, el incremento de temperatura asociado al cambio climático global esté poniendo en riesgo su supervivencia. Ésta es, por tanto, la crónica de las cuevas perdidas, de la desaparición anunciada de unos elementos naturales singulares de alto valor patrimonial y científico en la alta montaña pirenaica.

LOS INICIOS

Todo comenzó con Ánchel Belmonte, en la actualidad Coordinador Científico del Geoparque de Sobrarbe, durante el verano de 2008. Ánchel andaba ocupado en aquellos momentos avanzando en el estudio del karst del Macizo de Cotiella, como uno de los objetivos principales de su Tesis Doctoral que culminaría con brillantez un tiempo más tarde en el Departamento de Ciencias de la Tierra de nuestra Facultad.

El Espeleo Grup L’Hospitalet, como todos los veranos, estaba organizando su campaña de exploración espeleológica en Cotiella. Debido al interés de los avances en el conocimiento de la red de cuevas y simas del macizo, Ánchel quiso aprovechar la oportunidad de compartir unos días de campo con ellos. Durante los preparativos logísticos del heliportaje, desde Plan hasta el campamento localizado al pie de Cotiella (2912 m), a Ánchel le llamó la atención la falta de agua en la intendencia. Como buen conocedor de la aridez en muchos de los paisajes kársticos en altura se interesó por este detalle. Los espeleólogos Ramón Queraltó y Carles Pons, excelentes exploradores del endokarst de Cotiella, le respondieron que no era necesario transportar agua porque la obtenían de la

Cristales de hielo de sublimación inversa en una pared de la Cueva Helada de Sarríos-5 (Macizo de Monte Perdido).



Las cuevas heladas del Pirineo: crónica de una sorpresa efímera



Macrorrestos vegetales (hojas, semillas, acículas, etc.) en la Cueva Helada A294 introducidos por el viento a la vez que la nieve (Macizo de Cotiella).

Fotografía cedida por los autores.

“El hielo también contenía restos vegetales extraordinariamente bien conservados. La presencia de materia orgánica resulta determinante para conocer la edad del hielo”.

fusión de hielo acumulado en una cueva próxima al campamento. Ánchel interesado y reflexivo, pero también inquieto y un tanto escéptico, les contestó que le gustaría conocer esa masa de hielo. Y así fue como visitó la cueva A294 por primera vez. Una sensación de asombro y casi incredulidad recorrió su mente. Será la magia de Huesca. Un espectáculo geológico aparecía ante su mirada expectante. La masa de hielo presentaba capas superpuestas separadas por niveles de acumulación de fragmentos de roca. El hielo también contenía restos vegetales extraordinariamente bien conservados. Excelente. Y todos los días la visitaban en su necesidad de disponer de hielo para fundir. La inquietud y escepticismo inicial se transformaron en nerviosismo y ansiedad por contarnos la experiencia que había vivido y trasladarnos las posibles expectativas con las que había estado pensando en el silencio de las noches al pie de Cotiella. El hielo acumulado en el fondo de la cueva A294 parecía antiguo, heredado de épocas anteriores, y podría aportar datos científicos de interés paleoclimático y paleoambiental.

Unos días más tarde, Ánchel me llamó: “Oye Carlos, me gustaría comentarte una cuestión en relación con la Tesis.” Así fue cómo nos transmitió sus sensaciones. El potencial científico de la Cueva Helada A294 parecía evidente. Y nos enganchó su propuesta de investigación. Era el momento de estudiar y familiarizarnos con los depósitos de hielo en cuevas de otras cadenas de montañas y zonas de latitudes altas del mundo. De manera que preparamos un plan de trabajo. Así, en el verano de 2011 abordamos el estudio de la Cueva Helada A294 en el marco del proyecto CLIRREALES financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y fondos FEDER. La idea inicial era utilizar una pared en la masa de hielo para muestrear restos vegetales que permitieran conocer la edad del

depósito y, a la vez, extraer pequeños cilindros de hielo que, una vez fundidos, permitieran conocer las características de la nieve original. Así podríamos aventurarnos en la determinación de la cantidad y origen de las precipitaciones de nieve que cubrieron el Macizo de Cotiella en el pasado.

