

Universitat Autònoma de Barcelona
Centre d'Estudis del Patrimoni Arqueològic de la Prehistòria

TREBALLS d'ARQUEOLOGIA

Núm. 20, 2014, ISSN 2339-6490 (en línia)
<http://revistes.uab.cat/treballsarqueologia>



Métodos y técnicas para la recuperación del registro arqueológico: una mirada desde el presente

Editors:

Xavier Roda Gilabert i Rafael Mora Torcal

UAB

Universitat Autònoma de Barcelona

Servei de Publicacions

Direcció

Paloma González Marcén
(Universitat Autònoma de Barcelona)

Consell editor

Laia Colomer Solsona
(Museu d'Història de la Ciutat, Barcelona)

Jorge Martínez Moreno
(Universitat Autònoma de Barcelona)

Michel Martzluff
(Université de Perpignan, França)

Rafael Mora Torcal
(Universitat Autònoma de Barcelona)

Marina Picazo Gurina
(Universitat Pompeu Fabra)

Xavier Roda Gilabert
(Universitat Autònoma de Barcelona)

Sofia Samper Carro
(The Australian National University)

Ignacio de la Torre
(University College of London, Regne Unit)

Administració i edició

Universitat Autònoma de Barcelona
Servei de Publicacions
08193 Bellaterra (Barcelona). Spain
Tel.: 93 581 10 22. Fax: 93 581 32 39
sp@uab.cat
www.uab.cat/publicacions

Dipòsit legal: B. 49.252-2008
ISSN 2339-6490 (en línia)
ISSN 1134-9263 (en paper)

Comitè organitzador

Xavier Roda Gilabert
Rafael Mora Torcal
Jorge Martínez-Moreno

Organitza

Centre d'Estudis del Patrimoni Arqueològic de la Prehistòria-Universitat Autònoma de Barcelona



Universitat Autònoma de Barcelona

Hi col·laboren

Ministerio de Economía y Competitividad (HAR2013-42338-P)
Grup d'investigació 2014SGR-0084

TREBALLS D'ARQUEOLOGIA és una publicació periòdica anual que edita el Centre d'Estudis del Patrimoni Arqueològic de la Prehistòria de la Universitat Autònoma de Barcelona i que recull les línies de recerca del centre. El contingut de cada volum és monogràfic amb aportacions d'investigadores i d'investigadors nacionals i internacionals especialistes en els temes als quals es dedica cada número de la revista.

TREBALLS D'ARQUEOLOGIA es publica sota el sistema de llicències Creative Commons segons la modalitat:



Reconeixement (by): Has de reconèixer l'autoria de l'obra tal com ho hagi especificat l'autor/a o el/la llicenciador/a (però sense suggerir que t'avalua a tu o a l'ús que fas de l'obra).

Sumari

Treballs d'Arqueologia

Núm. 20, p. 1-107, 2014, ISSN 2339-6490 (en línea)

<http://revistes.uab.cat/treballsarqueologia>

- 3-5 **Roda Gilibert, Xavier; Mora Torcal, Rafael** (CEPAP-Universitat Autònoma de Barcelona. Facultat de Lletres)
Métodos y técnicas para la recuperación del registro arqueológico: una mirada desde el presente
Palabras clave: trabajo de campo; sistemas de registro; metodología; muestreo; aplicaciones informáticas; arqueografía.
- 7-20 **Mora Torcal, Rafael; Martínez Moreno, Jorge; Roda Gilibert, Xavier; Roy Sunyer, Miquel; Vega Bolívar, Susana** (CEPAP-Universitat Autònoma de Barcelona)
Métodos de excavación: del trabajo de campo a la interpretación arqueológica
Palabras clave: métodos de registro; aplicaciones informáticas; arqueografía; yacimientos paleolíticos.
- 21-40 **de la Torre, Ignacio; Arroyo, Adrián; Proffitt, Tomos; Martín Ramos, Carmen; Theodoropoulou, Angeliki** (Stone Age Archaeology Group-Institute of Archaeology. University College London)
Archaeological fieldwork techniques in Stone Age sites. Some case studies
Keywords: field techniques; laboratory; Datamatrix; Photogrammetry; GIS; Stone Age.
- 41-54 **Benito-Calvo, Alfonso; Campaña Lozano, Isidoro; Karampaglidis, Theodoros** (Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana)
Conceptos básicos y métodos en geoarqueología: geomorfología, estratigrafía y sedimentología
Palabras claves: metodología básica; técnicas; geoarqueología.

- 55-77 **Roy Sunyer, Miquel; Roda Gilabert, Xavier; Benito-Calvo, Alfonso; Martínez-Moreno, Jorge; Mora Torcal, Rafael** (CEPAP-Universitat Autònoma de Barcelona. Facultat de Lletres; Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana-CENIEH; CEPAP-Universitat Autònoma de Barcelona. Facultat de Lletres. Programa ICREA-Academia. Generalitat de Catalunya)
Verificando la integridad del registro arqueológico: análisis de fábricas en las unidades arqueológicas del paleolítico medio/superior de la Cova Gran (Santa Linya, Lleida)
Palabras clave: fábricas sedimentarias; fábricas arqueológicas; pisoteo; procesos de formación; Cova Gran.
- 79-93 **Albert, Rosa M.; Portillo, Marta** (ICREA/ERAAUB. Universitat de Barcelona. Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia)
Aportaciones de los estudios de fitolitos en la prehistoria: formación, metodología y casos de estudio
Palabras clave: prehistoria; fitolitos; metodología; paleovegetación; paleoeconomía; tafonomía.
- 95-107 **Roda Gilabert, Xavier; Samper Carro, Sofia C.; Mora Torcal, Rafael; González Marcén, Paloma; Martínez Moreno, Jorge** (CEPAP-Universitat Autònoma de Barcelona. Facultat de Lletres; College of Asia & the Pacific. H.C. Coombs Building. Department of Archaeology & Natural History. The Australian National University)
La aplicación de los códigos Data Matrix (DM) en el registro y la catalogación arqueológica
Palabras clave: códigos Datamatrix (DM); catalogado de artefactos; gestión de colecciones; contenidos multimedia.

Métodos y técnicas para la recuperación del registro arqueológico: una mirada desde el presente

Xavier Roda Gilabert, Rafael Mora Torcal¹



Recibido: 18-10-2014
Aceptado: 10-11-2014

Resumen

La renovación metodológica que ha surgido en los últimos años en el ámbito de la arqueología prehistórica ha favorecido la aparición de nuevas técnicas y estrategias de excavación que facilitan una mejor comprensión del registro arqueológico. Este volumen recopila una serie de textos que presentan diferentes aspectos metodológicos, cuyo objetivo es servir como introducción de los diferentes técnicas abordadas: geoarqueología, fitolitos, escáner 3D. El recorrido discurre desde la prospección arqueológica hasta las sistemáticas de excavación, repasando las diferentes metodologías que contribuyen a una mejor contextualización y preservación de los restos recuperados.

Palabras clave: trabajo de campo; sistemas de registro; metodología; muestreo; aplicaciones informáticas; arqueografía.

Resum. Mètodes i tècniques per a la recuperació del registre arqueològic: una mirada des del present

La renovació metodològica que ha sofert l'arqueologia en els darrers anys ha afavorit l'aparició de noves tècniques i metodologies d'excavació que faciliten una millor gestió del registre arqueològic. Aquest volum recull una sèrie de textos que presenten diversos aspectes metodològics i tenen com a objectiu servir d'introducció a les diverses tècniques abordades: geoarqueologia, fitolits, escàner 3D. El recorregut va de la prospecció arqueològica a les tècniques d'excavació, repassant les diverses metodologies que contribueixen a una millor contextualització i preservació del registre arqueològic.

Paraules clau: treball de camp; sistemes de registre; metodologia; mostratge; aplicacions informàtiques; arqueografia.

Abstract. Methods and techniques for recovering the archaeological record: a view from the present

In recent years has been emerged a renewal in archaeological methodology that encouraged the appearance of new techniques that facilitate fieldwork better management of the archaeological record. This volume collects a series of papers that present different methodological aspects and

1. Centre d'Estudis del Patrimoni Arqueològic de la Prehistòria (CEPAP-UAB). Universitat Autònoma de Barcelona. Facultat de Lletres. 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès).
javier.roda@uab.cat; rafael.mora@uab.cat

aimed to serve as an introduction to the addressed themes: Geoarchaeology, phytoliths, geological factories, Data matrix codes; 3D scanner. Thus the texts ranging from archaeological survey to the excavation techniques reviewing the different methodologies that contributes to a better contextualization and preservation of the archeological record.

Keywords: Fieldwork recording systems; methodology; sampling; Computer applications; Archaeography.

RODA GILABERT, Xavier; MORA TORCAL, Rafael. «Métodos y técnicas para la recuperación del registro arqueológico: una mirada desde el presente». *Treballs d'Arqueologia*, 2014, núm. 20, p. 3-5. DOI: 10.5565/rev/tda.54

A lo largo de los últimos 25 años, la investigación arqueológica ha experimentado profundos cambios metodológicos y técnicos que han afectado especialmente a las actividades relacionadas con el trabajo de campo y la recuperación del registro fósil.

La aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación en la sistemática de la recuperación del registro arqueológico, así como el desarrollo de la microinformática, han revolucionado completamente el procedimiento. Los actuales equipos no solo son capaces de procesar y gestionar bases de datos, sino que además pueden visualizarse, analizarse y entrecruzarse los distintos tipos de datos.

En el ámbito metodológico, nuestra perspectiva pasa por poner de relieve el significado de los ítems arqueológicos a partir de su contextualización. Ello implica considerar la recuperación del registro arqueológico como una parte relevante dentro del proceso de investigación y que está estrechamente relacionada con su interpretación. Esta noción de recuperación contextual es un compromiso ético dirigido a que esa información pueda ser reinterpretada en el futuro.

En nuestro país, el rol de las universidades en la creación, difusión y homogeneización de los métodos y las técnicas básicos en la recuperación del registro arqueológico ha sido prácticamente inexistente hasta hace pocos años, en que se ha iniciado la formación en el ámbito de las habilidades metodológicas y técnicas de campo con la creación de grados especializados. Sin embargo, sigue ocupando un lugar secundario dentro de las enseñanzas académicas y se deja que sea el propio sujeto quien, a través de su propia iniciativa, genere su experiencia de campo. El resultado es una enorme disparidad de criterios y la poca renovación de los parámetros constructivos en esta área.

Por todo ello, el presente volumen se propone un doble objetivo: en primer lugar, dar a conocer las distintas estrategias desarrolladas para la sistematización de la recuperación del registro arqueológico, la contextualización y preservación del mismo; y en segundo lugar, presentar textos que sirvan como puerta de entrada a cada uno de los ámbitos de actuación que abordan. Paralelamente, queremos insistir en la necesidad de homogeneizar los sistemas de recogida de información y su posterior procesado. Aunque se han

hecho intentos de sistematización —muchos de los cuales comparten una filosofía similar en el tratamiento de los datos arqueológicos—, no se ha podido consensuar un sistema unificado. A nuestro entender, la ausencia de un sistema común impide el intercambio de información entre proyectos y limita la posibilidad de comparar contextos y registro.

Los diferentes artículos abordan cuestiones que van desde ejemplos de protocolos metodológicos seguidos en la recogida de datos hasta estudios específicos realizados sobre determinados tipos de materiales. De este modo la metodología de excavación se presenta en dos textos (Mora *et al.*; De la Torre *et al.*). Paralelamente, Benito *et al.* sintetizan los conceptos básicos de la geoarqueología presentando los métodos de la geología, la geomorfología y la estratigrafía y cómo contribuyen estas ciencias a la reconstrucción de los paisajes y los procesos de formación de los yacimientos.

Estos últimos puntos son abordados de manera específica en dos de las contribuciones. La interpretación de los depósitos sedimentarios en los cuales se han conservado los restos arqueológicos desempeñan un papel clave en la interpre-

tación de esta metodología, que actualmente se integra de forma habitual en la toma de datos en el trabajo de campo. En este sentido, el estudio de las fábricas arqueológicas (Roy *et al.*), es decir, la orientación y el ángulo de buzamiento de los objetos, se presenta como una técnica capaz de aportar datos sobre los procesos de formación de los yacimientos trabajados. Por su parte, el trabajo de Albert y Portillo presenta un estado de la cuestión sobre los estudios de los fitolitos, restos que se han convertido en indispensables en las reconstrucciones paleoambientales. Las investigadoras abordan cuestiones metodológicas y repasan los procesos postdeposicionales que pueden afectar a la preservación de este tipo de restos microvegetales.

Finalmente, se muestra la aplicación de los códigos Data Matrix (DM) en el trabajo de campo y la catalogación (Roda Gilabert *et al.*). Esta técnica se presenta como un método rápido y eficaz que es capaz de substituir el siglado tradicional con escasa inversión en infraestructuras. Gracias a esta nueva técnica, se disminuyen los errores, se facilita el almacenaje y, en definitiva, se ayuda a la preservación del patrimonio arqueológico.

Métodos de excavación: del trabajo de campo a la interpretación arqueológica

Rafael Mora Torcal, Jorge Martínez Moreno, Xavier Roda Gilabert, Miquel Roy Sunyer, Susana Vega Bolívar¹



Recibido: 18-10-2014
Aceptado: 10-11-2014

Resumen

El registro arqueológico es la base material sobre la que se interpreta el pasado. Su recuperación ha sido foco de discusión metodológica y en los últimos años se ha visto impulsado por la irrupción de las nuevas tecnologías. En este trabajo exponemos la metodología de campo seguida por el Centre d'Estudis del Patrimoni Arqueològic de la Prehistòria (CEPAP-UAB). La excavación en extensión se presenta como propuesta metodológica para la recuperación del registro arqueológico. A continuación se expone la sistemática para la adquisición, digitalización, integración de los datos y la posterior generación de mapas temáticos dirigida a interpretar la relación entre los distintos ítems o estructuras. La metodología mostrada sirve como base para la creación de hipótesis de trabajo que se contrastan a lo largo del trabajo de campo y sustentan la base de la investigación.

Palabras clave: métodos de registro; aplicaciones informáticas; arqueografía; yacimientos paleolíticos.

Resum. Mètodes d'excavació: del treball de camp a la interpretació arqueològica

El registre arqueològic és la base material a partir de la qual s'interpreta el passat. La seva recuperació ha estat el focus de discussió metodològica i en els darrers anys s'ha vist impulsat per la irrupció de les noves tecnologies. En aquest treball exposem la metodologia de camp seguida pel Centre d'Estudis del Patrimoni Arqueològic de la Prehistòria (CEPAP-UAB). L'excavació en extensió es presenta com a proposta metodològica per a la recuperació del registre arqueològic. A continuació s'exposa la sistemàtica per a l'adquisició, digitalització, integració de les dades i generació posterior de mapes temàtics dirigida a interpretar la relació entre els diferents ítems o estructures. La metodologia presentada és la base per a la creació d'hipòtesis de treball que es contrasten al llarg del treball de camp i sustenten la base de la investigació.

Paraules clau: mètodes de registre; aplicacions informàtiques; arqueografia; jaciments paleolítics.

1. Centre d'Estudis del Patrimoni Arqueològic de la Prehistòria (CEPAP-UAB). Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès).
rafael.mora@uab.cat; jorge.martinez@uab.cat; javier.roda@uab.cat; miquel.roy@uab.cat;
susana.vega@uab.cat

Abstract. Excavation methods: from fieldwork to the archaeological interpretation

The archaeological record is the material basis on which the past is interpreted. His recovery has been the focus of methodological discussion and in recent years has been driven by the emergence of new technologies. In this paper we present the fieldwork methodology followed by the Centre d'Estudis del Patrimoni Arqueològic de la Prehistòria (CEPAP-UAB). The surface excavation is presented as a methodological proposal for the recovery of the archaeological record. Below is exposed to systematic for the acquisition; digitization; data integration and the subsequent generation of thematic maps that aimed to interpret the relationship between the different items or structures. The methodology shown constitutes the basis for creating working hypotheses are contrasted throughout the fieldwork and support the research base.

Keywords: Fieldwork recording systems; Computer applications; Archaeography; Palaeolithic sites.

MORA TORCAL, Rafael; MARTÍNEZ MORENO, Jorge; RODA GILABERT, Xavier; ROY SUNYER, Miquel; VEGA BOLÍVAR, Susana. «Métodos de excavación: del trabajo de campo a la interpretación arqueológica». *Treballs d'Arqueologia*, 2014, núm. 20, p. 7-20. DOI: 10.5565/rev/tda.53

Introducción

El registro arqueológico constituye la base a partir de la cual se interpretan las sociedades del pasado, pero es un elemento único y finito. Es por este motivo que su recuperación ha sido y sigue siendo objeto de discusión y renovación teórica constante. La irrupción de nuevas tecnologías está conllevando profundas modificaciones en todas las disciplinas y no es ajeno a ello el proceso de recuperación y sistematización de los datos arqueológicos.

Tradicionalmente, se ha considerado la excavación arqueológica y todos los procesos asociados a la obtención y gestión de la información como algo propio de cada investigador, o de cada yacimiento. Esto ha generado una enorme diversidad de planteamientos y comportamientos en nuestra profesión, que van unidos a la propia evolución histórica de la arqueología. En este sentido, no es posible disociar yacimientos arqueológi-

cos, época histórica en la que se llevaron a cabo las excavaciones, personalidad y formación del investigador que realizó los trabajos e información contextual de la que se dispone actualmente. A pesar de los esfuerzos realizados por parte de los profesionales de la arqueología para asumir unos planteamientos comunes mínimos a partir de los cuales desarrollar la investigación arqueológica, nos encontramos con problemas fundamentales que impiden homogeneizar estos criterios.

En nuestro país, el rol de las universidades en la creación, difusión y homogeneización de los métodos y las técnicas básicas en la recuperación del registro arqueológico ha sido nulo hasta hace pocos años. La puesta en marcha de plan Bolonia y el equiparamiento con Europa han conllevado tímidamente el inicio de una formación en el ámbito de las metodologías y técnicas del trabajo de campo. Sin embargo, sigue ocupando un lugar

secundario dentro de las enseñanzas académicas y se deja que sea el propio sujeto el que, a través de su iniciativa, genere su experiencia de campo. El resultado es una enorme disparidad de criterios y poca renovación de los parámetros constructivos en esta área.

Si analizamos el papel que desempeñan hoy día las excavaciones de urgencia, que son el principal foco de recuperación del registro arqueológico, nos daremos cuenta de que no existen los planteamientos teóricos y metodológicos básicos para abordar este trabajo. Los factores negativos que inciden en este problema son, por un lado, la escasa formación de los equipos, y, por el otro, la escasez de infraestructuras básicas debido a la ausencia de soporte institucional. A esto hay que añadir el papel que tienen las empresas en la mercantilización del patrimonio cultural y la presión económica que ejercen sobre el colectivo arqueológico.

Por todo esto, proponemos que se ha de reflexionar, en primer lugar, sobre las distintas estrategias desarrolladas para la sistematización de la recuperación del registro arqueológico; en segundo lugar, sobre el papel que deben desempeñar las distintas partes implicadas, las universidades (formación e investigación); las empresas (papel en la recuperación y estrategias en las que se enmarcan); la administración (como ente que vela por la correcta gestión del patrimonio); y, finalmente, los profesionales (como motores básicos de la investigación y principales implicados en el proceso de excavación, estudio y divulgación del registro arqueológico). Este planteamiento servirá para mejorar las relaciones entre la investigación y la sociedad, porque permitirá establecer unos criterios homogéneos y crear unos estándares de

trabajo. Por tanto, también facilitará la tarea de las empresas de arqueología que, en la actual coyuntura, son las principales encargadas de la recuperación del registro arqueológico.

Después de una larga tradición histórica de disparidad de criterios en lo que respecta a la metodología más básica de la disciplina, consideramos que es fundamental reunir a debate las distintas partes implicadas en este proceso. La recuperación, estudio y gestión del registro arqueológico compete a distintas instituciones con objetivos y protocolos diversos, por lo que es urgente establecer criterios estándar de actuación. Aunque se han realizado reuniones, seminarios y congresos sobre la recuperación del registro arqueológico, en su mayor parte se limitan a la simple presentación de novedades técnicas. Este artículo pretende superar esta visión excesivamente tecnológica y propone como objetivo la reflexión sobre el significado del registro arqueológico como sustento para establecer una base teórica, metodológica y técnica común a todas las partes implicadas y, en consecuencia, favorecer la sinergia entre ellas.

Del cuaderno de campo al registro digital

A lo largo de los últimos 25 años, asistimos a profundos cambios metodológicos y técnicos que han afectado especialmente a las actividades relacionadas con el trabajo de campo y la recuperación del registro arqueológico. Inicialmente, la creación y gestión de bases de datos implicaban el uso de lenguajes de programación Fortran o Basic, así como el uso de tarjetas perforadas para cada obje-

to arqueológico, y su posterior procesado en los centros de cálculo.

