

Identificación de conductos kársticos en los yacimientos de Galería y Gran Dolina (Sierra de Atapuerca, Burgos) mediante imágenes 2D y 3D de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT)

A. I. Ortega^{1,2}, L. Bermejo¹, R. Guerin³, A. Benito-Calvo^{1,2}, J. M. Parés¹, A. Pérez-González¹, E. Aracil⁴, M. A. Martín Merino², J. M. Bermúdez de Castro¹, E. Carbonell⁵

¹Centro Nacional de Investigación sobre Evolución Humana. Paseo Sierra de Atapuerca, 09002 Burgos, España.

²Grupo Espeleológico Edelweiss. Excma. Diputación Provincial. Paseo del Espolón s/n. 09071 Burgos, España.

³Sorbonne Universités, UPMC Univ. Paris 06, UMR 7619, METIS, F-75005, Paris, France.

⁴Análisis y Gestión del Subsuelo, S.L. c/ Luxemburgo 4, 28224-Pozuelo de Alarcón, Madrid, España.

⁵Universitat Rovira i Virgili (URV), Campus Catalunya, Avinguda de Catalunya 35, 43002 Tarragona, España.

Este trabajo se centra en el estudio geofísico de las cavidades de Gran Dolina y Galería del karst de la Sierra de Atapuerca. La realización de ocho perfiles de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT) y la interpretación de los perfiles en 2D y 3D han permitido determinar la extensión de sus galerías y la presencia de una antigua entrada colmatada muy próxima al sector norte del Complejo de Galería (Zarpazos). Estos resultados, contrastados por la realización de sondeos con recuperación de testigos, aportan una mejor comprensión del proceso de formación de las cavidades y sus yacimientos y confirman la idoneidad del método para la detección de conductos kársticos superficiales.

Introducción

En el desarrollo de la investigación del endokarst de la Sierra de Atapuerca se han incorporado las investigaciones geofísicas con el fin de avanzar en la detección de

cavidades en las que se sitúan los yacimientos paleolíticos (Carbonell *et al.*, 2014).

En una primera fase, las prospecciones geofísicas se vincularon a la planificación de las excavaciones, especialmente de la Sima de los Huesos, con el fin de conocer su exacta ubicación y el acceso original. En 1981, Ramón Ortiz y Alicia García del Museo Nacional de Ciencias Naturales, utilizaron el método Dipolo-Dipolo de prospección eléctrica (Aguirre, 1987). En 1992, José Francisco Bergamín, de la Universidad Complutense, prospectó en este enclave utilizando métodos gravimétricos y magnetométricos que pusieron de manifiesto la existencia de anomalías interpretadas como un proceso de colapso kárstico (Bergamín *et al.*, 1994). En 1997 se realizaron nuevos sondeos de resistividad eléctrica en las entradas de Cueva Mayor y del Abrigo del Mirador.

En 2003, con motivo de la realización de la tesis doctoral de Ana Isabel Ortega

(2009), orientada al mejor conocimiento del endokarst y sus rellenos estratigráficos, se inicia el uso sistemático de prospecciones de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT) en colaboración con José Ángel Porres de la Universidad de Burgos. Estos trabajos permitieron profundizar en la estructura de las calizas karstificables, detectando el límite de las mismas en torno al Valle de Cueva Mayor y Alto del Caballo, en donde se desarrolla el sector de la Sima de los Huesos y Cueva del Silo. También se localizó la presencia de un conducto bajo la Campa del Silo, entre las cuevas del Silo y Peluda.

Los trabajos en el Valle de la Propiedad mostraron su gran encajamiento así como la presencia escalonada de antiguas entradas y conductos colmatados. En el sector de Torcas, dos perfiles mostraron la existencia de posibles conductos relacionados con Gran Dolina, Galería y CR1-Cueva Fantasma (Ortega *et al.*, 2010, 2011). Estos resultados motivaron la realización de nuevas prospecciones por el equipo de Enrique Aracil, para profundizar en las morfologías y conductos kársticos relacionados con los yacimientos de Gran Dolina y Galería, que han sido recientemente publicados (Bermejo *et al.*, 2016).

