



Datación preliminar por ESR de la secuencia de terrazas fluviales del valle del Arlanza (Sector NE de la Cuenca del Duero, Burgos)

Preliminary Electron Spin Resonance (ESR) dating of Arlanza valley (NE Duero Basin, Burgos, Spain)

D. Moreno¹, A. Benito-Calvo^{1,2}, C. Falguères³, P. Voinchet³, A. Pérez-González¹

¹ Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH). Paseo Sierra de Atapuerca, 3 09002 Burgos. davinia.moreno@cenieh.es alfonso.benito@cenieh.es alfredo.perez@cenieh.es

² Grupo Espeleológico Edelweiss, Paseo del Espolón s/n, 09071 Burgos

³ Dpto. de Prehistoria, Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) UMR 7194 ; 1, Rue René Panhard 75013 Paris (Francia) falguere@mnhn.fr, pvoinch@mnhn.fr

Resumen: El conocimiento sobre la evolución geomorfológica de las redes fluviales de la Península Ibérica ha aumentado considerablemente en los últimos años. Sin embargo, el establecimiento de un marco cronoestratigráfico basado en dataciones numéricas para dichos sistemas fluviales sigue siendo una cuestión clave. Los métodos de datación susceptibles de ser utilizados en este tipo de formaciones sedimentarias son limitados debido a la ausencia de materiales volcánicos y a la propia antigüedad de dichos depósitos. La Resonancia de Spin Electrónico (ESR) aplicada a granos de cuarzo extraídos de los sedimentos es un método paleodosimétrico adecuado para efectuar dataciones numéricas en este tipo de materiales, abarcando, prácticamente, todo el período Cuaternario. La Cuenca del Duero, en su parte NE, tiene dos importantes afluentes: el Arlanza y el Arlanzón. Los valles de estos dos ríos están condicionados por las estructuras tectónicas de las cordilleras alpinas, nacen en la Sierra de la Demanda (Cordillera Ibérica) y atraviesan los mismos terrenos (rocas paleozoicas, mesozoicas y depósitos terciarios continentales). Teniendo en cuenta sus características geomorfológicas se elaboró un modelo regional correlacionando ambas cuencas. En este trabajo, presentamos las primeras dataciones por ESR aplicado a cuarzo efectuadas sobre diferentes terrazas fluviales del valle del Arlanza y la correlación efectuada entre este valle y el valle del Arlanzón. Este último valle ya ha sido datado por ESR y dichas fechas constituyen puntos de referencia cronológicos que nos permiten afinar y precisar el modelo regional previamente establecido.

Palabras clave: Cuenca del Duero, Pleistoceno, Resonancia de Spin Electrónico (ESR), Valle del Arlanza, Valle del Arlanzón.

Abstract: Knowledge of geomorphological evolution of fluvial networks in the Iberian Peninsula has considerably improved during recent years. However, the establishment of a chronological framework for these fluvial systems based on numerical data still remains a key issue. Dating methods which may be used on these sedimentary formations are limited because of lack of



volcanic sediments and the old age of these deposits themselves. Electron Spin Resonance (ESR) applied on quartz grains extracted from sediments is a paleodosimetric method suitable for dating these fluvial sediments and for the whole Quaternary period. In their NE sector, the Duero Basin has two important tributaries: Arlanzón and Arlanza rivers. These valleys are conditioned by alpine tectonic structures, rise at the Sierra de la Demanda (Iberian Range) and flow through similar deposits (Paleozoic and Mesozoic rocks, continental tertiary deposits). A regional correlation model based on geomorphological characteristics between both river valleys was elaborated. In this work, we have applied for the first time the ESR method on quartz grains extracted from sediments on several fluvial terraces of the Arlanza river. We present these first ESR results as long as a preliminary correlation between the Arlanza and the Arlanzón valley for which ESR data are already available.

Key words: Arlanza valley, Arlanzón valley, Duero Basin, Electron Spin Resonance (ESR), Pleistocene.

