

EL SISTEMA CUEVA MAYOR-CUEVA DEL SILO: UN ESTUDIO MORFOGENÉTICO DEL ENDOKARST DE LA SIERRA DE ATAPUERCA (BURGOS, ESPAÑA)

THE SYSTEM CUEVA MAYOR-CUEVA DEL SILO: ONE STUDY MORPHOGENETIC OF THE ENDOKARST OF SIERRA DE ATAPUERCA (BURGOS, SPAIN)

A. I. ORTEGA MARTÍNEZ ¹, A. PÉREZ-GONZÁLEZ ², M. A. MARTÍN MERINO ³, J. M. CARRETERO DÍAZ ¹ y J. L. ARSUAGA FERRERAS ⁴

¹ Área de Paleontología. Dpto. de CC Históricas y Geografía. Ftad. de Humanidades. Universidad de Burgos. 09001 Burgos. e-mail: paleonto@ubu.es

² Dto. de Geodinámica. Ftad. de CC Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid.

³ Grupo Espeleológico Edelweiss. Excm. Diputación Provincial de Burgos. 09071 Burgos.

⁴ Dto. de Paleontología. Ftad. de CC Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid.

RESUMEN

El sistema de Cueva Mayor-Cueva del Silo, desarrollado en las calizas del Cretácico superior de la Sierra de Atapuerca, representa un karst formado bajo condiciones freáticas, con tres niveles de galerías y flujos de drenaje hacia el W, con Cueva del Silo como surgencia principal. Sucesivos descensos del nivel de base liberaron los conductos superiores, desarrollando espeleotemas y ocupando sus entradas los animales y homínidos que vivían en la sierra, desde hace más de un millón de años. Reactivaciones kársticas, de cierta intensidad, vinculan el nivel de terraza de las cuevas del Silo y Peluda, a cotas de 985-978 m.s.n.m., con un flujo del Arlanzón correlacionado con la T5 (+44-46 m), del inicio del Pleistoceno medio, evento con el que relacionamos los procesos erosivos detectados en los niveles superiores. Desde el final del Pleistoceno medio estamos ante un karst inactivo, con algunos sectores de entrada fosilizados, y durante el Holoceno únicamente destaca la actividad antrópica.

ABSTRACT

The Cueva Mayor-Cueva del Silo karst system of the Sierra de Atapuerca was developed under freatic conditions in Upper Cretaceous limestone. It is formed by three different levels of passages, and the flow direction (drainage flow) was oriented westwards, with the Cueva del Silo acting as a main spring. Successive drops in the water table resulted in the abandonment of the upper passages, an intensive formation of speleothems and, finally, in the opening to the out side of some of these galleries at least one million years ago. Since then, these entrances were used by Pleistocene carnivores and humans. A dramatic flood (intensive karstic reactivation) can be correlated with the Cueva del Silo and Cueva Peluda inner terraces at 985-978 m. a.s.l., and with the T5 (+ 44 - 46 m.) terrace level of the Arlanzón river, presumably of early Middle Pleistocene age. Some of the erosion markings detected in the upper galleries can be correlated with this moment. Since the late Middle Pleistocene, the Atapuerca karst system can be considered as a relict karst with most of the entrances fossilised, and during the Holocene only the anthropic activities are important.

PALABRAS CLAVE: Karst, Sierra de Atapuerca, Pleistoceno, Cueva Mayor, Cueva del Silo.

KEY WORDS: Karst, Sierra de Atapuerca, Pleistocene, Cueva Mayor, Cueva del Silo.

1. INTRODUCCIÓN

La Sierra de Atapuerca es un discreto relieve calizo, localizado a unos 15 Km al E de la ciudad de Burgos, cuya cumbre, sensiblemente aplanada, presenta las cotas más elevadas en Matagrande (1.082) y San Vicente (1.085) (cotas tomadas de las hojas 200-III y 201-IV). Constituye el extremo NW del Sistema Ibérico y se corresponde con una estructura anticlinal tumbada, vergente al Norte, que se sitúa en el borde NE de la Cuenca del Duero, en el sector conocido como el "Corredor de la Bureba", pasillo de enlace con la Cuenca del Ebro (Olivé *et alii.* 1990; Pineda y Arce, 1997).

El anticlinal de la Sierra resalta como relieve emergido sobre la cuenca continental terciaria del Duero, realizado por impulsos tectónicos durante el Mioceno y el Plioceno (Pérez-González *et alii.* 1999). En el entorno de la Sierra destacan los planos calizos del Mioceno medio y superior y las superficies Pliocuaternarias, cuyos retazos se conservan en el borde meridional de la Sierra de Atapuerca, sobre la vertical de la Sala de los Cíclopes, a cotas superiores a los 1.020 m, o en el replano que alcanza los 1.015-1023 m existente en la falda sudeste de la sierra, al oeste del pueblo de Zalduendo (Olivé *et alii.* 1990). Este paisaje ha sido desmantelado en parte por la disección fluvial de la red hidrográfica atlántica, que debió afectar a esta zona del borde de la Cuenca posiblemente desde el límite Plio-Cuaternario (Pineda y Arce 1997, 62).

El río Arlanzón constituye la principal red fluvial, en la actualidad es un valle asimétrico, que discurre al SW de la Sierra de Atapuerca hacia Ibeas de Juarros (940 m), con un gran número de terrazas escalonadas en su margen

derecha y fuertes escarpes en su margen izquierda. Benito y Pérez-González (2002: 381) han constatado 15 niveles de terrazas, de las que la T1 a T3/T4 son presumiblemente del Pleistoceno inferior, la T5 a T9 deben corresponderse al Pleistoceno medio y la T10 a T13 al Pleistoceno superior, constituyendo la T14 y T15 subniveles de la llanura aluvial actual.

2. MODELADO KÁRSTICO DE LA SIERRA DE ATAPUERCA: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL KARST

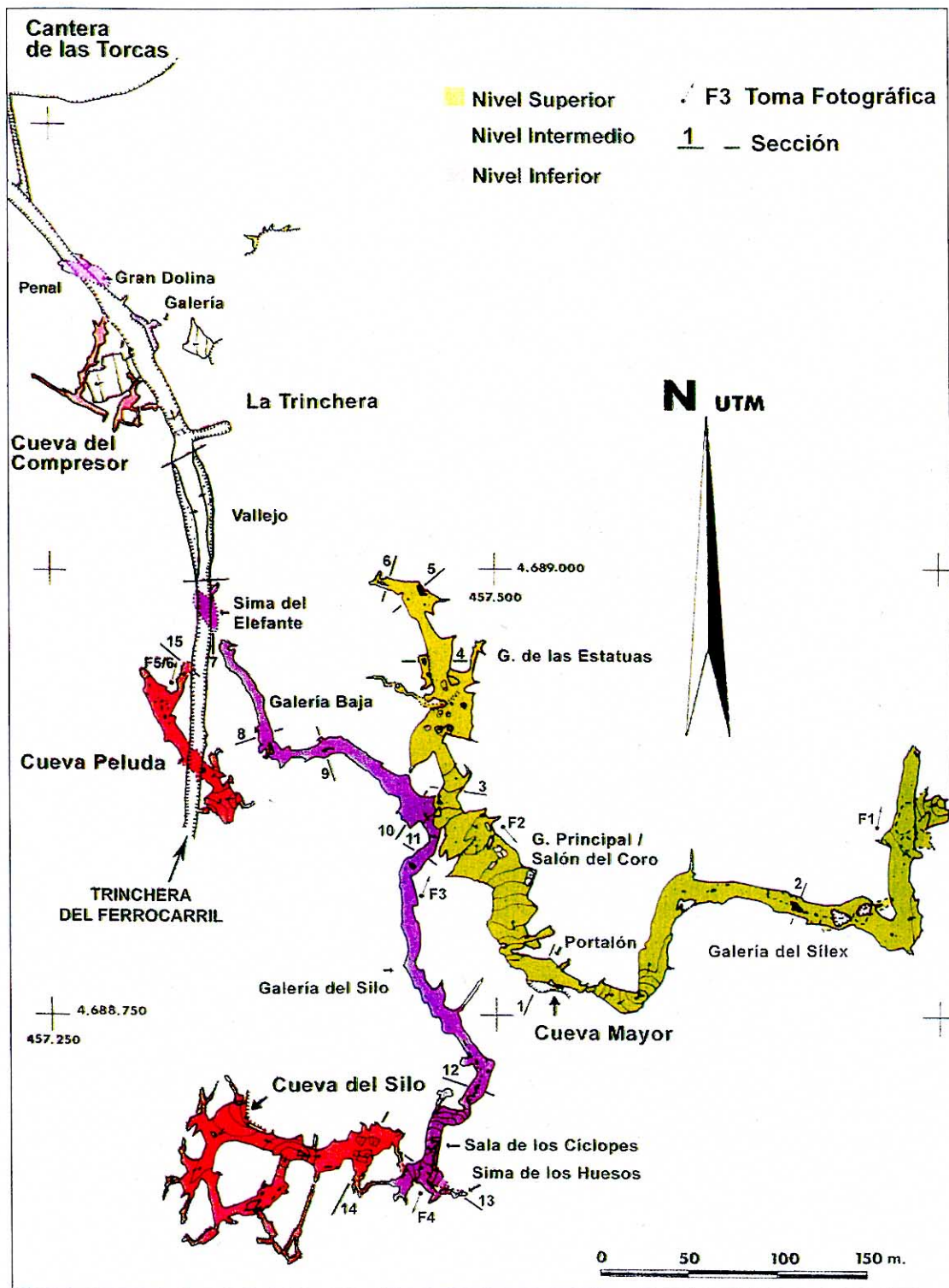
Los antecedentes en el conocimiento del karst de la Sierra de Atapuerca se deben al trabajo que sobre Cueva Mayor realizaron los ingenieros de minas Sampayo y Zuaznávar, en 1868, y a los realizados por el Grupo Espeleológico Edelweiss desde los años 50 (Martín Merino *et alii.* 1981).

El karst de la Sierra de Atapuerca se desarrolla en las calizas y dolomías cretácicas del Turoniense medio-superior, Coniaciense y Santoniense inferior, de unos 45-70 m de espesor. Presenta las formas típicas de un karst freático, caracterizado por la importancia de sus formas endokársticas, localizadas en el sector occidental de la sierra, y el escaso desarrollo de las formas exokársticas de infiltración, caracterizadas por un pequeño conjunto de dolinas poco marcadas en la cumbre del Matagrande y en los conglomerados oligocenos que aparecen en contacto con la sierra, muchas de ellas están seccionadas por la red fluvial. Un lapiaz semicubierto se observa en las laderas de la sierra.

El endokarst de la Sierra de Atapuerca está representado principalmente por el Sistema

Figura 1. karst de la Sierra de Atapuerca (Ibeas de Juarros – Atapuerca, Burgos). Planimetría realizada por el Grupo Espeleológico Edelweiss. Destaca el Sistema de Cueva Mayor-Cueva del Silo y Cueva Peluda, que presenta tres niveles de galerías. El piso superior (en verde), que da acceso al sistema a través del Portalón de entrada, está compuesto por las galerías del Sílex, Principal-Salón del Coro y de las Estatuas. El segundo nivel (en morado) está formado por la antigua entrada de Sima del Elefante y las galerías Baja y del Silo, que finaliza en la Sala de Cíclopes (antiguo exutorio). El tercer piso (en rosa) consta de los conductos de las cavidades del Silo y Peluda, así como de la Sima de los Huesos en Cueva Mayor. El conjunto de cavidades situadas en la Trinchera, al norte del vallejo, corresponde a otro sistema (Cueva del Compresor y los rellenos de Gran Dolina-Penal y Galería). La Trinchera representa al trazado curvo del ferrocarril que seccionó las calizas de la Sierra de Atapuerca y conecta con la Cantera de las Torcas. El Vallejo corresponde a un pequeño valle que desciende desde el Alto de San Vicente hasta el Valle de Valhondo, constituyendo un límite septentrional al Sistema de Cueva Mayor-Cueva del Silo conocido.

