

TÉCNICAS DE IMAGEN Y ANÁLISIS MULTIELEMENTAL EN EL ESTUDIO DE LAS PINTURAS ESQUEMÁTICAS DEL DOLMEN DE *EL MORECO* (HUIDOBRO, BURGOS, ESPAÑA)

IMAGING TECHNIQUES AND MULTI-ELEMENTAL ANALYSIS
IN THE STUDY OF THE SCHEMATIC PAINTINGS
OF *EL MORECO* DOLMEN (HUIDOBRO, BURGOS, SPAIN)

Angélica Santa Cruz del Barrio

Universidad de Valladolid
angelica.santa-cruz@uva.es
<https://orcid.org/0000-0001-6186-0328>

Jesús Martín-Gil

Universidad de Valladolid
mgil@iaf.uva.es
<https://orcid.org/0000-0001-9921-2465>

Germán Delibes de Castro

Universidad de Valladolid
delibes@fyl.uva.es
<https://orcid.org/0000-0002-5553-6414>

José Antonio Cuchí-Oterino

Universidad de Zaragoza
cuchi@unizar.es
<https://orcid.org/0000-0001-9067-2940>

Alejandro del Valle

Espacio de la Ciencia de Cogeces del Monte
alexmcuva@gmail.com

Pablo Martín-Ramos

Universidad de Zaragoza
pmr@unizar.es
<https://orcid.org/0000-0003-2713-2786>

Recepción: 15/09/2022. Aceptación: 11/01/2023
Publicación on-line: 26/01/2023

RESUMEN: Las pinturas sobre los ortostatos del dolmen de corredor de *El Moreco* (Huidobro, Burgos, España), sometidas durante tres milenios a las inclemencias climatológicas (ciclos hielo-deshielo, lluvia, etc.) y a las amenazas antrópicas, han perdido visibilidad hasta resultar prácticamente irreconocibles. El uso de técnicas de descorrelación para la mejora de imágenes ha facilitado el reconocimiento de la figura esquemática del antropomorfo sexuado y otras trazas, permitiendo su posterior análisis mediante fluorescencia de rayos X portátil. La comparación de los elementos-traza del pigmento rojo ocre presente sobre los ortostatos con los de nódulos ricos en goethita encontrados en el dolmen y sus alrededores sugiere que éstos puedan ser la materia prima utilizada en las pinturas esquemáticas. Se propone la zona de *Las Loras*, a 30-60 km del dolmen, como el origen más probable de estos nódulos de hierro y, en consecuencia, del pigmento a base de goethita.

Palabras clave: *El Moreco*; *Las Loras*; goethita; ocre rojo; dolmen; DStretch; pXRF; XRD.

STRACT: The paintings found on the orthostates forming the corridor dolmen *El Moreco* (Huidobro, Burgos, Spain), subjected for three millennia to inclement climate (freeze-thaw cycles, rain, etc) and to anthropic threats, have lost visibility to the point of being almost unrecognizable. The use of decorrelation techniques to improve images has facilitated the recognition of the schematic figure of the sexed anthropomorph and other traces, allowing their subsequent analysis using portable X-ray fluorescence. Comparison of the trace elements of the red ochre pigment present on the orthostates with those of goethite-rich nodules found in and around the dolmen suggests that these may be the raw material used for the schematic paintings. The area of *Las Loras*, 30-60 km from the dolmen, is proposed as the most probable origin of these iron nodules and, consequently, of the goethite-based pigment.

Keywords: *El Moreco*; *Las Loras*; goethite; red ochre; DStretch; pXRF; XRD.

Cómo citar este artículo / How to cite this article: Santa Cruz del Barrio, A., Martín Gil, J., Delibes de Castro, G., Cuchi Oterino, J. A., del Valle, A. y Martín Ramos, P. (2023). Técnicas de imagen y análisis multielemental en el estudio de las pinturas esquemáticas del dolmen de *El Moreco* (Huidobro, Burgos, España). *Salduie*, 23 (1): 59-69.
https://doi.org/10.26754/ojs_salduie/sald.2023237320

1. INTRODUCCIÓN

Las pinturas de los ortostatos de las tumbas de corredor no protegidas, expuestas durante mucho tiempo a las inclemencias del tiempo y a la acción antrópica, se encuentran en general en un estado de conservación mucho peor que el de las pinturas situadas en el interior de las cuevas o en los abrigos prehistóricos: su extrema vulnerabilidad ha llevado a una situación actual en la que la mayoría de ellas son irreconocibles.

La fragilidad de este tipo particular de patrimonio cultural ha motivado a investigadores y gestores culturales a desarrollar técnicas de documentación exhaustivas, precisas y no invasivas para garantizar su preservación. Dichas técnicas deben permitir no sólo la visualización de las imágenes del arte rupestre, sino también el seguimiento de los procesos de degradación que afectan a los conjuntos de arte rupestre a corto, medio y largo plazo. Además, deben actuar como vehículos de difusión para concienciar al público del alto valor del patrimonio del arte rupestre (Domingo-Sanz 2014).

En los últimos años, las pinturas rupestres de las cuevas y los abrigos prehistóricos se han beneficiado de la aplicación de técnicas avanzadas: las pictografías que ya no resultaban reconocibles a simple vista están siendo recuperadas gracias a las conocidas como técnicas de imagen aplicadas a bienes de interés patrimonial o CHI (por ejemplo, la obtención de imágenes por transformación de reflectancia, la separación mejorada de colores mediante algoritmos de descorrelación, el análisis de datos de imágenes multiespectrales, etc.) (Robert *et al.* 2016), mientras que las técnicas no destructivas de fluorescencia de rayos X portátil (pXRF) y de espectroscopia de plasma inducido por láser (LIBS) permiten ahora realizar análisis elementales *in situ* (Gay *et al.* 2016; Ruan *et al.* 2019; Vandennabeele y Donais, 2016).

Por ejemplo, se han reportado muchos ejemplos de la aplicación del *software* de procesamiento de imágenes DStretch, tanto en España (Bea y Angás 2017; Collado *et al.* 2013; Domingo *et al.* 2015; Fernández-Lozano *et al.* 2017; Fra-

ile *et al.* 2016; Martínez 2010), como en todo el mundo (Gunn *et al.* 2014; Harman 2005; Kotoula *et al.* 2018; Le Quellec *et al.* 2015), y la pXRF ha encontrado en la actualidad una aplicación generalizada (Gay *et al.* 2020; Morillas *et al.* 2018).