INTRODUCCIÓN

El establecimiento de un marco cronológico basado en dataciones numéricas sigue siendo una cuestión clave para estudiar la evolución de las redes de drenaje cuaternarias de la Península Ibérica. En el sector NE de la Cuenca del Duero se iniciaron trabajos para precisar el marco cronológico del sistema de terrazas fluviales del río Arlanzón mediante la técnica de Resonancia de Spin Electrónico (ESR). Estos estudios pretenden conocer la evolución de los valles de esta región y su influencia en la formación del sistema endokárstico de la Sierra de Atapuerca y los yacimientos que contiene. En este trabajo, continuamos analizando la secuencia de terrazas del sector NE de la Cuenca del Duero, aplicando por primera vez el método ESR en el valle del Arlanza, colector principal del río Arlanzón, con objeto de datar algunas de sus terrazas fluviales y obtener fechas numéricas preliminares que nos sirvan como puntos de referencia cronológicos en una zona en la que no existen dataciones previas. Los métodos de datación susceptibles de ser utilizados en este tipo de formaciones sedimentarias son limitados debido a la ausencia de materiales volcánicos y a la propia antigüedad de dichos depósitos. La Resonancia

de Spin Electrónico (ESR) aplicada a granos de cuarzo extraídos de sedimento es uno de los pocos métodos que se pueden aplicar junto con los isótopos cosmogénicos

MARCO GEOLÓGICO

El río Arlanza nace en la Sierra de la Demanda donde atraviesa los materiales paleozoicos y mesozoicos de la Cordillera Ibérica hasta llegar a la Cuenca Cenozoica del Duero, aguas arriba de Covarrubias. Se trata de un valle de trazado general este-oeste que incide en los materiales terciarios hasta la confluencia con el río Arlanzón donde cambia a orientaciones NE-SO, antes de confluir con el río Pisuerga y, éste finalmente con el Duero (Fig. 1). La evolución del río Arlanza ha generado una secuencia de 16 terrazas fluviales denominadas, desde la más alta, T1_{AZA} (+121-130 m) a la más baja, T16_{AZA} (+2-3 m), mientras que la llanura aluvial se sitúa a +0,5-1 m del cauce del río (Benito Calvo, 2004). Estas terrazas se caracterizan por depósitos de gravas cuarcíticas y, en menor medida, gravas de otras rocas metamórficas, que en conjunto presentan intercalaciones locales de niveles arenosos y algunos lentejones más finos limono-arcillosos.

Algunos datos cronológicos preliminares del valle del río Arlanza se han establecido utilizando algunas medidas paleomagnéticas realizadas en los depósitos areno-limosos localizados en los planos de las terrazas T5_{AZA} (+72-79m) y T6_{AZA} (+64-67m), que dieron una polaridad normal (Benito Calvo, 2004; Benito-Calvo *et al.*, 2008). En base a estos datos y correlaciones regionales, se propuso un marco cronológico que estima una edad de Pleistoceno inferior a las terrazas T1_{AZA} (-121-130 m) a T5_{AZA} (+73-79 m) localizando en la T6_{AZA} (+64-67 m) el límite Matuyama-Brunhes. El Pleistoceno medio abarcaría entre la T6_{AZA} y la T13_{AZA} (+12-17 m), y el Pleistoceno superior de la T14_{AZA} (+8-11 m) a la T16_{AZA} (+2-3 m) (Benito Calvo, 2004).

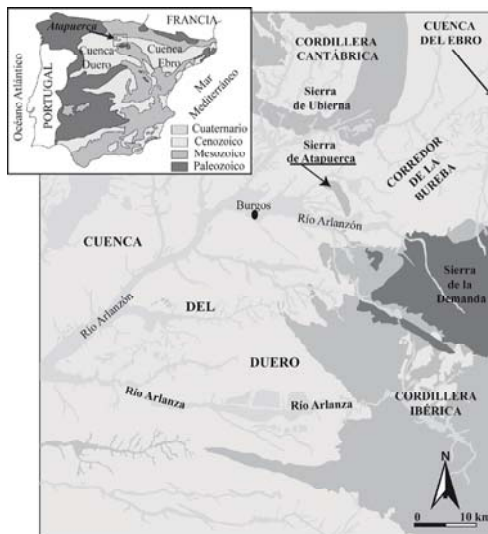


FIGURA 1. Situación geográfica y contexto geológico de la Cuenca del Duero y de los valles del Arlanza y Arlanzón (Modificado de Benito Calvo, 2004)