La aplicación de las nuevas tecnologías en la sistemática de recuperación del registro arqueológico, así como el desarrollo de la microinformática, han revolucionado completamente el procedimiento. Los actuales equipos no solo son capaces de procesar y gestionar este tipo de bases de datos, sino que además conllevan enormes ventajas a la hora de abordar la cuestión de la recogida de la información arqueológica.

Desde nuestra experiencia y capacidad hemos seguido un proceso de complejidad creciente en las técnicas de recuperación y registro de materiales arqueológicos. Durante años nos vimos obligados a desarrollar entornos estadísticos y gráficos para gestionar los datos arqueológicos. Actualmente apostamos por aplicar determinados entornos de gestión y graficado informático desarrollados en el mercado, y que no necesariamente están relacionados con la arqueología, pero cuyas características permiten una fácil aplicación.

En el ámbito metodológico, nuestra perspectiva pasa por poner de relieve el significado de los ítems arqueológicos a partir de su contextualización. Esto implica considerar la recuperación del registro arqueológico como una parte relevante dentro del proceso de investigación y que está estrechamente relacionada con su interpretación. Esta noción de recuperación contextual facilita que esa información pueda ser reinterpretada en el futuro.

La sistemática que proponemos se ha centrado de forma prioritaria en la recogida de información de asentamientos del plio-pleistoceno, pleistoceno y holoceno, especialmente en sociedades cazadoras-recolectoras. Para ello, hemos desarro-

llado un protocolo de trabajo con unos parámetros uniformes y coordinados por los principios de la excavación en extensión, en los que la información contextual (especialmente de orden geológico) es esencial a la hora de analizar la dimensión tridimensional de los ítems arqueológicos (ya sean artefactos o ecofactos).

Paralelamente, queremos insistir en la necesidad de homogeneizar los sistemas de recogida de información y su posterior procesado. Aunque se han hecho intentos de sistematización —muchos de los cuales comparten una filosofía similar en el tratamiento de los datos arqueológicos—, no se ha consensuado un sistema unificado. A nuestro entender, la ausencia de una metodología común impide el intercambio de información entre proyectos y limita la posibilidad de comparar ámbitos y registro.

La posición de los objetos

Cuando empezamos a trabajar en prehistoria, el uso de las coordenadas cartesianas en la recuperación de los ítems era una novedad técnica. Este sistema implica el levantamiento individual de artefactos o estructuras en base a uno o varios puntos tridimensionales, siendo necesario un nivel óptico y montar una cuadrícula terrestre o aérea (Méroc *et al.*, 1954; Laplace, 1971).

La cuadrícula, aérea o terrestre, se posicionaba en el plano horizontal dividiendo la superficie a excavar en áreas de 1 m² que se identificaban a partir de la combinación de letras y números a fin de identificar sus ejes. Para tomar la profundidad, se definía un punto arbitrario —0— a partir del cual se referenciaban todas las cotas. Los objetos se posiciona-

ban mediante coordenadas cartesianas relativas al ángulo inferior izquierdo de cada metro cuadrado; o se posicionaban globalmente usando tallas. Cada talla incluía los artefactos encontrados entre los valores máximo (base) y mínimo (techo) de la variable profundidad con respecto a la cota —0—, con una amplitud que habitualmente se situaba en los 10 cm. El objetivo en la excavación era llegar en todos los cuadros de la superficie excavada a una determinada cota.

Esta estrategia supone un problema implícito en la propia concepción de la aplicación del sistema de tallas, dado que estas se conformaban en una delineación horizontal sin tener en cuenta que las unidades arqueológicas raramente presentan tal geometría, por lo que no era inusual la mezcla entre distintos niveles. Por otro lado, la excavación con este método es rápida, transfiriendo gran parte del trabajo al proceso de siglado e inventariado de los objetos arqueológicos.

Con esta estrategia era difícil llevar a cabo planimetrías, siendo necesario transformar las variables alfabéticas en numéricas y las coordenadas relativas de cada ítem en valores absolutos en relación con la totalidad de la excavación. En algunos casos, se aplicaron distribuciones basadas en la densidad de objetos, es decir, en el número de objetos documentados por retícula de recogida de la información (Hietala *et al.*, 1977; Carbonell *et al.*, 1980; Hietala, 1984).

Actualmente, el uso del teodolito láser permite la toma de puntos tridimensionalmente en relación con un origen externo al yacimiento o en combinación con la posición global terrestre (habitualmente denominado georreferenciación). Esta sistemática permite contextualizar la totalidad del espacio

excavado y cada uno de los objetos como parte de un sistema integrado. Este hecho conlleva que la recuperación de estas coordenadas no implique una gran inversión de tiempo.

La excavación en extensión

Como criterio metodológico, proponemos el de la excavación en extensión, guiada por levantamientos que resiguen la referencia que proporcionan los estratos geológicos. Excavar en extensión no es sinónimo de abrir una superficie de muchos metros cuadrados, error habitual en nuestra profesión, y puede tratarse tanto de pequeñas áreas como de grandes superficies. Excavar en extensión significa trabajar buscando la relación entre los distintos ítems que se van documentando en el registro, ya se trate de objetos o de estructuras. Esta búsqueda está guiada por un proceso hipotético deductivo, en el que las hipótesis se preceden y contrastan con la acumulación de datos que proporciona diariamente la excavación.

Cuando excavamos una unidad arqueológica se va resiguiendo a lo largo de la superficie que hemos planificado excavar. Para ello es necesario identificar el espesor que presenta, por lo que es básico llevar a cabo previamente sondeos que permitan conocer la potencialidad arqueológica del registro que estamos trabajando. Una vez conocida la geometría de la unidad arqueológica, se van efectuando pequeños levantamientos siguiendo la inclinación y pendiente inicial que proporciona el registro arqueológico recuperado en esos sondeos.

Esta aproximación que vamos realizando paralelamente al proceso de excava-

ción tiene como objetivo una primera interpretación, que entendemos como básica, ya que está cargada de inputs y observaciones contextuales que se identifican durante el trabajo de campo, pero que desaparecen cuando la interpretación la realizamos en momentos posteriores o es realizada por otros investigadores que no disponen de esas informaciones.

Un primer objetivo buscado con una excavación en extensión es generar un corpus documental que permita la verificación de los datos arqueológicos mediante una contrastación cruzada. Esta estrategia debe partir de una visión integradora de los datos, estableciendo las relaciones existentes entre la entidad real observada (restos óseos, líticos, simbólicos, estructuras, etc.), y las propiedades del objeto deducidas a partir de su estudio (posición estratigráfica, orientación, categoría, etc.). Los atributos dependen del método analítico aplicado y son una cualidad dinámica que puede verse modificada en función del desarrollo de la investigación.

En segundo lugar, se persigue poder llevar a cabo una restitución planimétrica de los datos. Para establecer este entramado de relaciones se precisa la digitalización previa de toda la información de carácter espacial, y en concreto de las estructuras o grandes objetos cuyas dimensiones sean complejas, como son, entre otras cualidades, su posicionamiento simultáneo en más de una unidad estratigráfica, múltiples grados de alteración y rodamiento y relación con la topografía en la que se asientan.

Finalmente, lo que se busca es la interpretación del comportamiento humano y, por ello, es esencial la creación de una base documental con la que argumentar los patrones o modelos a

partir de las hipótesis de trabajo contrastadas. Para ello, la información de que disponemos debe ser gestionada por un sistema de registro que reconozca la pluralidad y dinamismo de los datos, que se ajuste a las características del proyecto y que permita el estudio simultáneo de las características espaciales de los objetos donde se han observado dichas variables.

Sistema de registro

La excavación en extensión requiere que sea cumplimentada con un sistema de recogida de la información que agilice, contextualice y —a poder ser— universalice los parámetros que hoy consideramos básicos en relación con el objeto arqueológico y su significado. Es por ello que desde 1992 hemos ido desarrollando un sistema de registro que ha sido aplicado a todas las intervenciones arqueológicas que hemos realizado desde el Centre d'Estudis del Patrimoni Arqueològic de la Prehistòria de la Universidad Autónoma de Barcelona (CEPAP-UAB) y que engloba tanto yacimientos al aire libre como en cuevas y abrigos de cronología paleolítica, neolítica y/o paleontológica, contrastando la efectividad de este sistema en un rango cronológico transversal.

El procedimiento seguido en la recogida de la información pasa por cuatro fases principales:

- a) adquisición de los datos en soporte magnético; su distribución en bases de datos;
- b) digitalización de los soportes con información espacial;
- c) integración de todos los datos;
- d) generación de mapas temáticos.

Estos pasos que implementan nueva información al sistema, se mantienen abiertos y en constante modificación permaneciendo operativos cada uno de sus componentes.

Recogida de datos

Todos los datos espaciales son capturados mediante teodolito láser con distanciómetro óptico incorporado. Este aparato permite almacenar sobre soporte magnético (disco duro, USB, etc.) el resultado de las mediciones y el consiguiente cálculo de las coordenadas cartesianas (X, Y, Z) de cada uno de los puntos. De este modo, no es necesario montar una cuadrícula aérea o terrestre física sobre la superficie a excavar, que en algunas ocasiones dificulta y condiciona la visión global y la distribución de los datos. Al igual que no es preciso tener un punto —0—, dado que cada punto contiene sus tres dimensiones. Es necesario entender dos elementos básicos para el buen funcionamiento de la dinámica de adquisición de datos y sincronización con el hardware utilizado, que se establecen a partir de los identificadores de los objetos y las estaciones de referencia.

La naturaleza de los datos en una excavación es variada y entre ella podemos mencionar los objetos coordenados, topografías, toma de muestras, forma de las estructuras o de los objetos y georreferenciaciones. Todo ello se nos puede dar en una misma sesión de trabajo. Aquí es donde tiene pleno sentido el identificador, entendido como una cadena alfanumérica junto a un número secuencial, con el que es posible registrar indistintamente datos de procedencia y significado diverso. La cadena alfanumérica, en nuestro caso, consta de ocho

dígitos y se utiliza para diferenciar unidades arqueológicas o geológicas y formas. El número secuencial es una cadena numérica que se inicia para cada cadena alfanumérica.

Las estaciones de referencia son indispensables para montar el teodolito láser. Se trata de puntos de ubicación definidos por el usuario y que están dotados de información georreferenciada. Bastará con que conozcamos los parámetros de dos puntos para instalar y montar el teodolito y la consiguiente cuadrícula virtual, a fin de iniciar el trabajo de campo. La ubicación de las estaciones de referencia debe ser pensada detenidamente y buscar los lugares desde los que sea posible visualizar el área en la que se trabaja, para evitar estar cambiando la posición del equipo a lo largo, al menos, de una jornada de trabajo. Las estaciones de referencia van a ser puntos de trabajo que vamos a utilizar continuamente y que en esta primera fase de adquisición de datos van a ser de naturaleza muy diversa.

En los levantamientos topográficos, las superficies ploteadas pueden corresponder al estadio inicial o final en la que se encuentra o se abandona un área de excavación y pueden referirse con superficies o techos de unidades estratigráficas. Igualmente importantes son los perfiles estratigráficos que constituirán una importante fuente de información para posicionar la geometría de las distintas unidades estratigráficas, elemento clave en la contextualización de los objetos arqueológicos, así como con la dinámica de formación y evolución de los estratos.

Es sin embargo dentro del apartado del registro de los materiales arqueológicos donde se contempla una mayor variedad de procedimientos, condicionados esencialmente por el tamaño del

objeto a coordinar, y si este va a ser levantado en el transcurso de la excavación o, por el contrario, se deja *in situ* en vistas a una futura musealización, posibilidad reservada solamente a los materiales que se consideren oportunos.

Para todos aquellos objetos de pequeño tamaño o en los que se estima que no es preciso que sean dibujados individualmente, se toma una única coordenada, excepcionalmente dos si queremos documentar la cota superior e inferior del mismo, y se les asigna un «identificador» correspondiente a la unidad arqueológica a la que ha sido adscrito con su respectivo número secuencial. Esta numeración es única y correlativa para todos y a cada uno de los objetos de un mismo nivel, independientemente del área del yacimiento de la que procedan.

La toma de coordenadas tridimensionales permite diferenciar distintas unidades arqueológicas, observar su evolución en los planos horizontal, transversal y sagital de la superficie excavada y posicionar los ítems en sus contextos geológicos, a fin de visualizar la evolución de las estructuras y la dispersión horizontal y vertical de las unidades arqueológicas.

Registro de estructuras arqueológicas

Cuando el tamaño de los ítems o cualquier otra circunstancia aconsejan que el resto arqueológico sea dibujado, puede ser registrado según dos variantes de un mismo procedimiento, en función de la urgencia con la que deba ser completado el proceso.

En su modalidad más elaborada, el proceso comprende el trazado a mano alzada de un boceto realista del objeto, sin que sea preciso situarlo en relación con ningún

otro elemento del entorno y para el que puede escogerse la escala de representación que facilite la labor del dibujante, siempre que esta aporte suficiente detalle. Una vez el boceto está concluido, se toma un número variable de puntos del mismo, identificando estos sobre el dibujo con un número. Es aconsejable que estos puntos se correspondan claramente con partes significativas del dibujo, vértices o fracturas. Una vez en el laboratorio, y con la ayuda del boceto, se reelabora el dibujo del objeto partiendo de la nube de puntos obtenida a partir de las coordenadas tomadas. De vuelta al yacimiento, se verificará el grado de fidelidad en la representación con el elemento original (ya sea un objeto o una estructura) y, en caso de que sea necesario, se procederá a realizar algunas correcciones para mejorar el resultado.

La aplicación de fotografías digitales es un método relativamente simple y con resultados equiparables, ya que parte de un número reducido de puntos fácilmente identificables, de los que se toma la coordenada para su posterior georreferenciación, y puede dibujarse en dos dimensiones. Hoy día es posible generar modelos digitales en tres dimensiones que se pueden georreferenciar a partir de una serie de fotografías.

El registro del objeto, de una u otra forma, sin que se disponga de un equipo informático a pie de campo no puede completarse hasta el día siguiente de haber sido acabado de excavar por completo. Si bien la necesidad de este margen de tiempo puede considerarse una desventaja (y es reducible con el equipamiento adecuado), cuentan como activos la calidad y precisión del resultado final sin que intervenga en ello la experiencia o habilidad del dibujante, puesto que este procedimiento asegura que el resultado

será independiente de su autor. De un dibujo realizado por este procedimiento puede extraerse información de alta precisión sobre morfometría, orientación, localización, longitud y distancias entre sus fragmentos, etc., al mismo tiempo que permite poner en relación estos o cualquier otro atributo con la morfología de los estratos subyacentes o con otros restos arqueológicos que no sean visibles en el momento de la excavación.

Las estructuras arqueológicas requieren no solo una metodología de excavación específica, sino también la toma de su forma en distintos momentos de su excavación —inicial y final—, así como la delineación que presenta en los planos sagital y transversal a fin de disponer de indicadores sobre su tamaño o volumen y la documentación de los objetos o elementos que la conforman. Es básico documentar las observaciones en cada una de las pautas o fases de trabajo, ya que es muy distinto excavar una estructura de combustión que una fosa. Una vez hayamos finalizado su excavación, tendremos el contexto global de la estructura, aunque en ocasiones estas aparecen delimitadas por secciones estratigráficas o áreas en las que no vamos a excavar inmediatamente, lo que supone que su completa documentación pueda ser transferida a futuros años. El objetivo básico es el de documentar las modificaciones antrópicas que se observan en el espacio en que se sitúan para poder contextualizarlas tanto en la unidad arqueológica como en la secuencia estratigráfica.

La base de datos: La distribución de la información

La gestión de la información se lleva a cabo diariamente. Todos los datos obte-

nidos en una jornada de trabajo de campo son transferidos al ordenador y tratados con el gestor ArqueoUAB, software diseñado para integrar los datos procedentes del entorno tecnológico que se utiliza en el trabajo de campo (teodolito láser y asistentes personales digitales —PDA—).

Programado en Visual Basic 6, permite el almacenamiento y la modificación de datos recuperados en la excavación, así como la realización de consultas diversas, entre las que se encuentra la obtención de secciones de los materiales arqueológicos mediante la generación de ficheros ASCII que incluyen los puntos pertenecientes a una sección definida. A pesar de que ArqueoUAB no es estrictamente un SIG, facilita en gran medida la gestión de la información espacial, algo muy importante en arqueología. Por ejemplo, este sistema ha sido empleado en múltiples yacimientos al aire libre (Mora *et al.*, 2001; Villa *et al.*, 2005) y en abrigos (Martínez-Moreno *et al.*, 2004, Mora *et al.*, 2008).

El cometido principal de este software es facilitar la gestión de la información en cuatro grandes tipos de datos. El identificador con el que hemos tomado cada punto es el que jerarquiza la información y con él quedan discriminados cuatro tipos de contenidos como unidades arqueológicas (UA), datos topográficos (TO), datos geológicos (GE) y morfológicos (FO), y que describimos a continuación.

El grupo UA incluye la información referente a los objetos arqueológicos: unidad arqueológica, coordenadas y una primera clasificación de los materiales según su naturaleza y tipología. Esta clasificación preliminar permite la elabora-

ción de inventarios de control de los materiales recuperados. Posteriormente, pueden ser adicionados atributos relacionados con la determinación taxonómica de restos óseos o macrovegetales, indicadores tafonómicos, categorías líticas, caracterización de materias primas líticas, registro fotográfico, etc.

En TO se incluyen todos los datos que provienen de las topografías realizadas al inicio y final de la campaña de excavación, así como los de los perfiles estratigráficos. A partir de estos datos, es posible la realización de mapas temáticos en 2D y en 3D de distribución en planta de artefactos, pavimentos, o en definitiva, de las superficies recuperadas o generadas en la excavación sobre las que se integran los objetos arqueológicos coordinados y sus dibujos. La correlación espacial de la información procedente de los perfiles estratigráficos permite, a su vez, estudiar la extensión, orientación y geometría de los estratos.

Por su parte, en GE se recoge la posición de todas las muestras que se toman a lo largo de la campaña, sean éstas para análisis palinológicos, carbonatos para análisis isotópicos, etc. Permite disponer de inventarios de todas las muestras tomadas por los distintos especialistas controlando su posición en el espacio, lo que facilita ponerlas en relación con la estratigrafía, la topografía y las unidades arqueológicas.

Por último, en FO se recogen los puntos de referencia de todos los objetos dibujados, bien sean restos óseos, líticos, bloques o estructuras. Contiene múltiples puntos de cada uno de ellos, lo que permite su representación en 2D y 3D, así como la posibilidad de extraer datos referentes a la orientación y a la pendiente real de los objetos.

Digitalización de soportes

Los restos arqueológicos dibujados o fotografiados en la excavación son vectorizados aplicando programas SIG. Para una gestión más ágil del archivo resultante, cada ítem, ya sea un hueso de grandes dimensiones o un bloque desprendido, se almacena en una capa independiente, cuyo nombre es una cadena codificada que incluye información del nivel estratigráfico, número de identificación de la pieza y principales características. Este campo se halla también de forma idéntica en la base de datos, lo que permite relacionar estas tablas entre sí con la entidad espacial representada por el objeto dibujado.

La digitalización de los restos arqueológicos es un proceso laborioso, aunque se ve compensado por ser un trabajo que, una vez realizado, se constituye en un soporte espacial relacionable con cualquiera de sus atributos. Con las actuales técnicas de fotogrametría combinadas con las capacidades de geoposicionamiento de la base de datos, es posible la georreferenciación de fotografías de la excavación. Esta herramienta es de especial interés para la restitución de estructuras de combustión, así como para la confección de estratigrafías de los sondeos y la recreación de cualquier tipo de forma. Además, es posible la creación de modelos 3D georreferenciados que se integran con el resto de datos recuperados en el yacimiento de forma virtual.

Gestión integrada y mapeado: el uso del GIS

Para la gestión de los datos se ha escogido ArcGIS, software SIG (Sistemas de Información Geográfica) muy extendido

en el mercado. La información está organizada y dispuesta de tal manera que su gestión es casi automática. Las capacidades de este tipo de explotación son muy amplias y actualmente constituyen vías de desarrollo muy prometedoras para la arqueología (Llobera, 2003; Owens *et al.*, 2014).

Una vez los datos de excavación han sido transferidos a la base de datos, la información georreferenciada es accesible mediante un sistema de coordenadas cartesianas en el cual las variables X, Y, Z se expresan en milímetros. La proyección de las coordenada X e Y permite generar planimetrías (plantas) de las entidades excavadas. Por otra parte, con la combinación de la variable Z, con las coordenadas X o Y se obtienen perfiles transversales, sagitales y oblicuos que permiten visualizar la geometría de las unidades arqueológicas.