Por supuesto, contamos con la colaboración logística inestimable de Ramón Queraltó y Carles Pons para el acceso a la cueva y también para el muestreo. A la vez echamos mano de dos estudiantes brillantes, Pablo Santolaria y Mikel Calle, hoy excelentes geólogos formados en nuestra Facultad, oscenses aficionados a la montaña y siempre dispuestos a aprender y a ayudar. También se apuntó a la expedición, aunque en condiciones físicas un tanto precarias, un espigado muchacho de Tarazona, Miguel Bartolomé, compañero de estudios y aventuras deportivas de los otros, que ya andaba, en aquellos momentos, inquieto con el mundo de las cuevas y las estalagmitas. De hecho hoy es un doctor con gran experiencia en el uso de registros espeleotérmicos como indicadores paleoclimáticos.

Un conjunto de sensaciones, a veces contradictorias y no fáciles de explicar, se agolpaban en nuestro interior. La intranquilidad de la primera campaña científica dedicada a cuevas heladas, los nervios del helicóptero que se retrasa y no termina de llegar, la preocupación de la primera vez que vas a quedar aprisionado bajo un arnés para descender en vertical tan solo 6 m, la imagen inicial de la pared de la masa de hielo que sobrecoge y se queda grabada en el subconsciente, el frío de horas pegados a la pared de hielo que no sientes pero te paraliza, el entusiasmo por avanzar en el conocimiento científico de estos registros de hielo singulares y novedosos, la incertidumbre de los resultados... Todo un desafío en definitiva. Y así, tras tres días de trabajo fue posible describir las

características geomorfológicas de la cueva A294, los rasgos estratigráficos del depósito de hielo, seleccionar muestras de macrorrestos vegetales y recuperar muestras de hielo destinadas a análisis geoquímicos. Pocas veces se siente una satisfacción tan grande después del trabajo realizado. Reto superado. La última noche brindamos con hielo de varios miles de años, mientras Pablo fotografiaba un cielo raso lleno de estrellas. A estas alturas Miguel comenzaba a recuperarse de sus dolencias iniciales.

LOS PRIMEROS RESULTADOS

La cueva A294 fue la primera. Es modesta en dimensiones y presenta una geometría de fondo de saco. Sin embargo en su interior alberga un cuerpo de hielo excepcional. La masa helada tenía en 2010 un volumen aproximado de 250 m³. Aparece conectada con la entrada de la cueva mediante una rampa inclinada de neviza. En el lado opuesto, el cuerpo de hielo se está separando de la pared de roca. El retroceso del hielo ha favorecido la aparición de un escarpe vertical en la parte superior y extraplomado en la base. Esta pared helada de casi 10 m de altura permite una exposición casi completa de la masa de hielo. En la arquitectura estratigráfica, llama la atención la presencia de líneas curvas que se entrecruzan unas con otras, dando lugar a un aspecto muy similar a la estratificación cruzada. Aparecen como consecuencia de la intersección entre la pared de hielo y superficies curvas cóncavas hacia arriba en la masa de hielo. Estas líneas curvas aparecen remarcadas por niveles detríticos resultado de la acumulación de clastos de caliza que se desprenden del techo de la cueva por ciclos de hielo-deshielo. En los niveles de gelifractos también son frecuentes los restos vegetales introducidos por el viento a la vez que la nieve. Se trata, principalmente, de hojas de *Dryas octopetala*, acículas de *Pinus uncinata* (pino negro), restos de arbustos como *Vaccinium*

Las cuevas heladas del Pirineo: crónica de una sorpresa efímera

myrtilus (arándanos) y *Arctostaphylos uva-ursi* (gayuba), semillas de *Iris latifolia* (lirios) y tallos y espigas de Poaceae (gramíneas), además de polen de diferentes taxones leñosos y herbáceos. La presencia de restos vegetales resulta definitiva para conocer la edad del hielo. Los análisis de radiocarbono indican que la base de la acumulación alcanza los 6000 años, mientras que el techo tiene aproximadamente unos 2000. Sorprendentemente, en la literatura especializada a nivel internacional, publicada hasta el momento, las cuevas heladas contienen hielo tan antiguo como este. Podemos afirmar con seguridad que la Cueva Helada A294 es una de las más antiguas a nivel mundial conocida hasta el momento. Otro interés adicional es que se trata de la cueva helada más meridional de Europa. La masa de hielo de la A294 apuntaba inexorablemente a un origen ligado a la transformación de nieve introducida en la cueva por tormentas de nieve y ventiscas.