METODOLOGÍA

La datación por Resonancia de Spin Electrónico (ESR) de granos de cuarzo extraídos de sedimentos fluviales está basada en la detección de cargas electrónicas atrapadas en *centros paramagnéticos* creados por la ra-

dioactividad natural y asociados a los defectos cristalinos existentes en su estructura interna (Weil, 1984). Si el cuarzo entra en contacto con la luz solar, esas cargas electrónicas pueden ser liberadas y poner a cero la señal ESR. Este fenómeno es conocido como “*blanqueo óptico*”. A partir del momento en que el cuarzo vuelve a ser enterrado, la señal ESR aumenta de nuevo como consecuencia del efecto de la radioactividad natural. Por lo tanto, el evento datado es la última exposición del sedimento a la luz solar.

En el cuarzo se pueden observar varios centros paramagnéticos que pueden ser utilizados en datación: centro Aluminio (Al), centro Titanio (Ti), centro Germanio (Ge), centro E' o el centro OHC, entre otros. Todos ellos tienen características propias que hacen que sea, más o menos, interesante su utilización con fines geocronológicos. Sin duda, el más utilizado de todos es el centro de Aluminio (Al) debido a (1) su presencia en casi todos los tipos de cuarzo, (2) a que la señal ESR siempre se observa y (3) a su alta dosis de saturación que permite datar periodos muy antiguos, incluso anteriores al inicio del Cuaternario. Su cinética de blanqueo, sin embargo, es lenta y este centro no se pone a cero totalmente por exposición a la luz solar siendo necesario calcular una dosis residual para evitar sobreestimar la edad de la muestra. Otro centro importante en datación es el centro de Titanio (Ti). A diferencia del centro de Aluminio, éste no siempre es observable y es más difícil medirlo pero se blanquea total y rápidamente con la luz solar. Toyoda *et al* (2000) propuso medir sistemáticamente ambos centros para evaluar estas diferencias de blanqueo. En este trabajo, debido a la débil señal ESR obtenida con el centro de Titanio, se optó por medir solamente el centro de Aluminio, obteniendo edades preliminares que serán precisadas con sucesivas muestras actualmente en procesamiento.



Para realizar esta datación preliminar del valle del Arlanza se muestreó en función de la existencia y estado de conservación de los afloramientos de las diferentes terrazas. Tal como se indica en la Figura 2 sólo fueron analizadas cuatro muestras tomadas en afloramientos de sedimentos aluviales recogidos en los planos de otras tantas terrazas fluviales. La muestra AZA08-09 fue recogida en facies arenosas localizadas a techo de la terraza T5_{AZA} (+73-79 m), en una gravera abandonada situada al NE de Santa Inés. La muestra AZA08-11 se recogió en un canal arenoso a techo de la terraza T6_{AZA} (+64-67 m), que aflora al lado de una balsa de agua localizada al SSE de Tordómar. La muestra AZA08-08 fue recogida en facies arenosas interestratificadas entre barras de gravas de la terraza T10_{AZA} (+33-36 m), localizada en una gravera situada entre Villalmanzo y Santa Inés. Próxima a esta misma localización, también fue recogida la muestra AZA07-08, en el paraje conocido como la Estepareja, donde se localiza una gravera con un nivel de arenas situado entre barras de gravas inicialmente atribuidos a la terraza T13_{AZA} (+12-17 m), pero que según los datos presentados aquí podrían corresponder a la terraza T12_{AZA} (+20-23 m).

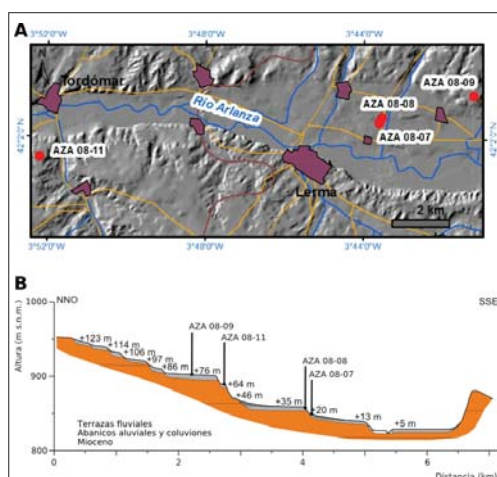


FIGURA 2. Sombreado del relieve (A) y perfil sintético (B) del sector estudiado de valle del Arlanza, con la posición de las muestras analizadas

Las muestras han sido sometidas a un tratamiento físico-químico siguiendo el protocolo de Voinchet *et al.* (2007) para extraer los granos de cuarzo puro de fracción 100-200 μm del resto del sedimento.