Figure 1. Karst of the Sierra de Atapuerca (Ibeas de Juarros-Atapuerca, Burgos). Plan produced by the Grupo Espeleológico Edelweiss highlighting the Cueva Mayor-Cueva del Silo system and Cueva Peluda, which presents three levels of galleries. The upper level (in green), which provides access to the system through the Portalón entrance, is composed of the Sílex, Principal-Salón del Coro and the Statues galleries. The second level (in purple) is formed by the ancient entrance from the Sima del Elefante and the Baja and Silo galleries, which ends in the Sala de Cíclopes (ancient surface access). The third level (in pink) consists of the conduits of the Cueva del Silo and Cueva Peluda, as well as that of the Sima de los Huesos in Cueva Mayor. The group of cavities situated in the Trinchera, to the north of the vallejo, corresponds to a different system (Cueva del Compresor and the sediments of the Gran Dolina-Penal and Galería). The Trinchera represents the curved route of the railroad which sectioned the limestone of the Sierra de Atapuerca and connects with the Torcas Quarry. The Vallejo corresponds to a small valley which descends from the Alto de San Vicente to the Valley of Valhondo, constituting a northern limit of the Cueva Mayor-Cueva del Silo system.



Cueva Mayor-Cueva del Silo, objeto de nuestro estudio. Es una red subterránea de 3.700 m de desarrollo topografiado que se constituye en una de las mayores cavidades conocidas de la Cuenca del Duero. Con este sistema se relaciona Cueva Peluda que, con un desarrollo topografiado de unos 380 m, evoluciona paralela y a escasos metros de una de sus galerías (Galería Baja) (Figura 1).

En el sector norte de la Trinchera del Ferrocarril y en los diferentes frentes de canteras existe un conjunto de conductos y cavidades, cuyas secciones aparecen totalmente colmatadas, que actualmente permanecen aisladas del sistema Cueva Mayor-Cueva del Silo, pero que tuvieron una génesis común. Por otra parte la presencia de pequeñas cuevas y abrigos de escaso desarrollo diseminados por la superficie de la sierra son



indicio del desarrollo de la infiltración kárstica superficial.

El análisis de la preparación tectónica de la Sierra de Atapuerca, que prefigura la disposición de la ulterior red tridimensional de conductos y de su acuífero kárstico, ha puesto de manifiesto la existencia de cuatro modas direccionales preferentes (Eraso et alii., 2001a), que son contiguas pero no coincidentes con las detectadas en las direcciones de los conductos topografiados por el Grupo Espeleológico Edelweiss (Martín Merino et alii., 1981), obteniendo un error máximo entre las diferentes modas del 3,9%. Las direcciones preferenciales observadas en los conductos se ajustan a la NNE-SSW, WNW-ESE y NW-SE.

2.1. SISTEMA CUEVA MAYOR-CUEVA DEL SILO

Estamos ante una cavidad de origen freático, en la que la mayor parte de los conductos se han formado en régimen anegado, con lenta velocidad de circulación, predominando las galerías paragenéticas con disolución preferencial en la bóveda y abundante deposición de sedimentos arcillosos (Renault, 1971; Collignon, 1988; Gillieson, 1996).

Figura 2. Tramo final de la Galería del Sílex. Esta fotografía muestra en primer plano una gran columna estalagmítica (de unos de 15 m de altura), que se desarrolla en el importante vaciado de sedimentos de interior. Esta reactivación ha dejado un piso falso de concreción (en segundo plano), a una cota próxima a los 1015 m que llega a cegar el conducto (Foto: M. A. Martín, Arch. G.E.E.).

Figure 2. Final section of the Galería del Sílex. This photograph shows in the foreground a large stalagmitic column (some 15 m in height) which developed in the emptying of the interior sediments. This reactivation has left a false concretion floor (in the background) at a height near 1015 m which seals the conduit (Photo: M. A. Martín, Arch. G.E.E.).

Se trata de conductos de desarrollo subhorizontal, sin claro predominio de la direccionalidad de sus galerías, aunque los sentidos de circulación del agua, observables en las huellas de corriente (*scallops*), indican una marcada circulación subterránea hacia el borde occidental de la sierra, en donde se documentan dos surgencias kársticas (Eraso et alii., 2001b, 66). La Cueva del Silo marca una zona de descarga principal, que debió actuar como colector de los diferentes ejes de circulación hídrica del sistema kárstico, registrando igualmente las paleovelocidades más elevadas del mismo con valores cerca de la surgencia de 25 y 26 cm/seg. A 500 metros al norte de este enclave se localiza el conducto de Dolina-Penal, en cuyas paredes se documenta la surgencia de Penal, de menor importancia y en gran parte aislada del sistema.

Estos antiguos exutorios kársticos, localizados en la cabecera del valle de Valhondo, fueron en origen el nacimiento del río Pico, situado en la actualidad 1 km aguas abajo, pero que, en momentos de grandes precipitaciones, como en las inundaciones ocurridas en la comarca el 4 de marzo de 2001, su nacedero puede remontarse hasta apenas 100 m de la Cueva del Silo, prácticamente en el contacto con las calizas cretácicas.

Si bien actualmente este sistema sólo cuenta con dos bocas de entrada, las que dan su nombre al mismo, conocemos la existencia de, al menos, otros seis accesos que se encuentran colmatados por sedimentos, la mayoría de ellos desde momentos pleistocenos. En conjunto, se trata de una red subterránea cuyos conductos se distribuyen en tres niveles nítidamente diferenciados: el nivel superior, al que corresponderían la Galería del Sílex, el Salón del Coro y la Galería de las Estatuas, el nivel intermedio, con la Galería Baja y Galería del Silo, y el nivel inferior en el que se encuadrarían la Sima de los Huesos, la Cueva del Silo y Cueva Peluda (Figura 3).

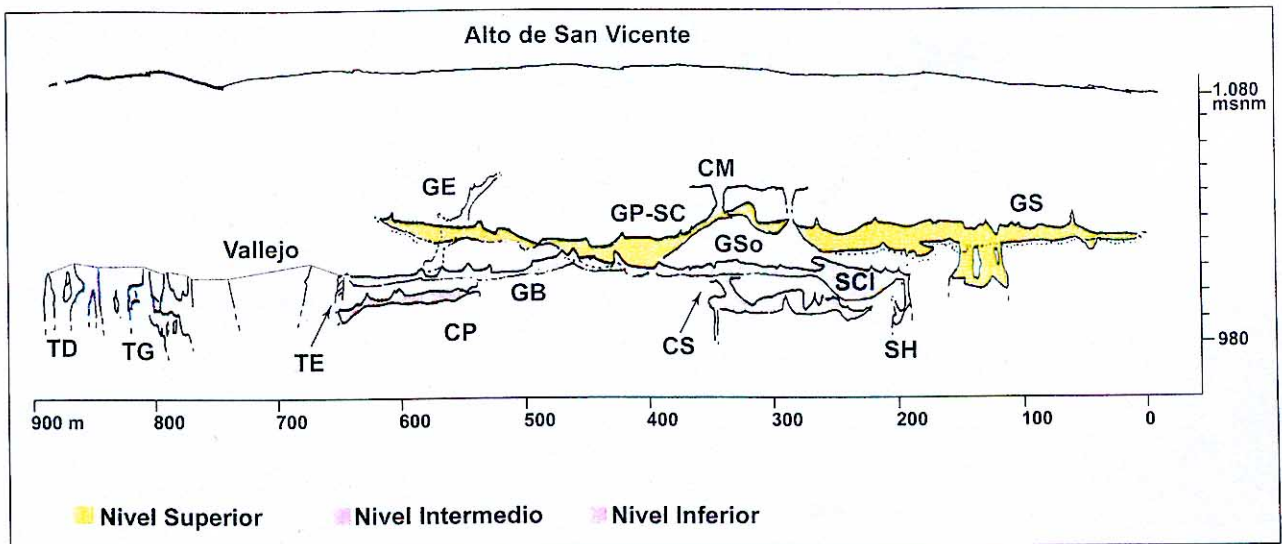


Figura 3. Esquema Norte-Sur del perfil del Sistema kárstico de Cueva Mayor-Cueva del Silo, en el que se observan la presencia de tres niveles (superior-verde, intermedio-morado e inferior-rosa). La C corresponde a cuevas: CM: Cueva Mayor; CP: Cueva Peluda; CS: Cueva del Silo. La G identifica a los conductos o galerías, GB: Galería Baja; GE: Galería de las Estatuas; GS: Galería del Sílex; GP-SC: Galería Principal-Salón del Coro; GSo: Galería del Silo; SC: Sala de los Cíclopes. La T identifica a yacimientos (secciones colmatadas) localizados en la Trinchera del Ferrocarril: TD: yacimiento de Gran Dolina; TE: yacimiento de la Sima del Elefante; TG: yacimiento de Galería. El Alto de San Vicente representa a la cumbre meridional de la Sierra de Atapuerca y el Vallejo corresponde a un pequeño valle que desciende desde dicho alto hasta el Valle de Valhondo.

Figure 3. North-South Profile plan of the Cueva Mayor-Cueva del Silo karstic system, in which the presence of three levels (upper-green, middle-purple and lower-pink) can be seen. The C corresponds to caves, CM: Cueva Mayor; CP: Cueva Peluda; CS: Cueva del Silo. The G identifies the conduits or galleries, GB: Galería Baja; GE: Galería de las Estatuas; GS: Galería del Sílex; GP-SC: Galería Principal-Salón del Coro; GSo: Galería del Silo; SC: Sala de los Cíclopes. The T identifies sites (filled sections) found in the Trinchera del Ferrocarril, TD: Gran Dolina; TE: Sima del Elefante; TG: Galería. The Alto de San Vicente represents the southern peak of the Sierra de Atapuerca and the Vallejo corresponds to a small valley which descends from this peak to the Valley of Valhondo.

Estos niveles aparecen colgados de la red hidrográfica actual del Arlanzón, sobre los 60 m del techo del piso superior y los 35 m de la base del nivel inferior, que los relaciona con el encajamiento y reorganización hídrica de la Cuenca del Duero en este sector.

Observamos como los diferentes pisos del karst se enrasan con los sucesivos niveles de terrazas altas del Arlanzón. Indudablemente el incremento del gradiente hidráulico motivado por la circulación del Arlanzón desde los niveles superiores que marcan los techos del endokarst, aumentaría sensiblemente, por disolución y erosión, el tamaño de los conductos preexistentes.

2.1.1. EL NIVEL SUPERIOR

En una hombrera situada a 1.036 m se localiza una dolina de hundimiento, generada a partir de una fractura que conduce al Portalón de Cueva Mayor, dando acceso directo al nivel superior del Sistema (Figura 4). Su morfología actual es muy diferente de la que debió tener en la primera mitad del Holoceno, cuando una única y pronun-

ciada rampa salvaría los 25 m de desnivel existentes desde la entrada hasta la base del Salón del Coro. La práctica colmatación del sector N del

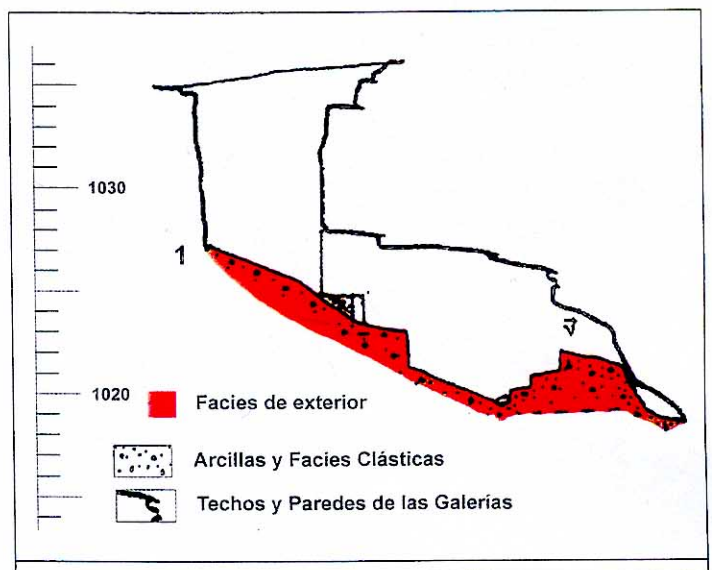


Figura 4. Sección 1. Portalón de entrada de Cueva Mayor, abierta en una fractura.