No obstante, no se ha informado hasta la fecha del uso de la combinación de las tecnologías CHI mencionadas y la caracterización por pXRF para estudiar pinturas con alto grado de degradación en un dolmen (aunque –por ejemplo– se han realizado análisis destructivos por XRF de un pigmento de cinabrio bien conservado sobre una losa del dolmen de Montelirio (Hunt y Hurtado 2010)). Por ello, en este trabajo presentamos un ejemplo de cómo se han aplicado con éxito ambas técnicas combinadas a la tumba de corredor de *El Moreco*, como un caso de estudio que pueda ser de utilidad a otros investigadores que trabajen en arte rupestre con problemas de conservación similares.

2. EL DOLMEN DE EL MORECO

El Moreco es un sepulcro de corredor en piedra caliza (Fig. 2a) situado a 4 km al sur de Huidobro-Los Altos, en Burgos, España (42°46'02"N 3°41'32"O). Forma parte del conjunto megalítico de La Lora, uno de los más importantes de la Meseta norte (Fig. 1). Fue descubierto por C. Robledo y L. Huidobro en los primeros años de la segunda mitad del siglo XX (Huidobro 1957; Robledo 1954). En 1988, P. López realizó un estudio palinológico del suelo subyacente

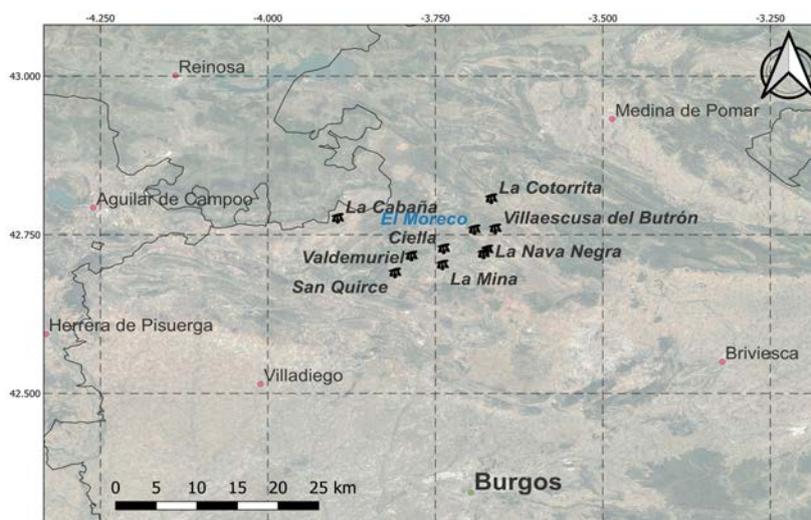


Figura 1. Mapa de localización de *El Moreco* y otros dólmenes del norte de la provincia de Burgos.

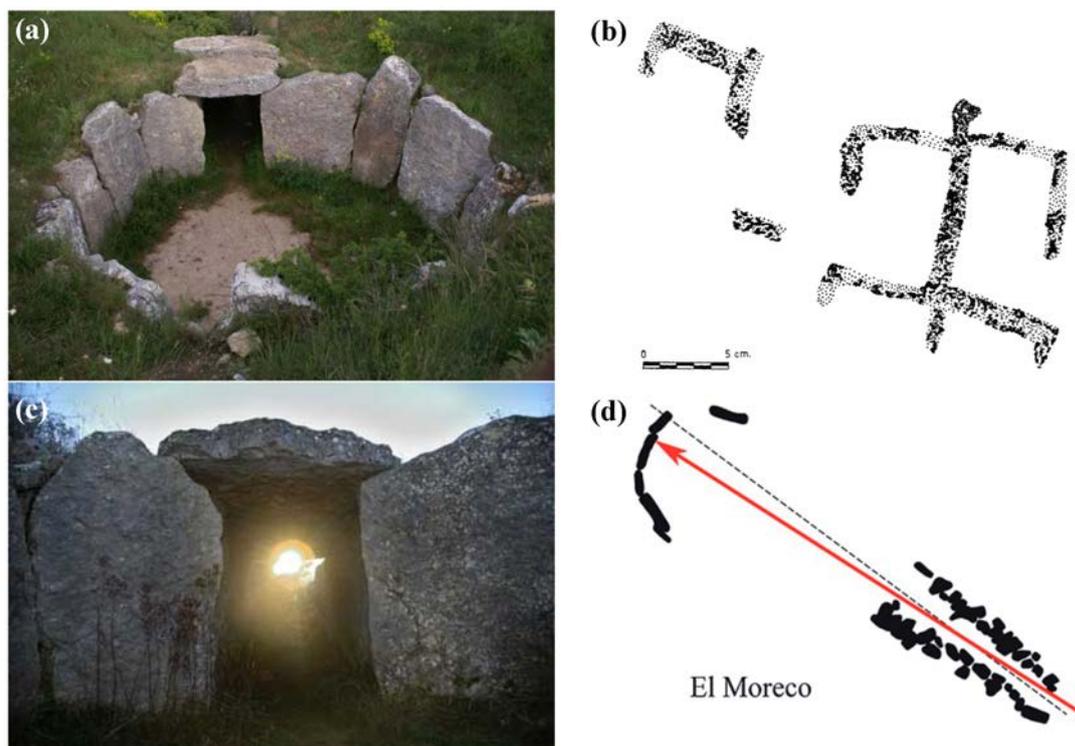


Figura 2. (a) Vista superior del dolmen, (b) figura antropomorfa sexuada (masculina) pintada sobre uno de los ortostatos de la cámara, (c y d) proyección de la luz al amanecer en el solsticio de invierno.

(López 1988) y, en 1989, Delibes y Rojo descubrieron la figura esquemática de un antropomorfo sexuada pintada sobre una de las losas verticales (Delibes de Castro y Rojo Guerr, 1989) (Fig. 2b).

El túmulo de *El Moreco* (de 27 m de diámetro y más de 2 m de altura) consta de dos capas: una capa superficial de piedras a modo de caparazón protector, y una segunda capa de tierra compactada más gruesa. Debajo de ella, y rodeando la cámara funeraria, se encuentra el anillo de losas de piedra de la pericámara, destinado a contener los ortostatos (y, por tanto, a evitar el colapso por el peso del túmulo) (Delibes de Castro et al. 1993). La cámara bajo el túmulo está delimitada por diez ortostatos colocados formando una planta circular de 4 m de diámetro (Figura 2a).