Cada muestra fue dividida en 12 alícuotas, diez de las cuales fueron irradiadas con una fuente de rayos gamma panorámica de ^{60}Co en el *Commissariat à l'Energie Atomique* (Saclay, Francia) (Dolo *et al.*, 1996). Las dosis demandadas son las siguientes: 400, 630, 1000, 1600, 2500, 4000, 6300, 10000, 16000 y 25000 (tasa de dosis de 2000 Gy/h). Con el objetivo de controlar la dosis realmente recibida por las muestras, se colocaron varios dosímetros de alanina entre las muestras. La dosis residual de la señal ESR asociada al centro de Aluminio fue determinada por exposición de una alícuota natural de cada muestra a la luz durante 1500h en un simulador óptico SOL2 (Hönle). La última alícuota se conservó en estado natural. El componente blanqueado corresponde a la diferencia relativa entre la intensidad ESR de la alícuota natural y la de la alícuota blanqueada. Cada serie de 12 alícuotas fue medida tres veces a baja temperatura (100K) utilizando un espectrómetro EMX Bruker de banda X en el *Muséum National d'Histoire Naturelle* (París, Francia) y siguiendo los parámetros de la Tabla I. Además, cada alícuota se midió cada 120° de rotación para tener en cuenta la dependencia angular de la señal ESR debida a la heterogeneidad de la muestra.

La determinación de la dosis equivalente se realizó con la ayuda del programa Microcal Origin8 y se utilizó la función de extrapolación que comprende un término de saturación exponencial simple y otro lineal (SSE+LIN) (Duval *et al.*, 2009). La dosis anual fue calculada a partir de la suma de las dosis α , β , γ y cósmica. Para determinar las dosis γ se realizaron medidas *in situ* con un espectrómetro gamma portátil (Inspector1000 Canberra) con sonda de NaI.



Campo magnético	
Anchura de barrido	9 mT
Tiempo de barrido	42 s
Resolución	1024 puntos
Microondas	
Frecuencia	9,4 GHz
Potencia	5 mW
Señal	
Frecuencia de modulación	100 kHz
Amplitud de modulación	0,1 mT
Tiempo de conversión	40 ms
Constante de tiempo	40 ms
Número de barridos	1

TABLA I. *Parámetros de adquisición utilizados para realizar las medidas por ESR*

A partir del sedimento bruto, se midió la concentración en ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{222}Rn por espectrometría gamma. Se utilizaron los factores de conversión dosimétrica de Adamiec & Aitken (1998). Se ha usado una eficiencia α de 0.2 ± 0.1 (Yokoyama *et al.*, 1985), los valores de atenuación α y β de Brennan *et al.* (1991) y Brennan (2003) y la atenuación del agua según (Grün y McDermott, 1994). La dosis cósmica se calculó según la fórmula de Prescott y Hutton (1994).

RESULTADOS/DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se encuentran en la Tabla II.

		Muestra			
		AZA08-09	AZA08-11	AZA08-08	AZA08-07
%	BI	56	57	55	49
(μGy/a)	D α	42 ± 2	83 ± 2	38 ± 2	84 ± 2
	D β	1074 ± 21	1417 ± 30	767 ± 21	1754 ± 31
	D γ	908 ± 91	1121 ± 112	598 ± 60	1147 ± 115
	Dcos	174 ± 9	204 ± 10	200 ± 10	180 ± 9
	D a	2197 ± 97	2825 ± 116	1603 ± 64	3166 ± 119
Gy	D e	1745 ± 236	1967 ± 181	566 ± 67	722 ± 87
Ma	Edad	0.79 ± 0.11	0.70 ± 0.07	0.35 ± 0.04	0.23 ± 0.03

TABLA II. *Edades ESR y datos radiométricos asociados obtenidos para las muestras del valle del Arlanza (BI: porcentaje de blanqueo; D $_{cos}$: Dosis cósmica; D $_a$: dosis anual; D $_e$: Dosis equivalente)*

Las 4 muestras de cuarzo analizadas presentan tasas de blanqueo similares (entre 50-55%) lo que sugiere unas condiciones similares de depósito y de blanqueo.