Figure 4. Cross-section 1. Portalón entrance to the Cueva Mayor, opened in a fracture.

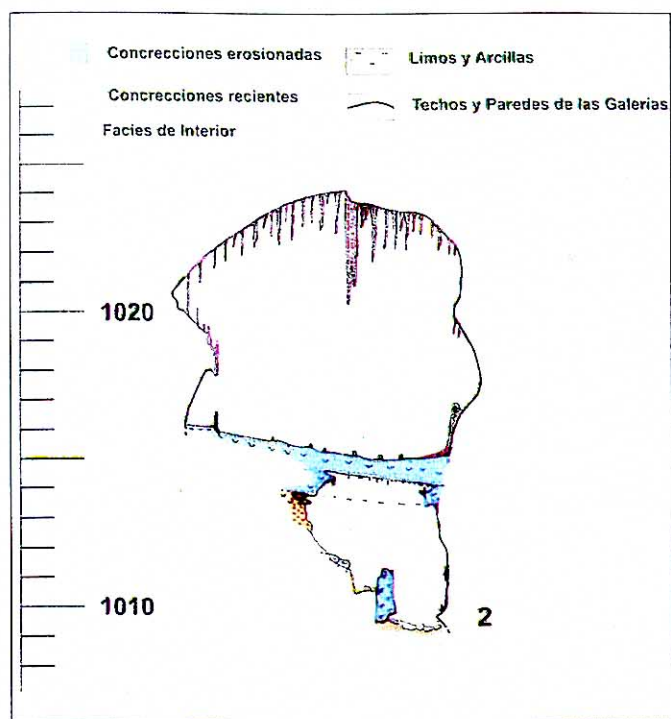


Figura 5. Sección 2, Galería del Sílex, en la que se observa un piso falso de concreción y el vaciado de los sedimentos de las facies de interior en su base.

Figure 5. Cross-section 2, Galería del Sílex, in which a false concretion floor and the emptying of the sediments of interior facies at its base can be observed.

vestíbulo de entrada, provocó su posterior tendencia a la horizontalidad y la individualización del Portalón y el Salón del Coro como dos ensanches enlazados por un corto y estrecho tramo de galería (García et alii. 2001).

El nivel superior es el conducto más amplio de toda la cavidad. Está compuesto por un eje subhorizontal de techos planos, formado por los tramos de la Galería del Sílex, Salón del Coro-G. Principal y Galería de las Estatuas. Sus secciones superan a menudo los 10 metros de anchura y los 15 metros de altura, alcanzando en algunos puntos alturas de 25 m. Sus techos se sitúan en torno a los 1.020-1.015 m de altitud, que evidencian la existencia de un antiguo nivel de base equiparable con la terraza más alta del río Arlanzón (T1 de +80 m) (Benito y Pérez-González 2002, 382). Los puntos más bajos de este nivel se localizan en la base de una sima de la Galería de las Estatuas (1.001 m), en los de las simas de la Galería del Sílex (995 m) y bajo uno de los grandes bloques caídos en el Salón del Coro (988 m).

Este conducto se inicia en el extremo septentrional de la Galería del Sílex, en un punto cegado por la abundancia de espeleotemas y techo plano, con cotas de 1.017,5 m de altitud, y

concluye topográficamente en el final de la Galería de las Estatuas, cuya sección está colmatada por sedimentos y concreciones y bóveda ascendente, que alcanza los 1.025 m de altitud, próxima a la superficie, en relación topográfica con el vallejo que desde la cumbre del San Vicente desciende hacia el valle de Valhondo.

Tras los trabajos originales de Eraso et alii. (2001b) y las posteriores revisiones efectuadas por nosotros parece confirmarse la existencia de un único conducto zigzagante cuyo flujo hídrico vendría del final de la Galería del Sílex hacia el Salón del Coro y la Galería de las Estatuas, adoptando finalmente un sentido de circulación preferente SSE-NNW.

El sentido de drenaje que marca el conducto del nivel superior podría tener su correspondencia con la surgencia de Dolina-Penal, la segunda en importancia del karst (Eraso et alii 2001b, 66), de la que tan sólo dista 225 m, aislada por la incisión del vallejo anteriormente citado. Por otra parte, la sección vista en el yacimiento de Dolina-Penal, superior a los 18 metros de altura, encaja con los grandes conductos descritos en el nivel superior.

El conducto superior se caracteriza por presentar una importante litogénesis, lo que le proporciona gran belleza natural, con columnas estalagmititas de más de 15 m de altura para la Galería del Sílex y hasta los 10 m en la Galería de las Estatuas; la profusión de espeleotemas es tal que en varios puntos se llega a obstruir el conducto.

Importantes muestras de reactivación kárstica se evidencian en la reexcavación de los sedimentos de interior y en la disolución de las concreciones, agentes ambos que han dejado aisladas y colgadas a gruesas costras pavimentarias (Llopis Lladó 1970), formando en la Galería del Sílex pisos falsos de concreción a una cota de 1.015 m (Figura 5), con vaciados de hasta 20 m de profundidad (Figura 2). En la Galería de las Estatuas también son notorias las grandes columnas estalagmititas con claras evidencias de procesos erosivos mecánicos y de intensa disolución bajo condiciones freáticas. En la lateral Balcón de Pilatos se vuelven a observar retazos de una costra estalagmítica colgada por encima del piso actual y en el sector del Salón del Coro restos de coladas pavimentarias aparecen colgadas a cotas próximas a los 1.015 m (Figura 6). Para Hill y Forti (1986) y Maire (1990) la disolución de las concreciones se relacionan con fases de corrosión-erosión de los espeleotemas producto de flujos de aguas que inundan el conducto debidos

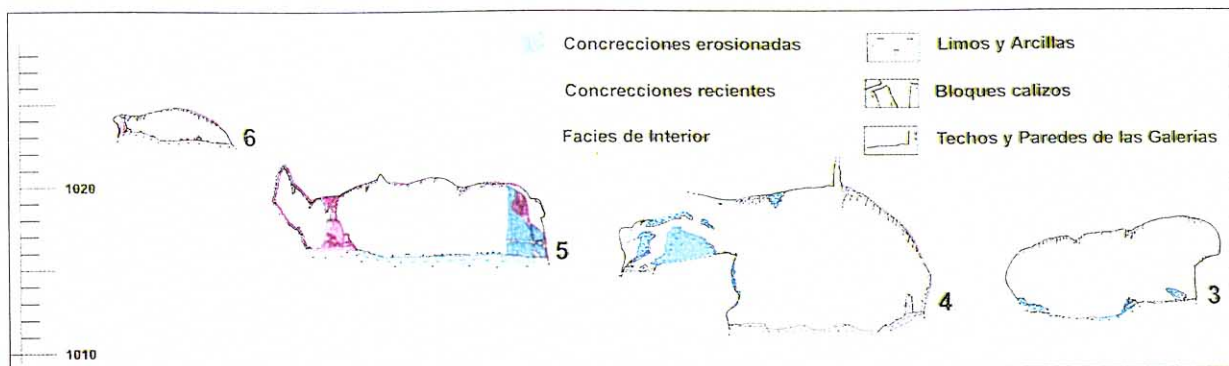


Figura 6. Secciones de la Galería de las Estatuas, dispuestas de Sur a Norte, correspondiente al primer piso de galerías. La sección 3 marca el inicio de este conducto, y destaca por la presencia de pequeños clastos calizos procedentes de la descamación de las paredes. La siguiente sección (4) muestra el importante volumen que caracteriza a esta galería, caracterizada por bóvedas de equilibrio. En esta sección destaca el aporte de una lateral alta casi cegada por un potente espeleotema, que posteriormente fue erosionado. La sección 5 muestra como el conducto pierde dimensiones, por la acumulación de sedimentos que están formando pendiente hasta colmatar y obturar totalmente la galería. La sección 5 además presenta una gran concreción erosionada. Por su parte la sección 6 corresponde a la colmatación de una antigua entrada, localizada muy próxima a la superficie, en las inmediaciones del Vallejo que asciende al Alto de San Vicente.

Figure 6. Cross-sections of the Galería de las Estatuas, oriented from South to North, corresponding to the first floor of galleries. Section 3 marks the beginning of this conduit, and stands out for the presence of small limestone clasts deriving from the fracturing of the walls. The following section (4) shows the significant volume which characterizes this gallery, characterized by stable roof vaults. The contribution of a tall side nearly blocked by a large speleothem, which was later eroded, stands out in this section. Section 5 shows how the conduit reduces its dimensions due to the accumulation of sloping sediments which fill up and close the gallery. Section 5 also shows a large eroded concretion. Section 6 corresponds to the filling up of the ancient entrance, located very near to the surface, in the immediate vicinity of the Vallejo which ascends to the Alto de San Vicente.

a los ascensos hidrológicos producidos en grandes avenidas, probablemente durante períodos interglaciares.

También observamos en este nivel la presencia de grandes espeleotemas rotos y/o desplazados (Figura 6), tal vez relacionados con la erosión mecánica producida por la acción agresiva de las aguas sobre los sedimentos que los sustentaban (Llopis Lladó 1970; Maire 1990), o quizás debido a cierta actividad neotectónica (Delanoy y Caillault 1998).

El Salón del Coro, localizado en el sector central del conducto, se caracteriza por presentar el mayor espacio volumétrico de la cavidad, así como por la presencia de grandes bloques de tamaño decamétrico desprendidos de paredes y bóvedas, consecuencia de importantes procesos graviclásticos. Por debajo de uno de estos bloques se alcanza una cota de 988 m, 12 m inferior a la base actual del cono de derrubios localizada a los 1.000 m (Figura 1 y Figura 7).

En la unión del Salón del Coro con la Galería de las Estatuas se observa la descamación de la superficie calcárea original del conducto, ocasionando una brecha de cantos sub-angulosos que se prolonga hasta el inicio de la Galería Baja, ya en el nivel intermedio, que proporciona una secuencia en la que los sedimentos arcillosos están en la base, a cuyo techo aparecen algunos

fragmentos de huesos y pequeños clastos calizos, seguida de una costra estalagmítica y de lechos de debris angulosos, heterométricos, calizos, apareciendo parcialmente recubiertos por una fina costra estalagmítica. Estos derrubios están vinculados con fenómenos crioclásticos (Eraso 1965) en relación con una corriente de aire for-



Figura 7. Vista de la Galería Principal-Salón del Coro. Esta sala destaca por su gran volumen y por la presencia de bloques decamétricos que jalonan su tránsito (Foto: M. A. Martín, Arch. G.E.E.).

Figure 7. View of the Galería Principal-Salón del Coro. This gallery stands out for its large volume and for the presence of 10m blocks which mark the passageway (Photo: M. A. Martín, Arch. G.E.E.).