En la superficie de dos de estos ortostatos se encontraron pinturas de color rojo que representan esquemáticamente figuras humanas, como ya se ha señalado (Fig. 2b). El pasadizo, construido con pequeñas losas de piedra, tiene una longitud de 10,5 m, y se ensancha y gana altura a medida que uno se acerca a la cámara, alcanzando una anchura máxima de 1,5 m y altura de más de 1 m. El cierre de *El*

Moreco se produjo por un bloqueo sistemático y concienzudo del corredor que debió producirse a mediados del III milenio a.C. (Delibes de Castro y Rojo Guerra 1997).

El reiterado expolio que ha sufrido el yacimiento ha conducido a un escaso ajuar: algunos microlitos geométricos, varios raspadores tallados en sílex, una punta de flecha, algunos fragmentos de cerámica y unos pocos restos óseos (Delibes de Castro et al. 1993). Recientemente, se ha informado del uso de un pigmento obtenido de *Rubia* spp. en los huesos teñidos de rojo de esta tumba megalítica (Santa Cruz del Barrio et al. 2021).

En la excavación del túmulo se encontró un nivel con restos de madera quemada, y los resultados del análisis de un fragmento de carbón por C14 entregaron la fecha del 5150 ± 60 BP (GrN-12994) (Delibes de Castro y Rojo Guerra 1997). Sin embargo, esa datación no resolvió la cuestión de la procedencia de la madera, si era de un poste, lo que sugeriría la existencia de un asentamiento previo en ese lugar, o del tronco de un árbol que fue quemado durante la fase de preparación del suelo para la construcción de la tumba.

Otro hallazgo en el paleosuelo de *El Moreco* fue la presencia de polen de cereales, lo que apuntaría a la práctica por parte de la población local de una economía basada en la agricultura de secano (Delibes *et al.* 2010).

Desde el dolmen se tiene una buena visibilidad del paisaje circundante (Delibes de Castro *et al.* 1993), pero el fenómeno óptico más interesante está relacionado con la observación –al comienzo del solsticio de invierno– del sol naciente que avanza por el pasaje e incide en el fondo de la cámara (Fig. 2c y d). La cuestión es bastante importante, puesto que el primer ortostato tiene la pintura antropomorfa de mayor tamaño, que debió ser el objetivo principal de este fenómeno lumínico (Gil-Merino Rubio *et al.* 2018).

Por otra parte, el hecho de que en otros monumentos rupestres concurren orientación equinoccial y antropomorfos con la representación cercana de soliformes (como ocurre, por ejemplo, en las pinturas del *Furacón de los Mouros*), hace plausible la búsqueda por técnicas de imagen de este tipo de representación entre las pinturas desvaídas de los ortostatos de *El Moreco*.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Esférulas de óxido de hierro

En este estudio, las concreciones minerales encontradas en los alrededores del dolmen de *El Moreco* han sido objeto de una caracterización preferente debido a la presunción de que el ocre rojo que puede obtenerse tras su molienda, pudiera haber servido también de pigmento para la realización de las pinturas que encontramos sobre los ortostatos (Fig. 5).

El número de esferas recogidas fue de 10: tres directamente en el recinto funerario con pesos de 4, 6 y 13 g, y diámetros respectivos de $1,2 \pm 0,1$, $1,8 \pm 0,1$ y $1,8 \pm 0,2$ cm (Fig. 3), cuatro en las áreas de su monumentalización y tres 3 en el paraje circundante.

3.2. Mejora de la imagen digital

En este trabajo se ha optado por la técnica de realce de imágenes por estiramiento por descorrelación (*'decorrelation stretching'*). Esta técnica, utilizada por primera vez en teledetección, puede aplicarse al arte



Figura 3. Esférulas de óxido de hierro encontradas en el dolmen de *El Moreco*.

rupestre para resaltar pictografías tenues que son invisibles a simple vista o para realzar diferencias sutiles en el tono, dándonos pistas sobre la superposición de estos.

El estiramiento por descorrelación consiste en aplicar una transformación Karhunen-Loeve a los colores de la imagen, diagonalizando la matriz de covarianza (o de correlación) de los colores. A continuación, se estira el contraste de cada color para igualar sus varianzas, quedando descorrelacionados y llenando el espacio de color. Por último, se procede a la transformada inversa para devolverlos a una aproximación del original (Alley 1996).¹

3.3. Análisis multielementales por espectroscopia de fluorescencia de rayos X portátil

Debido a su capacidad para identificar la presencia de elementos tanto en cantidades significativas como a nivel de trazas, el análisis elemental no destructivo de los pigmentos de la roca soporte (ortostatos) y las menas se efectuó con un analizador portátil de fluorescencia de rayos X Niton™ XL3t GOLDD+ (Ther-

¹ Este procedimiento se llevó a cabo con el plugin DStretch de Image-J, que soporta varios espacios de color diferentes, desde los más conocidos (RGB o LAB) a otros de tipo sintético (YDS, YBR, YBK, LDS, LRE) basados en los espacios YUV o LAB. Las imágenes, recogidas con una cámara digital SRL Canon EOS 5D Mark IV, se convirtieron de RGB al espacio de color, se realizó el cálculo y la transformación, y luego los colores se volvieron a convertir a RGB antes de escribirlos en una imagen digital.