La muestra AZA08-09 recogida en la T5_{AZA} (+73-79 m), la más alta de las cuatro terrazas analizadas en este trabajo, ha proporcionado una edad ESR de 0.79 ± 0.11 Ma. La muestra AZA08-11 tomada en la terraza inmediatamente inferior, la T6_{AZA} (+64-67 m), ha sido datada en 0.70 ± 0.07 Ma. Estos resultados ESR coinciden con la polaridad normal obtenida para los depósitos de las muestras AZA08-09 y AZA08-11 (Benito Calvo, 2004, Benito Calvo *et al.*, 2008) lo que podría implicar una edad de Pleistoceno medio para las terrazas T6_{AZA} (+64-67 m) y cerca del límite Pleistoceno inferior-medio para la T5_{AZA} (+73-79 m). Esta posible edad para las terrazas marcaría una disonancia entre las cuencas del valle del río Arlanzón y el río Arlanza, ya que las terrazas del río Arlanzón situadas a +70-78 m (T3_{AZN}) y +60-67 m (T4_{AZN}) han sido datadas en el Pleistoceno inferior, con 1,14 Ma para la T3_{AZN} y en torno a 0,85 Ma, para la T4_{AZN} (Moreno, 2011; Moreno *et al.*, 2012; Benito-Calvo *et al.*, 2016); terraza que, además, presenta polaridad inversa en el valle del río Arlanzón (Benito-Calvo *et al.*, 2008, 2016).

Esta posible disonancia entre los niveles de terraza no se observa a lo largo del trazado estudiado de ambos valles, donde las terrazas presentan un desarrollo longitudinal paralelo hasta la zona de confluencia de ambos valles. En la zona de confluencia, las terrazas mantienen sus cotas relativas respecto al cauce y conectan.

Además del bajo número de muestras por terraza, otra explicación para la posible diferencia cronológica observada en las terrazas de ambos valles es que los depósitos del valle del río Arlanza datados en este trabajo podrían



corresponder a depósitos aluviales posteriores a la formación de las terrazas, como por ejemplo conos aluviales laterales, frecuentes en esta margen del valle del Arlanza. Así, la muestra AZA08-09 fue recogida en depósitos arenosos de aspecto masivo que se apoyan a través de una discordancia erosiva sobre facies estratificadas de gravas y arenas. Por otro lado, la muestra AZA08-11 fue recogida en un canal arenoso, de dirección perpendicular al trazado del valle que corta una barra de gravas. Ambas muestras, por tanto, se relacionan con unidades estratigráficas arenosas situadas a techo, que cortan o seccionan depósitos gravosos inferiores, presumiblemente relacionados con la sedimentación de las terrazas.

Con objeto de aportar nueva información sobre estos aspectos, se han recogido nuevas muestras de la parte inferior de las secuencias que permitan incrementar el número de muestras y su significancia estadística, estimar la edad de la parte inferior de las secuencias aluviales, y el orden de magnitud de las discordancias que separan los depósitos situados a techo de las unidades gravosas de la base.

El paralelismo geomorfológico observado entre los valles del río Arlanza y el río Arlanzón sí que queda reflejado en la muestra AZA08-08, recogida en un canal de arenas intercalado dentro de depósitos de barras de gravas asociados a la terraza del Arlanza T10_{AZA} (+33-36 m). Esta muestra arroja una edad ESR preliminar de 0.35 ± 0.04 Ma, que coincide significativamente con la cronología de las terrazas colgadas en torno a los +30-37 m de la cuenca del río Arlanzón. En este último valle, la terraza T9_{AZN} (+35-37 m) ha sido estimada en torno a 0.385 Ma mediante ESR (Moreno, 2011; Moreno *et al.*, 2012), mientras que la terraza inmediatamente inferior, T8_{AZN} (+28-32 m), ha sido cifrada alrededor de 0.348 Ma mediante OSL (Arnold *et al.*, 2012; Benito-Calvo *et al.*, 2015; Benito-Calvo *et al.*, 2016).