El trabajar con una base de datos relacional permite la integración de la información cualitativa y cuantitativa que define al objeto arqueológico y contribuye a la interpretación del contexto arqueológico (Martínez-Moreno *et al.*, 2004). Esta aproximación asume el principio de que los objetos arqueológicos se comportan como partículas sedimentarias, que tienen un complejo proceso tafonómico en su tránsito desde la biosfera hasta la litosfera (Gifford, 1981). Consecuentemente, es necesario analizar la naturaleza de las relaciones entre los artefactos y los procesos que han sufrido, a fin de determinar cómo están conectados y los procesos a que han sido sometidos a lo largo del tiempo.

Conclusión

El objeto arqueológico es algo más que los atributos que lo conforman, ya que se integra dentro de un contexto, a veces no evidente, que lo redimensiona y define. Este contexto se va configurando conforme avanza el proceso de excavación, siendo ese carácter dinámico una de sus principales características.

Puesto que una excavación es un sistema abierto en el que las observaciones del investigador son importantes en su interpretación, proponemos acotar la subjetividad del proceso a través de una metodología basada en la excavación en extensión y un sistema de registro exhaustivo y minucioso.

El sistema de registro es una herramienta esencial a la hora no solo de emitir inferencias sobre la organización de los grupos humanos del pasado, sino también para evaluar la validez de las inferencias que desde el presente nosotros emitimos. Como hemos tratado de exponer a lo largo de esta presentación, generar un registro arqueográfico preciso es absolutamente necesario para avanzar en cualquier investigación.

La mayoría de las observaciones que se realizan en campo durante la recuperación del registro arqueológico a veces no quedan registradas, ya sea porque pasan inadvertidas o simplemente porque durante la excavación no somos capaces de verificarlas. La contextualización de un objeto arqueológico no es única, sino que, conforme se avanza en la excavación, se van añadiendo rasgos, elementos o atributos que no se pudieron identificar en el momento en que fue recuperado. La restitución del objeto en su contexto arqueológico y estratigráfico, mediante la realización de plantas y

secciones, se convierte en una herramienta básica con la que poder generar hipótesis de trabajo. Estas, a su vez, deberán ser testadas a medida que se obtengan y actualicen con nuevos datos.

Somos conscientes de que las técnicas que proponemos no conforman una innovación; al contrario, se trata de técnicas simples y ampliamente empleadas en la arqueología de campo. Sin embargo, consideramos que es relevante incidir en la dinámica que se deriva de la aplicación de este enfoque, que supera esa perspectiva estática con la que habitualmente nos aproximamos a la interpretación del registro arqueológico.

Por otro lado, el uso de aparatos topográficos e infraestructuras digitales, así como su posterior gestión por medio de sistemas microinformáticos, suponen una gran ayuda durante la realización de los trabajos de campo, al disponer de elementos esenciales, como la distribución en la superficie y la dispersión vertical de una unidad arqueológica. Su delimitación, densidad, las estructuras que la conforman, la presencia o ausencia de determinadas categorías o materiales, son elementos que pueden articular y guiar la organización de los trabajos de campo.

Es decir, esta sistemática de trabajo se convierte en una herramienta con la que afrontar los múltiples y habituales retos que plantea la excavación de un yacimiento, máxime en el tipo de yacimientos que hemos tratado en este artículo difíciles de visualizar y en los que es raro detectar elementos que permitan una rápida identificación a nivel espacial.

El uso de esta metodología no aporta una solución definitiva a esta cuestión. Sin embargo, permite diseñar hipótesis que pueden ser contrastadas, es decir, que validen o refuten esas observaciones. A partir de este conocimiento provisional, que construye a medida que se va excavando, pueden adoptarse respuestas que o bien permitan continuar con esa sistemática o, alternativamente, reorientar completamente la dirección de esas decisiones.

La flexibilidad de este método es una ventaja que consideramos que hace a esta propuesta relevante para comprender y explicar un aspecto siempre complejo como es el de intentar hacer hablar a un registro fósil, que habitualmente no es fácil de interpretar.

Este método, que deriva de los trabajos iniciales de Meroc y Laplace (1954) y que afecta a la totalidad del registro arqueológico (restos óseos o líticos), a los levantamientos macro o microestratigráficos o de cualquier otro tipo que conforman un yacimiento, es implementado con una gestión relacionada con la aplicación de sistemas de información geográfica. Actualmente el software y el hardware necesarios para su aplicación son de uso común, y tan solo se requieren algunos desarrollos de software propios para agilizar algunos de los pasos más tediosos.

Independientemente del método o la técnica que se use, es necesario un planteamiento metodológico: excavación en extensión, dirigida a interrelacionar los distintos ítems o estructuras y crear hipótesis de trabajo que hemos de contrastar.

Agradecimientos

Las investigaciones del Centre d'Estudis del Patrimoni Arqueològic de la Prehistòria (CEPAP-UAB) forman parte del proyecto «Poblamiento humano durante el pleistoceno final e inicios del holoceno en el sureste de los Pirineos (HAR2010-15002, HAR2013-42338)» y del grupo de investigación 2014SGR-0084. Miquel Roy Sunyer disfruta de una beca FI de la Generalitat de Catalunya. Xavier Roda Gilabert es beneficiario de la Ayuda FPI-MINECO (BES-2011-045180).

Referencias bibliográficas

- CARBONELL, E.; MORA, R.; CANAL, J. 1980. *Sota Palou: un campament estacional-climàtic de caçadors prehistòrics. IV Col·loqui internacional d'arqueologia de Puigcerdà. Estat actual de la recerca arqueològica a l'istme pirinenc*. Puigcerdà: Institut d'Estudis Ceretans.
- DIBBLE, H. 1987: «Measurement of artefact provenience with an electronic theodolite». *Journal of Field Archaeology* 14, 249-54.
- DIBBLE, H. L.; MCPHERRON, S. 1998. «On the computerization of archaeological projects». *Journal of Field Archaeology* 15, 431-40.
<<http://dx.doi.org/10.1179/jfa.1988.15.4.431>>
- DIBBLE, H.; MAREAN, C.; MCPHERRON, S. 2007. «On the use of barcodes in excavation projects with examples from Mossel Bay (South Africa) and Roc de Marsal (France)». *The SAA Archaeological Record* 7(1), 33-38.
- DIBBLE, H.; MCPHERRON, S.; SANDGATHE, D.; GOLDBERG, P.; TURQ, A.; LENOIR, M. 2009. «Context, curation, and bias: an evaluation of the Middle Paleolithic collections of Combe-Grenal (France)». *Journal of Archaeological Science* 36, 2540-50.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2009.07.010>>
- DIBBLE, H.; RACZEK, T.; MCPHERRON, S. 2005. «Excavator Bias at the Site of Pech de l'Azé IV (France)». *Journal of Field Archaeology* 30, 317-28.
<<http://dx.doi.org/10.1179/009346905791072242>>
- GIFFORD, D. 1981. «Taphonomy and Palaeocology: a critical review of archaeology's sister discipline». En: SCHIFFER (ed.). *Advances in Archaeological Method and Theory* 4, 77-101. Academic Press.
- HIETALA, H. J.; STEVENS, D. E. 1977. «Spatial analysis: multiple procedures in pattern recognition studies». *American Antiquity* 42(4): 539-59.
<<http://dx.doi.org/10.2307/278927>>
- HIETALA, H. J. 1984. *Intrasite spatial analysis in archaeology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- LAPLACE, G. 1971. «De l'application des coordonnées à la fouille stratigraphique». *Munibe (Antropologia y Arqueologia)* 2-3: 19-71.
- LOBERA, M. 2003 «Extending GIS-based visual analysis: the concept of visualscapes». *International Journal of Geographical Information Science* 17, 25-48.
- MARTÍNEZ-MORENO, J.; MORA, R.; DE LA TORRE, I. 2004. «Methodological approach for understanding Middle Palaeolithic settlement dynamics at La Roca dels Bous (Noguera,

- Catalunya, Northeast Spain)». En: CONARD (ed). *Settlement Dynamics of the Middle Palaeolithic and Middle Stone Age II*, 393-413.
- MARTÍNEZ-MORENO, J.; MORA, R.; DE LA TORRE, I. En prensa. *The Middle-To-Upper Palaeolithic*.
- MCPHERRON, S. 2005: «Artifact orientations and site formation processes from total station proveniences». *Journal of Archaeological Science* 32, 1003-14.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2005.01.015>>
- MCPHERRON, S.; DIBBLE, H. 2003. «Using computers in adverse field conditions». *The SAA Archaeological Record* 3 (5), 28-32.
- MÉROC, L.; LAPLACE-JAURETCHE, G. 1954. «Application des coordonnées cartésiennes à la fouille d'un gisement». *Bulletin de la Société préhistorique de France*: 58-66.
- MORA, R.; MARTÍNEZ-MORENO, J.; CASANOVA, J. 2008. «Abordando la noción de “variabilidad musteriense” en Roca dels Bous». *Trabajos de Prehistoria* 65, 13-28.
- MORA, R.; PARCERISAS, J.; MARTÍNEZ, J. 2001. «Computer-based recording systems of Pleistocene deposits with large mammals». En: *The World of Elephants/La Terra degli Elefanti. Proceedings of the First International Congress*, 219-24. Roma.
- OWENS, J. B.; SANDES, A.; STEPHENSON, B.; DIXON, D.; ZAJANC, C. 2014. «A Geographic Information Systems (GIS) Training Manual for Historians and Historical Social Scientists». Recurso electrónico: <<http://www.geographicallyintegratedhistory.com>> «Transition in Cova Gran (Catalonia, Spain) and the extinction of Neanderthals in the Iberian Peninsula». *Journal of Human Evolution*.
- VILLA, P.; COURTIN, J. 1983. «The interpretation of stratified sites. A view from underground». *Journal of Archaeological Science* 10, 267-81.
<[http://dx.doi.org/10.1016/0305-4403\(83\)90011-0](http://dx.doi.org/10.1016/0305-4403(83)90011-0)>
- VILLA, P.; SOTO, E.; SANTONJA, M.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; MORA, R.; PARCERISAS, J.; SESÉ, C. 2005. «New data from Ambrona: closing the hunting versus scavenging debate». *Quaternary International* 126-128, 223-50.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2004.03.001>>

Archaeological fieldwork techniques in Stone Age sites. Some case studies

Ignacio de la Torre, Adrián Arroyo, Tomos Proffitt, Carmen Martín Ramos, Angeliki Theodoropoulou¹



Received: 22-01-2015
Accepted: 23-01-2015

Abstract

Field techniques used in the excavation of archaeological sites are rarely specified in academic publications, under the tacit understanding that fieldwork methods are standardized enough to make their description unnecessary. Although that is probably the case in commercial archaeology, it is however an unwarranted assumption as far as academic archaeology is concerned, and neglects the wide range of different field techniques used during archaeological excavations by each research team. In this paper, we outline field methods used by our research group in the excavation of Palaeolithic sites in Spain and East Africa, from the selection of localities for excavation to the digital processing of the resulting spatial and archaeological data. Our aim is to contribute to consolidating a corpus of standard practices in modern research archaeological excavation, whose quality control is essential to guarantee a successful collection of data used for the interpretation of archaeological remains.

Keywords: field techniques; laboratory; Datamatrix; Photogrammetry; GIS; Stone Age.

Resum. Tècniques d'excavació en jaciments paleolítics. Alguns casos d'estudi

Les tècniques d'excavació utilitzades en jaciments arqueològics poques vegades s'especifiquen en les publicacions acadèmiques, sota l'entesa tàcita que els mètodes de treball de camp estan prou estandarditzats per fer-ne la descripció innecessària. No obstant això, tot i que aquest és probablement el cas de l'arqueologia d'urgència, és una suposició injustificada pel que fa a l'arqueologia acadèmica, i deixa de banda l'àmplia gamma de diferents tècniques de camp utilitzades durant les excavacions arqueològiques per cada equip d'investigació. En aquest treball presentem els mètodes de camp utilitzats pel nostre grup de recerca en l'excavació de jaciments paleolítics a Espanya i a l'Àfrica oriental, des de la selecció dels llocs per a l'excavació fins al processament digital de les dades espacials i arqueològiques resultants. El nostre objectiu és contribuir a la consolidació d'un corpus de pràctiques estandarditzades en les excavacions acadèmiques modernes el control de qualitat de les quals és essencial per garantir l'èxit de la recollida de les dades utilitzades per a la interpretació de les restes arqueològiques.

Paraules clau: tècniques de camp; laboratori; matriu de dades; fotogrametria; SIG; paleolític.

1. Stone Age Archaeology Group, Institute of Archaeology, University College London, 31-34 Gordon Square, London, WC1H 0PY
i.torre@ucl.ac.uk

Resumen. Técnicas de excavación en yacimientos paleolíticos. Algunos casos de estudio

Las técnicas de excavación utilizadas en los yacimientos arqueológicos rara vez se especifican en las publicaciones académicas, bajo el entendimiento tácito de que los métodos de trabajo de campo están suficientemente estandarizados para hacer su descripción innecesaria. Sin embargo, aunque éste es probablemente el caso de la arqueología de urgencia, es una suposición injustificada en cuanto a la arqueología académica, y obvia la amplia gama de diferentes técnicas de campo utilizadas durante las excavaciones arqueológicas por cada equipo de investigación. En este trabajo presentamos los métodos de campo utilizados por nuestro grupo de investigación en la excavación de yacimientos paleolíticos en España y África oriental, desde la selección de los sitios para la excavación hasta el procesamiento digital de los datos espaciales y arqueológicos obtenidos. Nuestro objetivo es contribuir a la consolidación de un corpus de prácticas estandarizadas en las excavaciones académicas modernas, cuyo control de calidad es esencial para garantizar el éxito en la recogida de los datos utilizados para la interpretación de los restos arqueológicos.

Palabras clave: técnicas de campo; laboratorio; matriz de datos; fotogrametría; SIG; paleolítico.

DE LA TORRE, Ignacio; ARROYO, Adrián; PROFFITT, Tomos; MARTÍN RAMOS, Carmen; THEODOROPOULOU, Angeliki. «Archaeological fieldwork techniques in Stone Age sites. Some case studies». *Treballs d'Arqueologia*, 2014, núm. 20, p. 21-40. DOI: 10.5565/rev/tda.51

Introduction

Discussions regarding methodological and best practice issues in archaeological excavations are as old as the discipline. Great effort has been spent in defining, describing and implementing a standard set of excavation procedures which allows for maximum recovery of data from an archaeological site (e.g. Wheeler, 1954; Kenyon, 1961; Barker, 1993; Drewett, 1999). In addition, ever evolving technical innovations have a huge impact in archaeological excavation and recording techniques, which are constantly modified and elaborated upon in line with new advances. This is especially true for the last two decades, in which developments in digital technology have triggered a revolution in Archaeology as a discipline (e.g. Daly and Evans, 2005).

Despite these efforts, however, a great disparity exists in field archaeology methods within the academic environment, with practically each research team applying their own separate data recovery techniques. Heterogeneity and lack of standardization in field techniques in academic Archaeology is in acute contrast with other disciplines which incorporate field work, such as Geology, where standard protocols of data recovery are shared by most of the international community (e.g. Lisle et al, 2011; McClay, 1991; Coe, 2010). Given that archaeological excavation is a destructive process, the lack of standardization in field recovery techniques as well as the academic and some countries' permit-granting agencies permissiveness towards starkly unequal excavation practices, where an 'any-

thing goes' consensus prevails, should be a cause of concern.

On the other hand, the impossibility of delivering a 'one size fits all' recipe for archaeological excavation should be acknowledged, for field techniques are necessarily dependant on research design, time period, sedimentary context, and budgetary and logistical constraints, among others. Therefore, the need for standardized, rigorous and systematic field techniques should be reconciled with flexible strategies of data recovery adapted to each particular case study.

In this paper, field methods practiced by the Stone Age Archaeology Group (SAAG) of the UCL Institute of Archaeology are outlined through case

studies of Palaeolithic excavations in Spain, Ethiopia and Tanzania. Our review of SAAG's methodology, which relies heavily on previous advances developed by CEPAP (Centre d'Estudis del Patrimoni Arqueologic de la Prehistoria; see Mora et al, this volume), will focus on field data recording during excavation, and will also outline field laboratory and data processing procedures.

Fieldwork techniques

Location of trenches

Palaeolithic archaeologists usually excavate in caves/rockshelters or in open air sites. Data obtained during preliminary

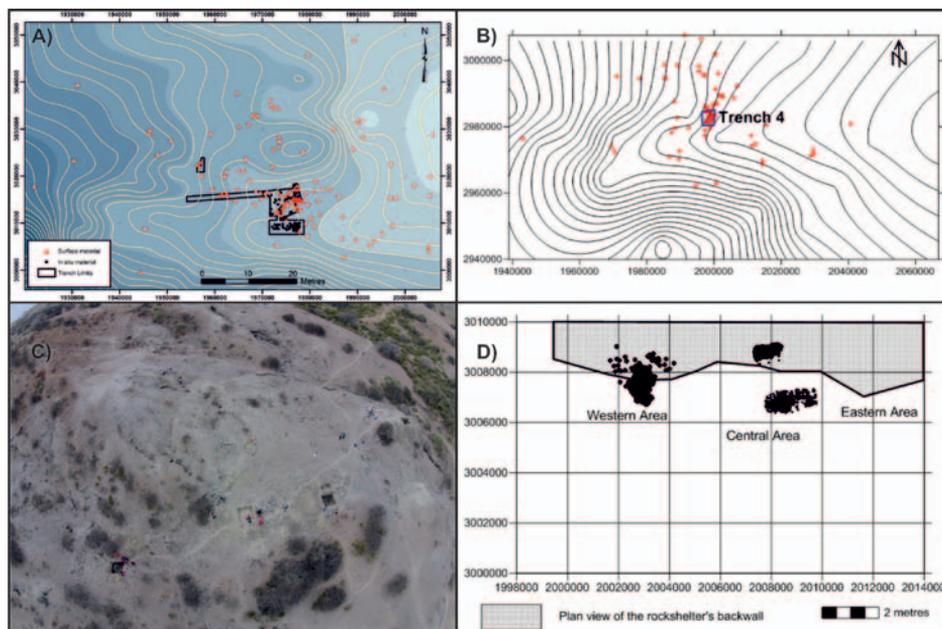


Figure 1. A) Trenches excavated in Mieso 7, an Acheulean site in Central-East Ethiopia. B) Despite the abundance of surface material in Mieso 4 (red dots), no archaeological items were found in this test trench. C) Random test pits across the early Pleistocene landscape of FC East (Olduvai Gorge). D) Excavation grid at the Buendia site aligned with the rockshelter's back wall.

visits to fixed points in the landscape such as caves and rockshelters, or during foot surveying across open-air sedimentary outcrops, will inform on the potential areas of interest. In some instances, it is the presence of fossils and stone tools that will strongly influence the optimum location of a trench. For example, during fieldwork in the Middle Pleistocene of Mieso (Ethiopia) (de la Torre et al, 2014), our field strategy was to locate outcrops with higher densities of stone tools and fossils on the surface, and then to place test trenches around such clusters in the hope that they would yield material in situ. Sometimes this strategy was successful, such as in the case of Mieso 7 (Figure 1A), where presence of material in the test trench led to its enlargement in order to recover more artefacts. In other instances, however, significant numbers of surface artefacts were not matched by preservation of material in situ, and hence test trenches were logged after excavation, but not extended (Figure 1B).

Complementary trenching strategies can also be used; for example, Potts et al (1999) in Olorgesailie (Kenya) and Blumenschine et al (2012) at Olduvai Gorge (Tanzania) placed test trenches across outcrops irrespectively of the presence/absence of surface materials, for their objective was to investigate the general distribution of artefacts across ancient landscapes beyond clusters of archaeological materials. This latter strategy, which is to some extent similar to random sampling, has also been applied by our group at Olduvai Gorge (Figure 1C) in combination with the more traditional excavation of high-density clusters in large trenches, and has the advantage of providing quicker and better knowledge

of wider areas within the same stratigraphic interval.

Coordinates and grid system

Once the general area and/ or site/s for trenching have been located, we frame the area within geographic (absolute) and arbitrary (relative) coordinate systems. Given the relatively small-scale nature of an archaeological excavation, we normally set up a grid based on a relative system of Cartesian coordinates, rather than using geographic coordinates. This grid is used to position the archaeological material and features within a Cartesian system with 'x' 'y' and 'z' coordinates, and should preferably be oriented to the geographic north (see Figure 1A and 1B), as alignment of the 'y' axis of the grid with the geographic north will facilitate nomenclature and comparison with other data (e.g. compass bearings). However, occasionally this may result in burdensome outcomes; for example, in the case of rockshelters and caves, or where a prominent feature exists, it might be more convenient to align the grid system in relation to the orientation of such particular feature. Thus, during our excavations at the Buendia rockshelter (Spain), the 'x' axis of our relative coordinate grid was aligned parallel to the roof dripline, and the 'y' against the bedrock back wall (Figure 1D), and hence the grid was offset with respect to the geographic north.