Contexto. Las cavidades del sector de Trincheras

La Sierra de Atapuerca presenta un karst de media montaña caracterizado por el desarrollo de sus morfologías subterráneas, concentradas en el flanco occidental del monte de San Vicente (1085m s.n.m.). Representa la evolución del sector de descarga de un sistema multinivel, inactivo y heredado de antiguos niveles de base del río Arlanzón, durante el Plio-Pleistoceno (Ortega *et al.*, 2013). La incisión fluvial dio paso a que estas cavidades quedasen inactivas y accesibles, siendo sus entradas utilizadas por los homínidos desde hace alrededor de 1,22Ma hasta el final del Pleistoceno Medio, cuando se colmataron de sedimentos, sellando en su interior lo que ahora conocemos como uno de los complejos arqueológicos más importantes para el conocimiento de la evolución humana en Europa.

Este karst está formado por tres niveles principales de galerías, que presentan 4,7 km de conductos explorados y medio centenar de cavidades completamente colma-

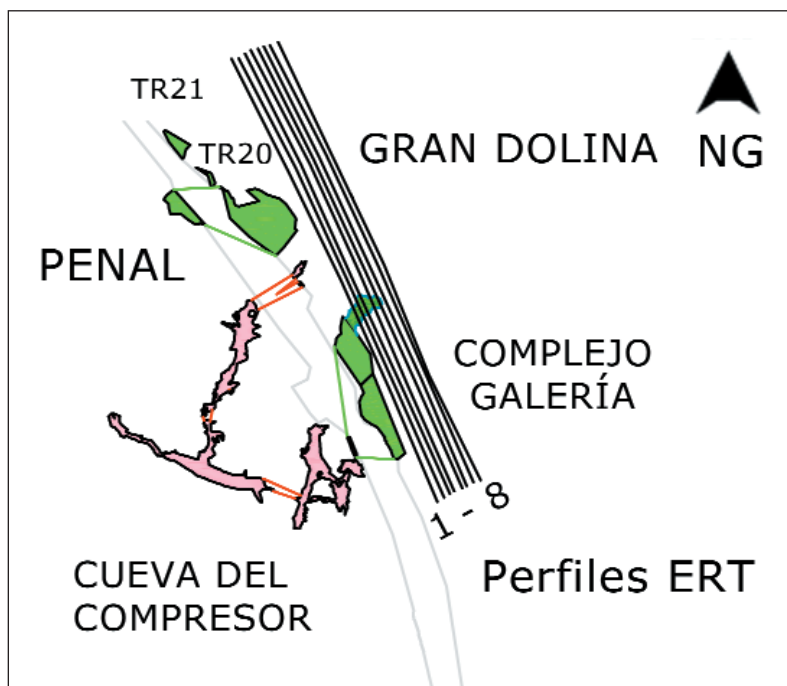


Figura 1: Plano del sector de los yacimientos de Gran Dolina y Complejo Galería, en Trincheras, con la situación de los perfiles geofísicos.

tadas situadas en los frentes de antiguas canteras y la Trincheras del Ferrocarril (Ortega *et al.*, 2012). A estos últimos pertenecen los yacimientos de Gran Dolina y Galería, objeto de este estudio.

Gran Dolina representa el sector de entrada, totalmente colmatado, de una antigua cavidad del nivel intermedio, seccionada por la Trincheras del Ferrocarril. Tiene una sección de unos 25m de altura (con un área excavada de unos 80m²), que muestra un conducto de dirección ONO-ESE y de morfología mixta (tipo ojo de cerradura), con bóveda freática a unos 1001m s.n.m. y un encajamiento vadoso en torno a los 995m s.n.m., encontrándose la base actual del sondeo a 976m de altitud. Este yacimiento contiene una importante secuencia estratigráfica que abarca un millón de años (Carbonell *et al.*, 2014). En el nivel TD6 se localizaron restos fósiles humanos de *Homo antecessor*, un posible ancestro común de los humanos modernos y los neandertales, de hace unos 0,9 Ma.