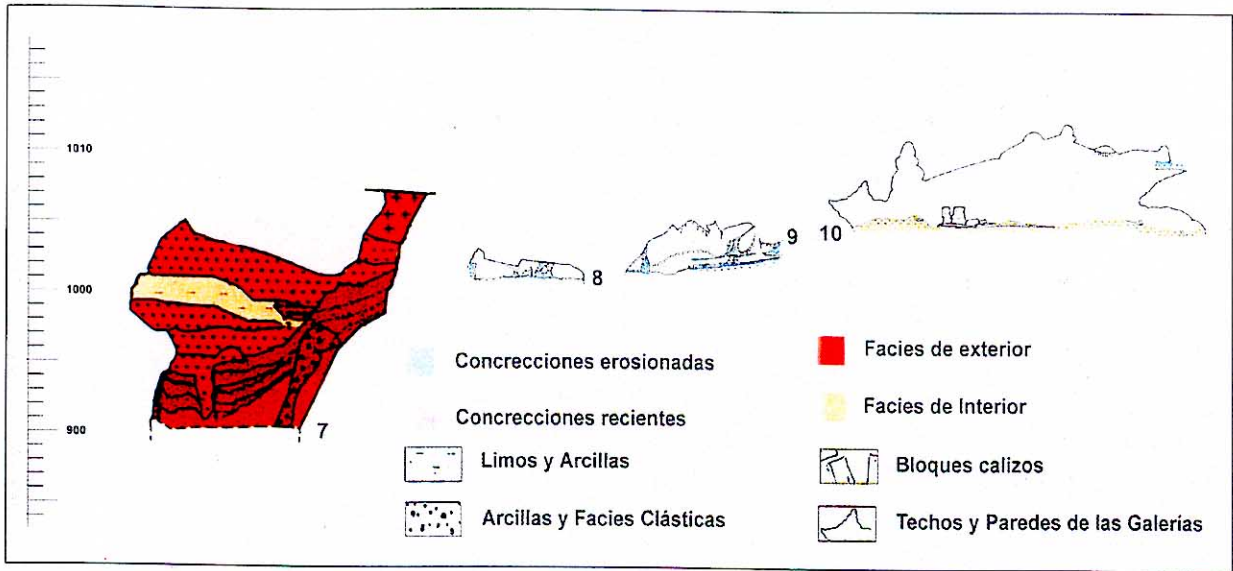


Figura 8. Secciones de la Galería Baja, que se inician con la sección 7, del relleno de la Sima de Elefante visto en el corte de Trinchera. Se trata de una antigua entrada al segundo piso del sistema, localizada en el lateral del Vallejo. Secciones 8 y 9 corresponden a los tramos intermedios de esta galería que destacan por sus pequeñas dimensiones, así como por presentar concreciones erosionadas y colgadas. La sección 10 presenta grandes proporciones, en relación con el contacto con el piso superior. Además en este tramo se observan bloques del techo caídos y las concreciones presentan erosionadas sus superficies.

Figure 8. Sections of the Galería Baja, which begin with section 7, the infilling of the Sima del Elefante seen in the profile in the Trinchera. This is an ancient entrance to the second level of the system, located to the side of the Vallejo. Sections 8 and 9 correspond to the middle sections of this gallery which stand out for their small dimensions, as well as for presenting eroded and hanging concretions. Section 10 presents large proportions, in relation to the contact with the upper level. Further, in this section fallen ceiling blocks can be observed and the concretions present eroded surfaces.

mada por la existencia de varias entradas al sistema (como la actual entrada del Portalón y las antiguas entradas de la Galería de las Estatuas y las entradas de Galería Baja y del Silo). Dicho fenómeno podría haberse visto favorecido por la mayor influencia de las condiciones climáticas del exterior en los momentos previos a la sedimentación holocena del cono de derrubios procedente del Portalón.

Este nivel superior presenta dos galerías elevadas, probablemente originadas por la infiltración. Una de ellas, colgada sobre el Portalón de Cueva Mayor, sobrepasa los 1.030 m de altitud, constituyendo el conducto más elevado del complejo la lateral occidental de la Galería de las Estatuas, en donde se localiza una antigua entrada actualmente colmatada y concrecionada, originada a una cota de 1.042 m, abundando en sus paredes las marcas de zarpazos de oso. La base de esta galería alcanza los 1.001 m, tras superar una costra estalagmítica colgada, enlazando con los techos del nivel intermedio del karst.

La Galería del Síflex tuvo una antigua boca de entrada abierta en una dolina, a escasos metros del Portalón, colmatada por sedimentos alóctonos, permitiendo el acceso a hombres y animales durante el Holoceno, cegándose a fina-

les de la Edad del Bronce (Apellániz y Urribari, 1976; Apellániz y Domingo 1987). El cono de derrubios que la selló llegó a aislar esta galería, casi por completo, del resto de la cavidad, de forma similar a lo ocurrido con el otro hundimiento localizado al E del Portalón, directamente situado bajo la vertical de la fractura de la actual entrada.

2.1.2. EL NIVEL INTERMEDIO

El nivel intermedio está constituido por un segundo conducto, con acceso desde el Salón del Coro de Cueva Mayor, que en sentido NNW recibe el nombre de Galería Baja y en sentido SSE el de Galería del Silo. El sentido de circulación hídrica que se deduce de las huellas de corriente de estas galerías es el NNW-SSE, hacia la Cueva del Silo (Eraso *et alii* 2001b, 65-66). Sus dimensiones son sensiblemente menores que las del nivel superior y las secciones visibles raramente superan los 2 metros de altura, aunque el hundimiento de la Sala de los Cíclopes y el corte del yacimiento de la Sima del Elefante, situado en el extremo NW de la Galería Baja, ya en la Trinchera del Ferrocarril, revelan un conducto original de más de 15 m de altura. Los techos de este

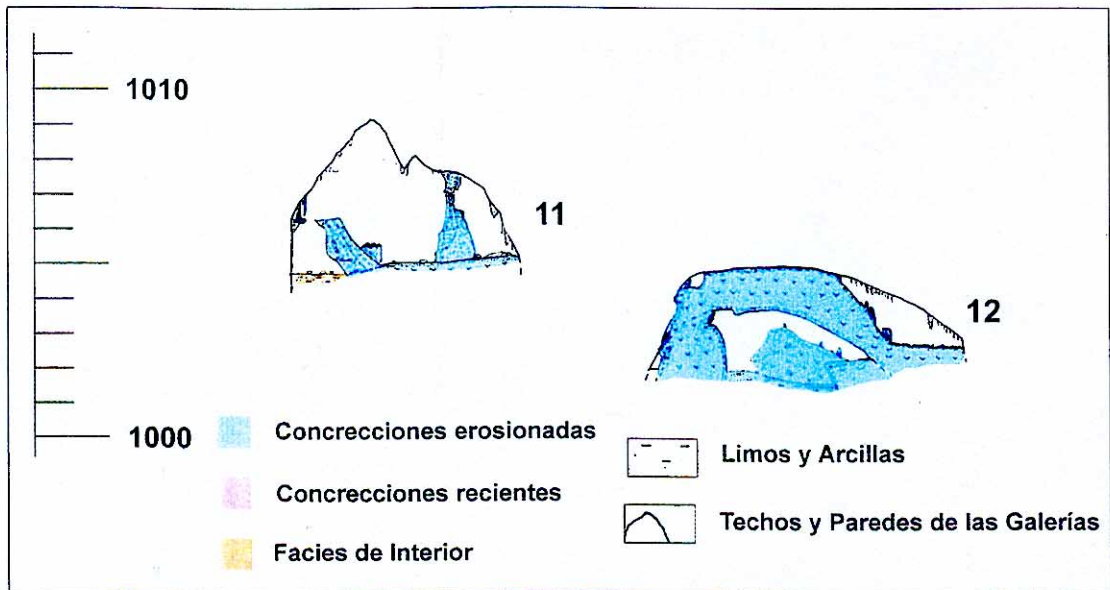


Figura 9. Secciones de la Galería del Silo, constituyen la continuación de la Galería Baja, aunque presenta dimensiones algo mayores (secciones 11-13), constatando procesos erosivos en los espeleotemas, que llegan casi a colmar el conducto (12).

Figure 9. Sections of the Galería del Silo, these are a continuation of the Galería Baja, although they present somewhat larger dimensions (sections 11-13), verifying erosive processes in the speleothems, which reach up to nearly fill the conduit (12).

conducto evolucionan desde los 1.000-1.003 m, en las proximidades del Elefante, hasta los 1.010 m en el enlace de la Galería Baja con el Salón del Coro y la Galería del Silo, estabilizándose en ésta última entre los 1.005 y 1.000 m, si bien varias chimeneas ascendentes permiten alcanzar los 1.010-1.015 m (Figuras 1, 3, 8, 9 y 12).

La obra de la trinchera del ferrocarril minero también afectó al extremo NW de la Galería Baja, que corresponde al sector de entrada, dejando al descubierto, en ambos frentes, sendos rellenos colmatados conocidos como BU-IV.A.8, o Sima del Elefante, y BU-IV.A.9 (Martín Merino *et alii* 1981, 49). La Sima del Elefante corresponde a una de las bocas del complejo abierta durante el Pleistoceno inferior, permitiendo el inicio de la sedimentación de facies de exterior, hasta que se selló la sección de esta entrada durante el Pleistoceno superior (Rosas *et alii* 2001).

Esta boca y otras intermedias, en momentos puntuales, también funcionaron como sumideros hacia el interior del karst, hecho evidenciado en la presencia, a lo largo de la Galería Baja y parte de la Galería del Silo, así como en el contacto con el Salón del Coro, de elementos aislados de restos faunísticos fósiles e industrias líticas entre sedimentos finos a techo de las arcillas de decantación, visibles tanto en los cortes naturales como los proporcionados por los silos prehistóricos postpaleolíticos existentes en estas galerías.

En el tramo central de este conducto, en su sector de enlace de la Galería Baja con la Galería del Silo, se observan varios bloques calizos correspondientes al desplome de parte del techo (que conservan estalactitas erosionadas), indicativo de un momento de caída de bloques del sistema kárstico (Figura 8).

La litogénesis está presente en los conductos de este nivel, aunque con menor profusión que en el piso superior, presentando frecuentes muestras de reactivación, con huellas de disolución y degradación en los espeleotemas y restos de pisos colgados de costras estalagmíticas, así como vaciados de los sedimentos arcillosos. También son frecuentes los espeleotemas fracturados y desplazados de la vertical, hecho que se repetirá en toda la Galería del Silo (Figuras 9, Figura 10).

En el tramo medio de la Galería del Silo se desarrolla una lateral ascendente, por la que debió confluir un importante aporte hídrico, con un flujo en sentido NE-SW y marcadas huellas ascendentes que alcanzan cotas de 1.015 m, equivalentes a las de los techos del nivel superior.

En el punto de confluencia de ambos conductos también destaca la concentración de depósitos de guano, mientras que las bóvedas evidencian los posaderos, fácilmente reconocibles por las marcas de corrosión y coloraciones negruzcas en la caliza.

En el tramo final de la Galería del Silo, y tras superar una estrechez formada por la profu-



Figura 10. Galería del Silo. En esta fotografía se aprecian las dimensiones medias de este conducto del nivel intermedio del karst, en primer plano aparece aislada y erosionada una plancha estalagmítica (Foto: M. A. Martín, Arch. G.E.E.).

Figure 10. Galería del Silo. In this photograph, the medium-sized dimensions of this conduit in the middle karst level can be appreciated. In the foreground, a stalagmitic plate appears isolated and eroded (Photo: M. A. Martín, Arch. G.E.E.).

sión de los espeleotemas y una gruesa costra pavimentaria que casi obstruye por completo el conducto original, la galería da acceso a un gran ensanche denominado como Sala de los Cíclopes, punto muy especial del karst, al constituirse en el sector de enlace de Cueva Mayor con la Cueva del Silo (Figuras 9 y 11). Este sector, estuvo colmatado de sedimentos hasta techo en casi toda su sección, como evidencian los restos de sedimentación en paredes, techos y chimeneas que se conservan en la actualidad. Este hecho produjo el aislamiento de ambas cavidades hasta la desobstrucción de parte de los rellenos que colmataban el conducto en su continuidad SW, realizada en 1965 por el G. E. Edelweiss, forzando un paso que se denominó el Tubo de los Vientos.