This grid is set up with a total station once a minimum of two 'base stations' (i.e. concrete beacons) have been positioned in the local landscape. One of these base stations becomes the reference point used to triangulate and create the relative grid system with the total station.

The location of these base stations are also recorded using differential GPS, in order to position the Cartesian relative coordinates in an absolute reference system. There are no limitations to the number of base stations that are suitable,

as this is highly conditional on the local topography, visibility and requirements of field work. It is indeed good practice to set up several base station backups (Figure 2), as it is often the case that beacons become unsuitable due to erosion,

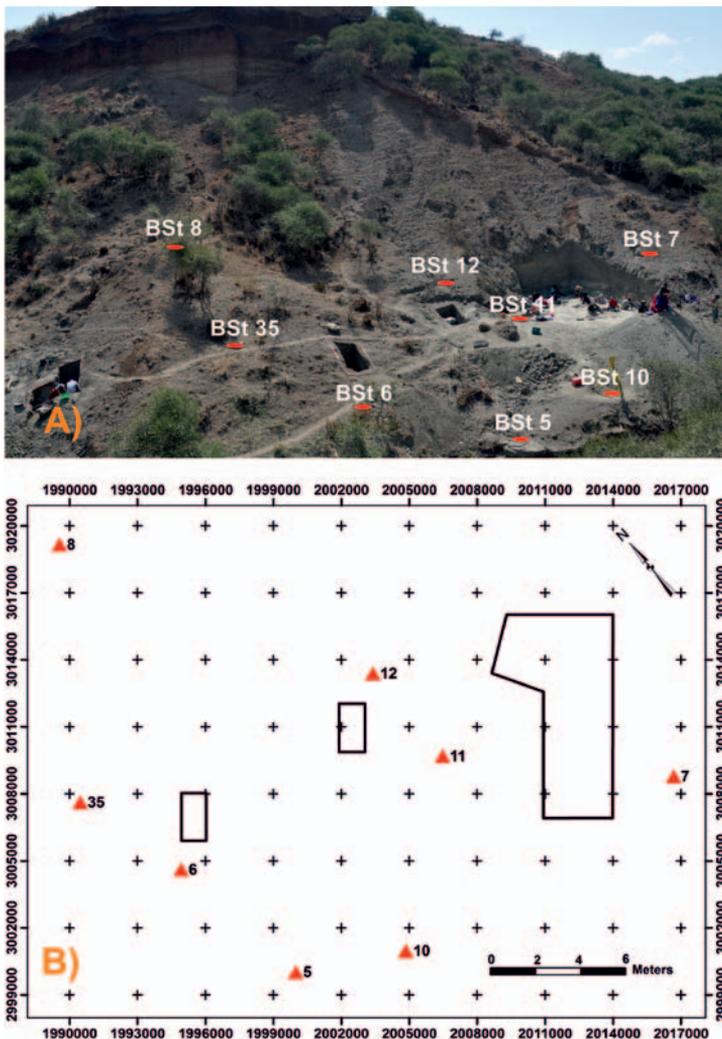


Figure 2. A) General view of the base stations (BSt) location at HWKEE (Olduvai Gorge). B) Location of base stations within a local grid system based on relative coordinates.

vandalism or burial by recent sediments. Once the base stations and trench location(s) are set, the limits of the trench to be excavated are established, a process that is automatized with the total station.

Artefact collection and excavation

Once the virtual grid has been established, surface material is collected and mapped with a total station. This process helps to quickly identify major clusters of artefacts and locate their possible provenance, and may also contribute in deciding where to position the test trench. In addition, surface material mapping may

help in understanding erosional processes. For example, in the Mieso 31 site, we were able to conjoin surface-collected artefacts with stone tools found in situ (Figure 3), thus gaining important insights regarding the dynamics of dismantlement of the Pleistocene deposits by modern erosive processes.

A wide range of tools can be used during the excavation of the trench, and selection depends on the type and density of archaeological material, geological context, expected closeness to the archaeological unit, and other factors. Thus, large picks and shovels are used to remove the upper and/or sterile layers, while trowels, small picks, screwdrivers,

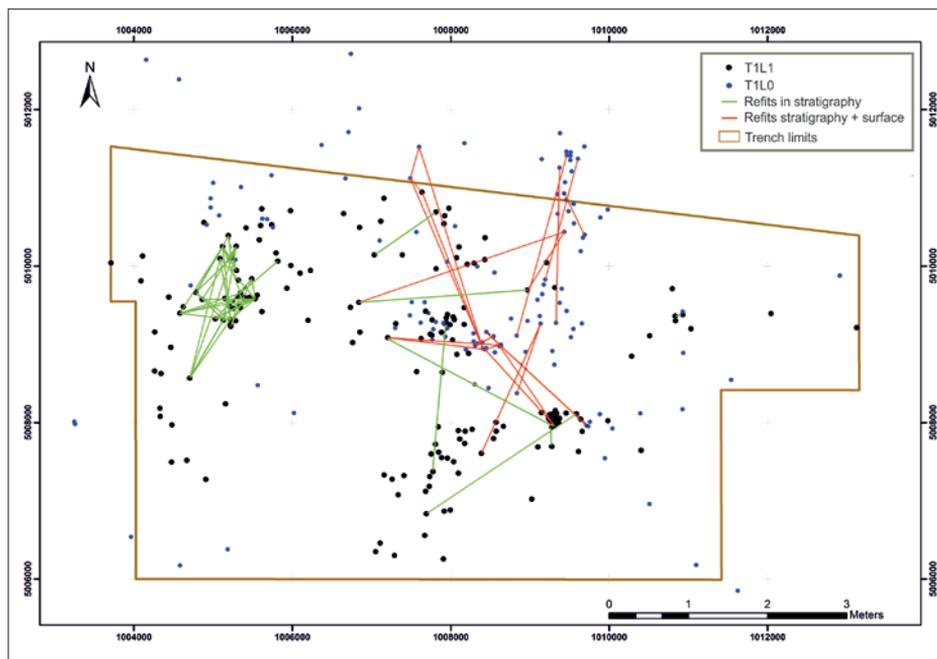


Figure 3. Plan of refits in Mieso 31, an Acheulean site in central-east Ethiopia (de la Torre et al., 2014). Green lines represent conjoining sets of stone tools in stratigraphy. Red lines refer to refits between surface and in situ artefacts.

dental tools, wooden sticks and brushes of varying size are used to carefully excavate delicate and fragile artefacts and features. It is often the case that different tools are used within the same trench, according to the stage of progress across the excavation area. Figure 4 shows an example of the various rhythms involved in the digging of a single trench; at EFHR (Figure 4A), several meters of archaeologically-sterile overburden were removed with large picks and shovels, followed by smaller hand picks and screwdrivers, which were used to excavate the main archaeological unit. In Buendia (Figure 4B), the high density of artefacts required archaeological units to be slowly excavated with screwdrivers and brushes only.

When possible, SAAG avoids definition of archaeological units based on arbitrary vertical spits, as this method does not provide data on site formation dynamics. Instead, the excavation follows litostratigraphic layering and, within such levels, archaeological units are defined where vertical aggregations of artefacts can be distinguished from other archaeological units and/or lithostratigraphic layers by archaeologically-sterile sedimentary gaps. Identification of archaeological units from vertically-clustered materials relies heavily on map plotting and computerized monitoring of artefact distributions, which will be discussed below.

Normally, all artefacts found in situ (irrespective of their size) are given an individual identifier, composed of a label that contains the archaeological unit and a correlative number, and which is placed alongside the artefact in an individual plastic bag. Sediment removed during the excavation of archaeological



Figure 4. A) Process of excavation at EFHR (Olduvai Gorge); excavators at the front are close to the archaeological unit and thus dig carefully with screwdrivers and hand picks, while the crew at the back is using large picks and shovels to remove the overburden sitting on top of the archaeological unit. B) Excavation crew in Buendia in the 2010 field season, digging with screwdrivers, wooden sticks and brushes.

units is sieved in order to recover small fragments which were not spotted while digging. This is done through the screening of sediment in a suspended metal sieve through a range of gauges from 0.5 to 2.0mm. Each excavator is given a 'level bag' or 'non-coordinates bag', where all artefacts retrieved during sieving of their bucket are kept, and then collectively ID'd with one of the same labels used for items found in situ. Correlative numbers assigned to each in situ artefact and excavator's level bag are syn-

chronised with the counter of the total station, which records the 'x' 'y' and 'z' coordinates of each item and files such Cartesian coordinates according to the ID dictated by the labels.

In situ stone tools and fossils unearthed during excavation are not immediately removed or loosened, but remain in the sediment and in their original position until they have been adequately documented. On occasions, poor preservation of some artefacts and fossils requires on-site conservation and consolidation in order to be successfully recovered, and further conservation (when needed) is undertaken in laboratory conditions. The strike and dip of objects with an identifiable length axis longer than the width are taken with a compass and a clinometer respectively, and entered in a digital context sheet on a tablet computer. These bearings are important in order to understand the effects of natural agents on the assemblage, which it has been argued are particularly prevalent in sites such as Olduvai Gorge (Benito-Calvo and de la Torre, 2011; de la Torre and Benito-Calvo, 2013).

While a single point shot by the total station (Figure 5) is enough to record the 3D position of smaller artefacts (normally < 4 cm), it is often important to also document the original layout of larger items. In these cases, the stone tool or fossil is either drawn by hand or photographed with a digital camera to produce an orthophoto. This image is then downloaded onto an on-site laptop computer, printed with a portable printer and added to a field notebook (Figure 6). This plan view, be it a drawing or a photograph, acts as a map where total station coordinates are taken around its

outline. Once bearings and outline of the artefacts have been recorded, each artefact is allocated a sequential finds number which correlate to the identification number registered with the total station.

3D positioning with the total station is not only applied to archaeological artefacts, but also used to record a wide range of other relevant features, such as sedimentology samples, landmark points and paleoreliefs across the surface of the excavation, trench stratigraphy and the wider landscape. The latter, for example, helps to produce detailed Digital Elevation Models (DEM) of the modern



Figure 5. Excavation of the HWKEE main trench during the 2014 field season; A) the total station is positioned a few meters away from the trench to ensure full visibility and safety of the instrument. B) Mr. Patrick Ngalo operates the total station at HWKEE. C) Mr. Elias Lazaro centres the head of the prism against which the total station's laser will reflect while Mr. Adrian Arroyo holds the pole over the artefact to be 3D positioned.

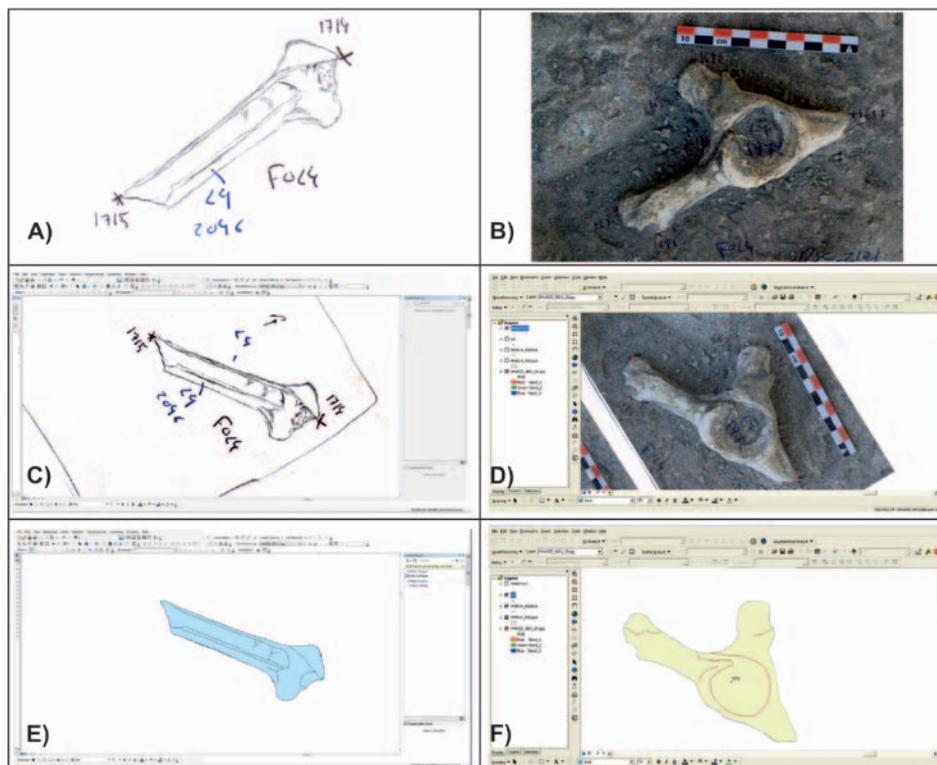


Figure 6. Total station points are taken over the outline of a hand drawing (A) or a photograph (B), and then georeferenced (C and D) within the site's grid system in order to create vector polygons (E and F). Both examples from excavations at HWKEE (Olduvai Gorge).

topography surrounding the site (Figure 7A). The use of total station measurements to map stratigraphic contacts (Figure 7B) is essential to accurately position archaeological units within their lithostratigraphic context. Detailed surveying of paleosurfaces (Figure 8A) enables documenting features that will eventually be destroyed during the excavation process, and is important in order to better contextualise the archaeological material within its geological unit. The same applies to sedimentology samples

(Figure 8B), which are positioned with the total station and then collected with a separate code string from that used for the archaeological material, but which are added to the same database and georeferenced system, therefore allowing for an accurate spatial correlation between different datasets.

Finally, it is good practice to update a daily field notebook with notes regarding stratigraphic issues, sedimentary changes, characteristics of the archaeological levels under excavation, descrip-

tion of the codes created with the total station, sketches of relevant features, and others. In addition to photographing artefacts during excavation, it is also important to take general pictures of trenches on a daily basis, which will contribute to documenting the progress of the excava-

tion and might be of help if problems of interpretation arise. At the end of the daily work, the archaeological material is taken to the laboratory for processing, and the total station and the tablet computer data are downloaded and centralised into the general database of the site.

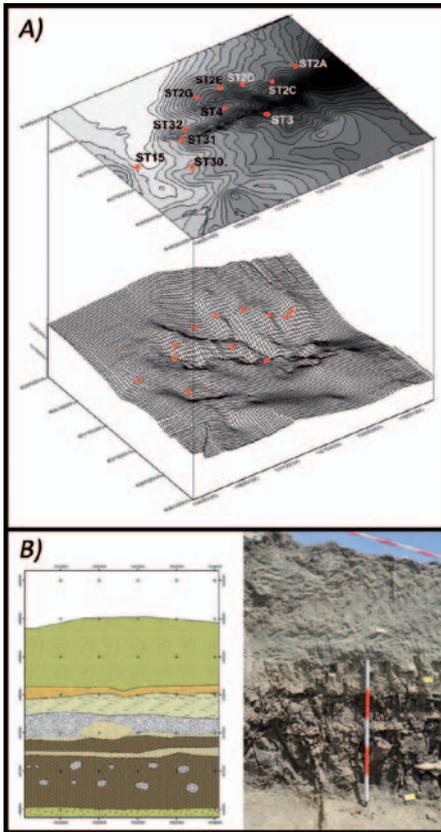


Figure 7. A) DEM of modern topography around some of the Lower Pleistocene localities of the Type Section in Peninj (Lake Natron, Tanzania) (adapted from de la Torre and Mora, 2004). B) Right: back wall of a trench dug in FC East (Olduvai Gorge). Left: georeferenced sedimentary contacts of this trench, mapped with the total of station.

Laboratory and artefact processing

Laboratory work during the field season is an integral stage in the production of an accurate excavation inventory, and as stressed elsewhere (Glassow, 2005), assists in the recognition of possible mistakes incurred on site during the excavation process. Recognizing the importance of readily processing material collected in the excavation, part of the SAAG team works in the laboratory on a daily basis during the field season, focusing on the cleaning of artefacts, labelling of the material, and database entry.

Artefact cleaning procedures

Cleaning and labelling are critical tasks in an archaeological laboratory, since any error in the process, such as misplacing a piece from its original label, involves a fatal loss of information (Banning, 2008). In the cleaning stage, an assessment of the artefact preservation is undertaken in order to evaluate appropriate conservation strategies. The choice of cleaning either by dry brush or water immersion will depend on the level of artefact preservation (Figure 9A). For example, although most of the artefacts from Olduvai Gorge stand up well to soft brushing with water, fossils and some stone tools made on lavas can react when washed, so dry cleaning is desira-

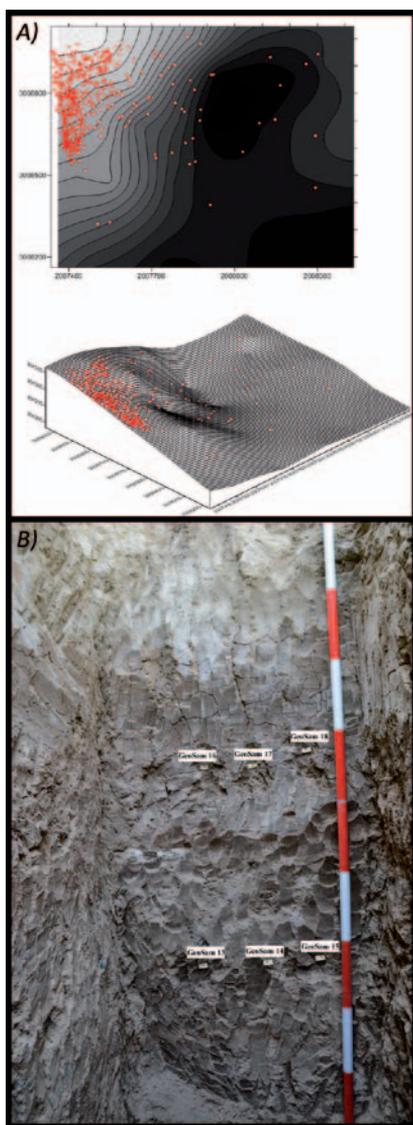


Figure 8. A) 3D reconstruction of 1 m² of the paleosurface over which archaeological unit N1C is laid at the Buendia rockshelter (red dots are artefacts recorded during the 2005 field season). Figure 8B: Back wall of a deep trench in MNK (Olduvai Gorge), with labels indicating the location of the sedimentology samples positioned with the total station.

ble. In other cases (e.g. Buendia, where most of artefacts are made of chert), water immersion did not affect pieces and hence lithic artefacts were all water washed. In addition, morphological characteristics of archaeological items will influence the selection of the washing technique. When washing small fragments, the use of a strainer is helpful to avoid losing the smaller pieces. After cleaning, material should be completely dried before labelling or bagging, as condensation inside storage bags can cause damage to the artefacts over time.

Artefact labelling procedures

Once items are washed and dried, they are placed on tables protected with foam to avoid potential damage caused by contact with hard surfaces. Each fossil and stone tool is individually labelled using two methods: hand labelling and the attachment of data-matrix (DM) codes (Figures 9B and 9C). The combined use of both labelling systems allows the hand label to act as a backup in case the barcode is lost, if there is a failure in the barcode scanner, or in the event that the required technology to scan the DMs is not available.

Hand labelling begins with the application of a thin layer of a gloss acetone-free varnish over the artefact. This thin layer should be applied before writing on the piece, for if writing is made directly over porous materials such as bone or lavas, ink is absorbed by the artefact and labelling becomes irreversible. A black permanent marker is normally used to label over the varnish, although sometimes the dark texture of the pieces requires using a white pen or a white pigment, which should be mixed with Paraloid B72 (Koob, 1986).



Figure 9. A) Stone tool cleaning with water in a bucket. B) Labelling of artefacts. C) Close up of hand and barcode labelling process. D) Scanning of barcode label during data entry.

Although this can vary, the hand label will normally contain the name of the site/trench under excavation, the archaeological unit, and a unique ID number.

During the hand labelling process, the writing should be as clear and small as possible. Artefacts are normally labelled with both handwritten and DM labels in areas which are going to least affect the analysis. The location will depend on the kind of material; for example, on flakes and flake fragments labels are placed as close to the centre of the ventral surface as possible, while on cores and handaxes these are located as far as possible from all edges. In all cases, it is important to ensure that the label is legible, stable and reversible (Banning 1955).

Over the last few years, the application of digital identification systems has increased in field and museum work. Within these initiatives, the use of DM codes has been successfully tested on artefacts from modern excavations, providing some advantages over traditional hand labelling (Martínez Moreno et al, 2011). Thus, it has been attested that DM codes make the labelling process more systematic, accurate and less time consuming (Martínez Moreno et al, 2011). Another advantage of DM codes is that they are readable even if printed in small size, affecting a much smaller area of the artefact. In addition, DM code labelling removes human error produced during hand labelling, thus dra-

matically reducing the number of inventory problems occurring during field laboratory work.