En definitiva, la Cueva Helada A294 es un archivo que registra la historia climática del Pirineo Central durante cuatro mil años. La interpretación basada en el análisis de la composición isotópica ($\delta^{18}\text{O}$ y δD) de las muestras de hielo indica la sucesión en el tiempo de fases seculares con tasas más altas de acumulación de hielo y otras con menor actividad. Además es posible diferenciar momentos en los que predominan las precipitaciones de invierno en forma de nieve ligadas a la circulación de frentes Atlánticos y otros con humedad proveniente del Mediterráneo. En cualquier caso la acumulación de hielo siempre coincide con la intensificación de las precipitaciones en forma de nieve y con temperaturas bajas.

La experiencia científica resultó tan estimulante y exitosa que no podíamos dejar de pensar en el resto de macizos pirenaicos con sus cuevas heladas secretas. Y a este menester nos dedicamos con el soporte del Geoparque de

Sobrarbe, del Organismo Autónomo Parques Nacionales y de los proyectos OPERA SPYRIT financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y fondos FEDER.

A estas alturas de la película, al equipo de trabajo se habían incorporado Ana Moreno y Belén Oliva, dos intrépidas espeleólogas y científicas reconocidas. También María Leunda, experta paleobotánica del Pirineo con vocación geológica. Todas ellas trabajan en el Instituto Pirenaico de Ecología. Gran equipo. Tras Cotiella, el siguiente desafío a abordar se centró en el estudio de la Gruta Helada de Casteret, en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. No podía ser de otra manera. La mítica Casteret nos esperaba. Visitamos esta cueva durante el verano de 2013 de la mano de Elena Villagrasa, geóloga y técnica del Parque. Casteret, de referencia internacional obligada, nos dejó un sabor agridulce. Era Casteret sí, pero no como la habíamos imaginado tras la revisión de fotografías históricas, recopiladas por David St. Pierre. El paso de tiempo con un clima poco favorable había dejado una fuerte impronta negativa en las masas de hielo.

Mientras, un inquieto Miguel, acompañado del siempre dispuesto Alberto Gommollón, de la Sección de Espeleología del Centro Excursionista Moncayo de Tarazona, recorrieron la Faja de los Sarrios, próxima a Casteret, en busca de las cavidades con hielo que se indicaban en las memorias de campañas espeleológicas llevadas a cabo por grupos franceses. Como resultado, varias cuevas de Sarrios ofrecieron condiciones positivas.

Durante el verano de 2014 abordamos el estudio, todavía hoy en desarrollo, de todas estas cavidades localizadas en el Macizo de Monte Perdido. La Gruta Hela-

da de Casteret, localizada a 2690 m de altura, es una galería casi horizontal de más de 250 m de largo. Próxima a la entrada aparece una gran sala de unos 40 m de ancho, cuyo fondo se encuentra cubierto por la masa helada perenne. El hielo tiene su origen en la congelación del agua encharcada en el fondo de la sala que procede de la infiltración a través de la roca, como consecuencia de la fusión del manto nival que recubre el macizo. Al aparecer todo el fondo de la sala congelado no es posible acceder hasta los niveles más bajos, y por tanto más antiguos, del cuerpo de hielo fósil. Tan solo una pequeña poza circular de fusión de 2 m de profundidad permite observar la parte superior de la acumulación. La edad obtenida es de unos 400 años, sugiriendo que el hielo más moderno conservado se acumuló durante la Pequeña Edad del Hielo. Entre las capas horizontales de hielo aparecen niveles de guano producido por colonias de córvidos

“El estudio de la mítica Gruta Helada de Casteret, en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido constituye todo un desafío”.



Faja de los Sarrios, en el Macizo de Monte Perdido, en la que se localizan las entradas de diferentes cuevas heladas.

Fotografía cedida por los autores.

Las cuevas heladas del Pirineo: crónica de una sorpresa efímera

que han habitado la cueva. El guano es rico en polen que nos habla del paisaje vegetal del entorno regional del macizo. Dominan el pino y las herbáceas. No cejamos en el intento de recuperar la información completa de este cuerpo de hielo en un futuro próximo y trataremos de extraer un testigo de hielo completo mediante un sondeador mecánico.