El Complejo Galería se sitúa a unos 50m al sur de Gran Dolina. Representa una cavidad freática relacionada en cotas con la fase de encajamiento de Dolina, fosilizada y seccionada por la Trincheras. La excavación ha puesto de manifiesto un volumen tridimensional compuesto por un conducto con desarrollo NE-SO identificado como Cueva de los Zarpazos (cuya bóveda alcanza los 998m s.n.m.), un segundo tramo, el de Galería, seccionado en direc-

ción NNO-SSE y techos en torno a 995m de altitud, y finalmente el conjunto de Tres Simas, colapsos que alcanzan la superficie a los 1000m s.n.m. Estos hundimientos de la bóveda proporcionaron luminosidad y accesibilidad al interior de la cavidad a homínidos y animales, formando un importante yacimiento achelense del Pleistoceno Medio, con unos 5 metros de secuencia arqueológica (Carbonell *et al.*, 2014).

Resultados

Los detalles del trabajo, metodología y toma de datos se pueden ver en un trabajo recientemente publicado (Bermejo *et al.*, 2016). En este trabajo se realizaron ocho perfiles paralelos de 142m de longitud, de 72 electrodos separados entre sí cada 2 metros, sobre un área que cubre los conductos de Gran Dolina y Galería (fig. 1) y un sondeo con recuperación de testigo de 18m de profundidad, que ha permitido obtener un test de contrastación y calidad de los resultados. Esta prospección proporciona imágenes 2D de cada perfil (figs. 2 y 3) e imágenes 3D del conjunto, permitiendo realizar cortes horizontales a diferentes alturas, que muestran la evolución de las

anomalías en planta (figs. 4 a 8).

El primer metro de profundidad del corte 3D (figs. 4 y 5) se caracteriza por una alta resistividad que coincide espacialmente con el área de escombreras de antiguas canteras (activas hasta 1972).

Los resultados geofísicos muestran claramente dos importantes anomalías conductivas que se han relacionado con los conductos de Gran Dolina y el Complejo Galería (figs. 2 a 7). La primera de ellas, identificada con la letra A (figs. 2, 4 y 6), corresponde a una estructura cerrada continua, colmatada de sedimentos, que por dimensiones y cotas se relaciona con el conducto de Gran Dolina, marcando una dirección ONO-ESE (fig. 6), conforme con la orientación de las paredes puestas al descubierto en la excavación de Trincheras (Ortega *et al.*, 2013). La segunda (AB) se detecta a partir del perfil 5 (fig. 3) (a unos 12,50m del borde de Trincheras) y representa la parte occidental de una estructura más o menos circular y verticalizada, de unos 15m de profundidad, situada en planta a sólo unos 2m de Zarpazos del Complejo de Galería (figs. 4 a 7). Su morfología sugería la presencia de una entrada directa a la