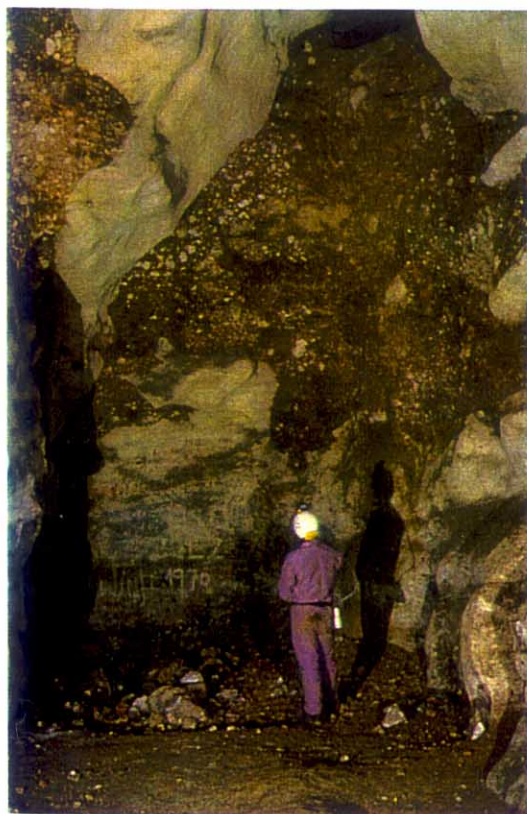
Estos sedimentos presentan en su base facies de interior con limo-arcillas de decantación, a los que se superponen discordantemente las facies de exterior, dos series de arcillas rojizas con clastos angulosos de caliza intercaladas con un potente paquete de limos. Estos aportes indican la presencia de una antigua entrada, relacionada con una zona paleosurgente en la cabecera del valle de Valhondo, situada unos 10 m más elevada y 100 m al SE de la Cueva del Silo, que la sucedería en dicha función emisora cuando los niveles freáticos se situaron a cotas más bajas.

Figura 11. Sala de los Cíclopes. Anchurón que se encuentra al final de la Galería del Silo, debido al vaciado de sedimentos. Esta fotografía muestra como los sedimentos de exterior se conservan en las irregularidades de las paredes de la Sala. (Foto: M. A. Martín, Arch. G.E.E.).

Figure 11. Sala de los Cíclopes. Widening found at the end of the Galería del Silo, due to the emptying of sediments. This photograph shows how the sediments from the outside are preserved in the irregularities of the gallery walls (Photo: M. A. Martín, Arch. G.E.E.).

Tras su práctica colmatación, este sector posteriormente estuvo sometido a un importante proceso de vaciado y reexcavación de los sedimentos, posiblemente relacionado con los flujos hídricos ascendentes que se evidencian en las chimeneas (Delanoy y Cayllault 1998), tanto de la inmediata Sima de los Huesos, como, sobre todo, en las localizadas en la Cueva del Silo, al otro lado del Tubo de los Vientos. Fruto de ese proceso erosivo es la morfología actual de una gran sala, cuyo piso presenta forma de embudo doble, con una cota de 990 m en su punto bajo.

Aparte de configurarse como zona de enlace con los niveles inferiores del karst, uno de cuyos conductos la recorre parcialmente por debajo hasta acabar colmatado por un depósito arcilloso, presenta varias laterales de interés. Una de ellas finaliza a los pocos metros, tras una estrechez, totalmente colmatada por un potente espeleotema parietal. Otra gatera conduce a la Sala de las Oseras, que finaliza en un derrumbe



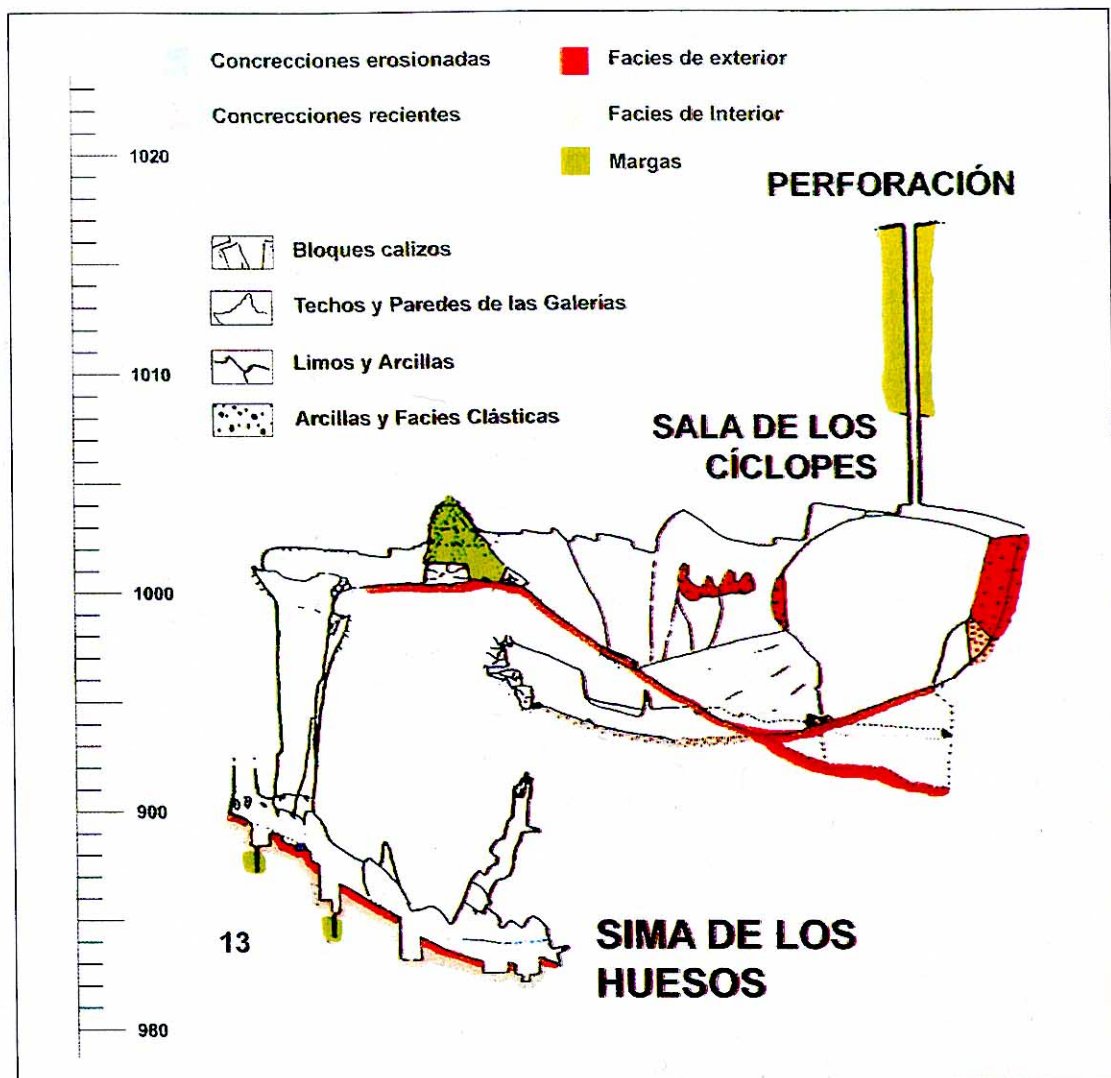


Figura 12. La sección 13 corresponde a la Sala Cíclopes (que incluye la Sima de los Huesos), destaca por el volumen que presenta, en el que se observa un importante vaciado de los sedimentos que colmataban paredes y techos. La perforación nos pone en relación la distancia a la superficie (12 m). La Sima de los Huesos corresponde al tercer piso de galerías, y está formado por un conducto ascendente, que estuvo colmatado.

Figure 12. Section 13 corresponds to the Sala del Cíclopes (which includes the Sima de los Huesos), stand out for the volume which it presents, in which an important emptying of the sediments, is observed which at one point filled up the walls and ceilings. The perforation places this gallery in relation to the distance to the surface (12 m). The Sima de los Huesos corresponds to the third level of galleries, and is formed by an ascending conduit, which was filled up.

de bloques. En el piso arcilloso de este conducto se localizan diferentes yacijas de úrsidos, así como sus restos fósiles, mientras que, entre los rellenos arcillosos existentes entre las fisuras y los bloques se aprecian con nitidez numerosas zarpas de osos.

La lateral más importante es una rampa, situada en el extremo SE, que conduce hacia la cabecera de la Sima de los Huesos. Próxima a ella se localiza la sección de un conducto, totalmente colmatado por margas blancas miocenas, que evidencian una antigua comunicación con el exterior, cuya superficie se encuentra apenas a unos 10 m por encima, y que, conviene precisar,

se localiza topográficamente justo sobre el desplome clástico que bloquea la Sala de las Oseras, por lo que su relación con un mismo fenómeno de colapso es más que evidente. Este lugar parece el más que probable acceso utilizado en el Pleistoceno medio, tanto por los úrsidos que hibernaban en este sector de Cíclopes, como por los homínidos que se adentraban para arrojar a sus congéneres a la Sima de los Huesos (Arsuaga *et alii* 1997) (Figuras 11 y 12).

Unos metros más al SE se abre la cabecera del pozo conocido como la Sima de los Huesos, cuya bóveda presenta diversos planos de debilidad, venas de calcita y pequeñas fracturas, que

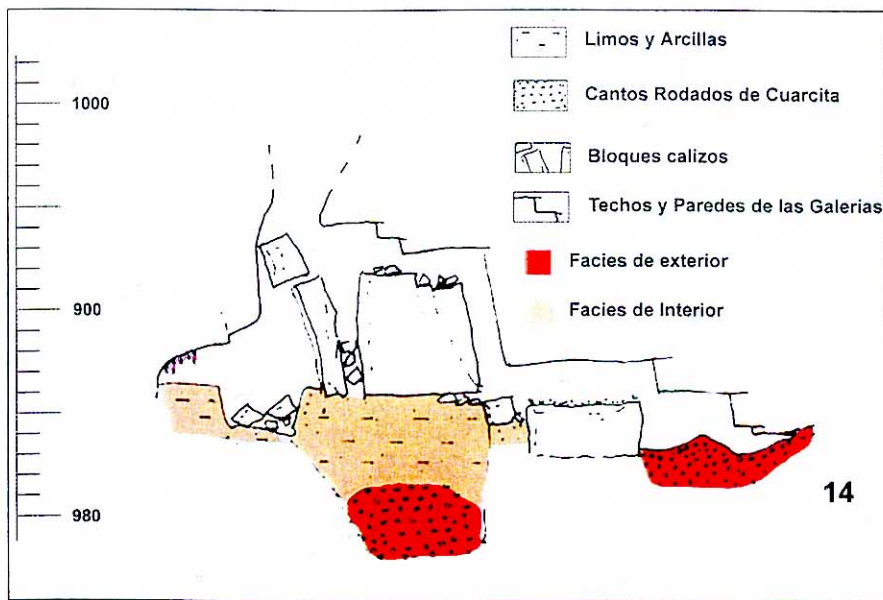


Figura 13. Sección 14, Cueva del Silo, esta cavidad junto con la Cueva Peluda y la Sima de los Huesos individualizan el nivel inferior del karst. Sus galerías, de trazado laberíntico, presentan chimeneas ascendentes e importantes desprendimientos del techo. Esta sección presenta en su base, a cotas de 985-983, depósitos de gravas que marcan un nivel de terraza de origen fluvial, relacionados con los documentados en Cueva Peluda.

Figure 13. Section 14, Cueva del Silo. This cavity, together with Cueva Peluda and the Sima de los Huesos, define the lower level of the karst. These galleries, of labyrinthine design, present ascending chimneys and important roof falls. This section shows at its base, at heights of 985-983, gravel deposits which mark one of the terrace levels of fluvial origin related to those documented in Cueva Peluda.

también se colmatan con margas miocenas. La sima, de unos 13 m de vertical, seguida de una pronunciada pendiente, finaliza en una pequeña salita en la que se alcanza la cota de 983 m; se trata de una forma de conducción perteneciente más propiamente al nivel inferior del karst, aunque por su especial ubicación y por su estrecha relación con la Sala de los Cíclopes y el resto de laterales mencionadas preferimos describirla ahora (Figura 12).