Entre las cuevas localizadas en la Faja de los Sarrios destaca por su interés la denominada Sarrios 1. Esta cavidad se localiza a 2795 m de altura. Muy cerca de la entrada aparece una pared vertical de hielo de 6 m de altura. En el cuerpo helado se diferencia una parte inferior de hielo masivo acumulado entre 5000 y 6000 años antes del presente. Una superficie bien

definida la separa del tramo superior constituido por hielo con estructura horizontal, finamente laminado, formado durante los últimos 500 años. Claramente se trata de un hielo de congelación de agua encharcada procedente de la infiltración superior. El polen encontrado corresponde principalmente a especies leñosas (pinos, avellanos, abedules, alisos, etc.) procedentes de los fondos de los valles colindantes.

A la misma altura en la Faja aparecen las cavidades Sarrios 6 y 5. En la primera destacan las acumulaciones dispersas en la masa de hielo de cristales de calcita denominada criogénica. Estos carbonatos precipitan por segregación de los solutos durante el proceso de congelación del agua mineralizada en pequeñas charcas. Por otro lado, Sarrios 5 está esperando su estudio. Su acceso no es sencillo y el hielo se localiza en pozos de profundidad considerable. Será necesario equipar una nueva vía de acceso con la ayuda de Dani Asenjo del EspeleoCas de Sobrarbe.

“Entre las capas horizontales de hielo aparecen niveles de guano producido por colonias de córvidos que han habitado la cueva”.

.....
Hielo de congelación formado durante la Pequeña Edad de Hielo alternando con niveles de guano (Gruta Helada de Casteret, Macizo de Monte Perdido).

Fotografías cedidas por los autores.



Hielo masivo de transformación de nieve acumulada hace 5000 años (color más claro de la base) sobre el que se apoya hielo de congelación laminado de los últimos 500 años en la Cueva Helada de Sarrios-1 (Macizo de Monte Perdido).

Durante el otoño de 2014 le tocó el turno a la cueva de Soaso, en la cara sur del Macizo de Tendeñera, a 2300 m de altura. Fue una campaña llena de contratiempos y dificultades. Caminos cortados por avenidas, canchales de alta pendiente, pinchazos inoportunos, ventiscas que desorientan durante el descenso nocturno,... Si el ascenso de todo el material hasta la entrada resultó dificultoso, el movimiento del mismo a lo largo de la galería principal fue casi penoso. Que se lo digan a María, Miguel y Alberto. Increíbles, grandes, generosos. A lo largo de unos 200 m se suceden fraccionamientos y rapeles equipados por Jordi Borrás y miembros del Espeleo Club de Gràcia. Finalmente el esfuerzo conllevó su recompensa y una espectacular masa de hielo de congelación ocupaba el fondo de una sala terminal. El cuerpo helado acumulado hace entre 1000 y 200 años, de geometría irregular y un volumen de unos 300 m³, se encuentra en franco retroceso. Las muestras de hielo se están analizando en la actualidad.

A finales del verano de 2015 estudiamos la Cueva Helada de Somola, en el Macizo de Collarada, a 2590 m de altitud. Ascendimos una mañana con brumas densas que dificultaron la aproximación del helicóptero. Las risas iniciales se tornaron en semblantes preocupados por la dificultad del heliportaje. Afortunadamente las condiciones durante el regreso fueron excelentes. En esta ocasión nos acompañó Jorge Monge, del Espeleo Club de Zaragoza, buen conocedor de la cavidad. Una masa de hielo de dimensiones considerables se encuentra cerca de la entrada. Se trata de hielo de congelación acumulado en el fondo de una sala. No faltó a la cita un murciélago perfectamente preservado en el interior de la masa helada. El hielo se ha acumulado durante el último milenio con algunas interrupciones, tal y como indican las edades de radiocarbono de algunos restos vegetales introducidos por el viento. Desde Somola, el espectáculo de la civilización iluminada a su pie sobrecoge en las noches rasas.

Las cuevas heladas del Pirineo: crónica de una sorpresa efímera

Por último en 2016, el incansable Miguel reconoce de la mano de Mario Gisbert, del Centro Espeleológico de Aragón, las acumulaciones de hielo que se preservan en las cuevas A-70 y S-10 del Macizo de Lecherines. Y aún espera Sierra Bernera para completar el transecto del Pirineo aragonés desde el este hasta el oeste. Mientras tanto, seguro que nuevas cavidades se van a ir añadiendo al inventario de cuevas heladas.