The use of DM codes also offers advantages in undertaking data recall from a barcode-enabled database such as ArqueoUAB (Mora et al, 2010), making this system convenient for inventorying and cataloguing; DMs contain the same information as the hand labels (i.e. site name, archaeological unit and unique correlative ID), and when scanning the DM code into a database software, the data for each single artefact is accessible and editable (Figure 9D), thus accelerating the data entry process and removing human-error during retrieval of artefact IDs in the database.

Equipment needed includes a dedicated DM printer, barcode scanners, as well as specifically-designed software — namely ArqueoUAB (Mora et al, 2010), in the case of SAAG—. Following similar methodology as with hand labelling, an adhesive made of Paraloid B72 or B44 (depending on weather conditions) mixed in a 20% with acetone is used to attach the DMs to the archaeological items. Each DM is fixed to the artefact between two layer of this adhesive which, once applied and dried, is completely translucent and resistant, but at the same time, easy to remove with acetone if rectification is needed.

Once artefacts are washed, cleaned and labelled, stone tools receive a preliminary techno-typological classification, and fossils are taphonomically analyzed. Basic information is then introduced on the ArqueoUAB database by the laboratory crew, including general measurements (length, width, thickness and weight) and the preliminary classification made by the specialists. Finally,

stone tools and fossils are once again individually bagged to prevent damage or dust, and packed away until a full analysis is conducted.

Imaging and management of spatial data

Photogrammetry

In recent years, photogrammetry (or more specifically structure from motion techniques) has become more prevalent within archaeological excavations (De Reu et al, 2014, Verhoeven, 2011, Verhoeven et al, 2012, Pollefeys et al, 2000), thanks to the development of cost-effective high resolution digital cameras and automated 3D photogrammetry software. SAAG is currently exploring its potential in the archaeological excavations at Olduvai Gorge, to produce 3D models of the individually excavated trenches, and detailed reconstructions of in situ artefacts within their original archaeological levels.

This method entails the extraction of 3D data from 2D photographic records, where 3D models derived from photogrammetry can be utilised in a number of ways. These include the ability to produce highly accurate digital elevation models of archaeological horizons, the integration of 3D models of trenches or archaeological features into overall GIS maps of the excavations, the ability to accurately reproduce an archaeological horizon for presentation and education purposes, and the possibility to undertake 3D analysis of artefacts and contexts.

Due to the nature of the archaeological record at Olduvai, a combination of handheld and remote shooting allows for maximum accuracy in obtaining the rel-

evant photographs. For all horizontal photographs of trenches, where it is physically unfeasible to use a handheld method of photography, the camera is fixed to a right angle tripod and photos are taken remotely with a wireless adapter and a tablet computer (see photogrammetry workflow in Figure 10).

Unlike 3D laser scanning, photogrammetry does not capture the target object at full size. It is important therefore that both scales and georeference points are incorporated into the photographs intended to be used for photogrammetry. Georeferencing the 3D models also allows their integration within the Cartesian grid system used for artefact recording with a total station during excavation, and will enable the final 3D model to be correctly scaled. At least three separate known reference points must be incorporated into the model, with additional reference points increasing the accuracy level of the final georeferenced model. Photographing is usually undertaken in stages. Firstly, the overall scene / trench is photographed; this is followed by detailed overlapping images of the back and sidewalls in order to document the stratigraphy, and finally any large or complex artefacts within the scene / trench. In order to achieve the highest quality textures for the final model, it is also important to ensure that the scene is photographed under consistent lighting levels, and that each photograph overlaps by at least 60%.

During the field season, medium powered laptops are used to produce low quality models, in order to provide on-site feedback on the quality and level of coverage of photographs. In a number of cases during our excavations at Olduvai Gorge, it has been possible to

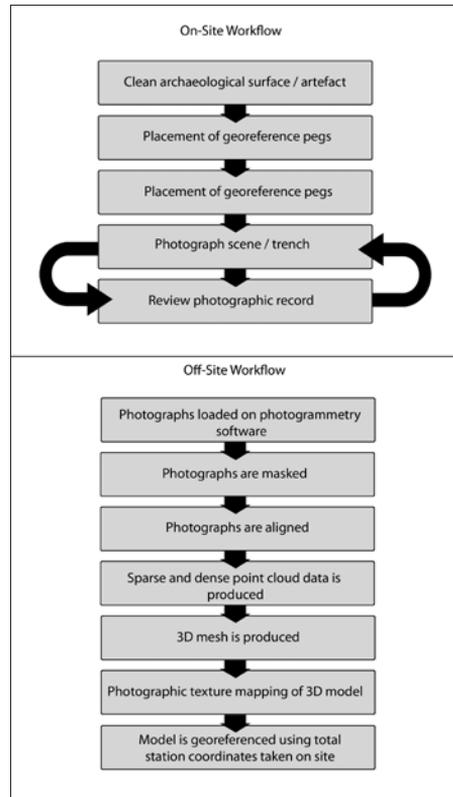


Figure 10. The on-site and off-site workflow for recording archaeological scenes using photogrammetry. *On Site:* - The surface of the trench is cleaned as usually done prior to photographing. - Placement and georeferencing of pegs with a total station. - The trench (target object) is photographed from as many different angles as possible ensuring at least a 60 percent overlap. - Digital images are downloaded onto a laptop on site and a low resolution model is produced in order to ensure sufficient overlap. Extra photographs are taken if needed. *Off Site:* - Photographs are loaded into dedicated software where the photos are aligned, and sparse and dense point clouds, 3D mesh and texture of the 3D model are produced. - Once the model is complete, positions of pegs recorded with a total station are tagged to georeference the model within the excavation grid system.

identify areas which did not have a sufficient number of photographs and allowed additional images to be taken. Checking the overlap and quality of the photographs on site is an important part of the photogrammetry workflow, as this stage cannot be revisited once the excavation has completed. Once the correct photographs are taken, full resolution 3D models, which can take a considerable amount of time and require high computer power, can be produced off site (Figure 11).

GIS management of spatial data retrieved during excavation

Nowadays, GIS techniques are widely applied to Archaeology (Connolly and Lake, 2006), from mapping of site distribution across the landscape (Siart et al., 2008; Espa et al., 2006), production of digital elevation models (Wheatley and Gillings, 2002), to the analysis of orientation (Benito-Calvo and de la Torre, 2011) and traces (e.g. Bird et al, 2007) in artefacts.

From the point of view of the day-to-day excavation process, SAAG uses the spatial data collected with the total station to produce plan views of the artefacts and cross sections of archaeological units, in order to analyse the spatial distribution of artefacts. These maps are produced on a daily basis in order to recognise clusters of artefacts and their horizontal and vertical distribution, and help in identifying distinct archaeological units.

With respect to plan views, our priority is to reproduce as faithfully as possible the original layout of archaeological remains, inspired by the superb maps drawn by Leakey (1971) at Olduvai Gorge, whose painstaking detail and

quality have enabled studies based only on her artefact plans (Davis 1975; Benito-Calvo and de la Torre, 2011; de la Torre and Benito-Calvo and, 2013). Thus, our methodology includes the use of orthogonal photos and drawings of fossils and stone tools taken during the excavation. Artefacts larger than 4-5 cm are normally either photographed or drawn. The total station is then used to record the ID of items and to delimitate their overall limits, noting the information on the photo/drawing. Back in the laboratory, each photo/drawing is imported and georeferenced into GIS software along with the total station points. This is followed by the production of a polygon based on the outline of the item's shape, which retains the same ID as the piece (Figure 6).

While horizontal plan views are important to capture the original location and orientation of excavated items, vertical plots are produced on a daily basis during the field season in order to check the progress of excavation. This is necessary due to the intrinsic difficulty of identifying distinct archaeological units during digging of Palaeolithic sites; while on occasions lithostratigraphic changes enable isolating vertical clusters of artefacts, one single lithostratigraphic layer often contains several archaeological units. When this is the case, a vertical view of the distribution of artefacts offers information about their spreading throughout the litho-stratigraphic layer, and represents a valuable tool to identify the presence of individual levels of artefacts, separated by gaps where sediments are void of archaeological items. Routinely production of these vertical plots is thus essential to ensure correct progress of the digging, and often dictates decisions

on the attribution of materials to particular archaeological units. Using GIS software, such plots can be produced from different perspectives, therefore enabling

to capture 3D views of artefact distributions (Figure 12).

Additional spatial and orientation data can be obtained from these plots,

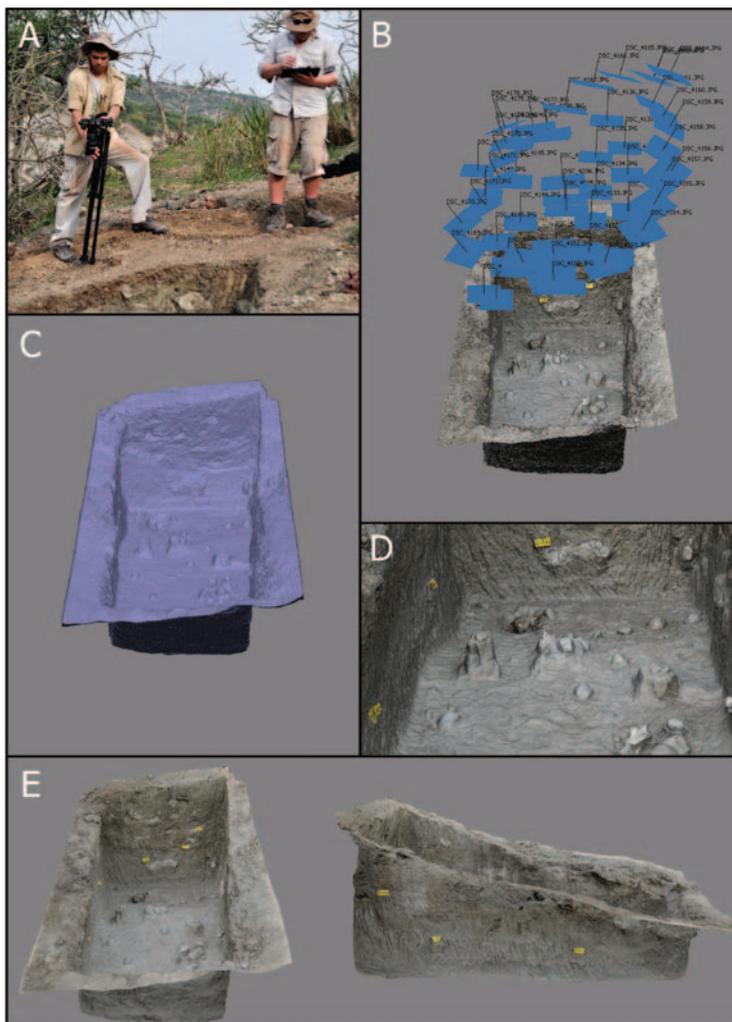


Figure 11. Building a photogrammetry model at HWKEE (Olduvai Gorge). A) Setting up the camera for wireless photogramming. B) Location of the photographs used to create the 3D model. C) Wireframe 3D model of the entire trench. D) Dense point cloud detail of the archaeological unit. E: Final textured 3D model of the entire trench (front and side views).

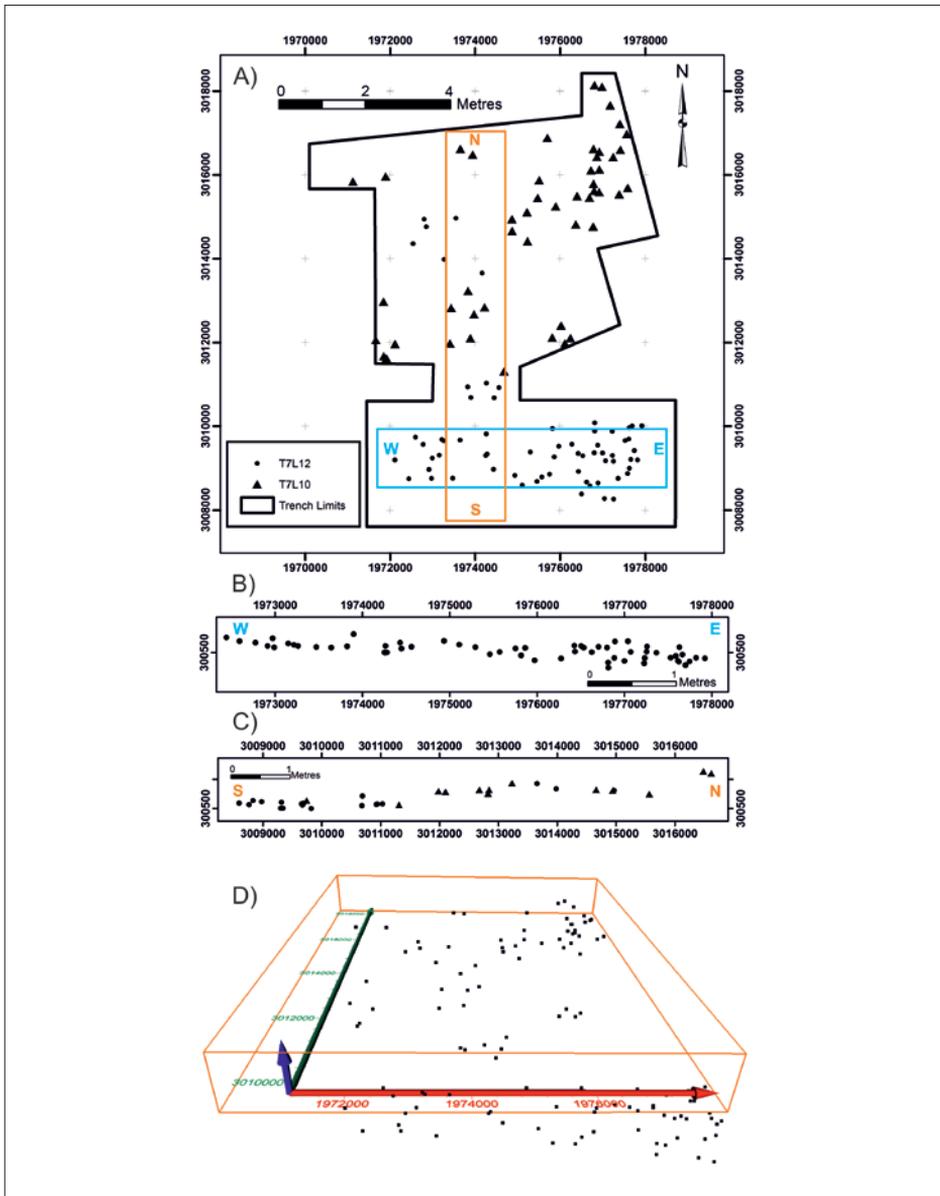


Figure 12. A) Plan view of artefact distribution in Mieso 7 (de la Torre et al, 2014). The two boxes indicate location of the cross-sections shown in Figure 12B and 12C. B) Transversal cross-section (that is, East-West view, which represents the X and Z coordinates) of box E-W in Figure 12A. C) Sagittal cross-section (that is, North-South view, which represents the Y and Z coordinates) of box N-S in Figure 12A. D) 3D cross-section (X, Y, Z) of the artefacts from Mieso 7.

providing information about, for example, the paleo-relief where artefacts were sitting on, possible post-depositional disturbances, and others. In addition, the artefactual spatial data obtained can be combined with one or more 3D photogrammetry models, allowing a full 3D reconstruction of the original position of fossils and stone tools as well as of the overall site. The latter are nonetheless spatial tools that are more related to the analytical, post-fieldwork stage of the archaeological process, and hence are beyond the scope of this paper.

Conclusion

This paper has summarized methods of excavation, data collection and finds processing during fieldwork, practiced by SAAG in a number of projects in Spain and East Africa. We certainly do not intend to reinvent the wheel here, and in fact it should be mentioned again that our field methods draw heavily from those developed by CEPAP over the last three decades (e.g. Mora et al, 2001; Mora et al, this volume; Martínez-Moreno et al, 2004;). It is also important to emphasize that methodologies are case-

specific, in which human and funding resources, logistics, time constraints and the nature of the site itself, dictate the pace and achievable quality of field data collection. In the same vein, it cannot be overstressed that field methods can and must constantly be updated, especially at present when digital advances offer a seemingly endless technological progress.

On the other hand, it is also true that archaeological field recovery techniques are often poorly described in scientific publications, where there is a tacit (and sometimes unwarranted) understanding that such techniques are so standardised that no explicit statements are necessary. As we have argued above, that is not the case, and indeed huge variability exists in the archaeological methods used by each field director. These must have a considerable impact in the type and quality of data recovered, and therefore will affect substantially interpretations that are presented eventually in publications. Thus, we maintain that although fleshing out archaeological fieldwork methods may be going over old ground, a detailed description of such techniques is important in order to qualify interpretations based on field data collection.

Acknowledgements

Excavations in Buendía were authorized and funded by the Dirección General de Patrimonio y Museos (Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Spain). Funding for fieldwork from the Society of Antiquaries of London in 2009 and 2010 is also gratefully acknowledged. Excavations in Mieso were authorised by the Authority for Research and Conservation of Cultural Heritage of the Ministry of Culture and Tourism (Ethiopia), and funded by Dirección General de Bellas Artes (Ministry of Culture, Spain) and the British Academy (SG-54216). Excavations in Olduvai Gorge are authorized by the Commission for Science and Technology (COSTECH) and the

Department of Antiquities (Tanzania), and funded by the National Science Foundation (BCS-0852292), British Academy (IP090186), and the European Research Council-Starting Grants (283366).

Bibliographic references

- BANNING, E. B. 1955. *Basic Artifact Conservation. The archaeologist's laboratory: the analysis of archaeological data*. Kluwer Academic.
- 2008. «Archaeological laboratory, Overview». In: PEARSALL, D. (ed.). *Encyclopedia of Archaeology*. New York: Elsevier.
- BARKER, P. A. 1993. *Techniques of Archaeological Excavation*. London: Batsford.
- BENITO-CALVO, A. and TORRE, I. de la. 2011. «Analysis of orientation patterns in Olduvai Bed I assemblages using GIS techniques: Implications for site formation processes». *Journal of Human Evolution*, 61, 50-60.
- BIRD, C., MINICILLO, T. and MAREAN, C. W. 2007. «Edge damage distribution at the assemblage level on Middle Stone Age lithics: an image-based GIS approach». *Journal of Archaeological Science*, 34, 771-780.
- BLUMENSCHINE, R. J., MASAO, F. T., STOLLHOFEN, H., STANISTREET, I. G., BAMFORD, M. K., ALBERT, R. M., NJAU, J. K. and PRASSACK, K. A. 2012. «Landscape distribution of Oldowan stone artifact assemblages across the fault compartments of the eastern Olduvai Lake Basin during early lowermost Bed II times». *Journal of Human Evolution*, 63, 384-394.
- COE, A. L. (ed.). 2010. *Geological Field Techniques*. London: The Open University.
- CONOLLY, J. W. and LAKE, M. W. 2006. *Geographical Information Systems in Archaeology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- DALY, P. and EVANS, T. L. (eds.). 2005. *Digital Archaeology: Bridging Method and Theory*. Routledge.
- DAVIS, D. D. 1975. *Spatial Organization and Subsistence Technology of Lower and Middle Pleistocene Hominid Sites at Olduvai Gorge, Tanzania*. Yale: Yale University.
- DE REU, J., DE SMEDT, P., HERREMANS, D., VAN MEIRVENNE, M., LALOO, P. and DE CLERCQ, W. 2014. «On introducing an image-based 3D reconstruction method in archaeological excavation practice». *Journal of Archaeological Science*, 41, 251-261.
- DREWETT, P. L. 1999. *Field Archaeology: An Introduction*. London: UCL Press.
- ESPA, G., BENEDETTI, R., DE MEO, A., RICCI, U. and ESPA, S. 2006. «GIS based models and estimation methods for the probability of archaeological site location». *Journal of Cultural Heritage*, 7, 147-155.
- GLASSOW, M. A. 2005. «Excavation». In: MASCHNER, H. D. G. and CHIPPINDALE, C. (eds.). *Handbook of archaeological methods*. Oxford: Lanham, MD Altamira Press.
- KENYON, K. M. 1961. *Beginning in Archaeology*. London: Phoenix House.
- KOOB, S. P. 1986. «The use of Paraloid B72 as an adhesive: Its application for archaeological ceramics and other materials». *Studies in conservation*, 31, 7-14.
- LEAKEY, M. D. 1971. *Olduvai Gorge: Excavations in beds I & II 1960-1963*. Cambridge: Cambridge University Press.
- LISLE, R. J., BRABHAM, P. and BARNES, J. W. 2011. *Basic Geological Mapping*. John Wiley & Sons
- MARTÍNEZ-MORENO, J., MARCEN, P. G. and TORCAL, R. M. 2011. «Data matrix (DM) codes: a technological process for the management of the archaeological record». *Journal of cultural Heritage*, 12, 134-139.