Este conducto presenta en toda su sección huellas de corriente (scallops) ascendentes, que nos indican el sentido del flujo hídrico que le originó y que, como ya hemos apuntado, probablemente favorecería el vaciado de los rellenos sedimentarios que prácticamente colmataban hasta la bóveda todo el sector de la Sala de los Cíclopes. Un segundo conducto ascendente, aunque de menor sección, se inicia en la bóveda, prácticamente sobre el final de la salita, acabando obstruido por los mismos bloques que colapsaron el final de la Sala de las Oseras, pues también se encuentra bajo la misma vertical que ésta y que el tapón superior de margas miocenas. Tal vez este conducto ascendente facilitaría el colapso de la bóveda y su apertura al exterior en el Pleistoceno medio.

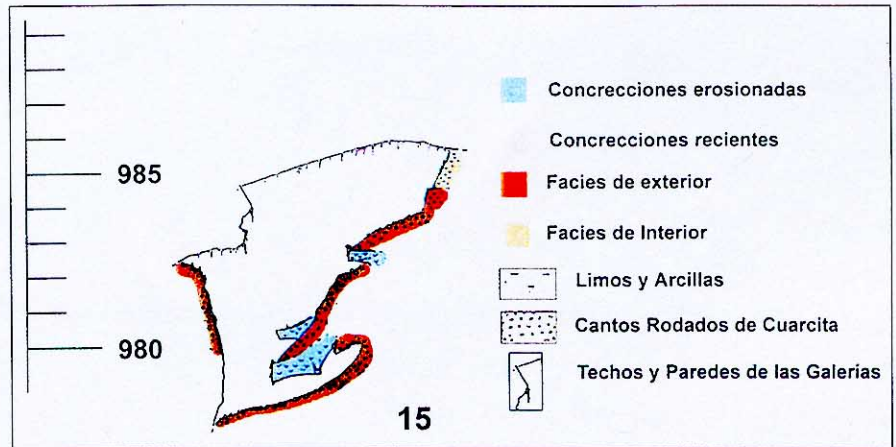
La Sima de los Huesos alberga un importante yacimiento del Pleistoceno medio en el que se ha recuperado la más importante colección de fósiles humanos para este período (Arsuaga *et alii* 1997). La secuencia estratigráfica muestra tres episodios sedimentarios interrumpidos, al menos, por un periodo erosivo: en la base apare-

cen arcillas margosas estériles sobre las que reposa una brecha fosilífera de matriz arcillosa, con fósiles de homínidos, en su base, y de carnívoros (principalmente osos), que aparece sellada por la formación de costras estalagmitas y capas de guano de murciélagos (Bischoff *et alii* 1997).

Diferentes métodos de datación (paleomagnetismo, series de uranio y radiocarbono) proporcionan una datación de 68 ka a 25 ka para la costra estalagmítica que sella la secuencia, mientras que los fragmentos de concreciones que contiene la brecha fosilífera, así como la costra inferior de la colada estalagmítica de SRA, presentan todos un equilibrio isotópico que indica una edad superior a 350 ka (Bischoff *et alii* 1997, 2003; Falguères *et alii* 2001). Los resultados de las dataciones de ESR/U para la entrada de los huesos humanos dan una edad mínima que excede los 350 ka, con una edad probable entre 400-500 ka (OIS 12-14), (Bischoff *et alii* 2003), cuyos resultados remarcan, junto con los obtenidos tanto por la microfauna (Cuenca-Bescós *et alii* 1997, 2001) como por la macrofauna (García *et alii* 1997, 2001), un momento antiguo del Pleistoceno medio para el conjunto de fósiles humanos de la Sima de los Huesos. Este conjunto se completa en su base con las unidades sedimentológicas de arcillas estériles, seguido de arenas y limos y, por último, con un paquete de margas miocenas redepositadas, que presentan magnetismo inverso correlacionado con el evento Matuyama del Pleistoceno inferior (Parés *et alii* 2000).

Figura 14. Sección 15, conducto inferior de Cueva Peluda, conserva en sus paredes un potente depósito de gravas que marcan un nivel de terraza de origen fluvial.

Figure 14. Section 15, lower conduit of Cueva Peluda, preserving along the walls an important gravel deposit which marks one of the terrace levels of fluvial origin.



2.1.3. El nivel inferior

El nivel inferior está compuesto por conductos subhorizontales de trazado laberíntico, con bóvedas enrasadas en torno a los 996-994 m y presencia de chimeneas ascendentes que superan los 1.000 m. Este nivel está formado por la Sima de los Huesos (descrita en el nivel intermedio), Cueva del Silo y Cueva Peluda (Figuras 1, 3, 13 y 14). Este nivel se caracteriza por tener secciones de formas freáticas y de reducidas dimensiones, en las que los espeleotemas son prácticamente inexistentes y puntuales a favor de venas y planos de debilidad, debido a que al ocupar el nivel inferior del karst ha estado funcionando como surgencia hasta momentos recientes. En las secciones de mayor tamaño se constata la caída de bloques del techo, así como la presencia de espeleotemas rotos y desplazados que parecen indicar cierta actividad neotectónica.

La Cueva del Silo, situada en el extremo SW del karst, presenta un eje subhorizontal cuyas galerías se disponen de forma laberíntica (en contraposición a la linealidad de los niveles superiores), indicando las huellas de corriente de sus paredes las mayores paleovelocidades del karst. Se configuró como la paleosurgencia principal del mismo, probablemente tras suceder cronológicamente a la más elevada que se localizaría al SW de la Sala de los Cíclopes, al converger hacia ella los diferentes ejes de circulación hídrica (Eraso *et alii* 2001b), lo que dio origen al nacimiento del río Pico y a la cabecera del valle de Valhondo.

El carácter surgente de esta cavidad se evidencia por la presencia de chimeneas, relacionadas con morfologías de conducto vaclusiano en régimen ascendente, cuyas huellas de corriente todavía son visibles en el exterior de la actual entrada subhorizontal. Numerosos de estos con-

ductos ascendentes se concentran fundamentalmente en las inmediaciones de la entrada (en relación con el punto surgente) y en las proximidades del Paso de los Cíclopes, sector de conexión con el nivel intermedio de Cueva Mayor (posiblemente vinculado con un punto surgente previo, más alto), enlazando por el tramo conocido como Tubo de los Vientos con las cotas de la bóveda de la Sala de los Cíclopes.

Su antigua denominación era la de Cueva del Silo de Valhondo, motivada, tanto por su ubicación en el citado valle como por la morfología original de su entrada, una sima o torca destruida en la primera mitad del siglo XX por una cantera. Las bóvedas de sus techos se sitúan en torno a la cota de 996 m, si bien las numerosas chimeneas ascendentes permiten frecuentemente superar los 1.000 m de altitud, mientras que el punto más bajo se localiza a la cota de 978 m en la base de una sima, correspondiente a un conducto ascendente, que presenta la cota más baja de todo el sistema kárstico Cueva Mayor-Cueva del Silo (Figura 3), aunque el sistema de cavidades de Trinchera presenta, en una de las simas de la Cueva del Compresor, una cota de 971,5 m.

En esta cueva son frecuentes los grandes desplomes clásticos de su bóveda, posiblemente debidos a la neotectónica, aunque también en parte son consecuencia de la actividad minera de la citada cantera.

Los sedimentos endokársticos de este nivel están caracterizados por la presencia de las arcillas de decantación y la escasez de espeleotemas, localizados en sectores muy puntuales. Destacan por su significación los aportes alóctonos, tales como facies arenosas y gravas cuarcíticas, localizados en los cortes de la cavidad en torno a los 985-983 m de altitud (Figuras 13 y 15), a una cota relativa de +45-43 m sobre el cauce del río

Arlanzón y, por tanto, correlacionables con la terraza T5 (+ 44-46 m) del Pleistoceno medio (Benito y Pérez-González 2002: 382).

La deposición de esta terraza indica la entrada de una pérdida de flujo hídrico desde el Arlanzón, en sentido S-N, que tal vez se relacione con la reactivación que motivó la reexcavación observada en los depósitos sedimentarios de los niveles superiores y especialmente en el vaciado de la Sala de los Cíclopes, debido a su localización a escasos metros del fondo de dicha sala.

A este nivel corresponden también otras cavidades aisladas topográficamente del Sistema Cueva Mayor-Cueva del Silo pero que corresponden morfológicamente a la misma red. Este es el caso de Cueva Peluda, originariamente conocida como Cueva de la Vía, conducto con 380 m de desarrollo y dirección NNW-SSE, paralelo y muy próximo al eje de la Galería Baja, aunque sin llegar a conectar (Martín Merino *et alii* 1981, 49) (Figura 1). Sus techos evolucionan en torno a los 990-995 m, con chimeneas que sobrepasan los 1.000 m de altitud, mientras que en su punto más bajo se alcanzan los 982,5 m (Figuras 1, 3 y 14 y 16). Aquí es donde se vuelve a documentar la presencia de aportes sedimentarios externos, formados por cantos rodados que depositaron un nivel de terraza, muy próxima a la base del relleno de la Sima del Elefante, localizados en las mismas cotas que los niveles de terraza de la Cueva del Silo y la T5 (+44-46 m) del río Arlanzón, lo que está marcando la presencia de un flujo hídrico en sentido S-N, contrario al observado en las huellas de corriente de estas galerías, correspondiente al momento de su génesis freática.

La actual entrada de Cueva Peluda es artificial, debida a las obras de construcción de la Trincherera del Ferrocarril que afectaron a dos sectores de esta cavidad, cuyas bocas (una de ellas, la Cueva de la Vía, actualmente obstruida) han permitido el acceso a su interior desde comienzos del siglo XX. Originariamente contaba, al menos, con cuatro antiguas entradas que están colmatadas, tres en el Pleistoceno medio y una alta en el Holoceno, reconocibles por la existencia de restos arqueo-paleontológicos, tanto del Paleolítico inferior como de la Prehistoria reciente. Dada su proximidad a la superficie, los espeleotemas son muy abundantes, así como las raíces que se internan buscando la humedad de la cueva. En los espeleotemas queremos remarcar la abundancia de fracturas y posterior recristalización, que puede que nos indiquen actividad

neotectónica, como lo expresa la caída de bloques de techo.

Otros conductos que forman parte del nivel inferior son las pequeñas gateras de escaso desarrollo, a menudo colmatadas por sedimentos, catalogadas como BU-IV.A. 6, 7 y 10 (Martín Merino *et alii* 1981, 49), que se localizan en los frentes del tramo sur de la Trincherera del Ferrocarril.

3. EVOLUCIÓN DEL KARST

Las cuevas, por su carácter conservador, registran evidencias que permiten conocer los paisajes del pasado y, en este sentido, el sistema de Cueva Mayor-Cueva del Silo, por su desarrollo y complejidad, aporta algunas claves para comprender el origen y la evolución del Karst de la Sierra de Atapuerca y su entorno, al menos durante el Cuaternario (Plio-Cuaternario).

Desconocemos los momentos iniciales del proceso de karstificación de las rocas carbonatadas de la Sierra de Atapuerca, aunque los autores que han trabajado en este entorno han atribuido la presencia de la karstificación desde el Neógeno, destacando su desarrollo con la formación de las calizas de los páramos ("Páramo inferior") y la gran actividad kárstica durante el Cuaternario, en relación con el descenso del nivel de base del Arlanzón (Zazo *et al.* 1983, 183). Los tres pisos de galerías que presenta el sistema de Cueva Mayor-Cueva del Silo aparecen colgados de la red hidrográfica actual, lo que nos pone en relación una génesis precoz.