Por último, la muestra AZA08-07 presenta una edad ESR de 0.23 ± 0.03 Ma. Este mismo afloramiento fue datado por TL en 0.11 ± 0.01 Ma (Laboratorio de Datación y Radioquímica, Universidad Autónoma de Madrid; Benito-Calvo *et al.*, 2008). Los depósitos datados están compuestos por barras de gravas con un nivel intercalado de arenas de aspecto masivo. Este afloramiento puntual se alza a +20 m del río Arlanza aunque está incluido en un plano tendido que se inclina suavemente hacia el centro del valle, erosionado y parcialmente cubierto por conos laterales, hasta que rompe y queda colgado a +13 m del cauce (Fig. 2B). En base a esta disposición morfológica y la edad TL de 0.11 Ma se asoció este afloramiento con la terraza T13_{AZA} (+12-17 m). La nueva edad ESR de 0.23 Ma, podría sugerir una edad más antigua para esta terraza, o bien indicar que el afloramiento datado pertenece a la terraza superior, T12_{AZA} (+20-23 m), que se encuentra inmediatamente hacia el este, parcialmente seccionada y erosionada por cauces laterales. A favor de esta última opción, cabe destacar que la terraza del río Arlanzón situada a +12-14 m (T11_{AZN}) arroja una edad ESR más joven, de 0.14 Ma. Actualmente, se están procesando muestras de otros afloramientos de estas terrazas en el valle del Arlanza para poder precisar las atribuciones cronológicas.

CONCLUSIÓN

En este trabajo se han presentado los resultados preliminares que se están obteniendo de la datación por ESR de las terrazas fluviales del río Arlanza. Actualmente se trata de datos preliminares, con una muestra por terraza, que arrojan resultados que sugieren edades medias ≥ 0.79 Ma para las terrazas colgadas a +73-79 m, y ≥ 0.70 Ma para las terrazas situadas a +64-67 respecto al cauce del río Arlanza. Por otro lado, se ha obtenido una cronología ESR de 0.35 ± 0.04 Ma para la terraza T10_{AZA} (+33-36 m), y proporcionan una edad preliminar



en torno a los 0.23 Ma, para un afloramiento aluvial situado +20 m del cauce. En cualquier caso, este trabajo de datación por ESR ha de considerarse como un estudio preliminar a precisar en sucesivos trabajos, donde se incrementará el número de muestras por terraza y el número de terrazas, con objeto de completar los actuales resultados y poder establecer un marco cronológico sólido.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al MICINN por la beca concedida (BES-2007-16382). Los trabajos geomorfológicos fueron realizados gracias a los proyectos CEN001B10-2 de la Junta de Castilla y León y CGL 2012-38434-C03-02 y CGL2015-65387-C3-3-P del Programa Estatal de Fomento de la Investigación Científica y Técnica de Excelencia (MICINN).