LA OPORTUNIDAD

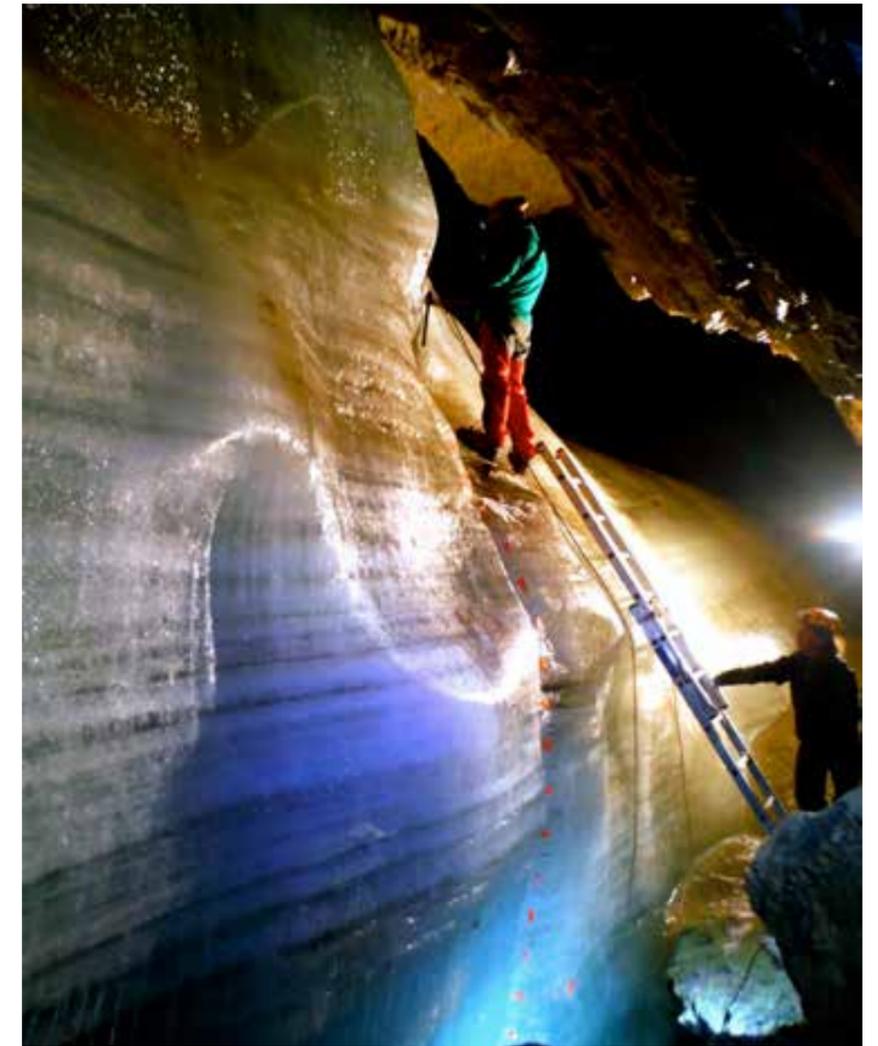
Es un hecho que el volumen de los cuerpos de hielo alojados en las cuevas del Pirineo está disminuyendo de manera general y alarmante como consecuencia del calentamiento global. No se trata de una situación excepcional, sino más bien de la evidencia de los cambios evolutivos que los sistemas geológicos experimentan

a lo largo del tiempo. Sin embargo, en algunos casos la situación es dramática. De un modo análogo a lo que sucede con los glaciares pirenaicos, la desaparición de las cuevas heladas es una realidad inminente, anunciada.

Son escasos los datos disponibles que corroboran la disminución del hielo, a la vez que permiten establecer una velocidad de desaparición. Sin embargo, el control y seguimiento del volumen de hielo durante varios años al final de verano permite una aproximación. Utilizamos marcas en el contacto entre el hielo y las paredes de las cuevas, tornillos de hielo, fotografías comparadas y, recientemente, técnicas de 3D Laser Scanning.

En las condiciones actuales el volumen de hielo de la cueva A294 de Cotiella muestra una pérdida anual de unos 12 m³. Considerando el

Muestreando el hielo de congelación de la Cueva Helada de Somola para análisis isotópicos (Macizo de Collarada).



Heliportaje final de la campaña de campo en la Cueva Helada de Somola (Macizo de Collarada).

Fotografías cedidas por los autores.

volumen total es previsible que en 20 años el hielo haya desaparecido totalmente. La Gruta Helada de Casteret es otro ejemplo significativo. En este caso, la comparación de fotografías y la documentación histórica de los últimos 50 años permite establecer un rebajamiento de la superficie del hielo que se aloja en el fondo de la cueva de 5,5 cm/año que equivale a una pérdida aproximada de unos 40 m³/año.