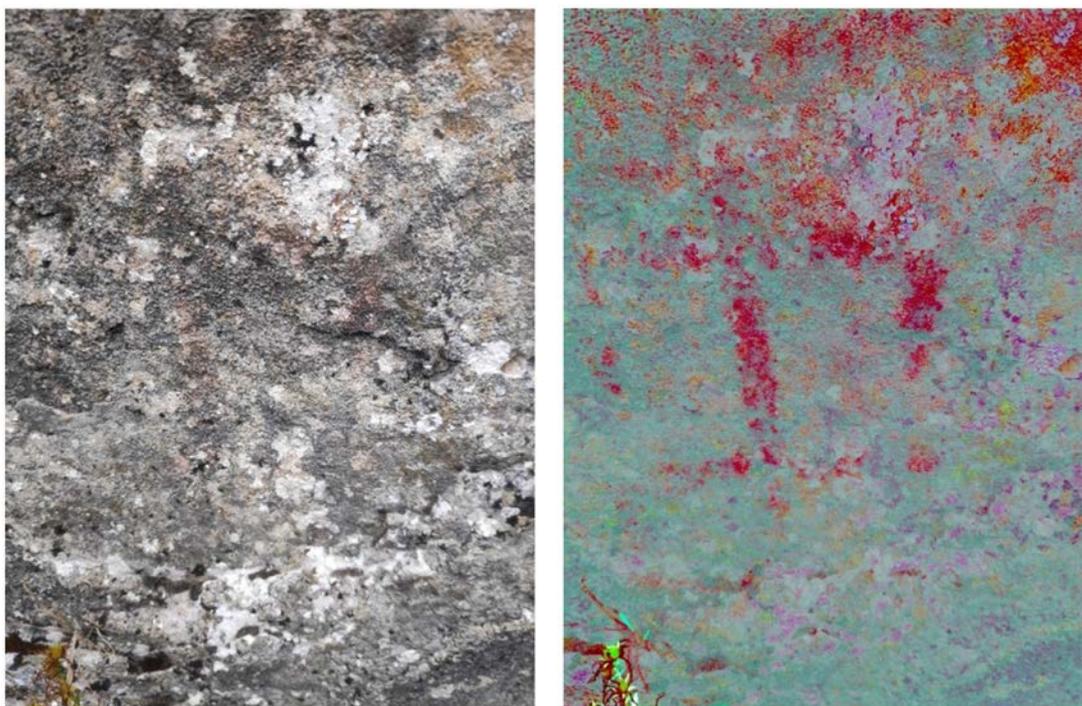


Figura 4. Ortostato con figura antropomorfa sexuada.
(Izda: imagen original. Dcha: Imagen CRGB).

mo Fisher Scientific), utilizando el modo de 'exploración minera', en el que los bajos límites de detección del equipo nos permiten identificar más de 20 elementos traza.

3.4. Análisis de difracción de polvo de rayos X

Los diagramas de difracción de rayos X de los nódulos de goethita se obtuvieron utilizando un difractor Bruker (Billerica, MA, EE.UU.) D8 Discover Bragg-Brentano, en geometría de reflexión, empleando para ello radiación $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$). Los registros fueron recogidos mediante un barrido continuo en el intervalo de ángulos de difracción 2θ entre 5° y 70° .

4. RESULTADOS

4.1. Mejora de la imagen digital con DStretch

La mejora de la visibilidad de los pigmentos rojos de la figura antropomorfa se puso de manifiesto gracias al procedimiento de tratamiento de la imagen digital

elegido (Fig. 4). Además, este procesado permitió distinguir restos de pintura roja (motivos no reconocibles) en otras regiones del ortostato principal y en otros ortostatos (Fig. 5) indistinguibles a simple vista y que no habían sido referidos en trabajos anteriores (Delibes de Castro y Rojo Guerra 1989).

4.2. Análisis mineral por fluorescencia de rayos X

4.2.1. Pinturas esquemáticas en los ortostatos

Los elementos más comunes y representativos (a saber, Fe, Ti, Ca, K, Al, Si y S) en ambas pinturas y en la roca soporte aparecen recogidos en la Figura 6. La presencia de los mismos elementos en los motivos pintados y en la roca subyacente no facilitó el aislamiento de la composición del pigmento (por ejemplo, ambos mostraron altos niveles de carbonato de calcio, CaCO_3 : 89% en las pinturas a 98% en el sustrato de roca).

No obstante, las regiones pintadas (detectadas con DStretch) mostraban contenidos de hierro que oscilaban entre 7020 y 6870 ppm, lo que podría interpretarse como un pigmento rojo-ocre, dado que

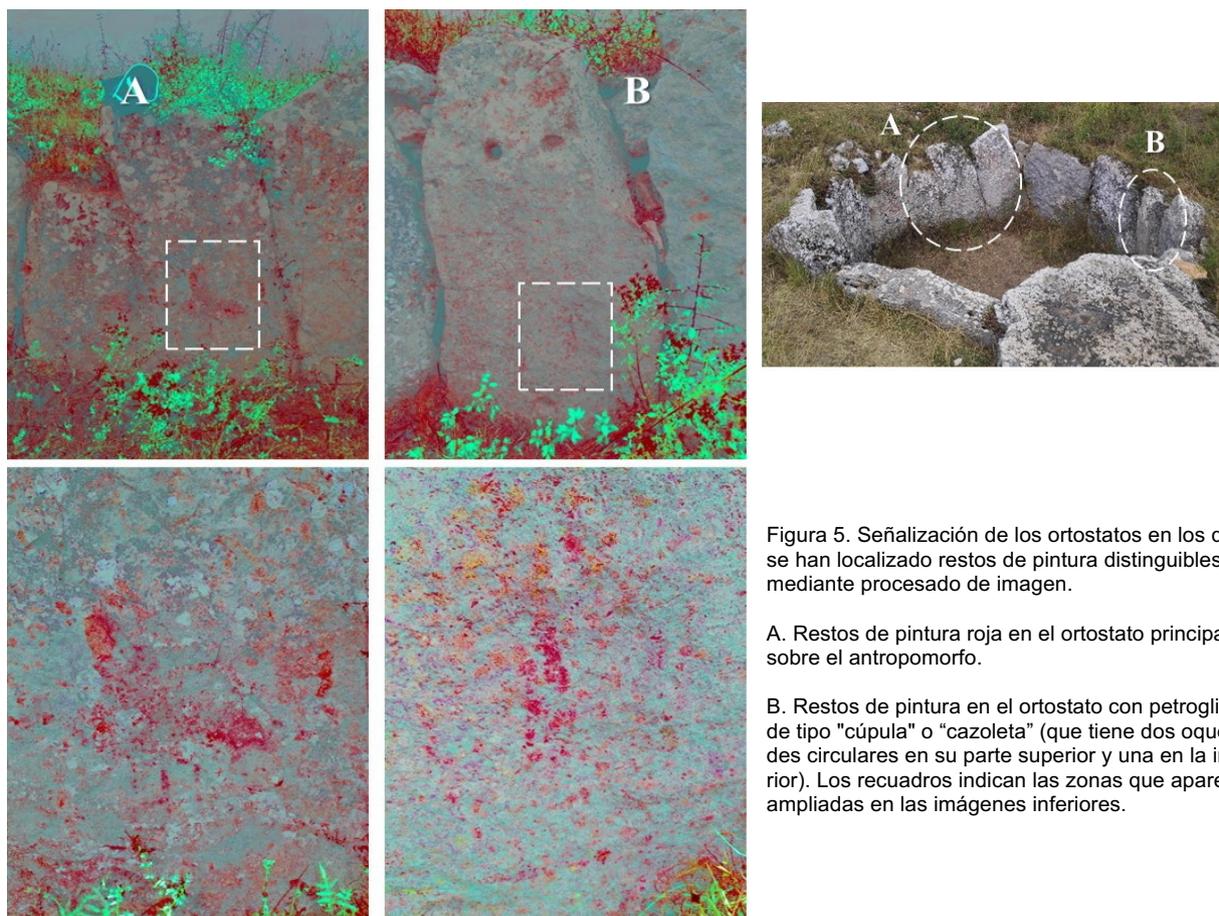


Figura 5. Señalización de los ortostatos en los que se han localizado restos de pintura distinguibles mediante procesado de imagen.