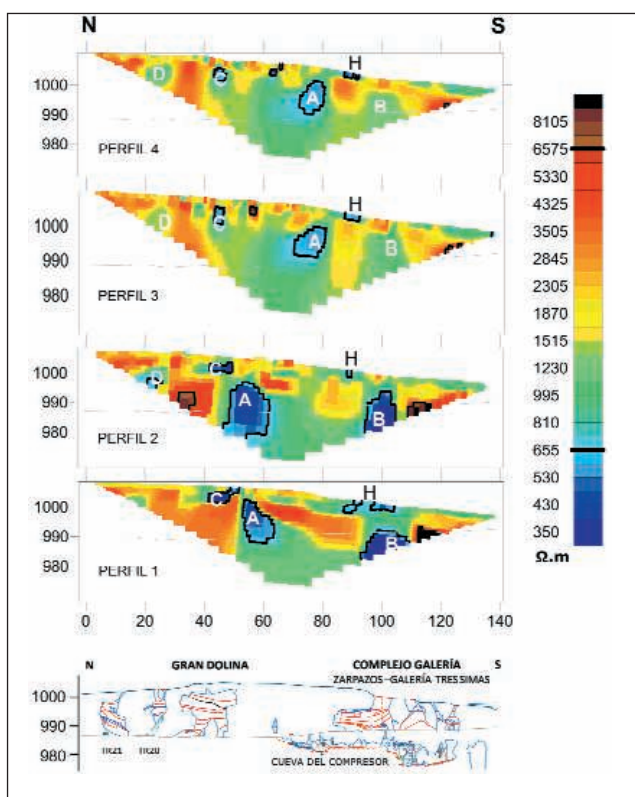


Figura 2: Perfiles ERT 2D 1 a 4, junto con el perfil longitudinal de Trincheras. La línea gris representa la superficie de la base de Trincheras

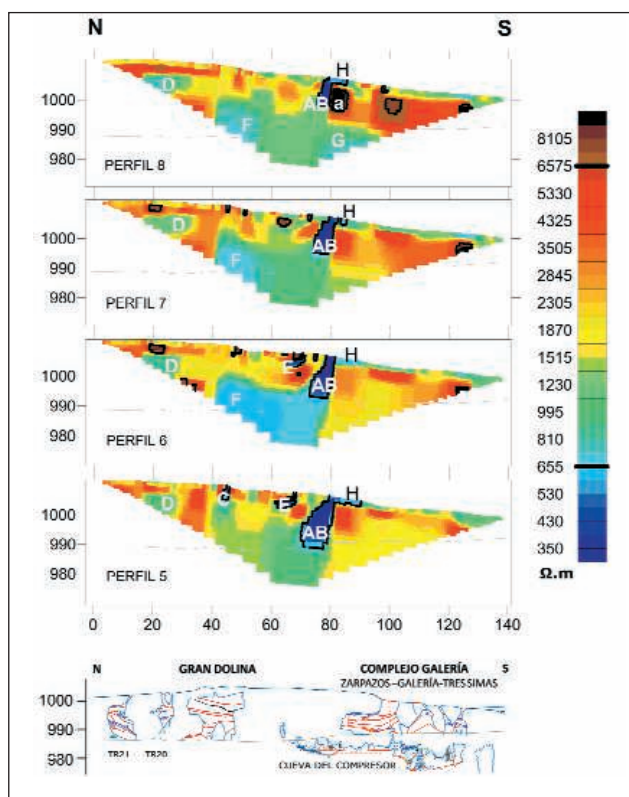


Figura 3: Perfiles ERT 2D 5 a 8, junto con el perfil longitudinal de Trincheras. La línea gris representa la superficie de la base de Trincheras

cavidad y, por proximidad, posiblemente también al conducto de Gran Dolina, por lo que realizamos un sondeo mecánico con recuperación de testigo en un punto central de dicha anomalía (fig. 9). A techo de este conducto vertical (AB) aparece superficialmente una estructura conductiva (H), de unos 5m de anchura por unos 2m de altura (fig. 2 a 5), que puede estar relacionada con una forma natural del sector de entrada a Zarpazos o con alguna intervención minera; únicamente la excavación arqueológica permitirá conocer la naturaleza de esta anomalía.

Este sondeo mostró un registro continuo de sedimentos hasta una profundidad de unos 16m, a partir de la cual se detectó roca caliza hasta los 18m, profundidad en la que se abandonó el sondeo. La secuencia recuperada es compatible con la descrita en el frente de excavación de Zarpazos lo que, unido a su proximidad espacial, parece corresponder con la entrada original a la cavidad por la que, según los estudios arqueológicos, accedían los carnívoros y homínidos al interior de la cueva (Carbonell *et al.*, 2014).