El sistema de Cueva Mayor-Cueva del Silo presenta conductos horizontales que caracterizan "ideal Caves Table water", de Ford y William (1996: 263), en el que la sucesión de niveles hace referencia a una evolución en paralelo de la superficie piezométrica con el encajonamiento de los ríos.

Al momento de formación del karst, bajo condiciones freáticas, corresponden los procesos de disolución y deposición de las facies de interior, que alcanzan importantes potencias en conductos paragenéticos de grandes dimensiones del piso superior, con series que presentan una potencia de una veintena de metros de sedimentos vistos en los importantes vaciados existentes en la Galería del Sílex del piso superior.

El descenso de nivel de base del Arlanzón durante el Pleistoceno inferior va a producir un encajonamiento de los diferentes pisos del Karst. En un intento de hacer una correlación de los diferentes niveles de base con los niveles del

Figura 15. Vista de la galería inferior de Cueva Peluda, en la que destaca la presencia de un paquete de cantos rodados y gravas que marcan la presencia de un nivel de terraza del río Arlanzón (Foto: M. A. Martín, Arch. G.E.E.).

Figure 15. View of the lower gallery of Cueva Peluda, in which the presence of a packet of rounded blocks and gravels which mark the presence of a terrace level of the Arlanzón river stand out (Photo: M. A. Martín, Arch. G.E.E.).



karst observamos como los niveles altos de la terraza del Arlanzón, T1 (+80-85 m) se relacionan en cotas con el nivel superior del karst (cuyos techos se sitúan en cotas de 1.020-1.015 m), equiparando el nivel intermedio del mismo (con techos a cotas de 1005-1.000 m) con las terrazas T2 (+70-75 m) y T3 (+60-65 m), mientras que la T4 (+50-52 m / 990-992 m) se corresponde con los techos del nivel inferior. Por su parte la T5 (+44-46 m / 984-986 m) se corresponde con las cotas más bajas del nivel inferior del Sistema de Cueva Mayor-Cueva del Silo.

Una consecuencia del descenso del nivel de base freático es el paso a fases de inactividad hídrica de los niveles superiores del karst y la bajada del punto surgente hacia cotas inferiores, dentro del mismo área de la cabecera del Valle de Valhondo, en la misma línea de Cíclopes-Cueva del Silo. Estas relaciones indican que el nivel superior pudo estar liberado posiblemente durante la formación de la terraza T3 (+60-65 m), que inundaba el nivel intermedio del karst, y que este conducto estuvo en condiciones vadosas, como mínimo, con el descenso al nivel de base de la terraza T4 (+50-52 m). Con la formación de la T5 (+44-46 m) sabemos, no sólo, que el nivel inferior estaba parcialmente anegado, sino que una pérdida de dicho flujo se introdujo directamente en el karst, depositando materiales aluviales en puntos bajos de la Cueva del Silo y Cueva Peluda.

Durante esta fase epifreática, caracterizada por la liberación de las aguas de los conductos superiores, el endokarst entra en una fase de cierta inactividad caracterizada por la formación de

espeleotemas, que en estos niveles destacan por su abundancia, llegando a formar gruesas columnas estalagmititas y potentes coladas parietales y pavimentarias.

A partir de este momento, dentro de las fases vadosas o epifreáticas del karst, que deben correlacionarse con el escalón de la T3 a T4, se producen desplomes gravitacionales en el endokarst y erosión superficial en el exokarst que permitirían, en los extremos occidentales de los conductos, que penetrasen depósitos de facies alóctonas hacia el interior de las cavidades, constataando la apertura de las primeras entradas desde el Pleistoceno inferior. En Cueva Mayor a este momento deben corresponder las entradas del sector surgente de Cíclopes en la Galería del Silo, o del relleno de Elefante en la Galería Baja y del final de la Galería de las Estatuas, estas últimas relacionadas con la incisión del vallejo que baja desde la cumbre del San Vicente, y que sirve de límite municipal entre Atapuerca e Ibeas de Juarros.

La secuencia estratigráfica del relleno de Elefante, del Sistema de Cueva Mayor-Cueva del Silo, presenta depósitos alóctonos en los niveles inferiores que contienen sedimentos fosilíferos del Pleistoceno inferior E9-E14 (entre 1,2 millones de años hasta los 780.000), en los que se preservan las evidencias faunísticas y las actividades humanas (Rosas et alii. 2001: 305).

Para Benito y Pérez-González (2002: 382) la terraza del Arlanzón del T4 (+50 m) pertenece posiblemente al inicio del Pleistoceno medio y la T5 (+44-46 m) es una terraza claramente meso-

pleistocena. El nivel inferior del karst mantiene los techos en cotas entre 990 y 995 m para Cueva del Silo y Cueva Peluda por lo que, con la formación de, al menos, la T4 (+50-52 m) sabemos que el nivel inferior del karst estaba anegado y con la T5 presentaba régimen vadoso.

Con cotas de la T5 (+44-46) se relacionan los depósitos fluviales localizados en el interior de las galerías Cueva del Silo y Cueva Peluda (a 985-978 m), que evidencian que el río Arlanzón fue capaz de abrir un sumidero hacia el endokarst, con un flujo de sentido S-N. Este caudal debió emerger prácticamente en el vallejo que delimita al endokarst, al no observarse en los conductos de la Cueva del Compresor rastro alguno de la terraza.

En los rellenos que colmatan los sectores occidentales de las entradas de Cueva Mayor (yacimiento de Elefante y Sector de Cíclopes) aparecen procesos erosivos que han formado disconformidades secundarias. Tanto en el relleno de Elefante como en el depósito fosilífero de la Sima de los Huesos se documentan procesos erosivos relacionados con los primeros niveles de las fases sedimentarias del Pleistoceno medio (Rosas *et alii* 2001, 304; Bischoff *et alii* 1997, 135). Podría haber una relación entre el colapso del relleno de Elefante con el flujo hídrico que depositó la terraza del conducto inferior de Cueva Peluda, al localizarse éste topográficamente bajo dicho yacimiento, sin embargo hace falta tener cronologías más precisas tanto de la terraza como de los niveles de Elefante para confirmar este punto. El vaciado de la Sala de los Cíclopes podría corresponder a este mismo episodio, dado que la terraza de la Cueva del Silo, se ubica prácticamente bajo dicha sala y no sería de extrañar buscar un origen similar para el hundimiento del Salón del Coro.

En relación con esta reactivación hídrica del karst de la Sierra de Atapuerca se han podido identificar niveles sedimentarios con facies de interior, en régimen de karst cerrado, tanto en los niveles del yacimiento de Elefante (E17) (Rosas *et alii* 2001, 305) como en la Sima de los Huesos (nivel de arenas laminadas y limos, que constituyen el techo del episodio I, y el de arcillas rojas estériles) (Bischoff *et alii* 1997, 135; 2003, 276; Parés *et alii* 2000), a los que se les superponen sedimentos con niveles fosilíferos y/o facies de exterior, que representan claramente un momento de nuevas aperturas de entradas en Cueva Mayor.

Durante gran parte del Pleistoceno medio, el karst de la Sierra de Atapuerca se va a caracte-

rizar por cierta inactividad de los niveles superiores, liberándose totalmente el nivel inferior con los niveles de base que marca la terraza T7 (+33-35 m), que no alcanza los puntos más bajos del sistema (978 m en Cueva del Silo y Cueva Peluda), sin descartar que este piso se vea afectado por los ascensos de base presentes en todo régimen vadoso o epifreático, que incluso pudiera afectar al nivel que marca la terraza T8 (+24-30 m) (nivel de base que alcanza el punto más bajo de la Cueva del Compresor con 971,5 m, en las cavidades de Trinchera del Ferrocarril, aisladas actualmente del sistema de Cueva Mayor). De esta fase la única aportación importante que afecta al karst viene de la mano de la sedimentación alóctona en el entorno inmediato a las entradas del mismo, actuando como unidades o sectores de conexión del medio endokárstico con el exokárstico. En el yacimiento de Elefante la sedimentación mesopleistocena va a colmatar toda su sección, fosilizando dicha entrada. Otras antiguas entradas detectadas en los pisos medio y superior de Cueva Mayor van a presentar sus secciones colmatadas a techo, muy posiblemente a lo largo del Pleistoceno medio. Por su parte la Sima de los Huesos va a conservar un nivel arcilloso fosilífero con restos de humanos y osos mesopleistocenos, y va a presentar una fase de crecimiento de espeleotemas hasta el final de esta fase.

El karst de la Sierra de Atapuerca queda prácticamente inactivo y fósil, con la mayoría de sus entradas colmatadas, desde el Pleistoceno superior, a favor de fracturas en el exokarst, mientras que en el endokarst se constatan leves procesos de infiltración que desarrollan formas de reconstrucción poco significativas. Además el endokarst se va a caracterizar por la ausencia significativa de presencia de actividad humana o animal, a excepción de la veintena de zorros (*Vulpes vulpes*) (García *et alii* 1997) y de unos pocos restos de quirópteros y un ratón de campo (*Apodemus silvaticus*) (Cuenca-Bescós *et alii* 1997) detectados en la Sima de los Huesos, lo que incide en la presencia de un karst prácticamente cerrado.

Una nueva apertura de entradas en el karst se debió producir en el Holoceno, dando acceso a Cueva Peluda, por su entrada oriental, y al interior de Cueva Mayor y la Galería del Sílex. Posiblemente a este momento corresponda la apertura actual del Portalón de Cueva Mayor, aunque sin descartar totalmente la existencia de esta boca en momentos pleistocenos ya que concretar este hecho resulta más complejo. A partir del

Holoceno constatamos como los agentes que se desarrollan en el karst son los debidos a la sedimentación de las facies de exterior en las zonas de entradas y aquellos debidos a las actividades de ocupación humana y faunística cavernícola alóctona, destacando por su intensidad la actividad antrópica.

Estamos ante una nueva fase de ocupación antrópica del karst de la mano de las gentes de la Prehistoria reciente (Neolítico y Edad del Bronce), documentándose una intensificación en la ocupación del medio kárstico, con evidencias antrópicas en casi todas las galerías y cavidades. Van a ocupar en los sectores de entradas sus lugares de habitación y van a utilizar el conjunto de conductos con diferente funcionalidad económica (almacenamiento) y simbólica (lugar de enterramiento y culto) (Apellániz *et alii* 1976 y 1987; Clark 1979; García Díez *et alii* 2003; Ruiz Zapata *et alii* 2003).

A partir de la Edad del Bronce la presencia antrópica en las cavidades es esporádica y se limita a la ocupación de los sectores de entradas como lugares de hábitats en momentos de Época Romana y de la alta Edad Media. De Época Moderna se documentan las primeras excursiones y visitas de curiosos que van a dejar graffitis desde el siglo XV, acentuándose a partir del siglo XVIII hasta la actualidad, momento en el que prima el interés científico del medio subterráneo y la recuperación de los restos arqueo-paleontológicos que preservan los distintos yacimientos.

4. CONCLUSIÓN

Para conocer el desarrollo kárstico de la Sierra de Atapuerca nos hemos centrado en el estudio del Sistema de Cueva Mayor-Cueva del Silo por presentar un importante desarrollo de conductos, que con 3.700 m constituye una de las mayores cavidades de la Cuenca del Duero. Este sistema se desarrolla en las calizas del Cretácico superior del segmento suroccidental de la Sierra de Atapuerca. Representa un karst formado bajo condiciones freáticas, con tres niveles de galerías y flujos de drenaje hacia el occidente de la sierra, con una surgencia principal el sector de Cíclopes-Cueva del Silo, y otro exutorio de menor entidad en el conducto de Dolina-Penal. Esta zona surgente se corresponde con la cabecera del Valle del Valhondo, en el nacimiento del río Pico.