A. Restos de pintura roja en el ortostato principal, sobre el antropomorfo.

B. Restos de pintura en el ortostato con petroglifos de tipo "cúpula" o "cazoleta" (que tiene dos oquedades circulares en su parte superior y una en la inferior). Los recuadros indican las zonas que aparecen ampliadas en las imágenes inferiores.

Elemento	Contenido (% $\pm 2\sigma$)			
	<i>Figura antropomorfa Muestra 1</i>	<i>Figura antropomorfa Muestra 2</i>	<i>Roca subyacente no pintada Muestra 1</i>	<i>Roca subyacente no pintada Muestra 2</i>
Bal (C,O)	60,597 \pm 0,368	58,223 \pm 0,381	58,603 \pm 0,381	57,619 \pm 0,413
Fe	0,687 \pm 0,032	0,702 \pm 0,021	0,263 \pm 0,021	0,099 \pm 0,016
Ti	0,100 \pm 0,011	-	-	-
Ca	29,045 \pm 0,311	30,936 \pm 0,321	35,45 \pm 0,361	39,581 \pm 0,414
K	0,708 \pm 0,024	0,516 \pm 0,018	0,373 \pm 0,018	0,210 \pm 0,015
Al	0,850 \pm 0,118	0,819 \pm 0,109	0,508 \pm 0,109	0,454 \pm 0,115
Si	7,698 \pm 0,142	8,507 \pm 0,105	4,540 \pm 0,105	1,175 \pm 0,059
S	0,261 \pm 0,015	0,174 \pm 0,013	0,170 \pm 0,013	0,731 \pm 0,022

Figura 6. Análisis elemental de varios puntos de muestro del ortostato principal.

otros puntos muestreados de las losas de piedra (presumiblemente no pintados) mostraban niveles de hierro que se situaban en el rango de 990 a 2630 ppm. Los niveles moderados de aluminio (0,45% a 0,85%) y silicio (1,17% a 8,5%) pueden corresponder a aluminosilicato de potasio y hierro, lo que es diferente de la pintura a base de óxido de hierro. Este

componente arcilloso fue inferior al 10%. Las impurezas de sulfatos estuvieron presentes en todas las muestras. Se observó la presencia de trazas de titanio (1000 ppm) en una de las muestras de la figura antropomorfa.

Los análisis multielementales de las concreciones esferoidales encontradas en el dolmen y sus al-

rededores (Fig. 7) mostraron que eran ricas en óxido de hierro ($\text{Fe}_x\text{O}_y > 90\%$) y que su contenido en arcilla era inferior al 10%. La ausencia de magnetismo permitió excluir el Fe_3O_4 , en favor de la goethita [$\alpha\text{-FeO(OH)}$] y la hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). El alto contenido en hierro de la goethita/hematita hace que sean cromóforos con fuerte capacidad pigmentante. Son opacos, permanentes, tienen un excelente poder de cobertura y resisten la acción deletérea de la lixiviación. En cuanto al contenido en titanio, 950 ± 120 ppm, coincidió con los que se halló en la medida de las pinturas de los ortostatos.

4.2.2. Esférulas de óxido de hierro

Los resultados del análisis de difracción de rayos X (Fig. 8) nos permitieron confirmar inequívocamente la hipótesis presentada en el párrafo anterior: según la base de datos JCPDC-ICDD, los picos con valores de 2θ de $17,80^\circ$, $21,22^\circ$, $26,33^\circ$, $33,21^\circ$, $34,73^\circ$, $36,04^\circ$, $40,04^\circ$, $41,17^\circ$, $50,62^\circ$, $54,20^\circ$, $58,99^\circ$, $61,39^\circ$ y $63,93^\circ$ corresponden a goethita [$\alpha\text{-FeO(OH)}$], aunque los de $35,56^\circ$, $54,20^\circ$ y $63,93^\circ$ también pueden asignarse a hematitas [$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$].

5. DISCUSIÓN

5.1. Composición mineral y posible procedencia de la materia prima

El contenido de goethita encontrado en las pinturas es bajo, aunque significativamente mayor que el de la superficie no pintada de la roca subyacente. Se ha

Elemento	Contenido (% $\pm 2\sigma$)
Bal (O)	26,272 \pm 1,15
As	0,05 \pm 0,009
Pb	0,09 \pm 0,008
Zn	0,174 \pm 0,014
Co	0,138 \pm 0,067
Fe	55,849 \pm 0,85
Mn	0,099 \pm 0,018
Cr	0,098 \pm 0,008
V	0,068 \pm 0,008
Ti	0,095 \pm 0,012
Ba	0,045 \pm 0,014
Ca	0,419 \pm 0,046
K	1,026 \pm 0,044
Al	6,267 \pm 0,339
P	0,139 \pm 0,017
Si	7,971 \pm 0,152
S	0,061 \pm 0,007
Mg	1,071 \pm 0,608

Figura 7. Análisis elemental de las concreciones de hierro

observado una correlación inversa entre las concentraciones de calcita y goethita: las zonas pintadas han resultado ser más ricas en óxido de hierro, mientras que las superficies no pintadas lo han sido en calcita.

Del mismo modo, el contenido de titanio encontrado tanto en la pintura antropomorfa como en las concreciones de goethita (y ausente en la roca subyacente) apoya que estas concreciones habrían servido como materia prima del pigmento. No obstante, no se puede descartar la posibilidad de que el titanio proceda de los silicatos implicados en el proceso de formación de estos nódulos.