Entre las anomalías de menor dimensión destacan las estructuras cerradas altamente conductivas C, D y E (figs. 2 a 5, y 7). Las estructuras C y E son muy superficiales, representando cavidades tipo silo, colmatadas por sedimentos, con aperturas al exterior (figs. 2, 3 y 5). La superficialidad de estas cavidades y sus rellenos, los convierten en potenciales yacimientos arqueológicos a tener en cuenta en la planificación futura de la excavación de este enclave.

Las estructuras C y D están situadas al noreste de Gran Dolina. La estructura C, de unos 8m de anchura por 4m de altura y apertura al exterior (figs. 2 y 3), se desarrolla horizontalmente unos 10m en dirección E-O. Por su situación, a cotas superiores a los 1001m, esta anomalía puede estar relacionada con el relleno TR20. Por su parte, la figura D, de mayores dimensiones y cotas superiores a los 1.000m, refleja la presencia de un conducto de dirección E-O posiblemente relacionado con el relleno de Trinchera TR21 (figs. 2, 3 y 7) si bien, al encontrarse en el límite de los perfiles, su interpretación ha de ser tomada con precaución.

Otras anomalías de menor dimensión, se detectaron en los límites de los perfiles. En la base de los perfiles 1 y 2, a cotas

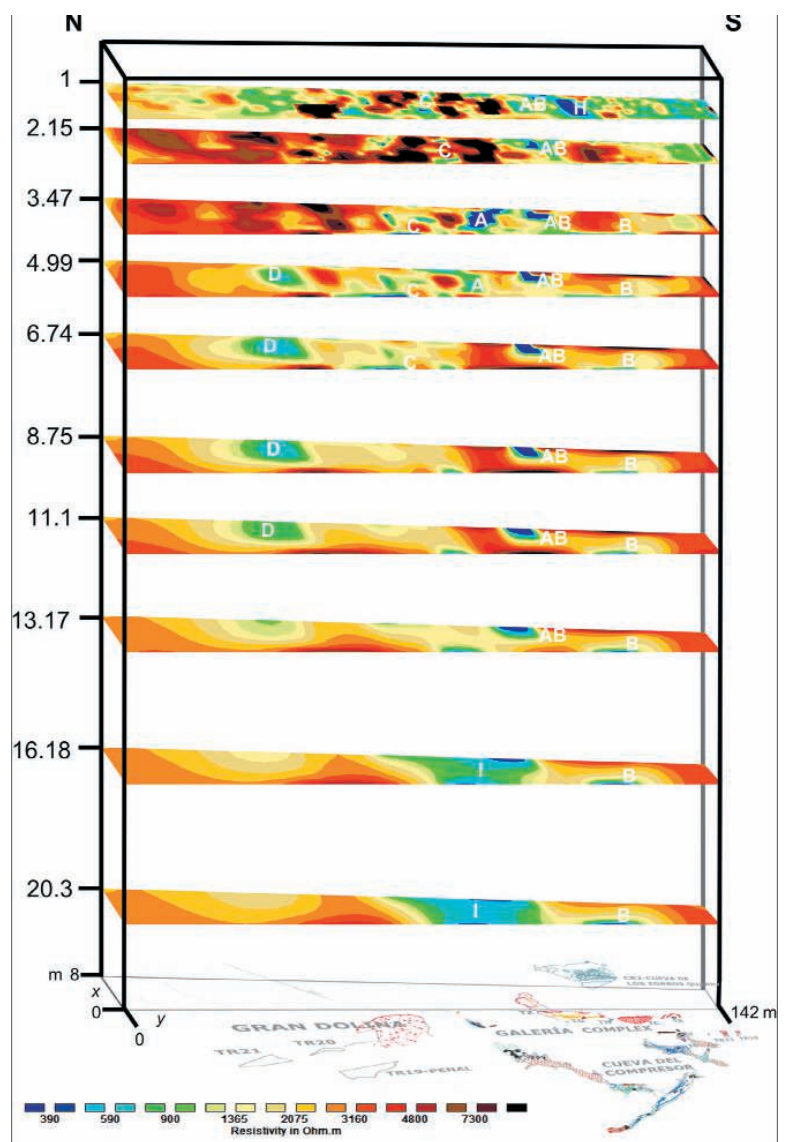


Figura 4: Representación de superficies ERT 3D sobre la planta de las cavidades del sector norte de Trinchera (Basado en Bermejo *et al.* 2016 y Topografía GEE)