- MARTÍNEZ-MORENO, J., MORA, R. and DE LA TORRE, I. 2004. «Methodological approach for understanding Middle Palaeolithic settlement dynamics at La Roca dels Bous (Noguera, Catalunya, Northeast Spain)». In: CONARD, N. (ed.). *Settlement Dynamics of the Middle Paleolithic and Middle Stone Age*. Tübingen: Kerns Verlag.
- MCCLAY, K. R. 1991. *The Mapping of Geological Structures*. John Wiley & Sons.
- MORA, R., PARCERISAS, J. and MARTÍNEZ, J. 2001. «Computer-based recording systems of Pleistocene deposits with large mammals». In: CAVARRETTA, G., GIOIA, P., MUSSI, M. and PALOMBO, M. R. (eds.). *The World of Elephants / La Terra degli Elefanti*. Proceedings of the First International Congress. Roma: Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- MORA, R., TORRE, I. de la and MARTÍNEZ-MORENO, J. 2010. «ArqueoUAB: A systematic archaeographic approach for the analysis of Palaeolithic sites». In: MELERO, F. J., CANO, P. and REVELLES, J. (eds.). *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*. Granada: CAA Fusion of Cultures.
- POLLEFEYS, M., KOCH, R., VERGAUWEN, M. and VAN GOOL, L. 2000. «Automated reconstruction of 3D scenes from sequences of images». *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 55, 251-267.
- POTTS, R., BEHRENSMEYER, A. K. and DITCHFIELD, P. 1999. «Paleolandscape variation and Early Pleistocene hominid activities: Members 1 and 7, Olorgesailie Formation, Kenya». *Journal of Human Evolution*, 37, 747-788.
- SIART, C., EITEL, B. and PANAGIOTOPOULOS, D. 2008. «Investigation of past archaeological landscapes using remote sensing and GIS: a multi-method case study from Mount Ida, Crete». *Journal of Archaeological Science*, 35, 2918-2926.
- TORRE, I. de la and BENITO-CALVO, A. 2013. «Application of GIS methods to retrieve orientation patterns from imagery; a case study from Beds I and II, Olduvai Gorge (Tanzania)». *Journal of Archaeological Science*, 40, 2446-2457.
- TORRE, I. de la and MORA, R. 2004. *El Olduvayense de la Sección Tipo de Peninj (Lago Natron, Tanzania)*. Barcelona: CEPAP, University of Barcelona.
- TORRE, I. de la, MORA, R., ARROYO, A. and BENITO-CALVO, A. 2014. «Acheulean technological behaviour in the Middle Pleistocene landscape of Mieso (East-Central Ethiopia)». *Journal of Human Evolution*, 76, 1-25.
- VERHOEVEN, G., TAELEMAN, D. and VERMEULEAN, F. 2012. «Computer vision-based ortho-photo mapping of complex archaeological sites: the ancient quarry of Pitaranha (Portugal - Spain)». *Archaeometry*, 54, 1114-1129.
- VERHOEVEN, G. J. J. 2011. «Taking Computer Vision Aloft-Archaeological Three-Dimensional Reconstructions from Aerial Photographs with PhotoScan». *Archaeological Prospection*, 18, 67-73.
- WHEATLEY, D. and GILLINGS, M. 2002. *Spatial technology and archaeology. The archaeological applications of GIS*. London: Taylor & Francis.
- WHEELER, M. 1954. *Archaeology from the earth*. Oxford: Clarendon Press.

Conceptos básicos y métodos en geoarqueología: geomorfología, estratigrafía y sedimentología

Alfonso Benito-Calvo, Isidoro Campaña Lozano,
Theodoros Karampaglidis¹



Recibido: 01-10-2014
Aceptado: 25-10-2014

Resumen

En este trabajo se sintetizan los conceptos y métodos básicos de tres de las ciencias más comunes en geoarqueología, como son la geomorfología, la estratigrafía y la sedimentología. A través de estas ciencias se trata de reconstruir los paisajes y los procesos de formación en torno a las ocupaciones humanas del registro arqueológico. Las distintas metodologías son de diversa naturaleza y escala, combinando técnicas cartográficas, principios geológicos, descripciones de campo y análisis de laboratorio para caracterizar los materiales y medios físicos asociados a las ocupaciones humanas.

Palabras clave: metodología básica; técnicas; geoarqueología.

Resum. Conceptes bàsics i mètodes en geoarqueologia: geomorfologia, estratigrafia i sedimentologia

En aquest treball se sintetitzen els conceptes i mètodes bàsics de tres de les ciències més comunes en geoarqueologia, com són la geomorfologia, l'estratigrafia i la sedimentologia. A través d'aquestes ciències es tracta de reconstruir els paisatges i els processos de formació al voltant de les ocupacions humanes del registre arqueològic. Les diferents metodologies són de diversa natura i escala, i combinen tècniques, principis geològics, descripcions de camp i anàlisis de laboratori per caracteritzar els materials i medis físics associats a les ocupacions humans.

Paraules clau: metodologia bàsica; tècniques; geoarqueologia.

Abstract. Basic concepts and methods in Geoarchaeology: Geomorphology, Stratigraphy and Sedimentology

In this paper, the basic concepts and methods of three of the most common sciences in Geoarchaeology (Geomorphology, Stratigraphy and Sedimentology) are summarized. Using these sciences, the landscape and the formation processes associated with the archaeological occupations are reconstructed. The different methodologies are diverse in nature and scale, combining

1. Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana. Paseo Sierra de Atapuerca, 3. 09002 Burgos, España.
alfonso.benito@cenieh.es; isidoro.campaña@cenieh.es; theodoros.karampaglidis@cenieh.es

mapping techniques, geological principles, field descriptions and laboratory analysis, in order to characterize the materials and physical environments related to archaeological sites.

Keywords: basic methodology; techniques; Geoarqueology.

BENITO-CALVO, ALFONSO; CAMPAÑA LOZANO, ISIDORO; KARAMPAGLIDIS, THEODOROS. «Conceptos básicos y métodos en Geoarqueología: Geomorfología, Estratigrafía y Sedimentología». *Treballs d'Arqueologia*, 2014, núm. 20, p. 41-54. DOI: 10.5565/rev/tda.45

1. Introducción

El desarrollo de los grupos de homínidos está estrechamente ligado al territorio o paisaje que habitan. Entre los numerosos componentes que definen el paisaje, los factores físicos del terreno constituyen el escenario en el cual interaccionan el resto de factores. El paisaje físico no es un medio invariable, sino que está caracterizado por constantes cambios a diversas escalas, que condicionan las características y los recursos de territorio, influyendo de manera notable en el desarrollo de las culturas y la formación y preservación de los registros arqueológicos. Las variaciones del territorio están determinadas a escalas generales por la tectónica de placas y la evolución geológica de las macroestructuras litosféricas (continentes, océanos, cordilleras, depresiones sedimentarias), y a escalas menores por la evolución de las meso y microestructuras del territorio donde se generan los yacimientos arqueológicos (costas, lagos, valles, llanuras, sierras, sistemas de cavidades, etc.). De este modo, la geoarqueología se ocupa del estudio de los componentes abióticos del paisaje, con objeto de reconstruir los paisajes físicos y los georrecursos utilizados por los grupos humanos, así como analizar los procesos de formación de los yacimientos y regis-

tros arqueológicos. En este trabajo, se describirán brevemente los conceptos y las metodologías utilizados en tres de las ciencias más comunes en geoarqueología, como son la geomorfología, la estratigrafía y la sedimentología.

2. Geomorfología

El paisaje físico está articulado por un conjunto de morfologías, que, a grandes rasgos, pueden ser divididas en dos grandes grupos: formas erosivas y formas acumulativas. Las primeras son aquellas que se forman por la acción de los procesos erosivos y de alteración sobre el sustrato geológico, mientras que las segundas se generan por la acumulación de materiales, generalmente depósitos sedimentarios. Ambos tipos de morfologías se pueden estar formando en el presente, esto es, los procesos que las forman funcionan en la actualidad, o puede tratarse de morfologías heredadas que fueron generadas por procesos acaecidos en distintas etapas del pasado. El estudio combinado de la forma de dichas morfologías y su composición, textura y estructura (en el caso de las formas acumulativas), permiten interpretar su origen y los procesos que las formaron (fluviales, de gravedad, eólicos, kársticos, etc.). De este modo, si

existe una secuencia de formas en el paisaje, pueden ser inferidos la sucesión de procesos y aproximar los ambientales en el pasado.

En función de estos conceptos, el análisis geomorfológico de un territorio aporta a la arqueopaleontología conocimientos fundamentales para una mejor interpretación de la génesis y el contexto temporal de las concentraciones arqueológicas y paleontológicas, a través de la comprensión de las formas del paisaje donde se localizan y de los procesos que actúan en el presente y actuaron en el pasado. De igual modo, el relieve y los procesos geomorfológicos constituyen elementos clave para analizar la conservación y perduración de los yacimientos o concentraciones arqueopaleontológicas.

En el análisis geomorfológico se analizan las formas del paisaje (morfología, génesis y edad), y los procesos actuales, teniendo en cuenta las características del sustrato geológico y su estructura tectónica. Al tratarse de un estudio espacial, este análisis se sirve frecuentemente de cartografías y, a su vez, su producto final es expuesto comúnmente en modo cartográfico. Esta representación gráfica del paisaje es el mapa geomorfológico. La cartografía geomorfológica es un concepto relativamente reciente que surge a finales del siglo XIX y principios del siglo XX y tiene su mayor desarrollo a partir de la Segunda Guerra Mundial (ver Garzón, 1978; Peña, 1997a; Martín-Serrano *et al.*, 2004), en relación con grupos de trabajo europeos (Polonia, Francia, Holanda, Suiza, Checoslovaquia, Bélgica, Italia, Rusia, Alemania, Italia). Esta diversidad de escuelas y la variedad de enfoques aplicativos determinan que no exista una visión única de lo que debe entenderse por mapa geo-

morfológico. Aunque han existido intentos de unificación en los sistemas cartográficos, las leyendas propuestas no han tenido una gran aceptación general, provocando la coexistencia de sistemas de representación internacionales, con las particulares de cada país y mezclas de ambos (Peña, 1997b). En cualquier caso, la cartografía geomorfológica debe proporcionar una información organizada y precisa de las formas del relieve y de los procesos geodinámicos (Martín-Serrano *et al.*, 2004). En este sentido, los elementos a representar en un mapa geomorfológico son: información topográfica, hidrográfica, geológica y los datos morfológicos relativos a:

- *Morfometría*. Datos cuantitativos del relieve, como pendientes, orientaciones, alturas, etc.
- *Morfografía*. Descripción cualitativa respecto a la configuración geométrica de las formas.
- *Morfogénesis*. Referida a los procesos genéticos, sistemas morfogenéticos y agentes del modelado.
- *Morfodinámica*. Formas heredadas y funcionalidad de los procesos actuales.
- *Morfocronología*. Sucesión temporal de los grupos de formas y sedimentos correlativos; cronología relativa y absoluta.

La información topográfica y la hidrología principal son proporcionadas por los mapas topográficos de base, mientras que los datos geológicos (litológica, estructura, formaciones superficiales o marco morfoestructural) pueden ser extraídos de mapas geológicos ya existentes. El mapa geomorfológico puede abarcar todos estos elementos morfológicos o centrarse en alguno de

ellos, formando cartografías especiales, como cartografías morfoestructurales, morfométricas (mapas de pendientes, orientaciones, rugosidad, altitudes, etc.), o cartografías morfodinámicas (mapas de riesgos). Otras clasificaciones de los tipos de mapas geomorfológicos (Peña, 1997a), están en función de las características del relieve que abarcan (generales o parciales), del grado de aplicación del mapa (básicos o de investigación pura, aplicados y especiales), si tratan las formas individualmente o en conjunto (mapas de regiones geomorfológicas), dependiendo de su grado de elaboración, o en función de la escala (gran escala, escala media y pequeña escala, ver en Peña, 1997a).

El procedimiento para realizar el mapa constaría de una primera fase de búsqueda de los documentos básicos mencionados y de información bibliográfica, seguido de una fase posterior de realización del mapa (Martín-Serrano *et al.*, 2004). En esta segunda fase se realiza el análisis de la información recopilada y la fotointerpretación de la zona, dando como resultado la elaboración de un mapa provisional que debe ser testado mediante el trabajo de campo. En el trabajo de campo se realiza el reconocimiento, descripción y representación de las morfologías, así como la descripción de las secuencias estratigráficas y litofacias de los depósitos y formaciones superficiales identificados, además de la toma de muestras si es necesario. La combinación sucesiva de los trabajos de fotointerpretación y reconocimiento de campo produce la elaboración definitiva de la cartografía geomorfológica. Tradicionalmente estos procesos se realizaban sobre formato papel, pero las facilidades que aporta actualmente la cartografía digital permi-

ten su elaboración en formato digital, entrando en una tercera fase de elaboración consistente en la edición digital. En esta última fase se introducen los elementos espaciales y sus bases de datos asociadas en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para su posterior representación, gestión y procesado.

La escala de los mapas geomorfológicos se debe elegir en función del propósito con el que se realiza el mapa, de la textura del relieve y de la información cartográfica preexistente de la región analizada. Una primera aproximación de la escala se puede realizar analizando la textura del relieve, referida a la densidad y el tamaño de las formas que presenta el terreno. Sin embargo, en la decisión final de la escala prevalecen los objetivos que persigue la cartografía. Dependiendo de las formas y procesos que se pretenden reflejar, será necesaria la elección de una escala adecuada para su representación, pudiéndose realizar a escalas pequeñas y medias ($< 1:100.000$) la representación de regiones geomorfológicas o macroformas de gran extensión (pediplanos, relieves estructurales regionales, grandes edificios volcánicos, etc.), y a escalas grandes ($> 1:50.000$), la representación de meso y microformas.

La realización de una cartografía geomorfológica y su grado de detalle dependen en gran medida de la información de soporte y análisis con la que se cuenta. Aunque existen diversas bases de datos espaciales que pueden aportar información de interés (Lozano y Sánchez, 1997), los documentos básicos de partida están constituidos por la topografía, las fotografías aéreas y el mapa geológico. El mapa topográfico proporciona la base planimétrica y datos precisos y a escala sobre la orografía del área (curvas de nivel y cotas

singulares). Por otro lado, los mapas geológicos facilitan una primera inferencia de los procesos y formas del relieve a través del análisis de las unidades litológicas que componen el sustrato y de la estructura tectónica, pero, además, también pueden aportar una aproximación inicial a las formaciones cuaternarias, ya que suelen diferenciar los materiales holocenos y pleistocenos más representativos. Las fotografías aéreas representan uno de los documentos esenciales para la elaboración del mapa geomorfológico, puesto que proporcionan una imagen objetiva del territorio, básica para la fotointerpretación de las formas del relieve. Los vuelos fotogramétricos se organizan en pasadas paralelas que cubren el territorio y están formadas por fotogramas consecutivos y solapados, de tal modo que permiten la visión estereoscópica de la zona de solape. La interpretación de las formas del relieve a través de la visión estereoscópica, junto con el análisis de las texturas y tonalidades de las imágenes, permiten ir reconociendo los elementos geomorfológicos que componen el paisaje. En los últimos años, las bases de datos digitales han cobrado una importancia esencial en la elaboración de análisis geomorfológicos. Por ejemplo, imágenes de satélite, ortofotos o modelos digitales del terreno (MDT) proporcionan una representación espacial de distintas características del territorio que permiten tanto el análisis visual como el tratamiento numérico de los datos a través de distintos parámetros y algoritmos para la identificación de formas y procesos del paisaje (Benito-Calvo, 2013). Otros documentos que pueden aportar información de interés para la elaboración de la cartografía geomorfológica son los mapas edafológicos,

de formaciones superficiales, de vegetación y usos del suelo, hidrogeológicos y/o tectónicos.

3. Estratigrafía

Estratigrafía es una ciencia geológica que trata de estudiar los diferentes estratos, sus interrelaciones espaciales-temporales y la interpretación genética de los materiales que componen dichos estratos. Su etimología viene del latín *stratum* y del griego *grafia* (*γραφία*) cuyo significado literal es «la ciencia que trata de la descripción de las rocas estratificadas». Se basa en conocer en detalle las propiedades de las rocas, como su litología, su geometría y su disposición tridimensional, y, a partir de ello, comprender su génesis para fines científicos o aplicados (Vera, 1994).

La estratigrafía se basa en seis conceptos fundamentales:

1. *Principio de la horizontalidad y continuidad lateral*. Este principio establece que *a priori* un estrato tiene la misma edad a lo largo de toda su extensión horizontal y que considera como isócronas a las superficies de estratificación.
2. *Principio de la horizontalidad original*. La geometría de los estratos se dispone paralela a las superficies de deposición de forma horizontal o subhorizontal.
3. *Principio de la superposición de estratos*. Dada una sucesión de estratos, los estratos superiores serán más recientes que los inferiores. Existen casos donde no se cumple este criterio, por procesos postdeposicionales (erosión, deformación por disolución y colapsos) o por tectónica.

4. *Principio del uniformismo o actualismo.* Este principio establece que, a lo largo de la historia de la Tierra, los procesos han sido uniformes (uniformismo) y parecidos a los actuales (actualismo), es decir, que las leyes que rigen los procesos geológicos han sido las mismas y producen los mismos efectos durante toda la historia de la Tierra.
5. *Principio de la sucesión faunística o de la correlación.* Consiste en aceptar que cada intervalo cronológico registrado en la Tierra y representado por distintos estratos contiene diferentes fósiles de diferentes épocas geológicas. Esto permite establecer correlaciones entre sedimentos y rocas de distinta composición y de diferentes contextos geográficos.
6. *Principio de la sucesión de eventos.* Consiste en reconocer estratos que contienen evidencias de eventos y sucesos geológicos de gran magnitud y que delimitan grandes divisiones geológicas (cambios climáticos, cambios del nivel del mar, explosiones de volcanes, terremotos, cambios de campo magnético terrestre, meteoritos, desaparición de especies, etc.).

Son diversas y múltiples las aplicaciones de la estratigrafía a la geoarqueología, que se pueden resumir en delimitar y ordenar las sucesivas unidades litoestratigráficas, correlacionar dichas unidades, posicionarlas en marcos temporales, y conocer su génesis y comprender su evolución a lo largo del tiempo.

A continuación, se van a describir brevemente los principales conceptos estratigráficos, básicos para la descripción de las secuencias estratigráficas en campo.

a) *El estrato*

El estrato es un nivel de roca con características y propiedades homogéneas o graduales formada en una etapa temporal de deposición determinada. Los rasgos principales que delimiten la geometría y la forma de un estrato es el muro, que es la parte inferior de un depósito, el techo que es la parte superior de dicho nivel y su espesor. Según su geometría tridimensional, se podía catalogar en estratos tabulares, con superficies de estratificación planas y paralelas; en estratos irregulares, con un muro constituido por superficies anómalas y discontinuas y el techo plano; en estratos acanalados, cuya forma se parece mucho a un canal; en estratos de forma de cuña; en estratos de forma lenticular, que tienen el muro plano y el techo convexo; y finalmente en estratos ondulados, con muro plano y techo ondulado (Vera, 1994).

Cuando los estratos se analizan como un conjunto de sucesión de niveles, se reconocen varios tipos descriptivos y se les dan los siguientes nombres: uniforme, cuando los estratos que componen la secuencia estratigráfica que queremos analizar tienen un espesor análogo; aleatorio, con espesores muy variados; creciente, cuando los espesores de los estratos se van creciendo hacia el techo; estratodecreciente, cuando los espesores se van disminuyendo hacia el techo, y en haces, cuando los estratos se encuentran en un mismo grupo y se van repitiendo.

b) *Facies*

Dicho término corresponde a la agrupación de un conjunto de estratos en que se observan semejantes propiedades y

características (litología, textura, geometría, color, estructuras, fósiles y edad). Las clasificaciones más usadas son las facies detríticas (turbidíticas o fluviales; Miall, 1978; Walker, 1978; Pickering *et al.*, 1989) y las facies carbonatadas (Wilson, 1975; Flugel, 1982).

c) *Continuidad y discontinuidad*

Estos dos conceptos representan la relación genética entre diferentes cuerpos estratigráficos que componen la sección estratigráfica. El término de la continuidad se aplica cuando entre los dos materiales no hay signos de interrupción sedimentaria, mientras que la discontinuidad se utiliza cuando se registran episodios que confirman que hubo signos de interrupción y cambio. En función de la geometría de la superficie de separación entre los cuerpos litoestratigráficos se pueden reconocer diversos tipos de discontinuidades. Se denomina paraconformidad cuando la geometría de la superficie del contacto es plana y paralela, mientras que se usa disconformidad cuando dicha superficie de separación es irregular y de carácter erosivo. Según la geometría de la superficie de disconformidad, se pueden reconocer diversas formas (discordancias angulares, discordancia angular erosiva, discordancia sintectónica e incorfomidad) (Vera, 1994).