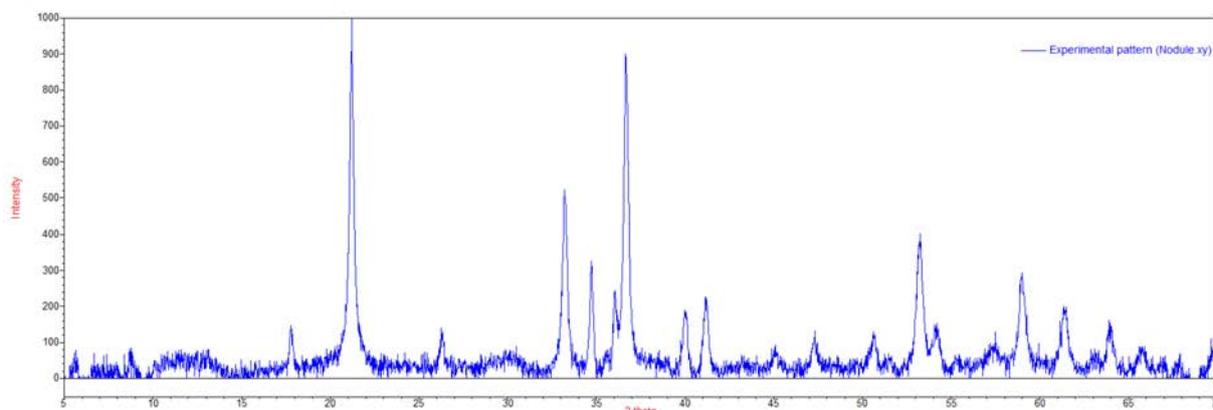


Figura 8. Patrón de difracción de rayos X de polvo de las esférulas de óxido de hierro.

En cuanto al mineral de hierro del que podría haberse obtenido la materia prima, no es factible un estudio de procedencia preciso basado en el análisis isotópico para el hierro (aunque se han sugerido los isótopos de hierro como potencial trazador de procedencia, los datos analíticos publicados previamente de minerales de hierro indican un amplio solapamiento entre yacimientos (Rose *et al.* 2019)). Por lo tanto, se eligió la distancia desde el dolmen de *El Moreco* a los potenciales minerales de hierro como principal criterio de selección.

Las fuentes más cercanas habrían sido *Las Loras* y Olmos de Atapuerca. Los nódulos de goethita proceden muy probablemente de materiales santonenses (86,3-83,6 Ma) encontrados en el primero, donde aparecen en cierta abundancia (mientras que Olmos de Atapuerca es un paleokarst desarrollado sobre dolomías de Purbeck, en las que la hematites y la limonita son los principales óxidos de hierro presentes).

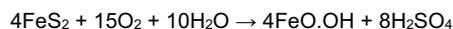
Cabe destacar que también se han identificado nódulos de limonita en el entorno del dolmen y son comunes en la Hoya de Huidobro (Alonso *et al.* 2019) pero, por su coloración amarillo limón y su superficie lisa, no se prestan a ser confundidos con las bolas de goethita, específicas del dolmen y su entorno más cercano.

5.2. Sobre el origen y la génesis de los nódulos ferruginosos de Huidobro

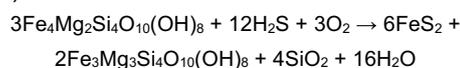
Los nódulos de óxido de hierro encontrados en el entorno inmediato del dolmen parecen corresponder al Santoniense de *Las Loras* y, aunque por sus condiciones de formación pueden relacionarse con las piritas de la cuenca camerana de La Rioja (Alonso Azcárate *et al.* 2002), son distinguibles por su diferente grado de limonitización.

En la génesis de tales nódulos deben haber ocurrido un proceso de sulfato reducción mediado por bacterias, que ha conducido a la formación de sulfuros como pirita y/o marcasita, y otro, quizás más importante, de metamorfismo hidrotermal. Durante la era Mesozoica, bacterias reductoras de sulfato (o SRB por sus siglas en inglés) pudieron provocar la reducción de los sulfatos de calcio o de hierro presentes en sedimentos, tanto marinos, como lacustres, para dar lugar a la formación de sulfuros ferrosos que, por evolución posterior a la intemperie, es

decir, al oxígeno y a la humedad, sufrirían la conversión a óxidos y/o hidróxidos de hierro (limonitización) (Urrutia *et al.*, 1987):



De manera combinada o alternativa con las acciones bacterianas, es altamente probable que, en la zona de *Las Loras*, se produjera, ya desde el periodo Cretácico, la formación de sulfuros de hierro a partir de depósitos lutíticos (materiales detríticos o clásticos de grano fino, como lodos y arcillas) cuya afectación por un metamorfismo de grado bajo dio lugar a la aparición de cloritas y otras especies en las que podemos encontrar Fe(II) (capa octaédrica) en diadoquía con Mg(III) y Fe(III) (capa tetraédrica) ocupando las posiciones de silicio y aluminio en coordinación tetraédrica. Dadas las condiciones, parece probable la acción de un metamorfismo hidrotermal sobre las lutitas en el que fluidos con alto contenido en sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico) podrían provocar la transformación de las cloritas ricas en hierro en cloritas magnesianas al provocar la salida de, al menos, una parte del hierro octaédrico mediante el proceso propuesto por Phillips y Groves (1984):



5.3. Datación de las pinturas

De las dos dataciones por C14 disponibles para *El Moreco*, con información detallada recogida por Al-day y Mejía-García (2019) a partir de las fichas GrN-12994 (Delibes de Castro 2000) y Poz-104086 (Santa Cruz del barrio *et al.* 2020) es posible asegurar la ocupación del monumento entre el 5150 BP y el 3640 BP, pero no la datación de las pinturas, ya que no se ha realizado determinación específica alguna.

El principal problema que presenta la datación de las pinturas es que la cantidad de pigmento (mineral y orgánico) sobre los ortostatos es al estado de trazas y hoy por hoy no existe tecnología que, con ese contenido de muestra, pueda establecer una cronología fidedigna. Por otra parte, la adopción de una fecha promedio a partir de los datos de las fichas anteriores (4395±755 BP) no es una decisión aceptable por la posibilidad real de que las pinturas se realizaran en fechas más recientes. Incluso, puede ser más aceptable una datación basada en analogías tipológicas.

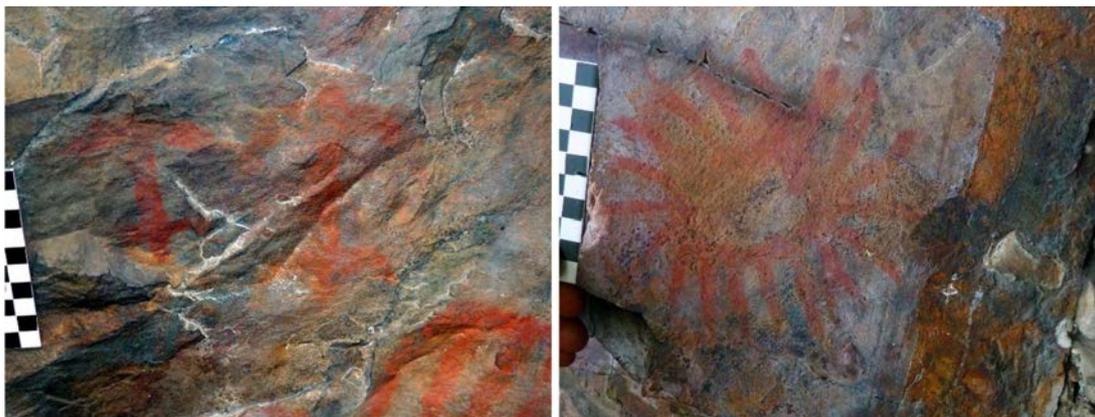


Figura 9. Antropomorfos (izda) y soliforme (dcha) de *El Furacón de los Mouros*, Sésamo-Librán (León)