inferiores a los 990m de altitud y a unos 10m de profundidad, se documenta una muy conductiva (B) que puede tener relación con el sector de Tres Simas del Complejo Galería, cuyos perfiles apenas distan unos 3m (figs. 2, 4 y 8). Otras medianamente resistivas (F y G) (figs. 3 y 8) se identifican en cotas inferiores a los 14m de profundidad y se sitúan entre Gran Dolina y Galería. Aunque deben ser interpretadas con cautela debido a su localización en el límite inferior del perfil, podrían indicar la presencia de conductos relacionados con el nivel inferior del karst.

Agradecimientos

Queremos agradecer la ayuda recibida del Equipo de Investigación de Atapuerca (EIA) y del Grupo Espeleológico Edelweiss

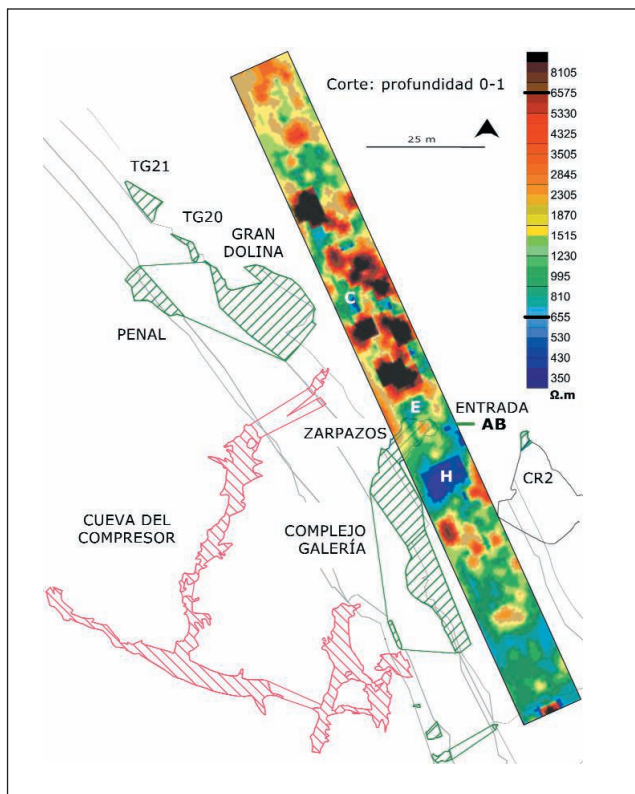


Figura 5: Superficie ERT 3D (0-1m de profundidad), sobre la planta de las cavidades de Trinchera