El karst del Sistema de Cueva Mayor-Cueva del Silo presenta un origen finiterciario poco conocido, destacando su desarrollo en el Cuater-

nario en vinculación con la evolución hidrológica del río Arlanzón, cuyos niveles de base de sus terrazas altas se enrasan con los diferentes pisos del karst. Así pues observamos la relación topográfica existente entre las cotas de la T1 (+80-85 m) del Arlanzón y las de los techos del nivel superior del Sistema de Cueva Mayor-Cueva del Silo (1.020-1.015 m), como el nivel intermedio del mismo (con techos a cotas de 1005-1.000 m) se equipara con las terrazas T2 (+70-75 m) y T3 (+60-65 m), mientras que las cotas de la T4 (+50-52 m / 990-992 m) se corresponde con los techos del nivel inferior, situados en torno a los 996 m. Por su parte la T5 (+44-46 m / 984-986 m) se relaciona con las cotas en las que se localiza el nivel de terraza del piso inferior de Cueva del Silo (985-983 m) y del conducto inferior de Cueva Peluda (982.5 m). Los puntos más bajos de todo el sistema corresponden con las simas de Cueva del Silo, con 978 m en su base.

Los sucesivos descensos del nivel de base liberaron los conductos superiores desde el Pleistoceno inferior, desarrollando espeleotemas en las galerías altas y localizando en los sectores de entradas facies sedimentarias de exterior y rellenos fosilíferos que evidencian la ocupación de los animales y homínidos que vivían en la sierra, desde hace más de un millón de años. De estos momentos destaca el relleno de Elfante, una de las entradas occidentales de Cueva Mayor, por presentar una potente secuencia sedimentaria relacionable con el relleno de Dolina, aunque con mayor antigüedad.

Durante el Pleistoceno medio los sectores de entradas siguen colmatándose mientras que en el endokarst se detecta, al menos, una reactivación kárstica, de cierta intensidad, en el nivel de terraza depositado en las cuevas del Silo y Peluda, a cotas de 985-982,3 m.s.n.m.. Esta terraza está relacionada con una pérdida S-N de un flujo del Arlanzón correspondiente con la T5 (+44-46 m), del Pleistoceno medio.

Desde el final del Pleistoceno medio estamos ante un karst inactivo, con algunos sectores de entrada fosilizados (los detectados principalmente en la Trinchera). Durante el Holoceno únicamente se constata la actividad antrópica, destacando los sedimentos producidos por la ocupación de las entradas del Portalón de Cueva Mayor y de la Galería del Sílex, así como la ocupación y uso simbólico de los diferentes conductos de este sistema, incluida una de las galerías ascendentes de Cueva Peluda.



Figura 16. Detalle del nivel del paquete de cantos rodados y gravas de Cueva Peluda. En esta foto, realizada a techo del nivel de terraza, se observa como los cantos rodados están concrecionados (Foto: M. A. Martín, Arch. G.E.E.).

Figure 16. Detail of the level of the packet of rounded blocks and gravels in the Cueva Peluda. This photo taken from the roof of the terrace level shows how the rounded blocks are concreted (Photo: M. A. Martín, Arch. G.E.E.).

El conocimiento de las diferentes cavidades del karst se lo debemos a las labores de prospección y topografía realizadas, desde la década de los años cincuenta, por el Grupo Espeleológico Edelweiss de la Excm. Diputación Provincial de Burgos. Queremos expresar nuestra gratitud a Alfonso Benito por sus consejos, a Raquel Pérez Martínez por los trabajos de topografía, a Rolf Quam por la traducción al inglés y a Elena Santos por su apoyo gráfico. La primera autora (AIOM) ha disfrutado, durante la realización de este trabajo, de una Beca de Investigación patrocinada por Iberdrola. Este trabajo ha sido financiado por el proyecto BOS2003-08938-C03-01 de la DGIGYT. Las excavaciones han sido patrocinadas por la Junta de Castilla y León.

BIBLIOGRAFÍA

- Apellániz, J. M. y Uríbarri, J. L. (1976). *Estudios sobre Atapuerca (Burgos) I. El Santuario de la Galería del Sílex*. Cuadernos de Arqueología de Deusto 5.
- Apellániz, J. M. y Domingo, S. (1987). *Estudios sobre Atapuerca (Burgos) II. Los materiales de superficie del Santuario de la Galería del Sílex*. Cuadernos de Arqueología de Deusto 10.
- Arsuaga, J. L.; Martínez, I.; Gracia, A.; Carretero, J. M.; Lorenzo, C.; García, N. y Ortega, A. I. (1997). Sima de los Huesos (Sierra de Atapuerca, Spain). The site. *Journal of Human Evolution* 33 (2/3), 109-127.
- Benito Calvo, A. y Pérez-González, A. (2002): Análisis geomorfológico de la Sierra de Atapuerca y del Valle del Río Arlanzón (provincia de Burgos). En *Aportaciones a la Geomorfología de España en el Inicio del Tercer Milenio*, 373-383.
- Bischoff, J. L.; Fitzpatrick, J. A.; León, L.; Arsuaga, J. L.; Falguères, C., Bahain, J. J. y Bullen, T. (1997). Geology and preliminary dating of the hominid-bearing sedimentary fill of the Sima de los Huesos Chamber, Cueva Mayor of the Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain. *Journal of Human Evolution* 33 (2/3), 129-154.
- Bischoff, J. L.; Shamp, D.; Aramburu, A., Arsuaga, J. M.; Carbonell, E. y Bermúdez de Castro, J. M. (2003). Geology and preliminary dating of the hominid-bearing sedimentary fill of the Sima de los Huesos chamber, Cueva Mayor of the Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain. *Journal Archaeological Science* 20, 275-280.
- Clark, G.A. (ed.) (1979). *The North Burgos Archeological Survey. Bronze and Iron Age Archaeology on the Meseta del Norte (Province of Burgos, North-Central Spain)*. Anthropological Research Papers 19.
- Collignon, B. (1988). *Spéléologie, approches scientifiques*. Edisud.
- Cuenca-Bescós, G.; Laplana, C.; Canudo J. L. y Arsuaga, J. L. (1997). Small mammals from Sima de los Huesos. *Journal of Human Evolution* 33, 175-190.
- Cuenca-Bescós, G.; Canudo J. L. y Laplana, C. (2001). La séquence des rongeurs (Mammalia) des sites du Pléistocène inférieur et moyen d'Atapuerca (Burgos, Espagne). *L'Anthropologie* 105 (1), 115-130.
- Delanoy, J. J. y Caillault, S. (1998). Les apports de l'endokarst dans la reconstitution morfológica d'un karst, exemple de l'Antre de Vénus (Vercors, France). *Karstologia* 31 (1), 27-41.

- Eraso, A. (1965). Introducción al estudio del karst de Ojo Guareña. *Geo y Bio Karst* 5-6, 31 pp.
- Eraso, A.; Domínguez, M. C.; Ortega, A. I.; Martín, M. A.; Gavilán, C. J. Paredes, C.; Gallego, N. y Giralt, S. (2001a). Ley de distribución de planos de debilidad en la Sierra de Atapuerca (Burgos): aplicación al drenaje del karst. *Boletín de la Sociedad de Espeleología y Ciencias del Karst* 2, 53-60.
- Eraso, A.; Domínguez, M. C.; Ortega, A. I.; Martín, M. A. y Pérez-González, A. (2001b). Estimación de las paleovelocidades y sentidos de circulación del agua en el karst donde se emplaza el yacimiento arqueológico de la Sierra de Atapuerca (Burgos). *Boletín de la Sociedad de Espeleología y Ciencias del Karst* 2, 61-68.
- Falguères, C.; Bahain, J. J.; Yokoyama, Y.; Bischoff, J. L. Arsuaga, J. L.; Bermúdez de Castro, J. M.; Carbonell, E. y Dolo, J. M. (2001). Datation par RPE et U-Th de sites du Pléistocène d'Atapuerca: Sima de los Huesos, Trinchera Dolina et Trinchera Galería. Bilan géochronologique. *L'Anthropologie* 105 (1), 71-81.
- Ford, D. C. y Williams, P. W. (1996). *Karst Geomorphology and Hydrology*. London. Unwin Hyman.
- García, M.; Ortega, A. I.; Martín Merino, M. A.; Hortolá, P. y Zuluaga, M. C. (2001). Arte Rupestre de estilo paleolítico del Portalón de Cueva Mayor de la Sierra de Atapuerca (Ibeas de Juarros, Burgos): ¿cronología paleolítica o contemporánea?. *Trabajos de Prehistoria* 58 (1), 153-169.
- García, M.; Martín, J.; Martín Merino, M. A. y Ortega, A. I. (2003). Dates for rock art at a Bronze Age sanctuary at the Galería del Sílex cave. *Antiquity* 77 (296).
- García, N.; Arsuaga, J. L. y Torres, T. (1997). The carnivore remains from the Sima de los Huesos Middle Pleistocene site (Sierra de Atapuerca, Spain). *Journal of Human Evolution* 33, 155-174.
- García, N. y Arsuaga, J. L. (2001). Les carnivores (Mammalia) de sites du Pleistocène ancien et moyen d'Atapuerca (Espagne). *L'Anthropologie* 105 (1), 83-93.
- Gillieson, D. (1996): *Caves: Processes, Development and Management*. Blackwell Publishers.
- Hill, C. A. y Forti, P. (1986). *Caves Minerals of World*. National Speleological Society.
- Llopis Lladó, N. (1970), *Fundamentos de hidrogeología cársica. (Introducción a la geoespeleología)*. Ed. Blume. Madrid
- Maire, R. (1990), *La haute montagne calcaire*. Ed. Association Française de Karstologie.
- Martín Merino, M. A.; Domingo, S. y Antón, T. (1981). Estudio de las cavidades de la Zona BU-IV.A (Sierra de Atapuerca). *Kaite, Estudios de Espeleología Burgalesa* 2, 41-76.
- Olivé, A.; Ramírez Merino, J. L.; Ortega L. I. (1990). *Mapa Geológico de España, 1:50.000, 2ª Serie (MAGNA). Hoja de Belorado (201)*. Instituto Tecnológico Geominero de España.
- Parés, J. M. y Pérez-González, A. (1999). Magnetochronology and stratigraphy at Gran Dolina section, Atapuerca (Burgos, Spain). *Journal of Human Evolution* 37 (3/4), 326-342.
- Parés, J. M., Pérez-González, A.; Weil, A. B. y Arsuaga, J. L. (2000). On the Age of the Hominid Fossil at the Sima de los Huesos, Sierra de Atapuerca, Spain: Paleomagnetic Evidence. *American Journal of Anthropology* 111, 451-461.
- Pérez-González, A.; Parés, J.; Aleixandre, T.; Ortega, A. I. y Pinilla, A (1999). Geología y Estratigrafía del relleno de Galería de la Sierra de Atapuerca (Burgos). En *Atapuerca: Ocupaciones humanas y paleoecología del yacimiento de Galería*, Memorias 7, 34-42.
- Pineda, A. y Arce, J. M. (1997). *Mapa Geológico de España, 1:50.000, 2ª Serie (MAGNA). Hoja de Burgos (200)*. Instituto Tecnológico Geominero de España.
- Renault, P. (1971). *La formation des cavernes*. Oikos-tau.
- Rosas, A.; Pérez-González, A.; Carbonell, E.; Van der Made, J.; Sánchez, A.; Laplana, C.; Cuenca-Bescós, G. Parés, J. M. y Huguet, R. (2001). Le gisement pléistocène de la "Sima del Elefante" (Sierra de Atapuerca, Espagne). *L'Anthropologie* 105 (2), 301-312.
- Ruiz, M. B.; Ortega, A. I.; Dorado, M.; Valdeolmillos, M. J., Gil, J. L., Arsuaga, J. L.; Carretero, I.; Martínez, I. y Pérez-González, A. (2003). Vegetational history during Bronze and Iron ages in Portalón Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). En *Quaternary climatic changes and environmental crises in the Mediterranean Region*, 99-106.
- Zazo, C.; Goy, J. L. y Hoyos, M. (1983). Estudio geomorfológico de los alrededores de la Sierra de Atapuerca (Burgos). *Estudios Geológicos* 39, 179-185.