Aplicando estos conceptos se realiza el levantamiento estratigráfico, el cual puede definirse como el registro y la documentación cronológica de los distintos sucesos sedimentarios en una secuencia. Puede tener carácter local, nivel regional (por ejemplo una cuenca) o nivel global. Cuando se trata de materiales superficiales, la toma de datos y el reconocimiento de las distintas unidades

litoestratigráficas se hacen a partir de fotos aéreas, fotos de satélite, ortofotos, fotogrametría, escáner láser 3D, estación total, GPS decimétrico y, por supuesto, trabajo de campo. Pero cuando se trata de reconocer la litología del subsuelo, la toma de datos se puede hacer mediante sondeos (geológicos-arqueológicos), prospecciones geofísicas y diagrfafías.

Con carácter local y aplicado a levantamientos arqueostratigráficos, el avance tecnológico y el desarrollo de nuevas técnicas de documentación topográfica como la fotogrametría y el escáner láser 3D nos permiten capturar de manera discreta, pero a muy alta resolución, cualquier elemento en tres dimensiones (3D) y su textura fotográfica. De este modo, nuestro objetivo de estudio puede ser analizado digitalmente en entornos CAD, SIG o BD. El producto generado es una nube de puntos o una malla de triangulación de alta densidad en verdadera magnitud, a partir de la cual podremos realizar cálculos métricos, cartografiar unidades estratigráficas para realizar cortes o secciones, vectorizar todos los elementos reconocidos y combinarlos con datos extraídos de diferentes escalas (ortofotos, fotos de satélite para escalas pequeñas y estación total y GPS decimétrico para escalas grandes), de distintas campañas o de diverso origen (geológico, arqueológico o paleontológico).

4. Sedimentología

La sedimentología es la ciencia que estudia las rocas sedimentarias y los sedimentos, describiendo su composición, su textura y sus estructuras para entender los procesos de formación de las rocas sedimentarias. Las rocas sedimentarias se

forman por el depósito de sedimentos generados a partir de un proceso de erosión de un área fuente, transporte por procesos geológicos y depósito en una cuenca sedimentaria.

La erosión implica la desaparición de la roca madre por procesos físicos, químicos y/o biológicos originando un residuo de partículas sólidas y/o productos químicos. Ejemplos de tipos de procesos erosivos importantes son cursos fluviales, procesos eólicos, ciclos de humedad-deseccación, ciclos de frío-calor y disolución.

El residuo generado por la erosión puede ser transportado o no. Si no se produce transporte, se acumulan formando un suelo que puede quedar preservado en el registro geológico. La mayoría de los residuos son transportados hasta una zona de deposición. Hay varios procesos de transporte que dependen de las condiciones ambientales y geomorfológicas del lugar, aunque se pueden separar en dos grandes grupos: procesos de transporte en masa y procesos de transporte por fluidos. Los transportes en masa se producen por efecto de la gravedad, cuando la acumulación de sedimentos en una ladera supera un tamaño crítico, y deja de ser estable, colapsando y desplazándose hacia zonas más bajas. La presencia de agua puede ayudar al deslizamiento reduciendo la fricción en el sedimento, pero no es el responsable directo del transporte. Dentro de este grupo, dependiendo del tamaño de partícula y la cantidad de agua, se engloban desde caída de rocas, flujos de barros, hasta corrientes de turbidez. Los transportes por fluidos suponen el arrastre del material mediante flujos de agua o aire. Para que la partícula sedimentaria inicie el movimiento dentro del flujo es necesaria una energía inicial mayor que

la necesaria para mantenerla en movimiento. El transporte por fluidos puede ser por tracción, saltación o suspensión. Por tracción la partícula se mueve por el fondo de la corriente, levantándose una distancia menor a su diámetro, deslizándose o rodando. Este tipo de transporte es el más común entre los tamaños de gravas y mayores. En el transporte por saltación la partícula se desplaza con contactos intermitentes con el suelo, moviéndose mediante una serie de saltos; comúnmente este es el transporte de la fracción arena del sedimento. Las partículas de menor tamaño se mueven por suspensión; en este caso, las partículas se mantienen en el flujo durante largas distancias, decantando solo cuando la energía del mismo disminuye.

El depósito del sedimento se produce cuando la energía del proceso sedimentario disminuye de tal manera que ya no es capaz de mantener en movimiento las partículas sedimentarias y estos caen al fondo. Los sedimentos se acumulan en zonas deprimidas llamadas cuencas sedimentarias. El estudio del relleno sedimentario de estas cuencas nos indica la evolución paleogeográfica de la región.

El estudio sedimentológico de una cuenca sedimentaria requiere un exhaustivo trabajo de campo y laboratorio donde se identifiquen las principales características de los depósitos sedimentarios y sus morfologías en la cuenca. Para ello es imprescindible hacer una buena descripción en campo de los depósitos sedimentarios identificados. En esta descripción deben quedar reflejadas las características más importantes de la roca sedimentaria como la litología, el color, la textura, la geometría o las estructuras sedimentarias. La textura

sedimentaria de una roca sedimentaria se refiere a las características de tamaño, forma y orientación de las partículas sedimentarias que lo forman. Su estudio requiere descripciones de campo y medidas en laboratorio. Las estructuras sedimentarias son morfologías y formas distinguibles en las rocas sedimentarias, como por ejemplo *ripples*, laminación cruzada o laminación paralela. Tanto la textura como las estructuras sedimentarias están configuradas por los procesos de transporte y de depósito que haya tenido el sedimento. Una buena descripción nos permitirá hacer diferencias entre nuestros sedimentos y definir las facies sedimentarias de nuestra cuenca. El término facies es muy importante en sedimentología y se puede definir como un conjunto de rocas sedimentarias cuyas características texturales, estructurales, litológicas y geométricas nos permite diferenciarlas de otros conjuntos de rocas (Vera, 1994). Las facies sedimentarias se pueden relacionar con procesos sedimentarios.

Aunque las descripciones de campo son básicas para interpretar los sedimentos, no son suficientes para describir con precisión la textura, forma y composición de los sedimentos, especialmente en las partículas finas. Por ello, también se aplican distintas técnicas de laboratorio:

Granulometría

La granulometría es el estudio de la distribución de tamaño de partículas en un depósito sedimentario (Farrand, 2001). Las condiciones de transporte y depósito del sedimento es comúnmente inferido a partir de su distribución de tamaños de partículas (Clarke *et al.*, 2014; Vandenberghe, 2013; Sánchez *et al.*,

2008; Powell, 1998; Middleton, 1976; Visher, 1969; Bagnold y Barndorff-Nielsen, 1980).

No existe una sola forma de medir el tamaño de una partícula. Las técnicas granulométricas usan valores diferentes para representar el tamaño de una partícula y todas están sesgadas por la forma de las partículas; por lo tanto hay que tener cuidado cuando se comparan datos obtenidos por técnicas diferentes, o al comparar muestras con formas de partículas muy diferentes.

El tamaño de partícula de un sedimento puede variar entre unas pocas micras hasta bloques de varios metros. Debido a esta variedad de tamaños, es más útil el uso de escalas logarítmicas o geométricas que lineales. La escala de tamaños usada en sedimentología es la Udden-Wentworth, propuesta en 1898 por Udden y modificada por Wentworth en 1922. En esta escala, cada valor es el doble que el valor inferior y la mitad que el valor superior. Para facilitar su uso, Krumbein propuso en 1934 la escala logarítmica phi, expresada por la siguiente fórmula:

$$\Phi = -\log_2 d$$

Donde Φ es el valor de tamaño y d el diámetro de la partícula en milímetros.

La granulometría de los tamaños gruesos se puede realizar mediante un conteo manual, mientras que, para las partículas finas, existen varias técnicas de laboratorio, entre las cuales destacan:

Tamizado

En la técnica del tamizado se hace pasar la muestra por unos tamices con una determinada abertura de malla, quedándose retenidas aquellas partículas mayo-

res a la luz del tamiz. De esta manera se consigue una división por tamaño de partícula en tantas clases texturales como tamices utilizados. El resultado se expresa en porcentaje en peso.

Los valores usados para los tamices dependen de la muestra y la cantidad de detalle que se busque. Es común usar tamices a intervalos de ϕ , $\frac{1}{2} \phi$ o $\frac{1}{4} \phi$. Es importante usar el mismo intervalo de tamaño entre todos los tamices para obtener una distribución de tamaños correcta.

Los tamices consisten en una malla metálica formando aberturas cuadradas que discriminan según la sección menor de las partículas, es decir, la clasificación se hace por la anchura de la partícula. Debido a que la mayoría de las partículas no son esféricas, la capacidad para pasar por el tamiz depende de la correcta orientación de la partícula con respecto a la abertura del tamiz. Cuanto más tiempo se tamice más probable es que la partícula obtenga esa orientación. Por ello es necesario usar las mismas condiciones de tiempo para todas las muestras. Por otro lado, la apertura cuadrada de la malla hace que la distancia máxima real de esta sea la diagonal del cuadrado, permitiendo el paso de ciertas partículas, aquellas cuya forma sean muy planas, con una anchura superior a la luz de malla (Sahu, 1964).

Difracción láser

La medición de tamaño de partículas por difracción láser se basa en la teoría de difracción de Fraunhofer (De Boer *et al.*, 1987). Se basa en el principio de que las partículas difractan la luz en un ángulo que depende de su tamaño. En esta técnica se mide la difracción de un láser al incidir en las partículas con una orienta-

ción aleatoria. El método permite medir un gran número de partículas en muy poco tiempo en un rango entre $0,4 \mu\text{m}$ y $3000 \mu\text{m}$.

La ventaja de la difracción láser radica en la poca cantidad de muestra requerida y en su velocidad para medir las muestras, en unos minutos se obtiene los valores granulométricos. Sin embargo, varios autores han mostrado variaciones en los resultados obtenidos por difracción láser y otras técnicas (Konert y Vandenberghe, 1997; Blott y Pye, 2006), advirtiendo de la dificultad para comparar esta técnica con otras.

Tubos de decantación

Hay diferentes análisis de tubos de decantación, pero todos se basan en el principio de que la velocidad de decantación depende del tamaño de la partícula. Para calcular el tamaño se usa la Ley de Stokes que relaciona la velocidad de caída de una partícula en un fluido con el tamaño de esa partícula. La decantación de la partícula depende también de la forma y la densidad; por ello el resultado se expresa en ψ (ψ), unidad de tamaño hidráulico equivalente, en vez de en ϕ . Esta técnica es usada para tamaños de partículas iguales o inferiores a arenas.

Análisis de imagen

El análisis de imagen consiste en la medición directa de las dimensiones sobre las imágenes de las partículas. Es una medición en dos dimensiones, normalmente realizada mediante un software que automáticamente identifica el límite de las partículas. La medición depende de la orientación de la partícula, aunque se acepta que la mayor parte de las partículas se apoyan sobre sus dos ejes mayores. Para una correcta medi-

ción de cada partícula es necesario que se encuentren bien separadas entre sí. Aunque la separación puede hacerse manualmente, cuando se miden muchas partículas o muy pequeñas es necesario usar un dispersor.

Las medidas pueden realizarse sobre tamaños gruesos o tamaños finos. En los tamaños finos, las imágenes son obtenidas con un microscopio óptico, lo que implica que tiene las mismas limitaciones que el tipo de microscopio que se use. Por ello, no es una técnica apropiada para muestras muy heterogéneas, ya que es necesario tomar las imágenes con diferente distancia focal para enfocar las partículas.

Esta técnica presenta los resultados por número de partículas y un parámetro de tamaño como el eje mayor, el eje intermedio o el área. Para compararlos con otros métodos se expresa a veces el área como el diámetro equivalente de una esfera, que es el diámetro que tendría una esfera con el área de la partícula. Al ser mediciones directas de cada partícula, se pueden hacer tantas clasificaciones texturales como sean necesarias.

Morfoscopia

La morfoscopia consiste en la medición y el análisis de la forma externa de una partícula sedimentaria. La forma de las partículas se ha asociado con procesos de erosión y transporte sedimentario e influye en los análisis granulométricos.

Esta técnica usa imágenes de las partículas que luego son procesadas por software, separando el límite de la partícula del fondo. Una vez distinguida cada partícula, se miden índices morfológicos. Los índices medidos dependen del programa usado, pero en general relacionan

el perímetro y el área de la partícula como aproximación a la forma de un círculo. Ejemplos de medidas tomadas en morfoscopia son la elongación, circularidad y convexidad.

Análisis químicos

Los análisis químicos nos permiten conocer las propiedades químicas de nuestro sedimento. Existen varios análisis químicos que se pueden hacer al sedimento, pero los más comunes aplicados a la geoarqueología son análisis de pH, materia orgánica y carbonatos, y análisis mineralógicos y químicos.

pH

El pH es un parámetro cuya interpretación no es directa, depende de varios factores como la humedad, la actividad orgánica y el sedimento. Los pH bajos pueden desencadenar una serie de reacciones químicas que alteren la composición inicial del sedimento y comprometa la conservación del registro fósil.

Materia orgánica

La cantidad de materia orgánica del suelo depende de la actividad biológica. La materia orgánica se puede medir mediante varios métodos, y el más usado es el método de ignición donde la muestra es calcinada a 550 °C. Valores altos de materia orgánica disminuyen el pH del sedimento.

Carbonatos

Debido a la sensibilidad de los carbonatos a medios ácidos, su porcentaje es un indicador de la intensidad de los procesos de alteración, o de la acción de procesos edáficos relacionados con carbonataciones. Un porcentaje alto de carbonatos

sube el pH y previene que el valor disminuya por debajo de 7. Los carbonatos pueden ser calcita o dolomita, y se pueden formar en el sedimento o ser heredados. La dolomita tiene más resistencia al medio ácido.

Análisis mineralógicos y composicionales

La identificación de los minerales y elementos químicos que componen el sedimento es una herramienta muy útil para inferir los procesos de formación de los depósitos (sedimentarios y postdeposicionales) y su procedencia. Existen diversas técnicas y espectrometrías para conocer la composición de los sedimentos, entre las que destacan la difracción de rayos X, la fluorescencia de rayos X, la espectrometría Raman o la espectrometría de masas.

La difracción de rayos X es la técnica más usada para la identificación mineral en sedimentología. Permite el análisis cualitativo y cuantitativo de unos pocos gramos de muestra. Todos los minerales cristalinos son identificados con esta técnica, siempre que se encuentren suficientemente representados. Este método se basa en la difracción de los rayos X al incidir en un determinado ángulo sobre una estructura cristalina.

Por otro lado, la fluorescencia de rayos X determina la composición química de rocas y minerales. Es una técnica cuantitativa que permite el análisis de los elementos comprendidos entre el F y el U, sobre sustancias sólidas. Se basa en la emisión secundaria de rayos X que se producen al excitar una muestra con una emisión primaria de rayos X. Esta emisión secundaria es característica para cada elemento químico.

La espectrometría Raman, tanto para las sustancias inorgánicas (minerales) como orgánicas del sedimento, es útil para aquellos compuestos cuya identificación no sea posible mediante la difracción de rayos X o cuando se quieren determinar sustancias orgánicas. El Raman hace incidir un haz de luz monocromático, como un láser, sobre un punto de la muestra. Este haz de luz es dispersado con ligeros cambios de frecuencia que son característicos de la estructura química del material analizado. Por otro lado, por medio de un espectrómetro de masas (ICP-MS), se consigue la detección de elementos muy precisos (ppb o parte por billón para la mayoría de los elementos), siendo muy adecuado para analizar los elementos traza de los sedimentos o partículas sedimentarias.

Referencias bibliográficas

- BAGNOLD, R.A.; BARNDORFF-NIELSEN, O. 1980. «The Pattern of Natural Size Distributions». *Sedimentology* 27: 199-207.
<<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3091.1980.tb01170.x>>
- BENITO-CALVO, A. 2013. «La reconstrucción de los medios físicos y el análisis de paleopaisajes». En: GARCÍA DÍEZ, M.; ZAPATA, L. (eds.). *Métodos y técnicas de análisis y estudio en arqueolo-*

- gía prehistórica. De lo técnico a la reconstrucción de los grupos humanos*: 119-140. Universidad del País Vasco, UPV/EHU.
- BLOTT, S.J.; PYE, K. 2006. «Particle Size Distribution Analysis of Sand-Sized Particles by Laser Diffraction: An Experimental Investigation of Instrument Sensitivity and the Effects of Particle Shape». *Sedimentology* 53 (3): 671-85.
<<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3091.2006.00786.x>>
- CLARKE, D.W.; BOYLE, J.F.; CHIVERRELL, R.C.; LARIO, J.; PLATER, A.J. 2014. «A Sediment Record of Barrier Estuary Behaviour at the Mesoscale: Interpreting High-Resolution Particle Size Analysis». *Geomorphology* 221 (0): 51-68.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.05.029>>
- DE BOER, G.B.; CORNELIS DE WEERD, J.; THOENES, D.; GOOSSENS, H.W.J. 1987. «Laser Diffraction Spectrometry: Fraunhofer Diffraction versus Mie Scattering». *Particle Characterization* 4 (1): 14-19.
<<http://dx.doi.org/10.1002/ppsc.19870040104>>
- FARRAND, W.R. 2001. «Archaeological Sediments in Rockshelters and Caves», in STEIN J.K.; FARRAND, W. R. (eds). *Sediments in Archaeological Context*. Salt Lake City: The University of Utah Press.
- FLUGEL, E. 1982. *Microfacies analysis of limestones*. Berlín: Springer-Verlag.
<<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-68423-4>>
- GARZÓN, G. 1978. *Metodología de la cartografía geomorfológica*. Madrid: Fundación Juan March.
- KONERT, M.; VANDENBERGHE, J. 1997. «Comparison of Laser Grain Size Analysis with Pipette and Sieve Analysis: A Solution for the Underestimation of the Clay Fraction». *Sedimentology* 44 (3): 523-35.
<<http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-3091.1997.d01-38.x>>
- KRUMBEIN, W.C. 1938. «Size Frequency Distributions and the Normal Phi Curve». *Journal of Sedimentary Petrology* 8: 84-90.
<<http://dx.doi.org/10.1306/D4269008-2B26-11D7-8648000102C1865D>>
- LOZANO, M. V.; SÁNCHEZ, M. 1997. «Documentos básicos para la realización de mapas geomorfológicos». En: PEÑA, J.L. (ed.). *Cartografía geomorfológica básica y aplicada*: 25-48. Logroño: Geoforma.
- MARTÍN SERRANO, A.; SALAZAR, A.; NOZAL, F.; SUÁREZ, A. 2004. *Mapa geomorfológico de España a escala 1:50.000, guía para su elaboración*. Madrid: IGME.
- MIAL, A.D. 1978. «Litofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary». En: MIAL, A.D. (ed.). *Fluvial sedimentology, Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.*, 5: 597-604.
- MIDDLETON, G.V. 1976. «Hydraulic Interpretation of Sand Size Distributions». *Journal of Geology* 84: 405-26.
<<http://dx.doi.org/10.1086/628208>>
- PEÑA, J.L. 1997a. «Los mapas geomorfológicos: características y tipos». En: PEÑA, J.L. (ed.). *Cartografía geomorfológica básica y aplicada*: 13-24. Logroño: Geoforma.
- 1997b. «Los sistemas de cartografía geomorfológica». En: PEÑA, J.L. (ed.). *Cartografía geomorfológica básica y aplicada*: 85-102. Logroño: Geoforma.
- PICKERING, K.T.; HISCOTT, R.N.; HEIN, F.J. 1989. *Deep marine environments, clastic sedimentation and tectonics*. Unwin & Human, Inc., Wichester.
- POWELL, D. M. 1998. «Patterns and Processes of Sediment Sorting in Gravel-Bed Rivers». *Progress in Physical Geography* 22 (1): 1-32.
<<http://dx.doi.org/10.1177/030913339802200101>>
- SAHU, B. K. 1964. «Theory of sieving». *Journal of Sedimentary Research* 35(3): 750-53.
<<http://dx.doi.org/10.1306/74D71343-2B21-11D7-8648000102C1865D>>

- SÁNCHEZ, A.; ÁLVAREZ-LEGORRETA, T.; SÁENZ-MORALES, R.; ORTIZ-HERNÁNDEZ, M.; LÓPEZ-ORTIZ, B.E.; AGUÍÑIGA, S. 2008. «Distribution of Textural Parameters of Surficial Sediments in the Bay of Chetumal: Implications for the Inference of Transport». *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 25 (3): 523-32.
- UDDEN, J. A. 1898. *Mechanical composition of wind deposits*. Augustana Library Pub. 1.
- VANDEBERGHE, J. 2013. «Grain Size of Fine-Grained Windblown Sediment: A Powerful Proxy for Process Identification». *Earth-Science Reviews* 121: 18-30.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.03.001>>
- VERA, J.A. 1994. *Estratigrafía: Principios y métodos*. Madrid: Editorial Rueda.
- VISHER, G.S. 1969. «Grain Size Distribution and Depositional Processes». *Journal of Sedimentary Petrology* 39: 1074-1106.
- WALKER, R.G. 1978. «Deep water sandstones facies and ancient submarine fans: models for exploration and for stratigraphic traps». *Bull. Americ. Assoc. Petrol. Geol.* 62: 932-66.
- WENTWORTH, C.K. 1922. «A scale of grade and class terms for clastic sediments». *Journal of Geology* 30: 377-92.
<<http://dx.doi.org/10.1086/622910>>
- WILSON, J.L. 1975. *Carbonate facies in Geologic History*. Berlín: Springer-Verlag.
<<http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4612-6383-8>>

Verificando la integridad del registro arqueológico: análisis de fábricas en las unidades arqueológicas del paleolítico medio/superior de la Cova Gran (Santa Linya, Lleida)

Miquel Roy Sunyer,¹ Xavier Roda Gilabert,¹ Alfonso Benito-Calvo,² Jorge Martínez-Moreno,¹ Rafael Mora Torcal³



Recibido: 28-10-2014
Aceptado: 10-11-2014

Resumen

El análisis de fábricas, es decir, la orientación y el ángulo de buzamiento de los objetos, constituye una técnica resolutive en el estudio de los procesos de formación de yacimientos. En este artículo presentamos una síntesis de las principales aproximaciones realizada alrededor de esta técnica de análisis aplicada en los últimos años en conjuntos arqueológicos, así como su aplicación en el caso de los niveles de la transición paleolítico medio/superior de la Cova Gran. Dicha metodología se integra en nuestro método de excavación, que hemos sistematizado a lo largo de los años con el desarrollo de modelos teóricos y aplicaciones tecnológicas (Mora, 1994; Martínez-Moreno *et al.*, 2011). Aportando nuevos datos a estudios previos, se comparan las fábricas sedimentarias frente a las arqueológicas de dichos niveles, hallando diferencias significativas entre estos dos tipos de fábricas. Tales observaciones, junto con otros atributos, denotan procesos de formación diferenciados que señalan la incidencia de la actividad humana en los procesos tafonómicos de los artefactos arqueológicos así como una escasa incidencia de perturbaciones sin/postdeposicionales en este tramo de la secuencia de la Cova Gran.