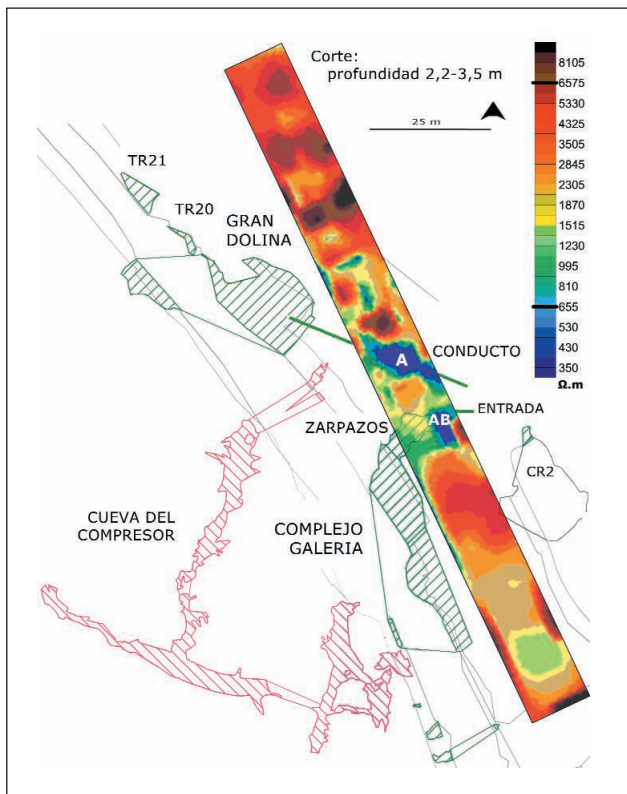


Figura 6: ERT 3D (2,2-3,5m de profundidad), sobre la planta de las cavidades de Trinchera

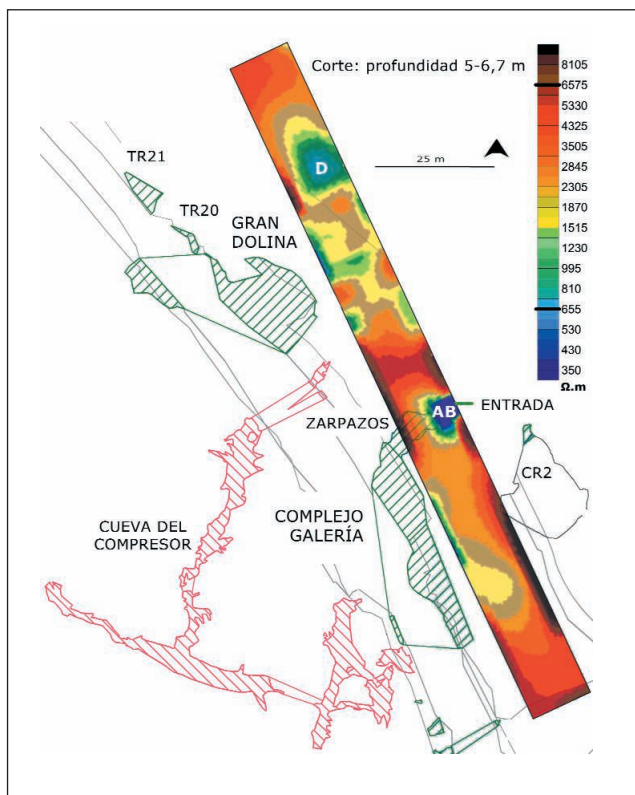


Figura 7: ERT 3D (5-6,7m de profundidad), sobre la planta de las cavidades de Trinchera

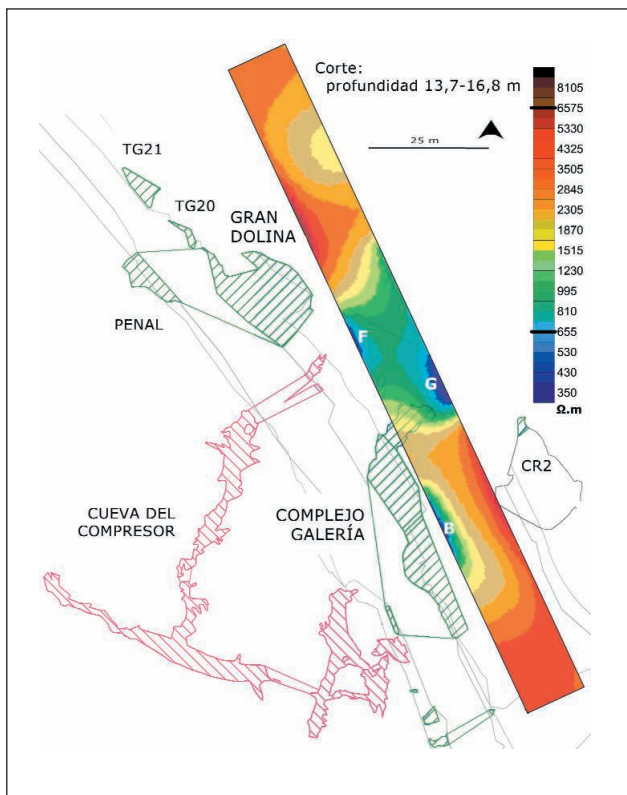


Figura 8: ERT 3D (13,7-16,8m de profundidad), sobre la planta de las cavidades de Trinchera