REFERENCIAS

- Adamiec, G., y Aitken, M. 1998. Dose-rate conversion factors: update. *Ancien TL*, 16, 37-50.
- Arnold, L.J., Demuro, M., Navazo, M., Benito-Calvo, A. y Pérez-González, A. 2013. OSL Dating of the Middle Palaeolithic Hotel California Site, Sierra de Atapuerca, North-Central Spain. *Boreas*, 42 (2), 285-305.
- Benito Calvo, A., Pérez-González, A. y Santonja, M 1998. Terrazas rocosas, aluviales y travertínicas del Valle Alto del Río Henares. *Geogaceta*, 24, 55-58.
- Benito-Calvo, A. 2004. *Análisis geomorfológico y reconstrucción de paleopaisajes neógenos y cuaternarios en la Sierra de Atapuerca y el valle medio del río Arlanzón*. Tesis doctoral. Univ. Complutense de Madrid. 381 pp.
- Benito-Calvo, A., Pérez-González, A. y Pares, J.M. 2008. Quantitative Reconstruction of Late Cenozoic Landscapes: A Case Study in the Sierra de Atapuerca (Burgos, Spain). *Earth Surface Processes and Landforms*, 33 (2), 196-208.
- Benito-Calvo, A. y Pérez-González, A. 2015. Geomorphology of the Sierra de Atapuerca and the Middle Arlanzón Valley (Burgos, Spain). *Journal of Maps*, 11 (4), 535-44.
- Benito-Calvo, A., Ortega, A.I., Navazo, M., Moreno, D., Pérez-Gonzalez, A., Parés, J.M., Bermúdez De Castro, J.M. y Carbonell, E. 2016. Pleistocene Geodynamic Evolution of the Arlanzón Valley: Implications for the Formation of the Endokarst System and the Open Air Archaeological Sites of the Sierra de Atapuerca (Burgos, España). *Boletín Geológico y Minero*, in press.
- Brennan, B. 2003. Beta doses to spherical grains. *Radiation Measurements*, 37, 299-303
- Brennan, B., Lyons, R. y Philips, S. 1991. Attenuation of alpha particle track dose for spherical grains. *Nucl. Tracks Radiat. Meas*, 18, 249-253.
- Dolo, J.M., Lecerf, N., Mihajlovic, V., Falguères, C. y Bahain, J.J. 1996. Contribution of ESR dosimetry for irradiation of geological and archaeological samples with a ^{60}Co panoramic source. *Applied Radiation and Isotopes*, 47, 1419-1421.
- Duval, M., Grün, R., Falguères, C., Bahain, J.J. y Dolo, J.M. 2009. ESR dating of Lower Pleistocene fossil teeth : Limits of the single saturating exponential (SSE) function for the equivalent dose determination. *Radiation Measurements*, 44, 477-482.
- Grün, R. y McDermott, F. 1994. Open system modeling for U-series and ESR dating of teeth. *Quaternary Geochronology*, 13, 121-125.
- Howell, F.C, Butzer, K.W., Freeman, G.L., y Klein, R.G. 1995. Observation on the Acheulean Occupation Site of Amborna (Soria Province Spain) with Particular Reference to Recent Investigations (1980-1983) and the Lower Occupation. *Jabr-*



- buch Des Römisch-Germanischen. Zentralmuseum Mainz* 38: 33–82.
- Moreno, D. 2011. *Datation par ESR de quartz optiquement blanchis (ESR-OB) de la région de Atapuerca (Burgos, Espagne). Application au site préhistorique de Gran Dolina (contexte karstique) et aux systèmes fluviaux quaternaires de l'Arlanzón et l'Arlanza*. Tesis doctoral. Univ. Rovira i Virgili (Tarragona, España) y Muséum National d'Histoire Naturelle (Paris, Francia). 268 p.
- Moreno, D., Falguères, C., Pérez-González, A., Duval, M., Voinchet, P., Benito-Calvo, A., Ortega, A.I., Bahain, J.J., Sala, R., Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J.M. y Arsuaga, J.L. 2012. ESR chronology of alluvial deposits in the Arlanzón valley (Atapuerca, Spain): Contemporaneity with Atapuerca Gran Dolina site. *Quaternary Geochronology*, 10, 418–423.
- Prescott, J.R. y Hutton, J.T. 1994. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long-term time variations. *Radiation Measurements*, 23, 497–500.
- Toyoda, S., Voinchet, P., Falguères, C., Dolo, J.M. y Laurent, M. 2000. Bleaching of ESR signals by the sunlight: a laboratory experiment for establishing the ESR dating of sediments. *Applied Radiation and Isotopes*, 52, 1357–1362.
- Voinchet, P., Falguères, C., Tissoux, H., Bahain, J.J., Despriée, J. y Pirouelle, F. 2007. ESR dating of fluvial quartz: Estimate of the minimal distance transport required for getting a maximum optical bleaching. *Quaternary Geochronology*, 2, 363–366.
- Weil, J.A. 1984. A review of electron spin spectroscopy and its application to the study of paramagnetic defects in crystalline quartz. *Phys. Chem. Minerals*, 10, 149–165.
- Yokoyama, Y., Falguères, C. y Quaegebeur, J.P. 1985. ESR dating of quartz from quaternary sediments: First attempt. *Nucl. Tracks*, 10, 921–928.