Las causas hay que buscarlas en las condiciones térmicas reinantes en el interior de las cuevas, que a su vez dependen de la altura, la orientación y los mecanismos de enfriamiento. Los datos de sensores de temperatura instalados en diferentes zonas de las cavidades indican que las temperaturas mínimas que se alcanzan durante el invierno rondan los -5 °C, mientras que

en verano la temperatura oscila entre 0 y 5 °C. Como consecuencia, el período de tiempo en el que las cuevas heladas se encuentran por encima de 0 °C es de 5-6 meses al año centrado en el período estival, desde mayo hasta octubre. Quiere decir, por tanto, que casi durante la mitad del año las masas de hielo están sometidas a procesos de fusión.

En las entradas y rampas de acceso de numerosas cuevas heladas aparecen acumulaciones de nieve relacionadas con precipitaciones

“En las condiciones climáticas actuales el volumen de hielo de la cueva A294 de Cotiella desaparecerá en unos 20 años”.

Las cuevas heladas del Pirineo: crónica de una sorpresa efímera

y ventiscas invernales. Sin embargo, al final del período estival, estas acumulaciones desaparecen todos los años. Por otro lado, en cuevas heladas con hielo de congelación es frecuente que se desarrollen diferentes morfologías de espeleotemas de hielo. Estalactitas, estalagmitas, columnas y cascadas de hielo son habituales. Incluso llegan a adquirir dimensiones considerables debido a la elevada velocidad con la

que se forma el hielo. Para que esto suceda es necesario que las temperaturas en el exterior de las cuevas sean superiores a 0 °C de cara a permitir la fusión de la cubierta de nieve sobre las cuevas. Se facilita así la infiltración y circulación de agua líquida que alcanza la cavidad. Esta agua puede congelarse, siempre y cuando la temperatura en el interior sea inferior a los 0 °C. Ambas circunstancias (temperatura ex-

Cascada de hielo estacional que desaparecerá durante la estación cálida (Gruta Helada de Casteret, Macizo de Monte Perdido).

Fotografías cedidas por los autores.



terior sobre cero e interior bajo cero) solo se producen durante cortos períodos de tiempo distribuidos en primavera y otoño principalmente. En cualquier caso, resulta evidente que los procesos de congelación y fusión presentan una alta funcionalidad con cambios estacionales muy rápidos, si bien, actualmente, la cantidad de hielo que se forma en un año es inferior al que se funde. Este balance de masas de hielo negativo es el que irremediamente está marcando la desaparición de las cuevas heladas.

La Ciencia ha descubierto las cuevas heladas de la Cordillera Pirenaica recientemente. Tal vez un poco tarde. Sin embargo nunca lo es. Las cuevas heladas del Pirineo bien merecen una oportunidad científica antes de su desaparición. A pesar de la dificultad de trabajar en ambientes extremos, el desafío merece la pena. Es lo que toca. Las ciencias espeleológicas y geológicas, las técnicas analíticas y nosotros mismos vamos a intentar estar a la altura de las circunstancias y responder al desafío planteado.

Carlos Sancho¹, Ánchel Belmonte¹, Miguel Bartolomé^{1,2}, María Leunda² y Ana Moreno²

1) Dpto. de Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

2) Dpto. de Procesos Geoambientales
y Cambio Global
Instituto Pirenaico de Ecología
CSIC



Estalactita de hielo estacional en la Gruta Helada de Casteret (Macizo de Monte Perdido).

Existen cuevas heladas prácticamente en todos los macizos calizos karstificados del sector central pirenaico a partir de los 2500 m de altura, inéditas desde el punto de vista científico. La mayor parte de ellas albergan en su interior hielo de congelación, pero también las hay que contienen hielo de transformación de nieve. En ambos casos, se trata de hielo fósil acumulado durante los últimos milenios y centurias. Contiene indicadores paleobotánicos e isotópicos que aportan valiosa información de las condiciones ambientales y climáticas del pasado, de alto interés en el estudio del clima futuro. En la actualidad, el volumen de estas masas de hielo está sufriendo un retroceso acelerado por el calentamiento global, de manera que en pocos decenios habrán desaparecido. Ante estas perspectivas, las cuevas heladas requieren una atención investigadora urgente.