5.4. Tipología de las pinturas

Comparando la figura antropomorfa de *El Moreco* con los antropomorfos esquemáticos presentes en manifestaciones artísticas cercanas a *Las Loras*, como las que encontramos en la Galería del Sílex de Atapuerca (Apellániz Castroviejo y Uribarri Angulo 1976) y de la Sala de la Fuente de Ojo Guareña (Corchón Rodríguez *et al.* 1996), no hallamos correspondencias estilísticas, con lo que resulta obligada la comparación con los documentados en núcleos artísticos más alejados.

Si efectuamos el estudio comparativo del antropomorfo de *El Moreco* con los que figuran en los inventarios de los cinco principales núcleos artísticos de pinturas rupestres esquemáticas de la meseta castellano-leonesa (Sésamo-Librán, Las Batuecas-Sierra de Francia-Sierra de La Culebra, Barranco del Duratón-Ojos Albos, Valonsadero, y Fuentetoba) (Gómez-Barrera 2000), la mayor correspondencia tipológica se produce con los registrados en Sésamo-Librán en el Bierzo. De hecho, en la cueva conocida como Furacón de los Mouros observamos como un antropomorfo y una figura con forma de sol (Fig. 9) también se iluminan en el solsticio de invierno a través de una abertura realizada en una roca orientada al sureste.

6. CONCLUSIONES

La visualización de las representaciones antropomorfas y otras no identificadas en el dolmen de *El Moreco*, muy degradadas, se ha conseguido de for-

ma sencilla mediante la técnica de mejora de imagen por estiramiento de descorrelación. La hipótesis sobre la presencia concurrente de un soliforme ha sido descartada. La posterior caracterización (*in situ* y de forma no destructiva) del pigmento rojo-ocre utilizado, y su comparación con las concreciones de goethita recuperadas en el entorno del dolmen, ha permitido la identificación de estas últimas como la materia prima utilizada en las pinturas sobre ortostatos.

En cuanto a su procedencia, tomando la distancia como criterio para la selección de las posibles fuentes de materia prima, se sugiere *Las Loras* como el origen más probable del pigmento elaborado a base de hierro.

BIBLIOGRAFÍA

- Alday, A. y Mejías-García, J. C. (2019). La cronología de la Prehistoria de la Península Ibérica y los Sistemas de Información Geográfica del registro arqueológico. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología*, 45 (9), 9-26. <https://doi.org/10.15366/cupauam2019.45.001>
- Alley, R. (1996). *Algorithm theoretical basis document for decorrelation stretch*. http://eosps0.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/atbd/ASTER_ATBD_99-2010.pdf
- Alonso Azcárate, J., Rodas González, M., Bottrell, S. H. y Mas Mayoral, J. R. (2002). Los yacimientos de pirita de la Cuenca de Cameros. *Zubía*, 14, 173-190. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/1234123.pdf>
- Alonso, J., Lazcano, J. y Ortiz de Zarate, E. (2019). Las minas de cobre de Huidobro. *Acopios*, 10, 1-162.
- Apellániz Castroviejo, J. M. y Uribarri Angulo, J. L. (1976). Catalogación y descripción de las decoraciones del santuario de la galería del sílex. En J. M. Apellániz Castroviejo y J. L. Uribarri Angulo (Eds.), *Estudios sobre Atapuerca (Burgos)* (Vol. 1, pp. 23-130). Bilbao: Universidad de Deusto, 1976. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/extra?codigo=6400956>