(GEE). Esta investigación ha sido financiada por MINECO-CGL2012-38434-C03-02 y la Consejería de Cultura y Turismo de la Junta de Castilla y León.

Bibliografía

- Aguirre, E. (1987): Los yacimientos mesopleistocenos en cavidades de la Sierra de Atapuerca. En Aguirre, E.; Bermúdez de Castro, J. M. y Carbonell, E. (Eds.): *El Hombre Fósil de Ibeas y el Pleistoceno de la Sierra de Atapuerca, Monografías. Investigaciones Arqueológicas en Castilla y León*, I. Junta de Castilla y León. 15-36.
- Bergamín, J. F., Sánchez, F., Sánchez, N., Souto, J. y Arsuaga, J. L. (1994): Primeros resultados de la prospección geofísica en la zona suroeste de la Cueva Mayor (Sima de los Huesos), Atapuerca (Burgos). *Geoarqueología (Actas de la 2ª Reunión Nacional de Geoarqueología)*. I.T.G.E.-AEQUA, 449-456.
- Bermejo L., Ortega A. I., Guérin R., Benito-Calvo A., Pérez-González A., Parés J. M., Aracil E., Bermúdez de Castro J. M., Carbonell E. 2016. 2D and 3D ERT imaging for identifying karst morphologies in the archaeological sites of Gran Dolina and Galería Complex (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Quaternary International* doi:doi/10.1016/j.quaint.2015.12.031.
- Carbonell, E., *et al.*, (2014). Sierra de Atapuerca archaeological sites / Los Yacimientos arqueológicos de la Sierra de Atapuerca. En R. Sala Ramos: *Los Cazadores recolectores del Pleistoceno y del Holoceno en Iberia y el Estrecho de Gibraltar: Estado actual del conocimiento del registro arqueológico*. 534-560.
- Ortega, A. I. (2009). *Evolución geomorfológica del Karst de la Sierra de Atapuerca (Burgos) y su relación con los yacimientos pleistocenos que contiene*. Tesis Doctoral, Universidad de Burgos, 624 pp.
- Ortega, A. I., Benito-Calvo, A., Porres, J., Pérez-González, A., Martín, M. A. (2010): Applying Electrical Resistivity Tomography to the Identification of Endokarstic Geometries in the Pleistocene Sites of the Sierra



Figura 9: Sondeo mecánico en el sector de la anomalía AB, entrada colmatada de Zarpazos
Foto: A. I. Ortega

de Atapuerca (Burgos, Spain). *Archaeological Prospection* 17, 233-245.

- Ortega, A. I.; Benito-Calvo, A.; Porres, J. A.; Pérez-González, A., Martín, M. A. (2011): Prospección Geofísica por Tomografía Eléctrica en el karst de la Sierra de Atapuerca, *Cubía*, 16, 34-48.
- Ortega, A. I., Martín Merino, M. A., Grupo Espeleológico Edelweiss (2012): *Cuevas de Atapuerca: una visión de la mano del Grupo Espeleológico Edelweiss*. 271 pp.
- Ortega, A. I., Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Martín, M. A., Pérez, R., Parés, J. M., Aramburu, A., Arsuaga, J. L., Bermúdez de Castro, J. M., Carbonell, E. (2013): Evolution of multilevel caves in the Sierra de Atapuerca (Burgos, Spain) and its relation to human occupation. *Geomorphology* 196, 122-137.