- Bea, M. y Angás, J. (2017). Geometric documentation and virtual restoration of the rock art removed in Aragón (Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 11, 159-168. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.11.025>
- Collado, F. J., Ruiz, A. J. y del Toro, M. S. N. (2013). Aplicación del plugin DStretch para el programa ImageJ al estudio de las manifestaciones pictóricas del abrigo Riquelme (Murcia). *Cuadernos de Arte Rupestre*, 6, 113-127.
- Corchón Rodríguez, M. S., Valladas, H., Bécares Pérez, J., Arnold, M., Tisnèrat-Laborde, N. y Cachier, H. (1996). Datación de las pinturas y revisión del Arte Paleolítico de Cueva Palomera (Ojo Gaureña, Burgos, España). *Zephyrus*, 49, 37-60.
- Delibes de Castro, G. (2000). Itinerario arqueológico de los dólmenes de Sedano (Burgos). *Trabajos de Prehistoria*, 57(2), 89-103. <https://doi.org/10.3989/tp.2000.v57.i2.250>
- Delibes de Castro, G. y Rojo Guerra, M. (1989). Pintura esquemática en el sepulcro de corredor burgalés de El Moreco, Huidobro. *Arqueología (Porto)*(20), 49-55.
- Delibes de Castro, G., Rojo Guerra, M. y Represa Bermejo, J. (1993). *Dólmenes de la Lora*, Burgos. Junta de Castilla y León.
- Delibes de Castro, G. y Rojo Guerra, M. Á. (1997). C¹⁴ y secuencia megalítica en la Lora burgalesa: acotaciones a la problemática de las dotaciones absolutas referetes a yacimientos dolménicos. En A. Antón (Ed): *Actas do Coloquio Internacional O neolítico atlántico e as orixes do megalitismo* (pp. 391-414), Santiago de Compostela.
- Delibes, G., Moreno, M. y del Valle, A. (2010). Dólmenes de Sedano (Burgos) y criadero cuprífero de Huidobro: una relación todavía posible. En P. Bueno Ramírez, A. Gilman, C. Martín, y F. J. Sánchez-Palencia (Eds.), *Arqueología, sociedad, territorio y paisaje. Estudios sobre Prehistoria reciente, Protohistoria y transición al mundo romano en homenaje a M^a Dolores Fernández-Posse* (pp. 35-51). Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC - Instituto de Historia.
- Domingo-Sanz, I. (2014). Rock art recording methods: From traditional to digital. In *Encyclopedia of Global Archaeology* (pp. 6351-6357). https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0465-2_1277
- Domingo, I., Carrión, B., Blanco, S. y Lerma, J. L. (2015). Evaluating conventional and advanced visible image enhancement solutions to produce digital tracings at the Carche rock art shelter. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(2-3), 79-88. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2015.01.001>
- Fernández-Lozano, J., Gutiérrez-Alonso, G., Ruiz-Tejada, M. Á. y Criado-Valdés, M. (2017). 3D digital documentation and image enhancement integration into schematic rock art analysis and preservation: The Castrocontrigo Neolithic rock art (NW Spain). *Journal of Cultural Heritage*, 26, 160-166. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.01.008>
- Fraile, F. J. L., García, L. M. G. y Klink, A. C. (2016). 3D documentation and use of DStretch for two new sites with post-Palaeolithic rock art in Sierra Morena, Spain. *Rock Art Research: The Journal of the Australian Rock Art Research Association (AURA)*, 33(2), 127.
- Gay, M., Müller, K., Plassard, F., Cleyet-Merle, J. J., Arias, P., Ontañón, R. y Reiche, I. (2016). Efficient quantification procedures for data evaluation portable X-ray fluorescence—Potential improvements for Palaeolithic cave art knowledge. *Journal Archaeological Science: Reports*, 10, 878-886. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.06.008>
- Gay, M., Plassard, F., Müller, K. y Reiche, I. (2020). Relative chronology of Palaeolithic drawings of the Great Ceiling, Rouffignac cave, by chemical, stylistic and superimposition studies. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 29, 102006. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.102006>
- Gil-Merino Rubio, R., Moreno-Gallo, M., Delibes de Castro, G. y Villalobos García, R. (2018). Luz para ver y ser vista: los efectos de la iluminación solar durante el solsticio de invierno en los dólmenes de corredor de la provincia de Burgos. *Munibe Antropología - Arkeologia*, 69, 157-175.
- Gómez-Barrera, J. A. (2000). Arte rupestre esquemático en la meseta castellano-leonesa. *3º Congreso de Arqueología Peninsular* (Septiembre, 1999) (pp. 503-528), UTAD, Vila Real, Portugal.
- Gunn, R., Douglas, L. y Whear, R. (2014). Interpreting polychrome paintings using DStretch. *Rock art research*, 31(1), 101-104.
- Harman, J. (2005). Using decorrelation stretch to enhance rock art images. American Rock Art Research Association Annual Meeting, Reno, Nevada, USA.
- Huidobro, L. (1957). Descubrimiento megalítico en Nocedo (Sedano). *IV Congreso Nacional de Arqueología* (Burgos, 1955), Zaragoza, 125-126.
- Hunt, M. A. y Hurtado, V. (2010). Pigmentos de sulfuro de mercurio-cinabrio—en contextos funerarios de época calcolítica en el sur de la Península Ibérica: investigaciones sobre el uso, depósitos minerales explotados y redes de distribución a través de la caracterización composicional e isotópica. En M.^a E. Sáiz et al. (coord.) *Actas del VIII Congreso Ibérico de Arqueometría* (pp. 123-132), Teruel, Spain.
- Kotoula, E., Robinson, D. W., y Bedford, C. (2018). Interactive relighting, digital image enhancement and inclusive diagrammatic representations for the analysis of rock art superimposition: The main Pleito cave (CA, USA). *Journal of Archaeological Science*, 93, 26-41. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2018.02.012>
- Le Quellec, J.-L., Duquesnoy, F. y Defrasne, C. (2015). Digital image enhancement with DStretch[®]: Is complexity always necessary for efficiency? *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(2-3), 55-67. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2015.01.003>
- López, P. (1988). *Estudio palinológico del suelo ínfrahumeral del sepulcro de El Moreco*, en Huidobro (Burgos).
- Martínez, E. Q. (2010). Aplicación Dstretch del software Image-J. Avance de resultados en el Arte Rupestre de la Región de Murcia. *Cuadernos de Arte Rupestre*, 5 (2008-2010), 14-47.
- Morillas, H., Maguregui, M., Bastante, J., Hualparimachi, G., Marcaida, I., García-Florentino, C., Astete, F. y Madariaga, J. M. (2018). Characterization of the Inkaterra rock shelter paintings exposed to tropical climate (Machupicchu, Peru). *Microchemical Journal*, 137, 422-428. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.12.003>
- Phillips, G., y Groves, D. (1984). Fluid access and fluid-wall rock interaction in the genesis of the Archaean gold-quartz vein deposit at Hunt mine, Kambalda, Western Australia.
- Robert, E., Petrognani, S. y Lesvignes, E. (2016). Applications of digital photography in the study of Paleolithic cave art. *Journal Archaeological Science: Reports*, 10, 847-858. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.07.026>

- Robledo, C. (1954). Descubrimiento megalítico. *Boletín de la Institución Fernán González*, 128, 297.
- Rose, T., Télouk, P., Klein, S. y Marschall, H. R. (2019). Questioning Fe isotopes as a provenance tool: Insights from bog iron ores and alternative applications in archeometry. *Journal of Archaeological Science*, 101, 52-62. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2018.11.005>
- Ruan, F., Zhang, T. y Li, H. (2019). Laser-induced breakdown spectroscopy in archeological science: a review of its application and future perspectives. *Applied Spectroscopy Reviews*, 54(7), 573-601. <https://doi.org/10.1080/05704928.2018.1491857>
- Santa Cruz del Barrio, A., Delibes de Castro, G. y Villalobos García, R. (2020). Sobre la impronta campaniforme en los dólmenes de La Lora (Burgos): dataciones de C-14 y naturaleza funeraria. *Oppidum*: 7, 23-39. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?co-digo=8312902>
- Santa Cruz del Barrio, A., Martín-Gil, J., Delibes de Castro, G. y Martín-Ramos, P. (2021). A Rubia spp.-based red pigment on bones from the megalithic passage grave of El Moreco (Huidobro, Burgos). *Archaeometry*, 64 (2), 438-453. <https://doi.org/10.1111/arcm.12707>
- Urrutia, M. M., Graña, J., García-Rodeja, R. y Macías Vázquez, F. (1987). Procesos de oxidación de pirita en medios superficiales: potencial acidificante e interés para la recuperación de suelos de mina. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*: 11, 131-145. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=809645>
- Vandenabeele, P. y Donais, M. K. (2016). Mobile Spectroscopic Instrumentation in Archaeometry Research. *Applied Spectroscopy*, 70(1), 27-41. <http://as.osa.org/abstract.cfm?URI=as-70-1-27>