Palabras clave: fábricas sedimentarias; fábricas arqueológicas; pisoteo; procesos de formación; Cova Gran.

1. Centre d'Estudis del Patrimoni Arqueològic de la Prehistòria (CEPAP-UAB). Universitat Autònoma de Barcelona. Facultat de Lletres. 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès). miquel.roy@uab.cat; javier.roda@uab.cat; jorge.martinez@uab.cat
2. Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH). Paseo Sierra de Atapuerca s/n. 09002 Burgos. alfonso.benito@cenieh.es
3. Centre d'Estudis del Patrimoni Arqueològic de la Prehistòria (CEPAP-UAB). Universitat Autònoma de Barcelona. Facultat de Lletres. 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès). Programa ICREA-Acadèmia. Generalitat de Catalunya. España. rafael.mora@uab.cat

Resum. Verificant la integritat del registre arqueològic: anàlisi de fàbriques a les unitats arqueològiques del paleolític mitjà/superior de la Cova Gran (Santa Linya, Lleida)

L'anàlisi de fàbriques, és a dir, l'orientació i l'angle de cabussament dels objectes, constitueix una tècnica resolutiva en l'estudi dels processos de formació de jaciments. En aquest article presentem una síntesi de les principals aproximacions realitzades al voltant d'aquesta tècnica d'anàlisi aplicada durant els últims anys en conjunts arqueològics, així com la seva aplicació en el cas dels nivells de la transició paleolític mitjà/superior de la Cova Gran. Tal metodologia s'integra en el nostre mètode d'excavació, que hem sistematitzat al llarg dels anys amb el desenvolupament de models teòrics i aplicacions tecnològiques (Mora, 1994; Martínez-Moreno *et al.*, 2011). Aportant noves dades a estudis previs, es comparen les fàbriques sedimentàries enfront de les arqueològiques dels nivells mencionats, i afloren diferències significatives entre aquests dos tipus de fàbriques. Aquestes observacions, conjuntament amb altres atributs, denoten processos de formació diferenciats que assenyalen la incidència de l'activitat humana en els processos tafonòmics dels artefactes arqueològics, així com una escassa incidència de perturbacions sin/postdeposicionals en aquest tram de la seqüència de la Cova Gran.

Paraules clau: fàbriques sedimentàries; fàbriques arqueològiques; trepig; processos de formació; Cova Gran.

Abstract. Assessing the integrity of the archaeological record: fabric analysis of the archaeological units in the Middle/Upper Paleolithic of Cova Gran (Santa Linya, Lleida)

Fabric analysis, that is the study of orientation and slope of the objects, constitutes a resolving technique in the study of site formation processes. In this paper we present a synthesis of the different approaches undertaken around this technique applied during the last years in archaeological contexts, and its application in the case of Middle/Upper Paleolithic levels of Cova Gran. This methodology is integrated in our excavation method that we have systematized along the last years with the development of theoretical models and technological applications (Mora 1994, Martínez-Moreno *et al.* 2011). We provide new data to previous studies through the comparison of sedimentary fabrics vs. archaeological fabrics of the mentioned levels and, with this procedure, significant differences arise between both fabric types. These observations, along with other features, reflect to differentiated formation processes that point to the human activity incidence in the taphonomic processes of the archaeological artifacts and the scarce incidence of syn/post-depositional disturbances in this part of Cova Gran archaeological sequence.

Keywords: Sedimentary fabrics; archaeological fabrics; trampling, site formation processes; Cova Gran.

ROY SUNYER, Miquel; RODA GILABERT, Xavier; BENITO-CALVO, Alfonso; MARTÍNEZ-MORENO, Jorge; MORA TORCAL, Rafael. «Verificando la integridad del registro arqueológico: análisis de fábricas en las unidades arqueológicas del Paleolítico medio/superior de la Cova Gran (Santa Linya, Lleida)». *Treballs d'Arqueologia*, 2014, núm. 20, p. 55-77. DOI: 10.5565/rev/tda.47

1. Introducción

Determinar la resolución contextual de un yacimiento prehistórico es una cuestión clave para su correcta interpretación. La incidencia de los procesos de formación (*site formation processes*) y las alteraciones postdeposicionales desempeñan un papel fundamental en la caracterización de un conjunto arqueológico, ya que estos procesos modifican y enmascaran las asociaciones de artefactos y los patrones generados por la actividad antrópica (Butzer, 1982; Schiffer, 1983, 1987). Explicar estas dinámicas es fundamental para evaluar la integridad de las ocupaciones arqueológicas (Dibble *et al.*, 1997; Villa, 2004; Bailey, 2007; Malinsky-Buller *et al.*, 2011), atributo básico —aunque difícil de valorar— a la hora de realizar inferencias de orden espacio/temporal.

En los últimos años se han propuesto varias herramientas con las que detectar la actividad de procesos sin/postdeposicionales asociados con la formación de los yacimientos (Bertran, 1994; Texier, 2000). Estas se han centrado en el análisis de la dispersión horizontal de los objetos mediante el remontaje (ver diversas aportaciones en Cziesla *et al.* (ed.), 1990), las técnicas de análisis geoestadístico (ver diversas aportaciones en Kroll and Price (ed.), 1991), o la evaluación de la dispersión vertical de artefactos (Cahen *et al.*, 1979; Villa, 1982, 2004; Bordes, 2002; Mora *et al.*, 2008).

Alternativamente, la aplicación de métodos propios de la geología permite evaluar la incidencia de las transformaciones naturales y culturales (Schiffer, 1983) en la formación de los conjuntos arqueológicos. Uno de estos procedi-

mientos es el análisis de fábricas, técnica originaria de la geología estructural y la sedimentología y que se basa en el análisis estadístico de la orientación y pendiente de los elementos de un depósito tales como los clastos sedimentarios. A partir de estos datos se puede detectar la presencia de patrones de distribución espacial de los componentes sedimentarios y su relación con las geometrías y dinámicas sin/postdeposicionales (Mills, 1983; Benn, 1994; Benn y Ringrose, 2001). Este método se ha aplicado en la interpretación de la formación de los depósitos arqueológicos (Lenoble *et al.*, 2000; Bertran y Lenoble, 2002; Bertran y Texier, 1995; Lenoble y Bertran, 2004; McPherron, 2005; Benito-Calvo *et al.*, 2009; Benito-Calvo y De la Torre, 2011).

«Homogeneidad» y «resolución» son atributos difíciles de definir en un conjunto arqueológico; sin embargo, su caracterización es relevante. Un ejemplo reciente lo proporcionan las implicaciones que derivan de la noción de cambio tecno-cultural detectada durante la «transición» del paleolítico medio/superior. En los últimos años se ha discutido la existencia de posibles interestratificaciones entre Chatelperroniense y Auriñaciense, en sitios como la cueva de Féés o Châtelperron (Gravina *et al.*, 2005; Zilhão *et al.*, 2006; Mellars *et al.*, 2007). En la evaluación del significado de estas «entidades culturales» la discusión de atributos como el grado de homogeneidad de los conjuntos líticos, la escasa resolución de la secuencia estratigráfica o la incidencia de los trabajos de excavación en la recuperación y asignación de estos elementos han sido argumentos centrales. Según Zilhão *et al.* (2008), esas asociaciones de artefactos que se

atribuyen a una fase crono-cultural específica son el resultado de la combinación de los procesos de formación del depósito y de las inadecuadas técnicas de recuperación de la muestra. Procesos similares han sido detectados en otras secuencias como Roc de Combe o Le Piage, en las que se habían descrito interestratificaciones similares (Bordes, 2002). Estos factores, que en principio podrían considerarse marginales, cuestionan la validez de estas entidades tecno-tipológicas y, en consecuencia, afectan a la atribución crono-cultural de estos conjuntos. Igualmente, derivan implicaciones sobre la noción de cambio biocultural implícita en el debate sobre la «transición» del paleolítico medio/superior.

Es dentro de esta línea argumental en la que presentamos los resultados del estudio de las fábricas de los niveles arqueológicos de la Cova Gran de Santa Linya (Prepirineo de Lleida), centrándonos en aquellos en los que se identifica este proceso de reemplazo tecno-cultural (Martínez-Moreno *et al.* 2010, 2012; Mora *et al.*, 2011).

Paralelamente, exponemos los resultados obtenidos en un experimento, al que nos remitimos, dirigido a determinar la incidencia del pisoteo (*trampling*) como un agente activo en la configuración del registro arqueológico (Benito-Calvo *et al.*, 2011). Éste estudio se suma a trabajos anteriores que han descrito los efectos de este proceso a nivel etnoarqueológico o experimental, en los cuales se ha evaluado su incidencia a nivel espacial, o en la identificación de modificaciones sobre los artefactos líticos y restos óseos (entre otros, Stockton 1973; Gifford y Behrensmeier, 1977; Villa y Courtin, 1983; Gifford-González *et al.*, 1985; Nielsen, 1991; Eren *et al.*, 2010).

Estos trabajos señalan que un pisoteo intenso genera desplazamientos y la reorganización de los artefactos, que permiten identificar posibles zonas de circulación en el interior de una ocupación (Leroi-Gourhan y Brézillon, 1966; Theunissen *et al.*, 1998; Nielsen, 1991). Igualmente, este proceso produce fenómenos de migración vertical que conllevan la mezcla de materiales de diferentes unidades arqueológicas (Villa y Courtin, 1993; Eren *et al.*, 2010).

Pese a la importancia que se confiere a estos procesos tafonómicos, ya que son capaces de promover la reorganización parcial o total del registro arqueológico y de las relaciones espacio-temporales de sus componentes, su incidencia a nivel arqueológico sigue siendo poco conocida. El análisis de fábricas puede convertirse en una técnica relativamente simple con la que evaluar el impacto de los procesos sin/postdeposicionales en las unidades arqueológicas. Los resultados derivados de este análisis, aplicado en el yacimiento de la Cova Gran, generarán argumentos con los que abordar el significado del cambio tecno-cultural que se relaciona con la aparición del paleolítico superior, fenómeno para el que se han propuesto explicaciones no coincidentes; bien sea el resultado de un proceso de evolución interna anclado en el sustrato musteriense (Bernaldo de Quirós *et al.*, 2008), o en contraposición el resultado de un reemplazo biocultural (Bar-Yosef y Bordes, 2010).

2. La aplicación del análisis de fábricas en arqueología

La metodología que estructura el análisis de fábricas en contextos arqueológicos ha

sido formulada por varios autores (Vollmer, 1989; Benn, 1994; Bertran y Teixer, 1995; Bertran *et al.*, 1997; Benn y Ringrose, 2001; Bertran y Lenoble, 2002). Tomando como partida técnicas geológicas basadas en el análisis estadístico de la distribución espacial (Curry, 1956; Woodcock, 1977; Watson, 1965, 1966), estos trabajos han desarrollado varios procedimientos para la visualización e interpretación de los datos.

En el punto de partida de estos análisis, cada elemento (en este caso los artefactos o los clastos de un conjunto arqueológico) es caracterizado en términos de la disposición tridimensional de los ejes morfológicos mayores (cuantificada mediante la medición de orientaciones y pendientes). Diferentes patrones de distribución espacial son revelados a partir del estudio de múltiples índices que se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Resumen y cálculo de los diferentes índices utilizados por varios autores para el análisis de fábricas

Índice	Características	Explicación
Curry, 1956:		
L	Rango: 0%: Dispersión máxima de orientaciones. 100%: Todos los ejes apuntan a la misma dirección.	Adición de las direcciones de los ejes mayores que varían de 0°-180°.
$p(L)$	Rango: 0-100% (probabilidad) Condición: Únicamente para poblaciones no plurimodales.	Probabilidad de obtener p mayores que L por combinación aleatoria de fases.
Vector medio	Rango: Vector (orientación, ángulo de buzamiento y módulo). Obtención: Suma de vectores / N	El módulo tiene valores máximos cuando la dispersión es mínima y valores mínimos cuando la dispersión es máxima.
R%	Rango: 0-100% Obtención: Módulo vector medio / N	Vector medio normalizado por n . Constituye el grado de orientación preferencial.
Vectores propios (Vollmer 1989, Benn 1994, Benn y Ringrose 2001, Lenoble y Bertran 2004, McPherron 2005, Lenoble <i>et al.</i> 2008):		
Vectores propios. V1, V2 y V3:	Rango: Vectores ortogonales (orientación, ángulo de buzamiento y módulo)	Vectores ortogonales entre sí. El plano V1-V2 corresponde al plano preferencial de la fábrica. Tensor de orientaciones que define la forma de la fábrica. Los módulos reflejan el grado de agrupamiento del conjunto.
Valores propios S1, S2 y S3:	Rango: 0-1 Obtención: Vectores propios normalizados por sus módulos.	Fábricas isotrópicas: S1=S2=S3 Fábricas planares: S1=S2>>S3 Fábricas lineales: S1>>S2=S3

Woodcock 1977:

Ratios de valores propios r_1 y r_2 :	Obtención: $r_1 = \ln(S_1/S_2)$ $r_2 = \ln(S_2/S_3)$	Resumen la fábrica de un conjunto	Diagramas biaxiales ortogonales donde K es la bisectriz que permite diferenciar las fábricas planares de las lineares
K:	$K = r_1/r_2$	$0 < K < 1$: F. planares. $1 < K < \infty$: F. lineares.	

Woodcock y Naylor, 1983:

Intiensiudad de fábrica, C:	Obtención: $C = \ln(S_1/S_3)$	Cuanto mayor es C, más lejos quedan de las fábricas isotrópicas.	Diagramas biaxiales ortogonales
-----------------------------	--------------------------------------	--	---------------------------------

Benn, 1994:

Índices de isotropía y elongación:	Obtención: $I = S_3/S_1$ $E = 1 - (S_2/S_1)$	Refleja la variación continua de la forma de la fábrica, delimitada por los vértices correspondientes a las fábricas isotrópicas, planares y lineares.	Diagrama triangular de Sneed & Folk. Los vértices corresponden a los términos máximos de isotropía, planaridad y linealidad.
------------------------------------	---	--	--

Índices planar y Cluster-Girdle:	Rango: 0 (fábricas planares) -1 (fábricas lineares). Obtención: $F = S_3/S_2$ $CGI = S_1 - S_2/S_1 - S_3$
----------------------------------	--

Vollmer, 1989:

Índices planar o gridle (G), linear o cluster (C), e isotrópico (U)	Obtención: $G = 2(S_2 - S_3)/n$ $C = (S_1 - S_2)/n$ $U = 3(S_3/n)$	Condición: $G + C + U = 1$	Diagrama ternario
---	--	--------------------------------------	-------------------

Las primeras aproximaciones al estudio de fábricas fueron llevadas a cabo por Curray (1956). Los índices L, p (de L) y R% permiten caracterizar la distribución de un conjunto en términos del grado de dispersión de las direcciones de los ejes principales. El *vector magnitud* «L», es un índice bidimensional que indica la extensión del vector resultante de la adición

de las direcciones de los ejes mayores que varían entre 0° - 180° . L se expresa en tanto por ciento y sus valores van desde 0% (la dirección de los ejes presenta una dispersión máxima) hasta 100% (todos los ejes apuntan en la misma dirección). Este índice puede ser usado, siempre y cuando la distribución no sea pluri-modal, para estimar la probabilidad (p)

de obtener un valor mayor que L por pura combinación aleatoria de fases (Curry, 1956).

Si consideramos que la disposición de los objetos indica el sentido de n vectores, las muestras también pueden ser caracterizadas calculando el vector medio (orientación, ángulo de buzamiento y módulo). A su vez, el módulo de dicho vector constituye un índice de dispersión, con valores máximos cuando la dispersión es mínima y valores mínimos cuando la dispersión es máxima, ya que estos vectores se suman o se anulan. Este módulo, normalizado por el tamaño de muestra, se representa en tanto por ciento, y constituye el grado de orientación preferencial ($R\%$).

Sin embargo, el procedimiento más utilizado es el método de los vectores propios (Vollmer, 1989; Benn, 1994; Benn y Rongrose, 2001; Lenoble y Bertran, 2004; McPherron, 2005; Lenoble *et al.*, 2008). Esta técnica simplifica el conjunto de medidas en un tensor de orientaciones que define la forma de la fábrica, y que se compone a partir de tres vectores propios ($V1$, $V2$ y $V3$) ortogonales entre sí. La orientación dominante es representada por $V1$ que junto a $V2$ forma el plano preferencial de la fábrica, mientras que $V3$ es ortogonal a dicho plano. El grado de agrupamiento de la población en relación con los vectores propios es reflejado por sus módulos. Los vectores propios, normalizados por sus módulos, dan lugar a los llamados valores propios $S1$, $S2$ y $S3$. Las relaciones entre valores propios hacen posible diferenciar entre fábricas isotrópicas ($S1=S2=S3$), planares ($S1=S2 \gg S3$) y lineares ($S1 \gg S2=S3$).

A partir de los vectores propios se pueden calcular múltiples índices que

resumen numéricamente la fábrica de un conjunto. Woodcock (1977) define los ratios de valores propios $r1 = \ln(S1/S2)$ y $r2 = \ln(S2/S3)$, que son proyectados en diagramas biaxiales y ortogonales, donde el índice $K = r1/r2$ representa la bisectriz que permite diferenciar las fábricas planares ($0 < K < 1$) de las lineares ($1 < K < \infty$). Utilizando este método, Woodcock y Naylor (1983) definen el parámetro «intensidad de fábrica» o C ($C = \ln(S1/S3)$). Cuanto mayor es el parámetro C , más lejos quedan los valores del centro del diagrama donde se encuentran las fábricas isotrópicas.

Otra representación utilizada para la proyección de fábricas sedimentarias es la propuesta por Benn (1994) al definir los índices de isotropía ($I = S3/S1$) y de elongación ($E = 1 - (S2/S1)$). Estos son proyectados en un diagrama triangular de Sneed y Folk, donde se refleja la variación continua de la forma de la fábrica, delimitada por los vértices correspondientes a las fábricas isotrópicas, planares y lineares. Otros índices propuestos por Benn (1994) relacionan el índice planar ($F = S3/S2$) o el índice *cluster-girdle* ($CGI = S1 - S2/S1 - S3$), que varían entre 0 (fábricas planares) y 1 (fábricas lineares). Por su parte, Vollmer (1989) propone la proyección triangular de las fábricas a partir de los índices planar o *girdle* ($G = 2(S2 - S3)/n$), lineal o *cluster* ($C = (S1 - S2)/n$) e isotrópico o uniforme ($U = 3(S3/n)$), que entre ellos suman 1 y se representan sobre un diagrama ternario.

En este artículo aplicaremos estos índices a fin de evaluar dos aspectos. Por un lado, se analizan separadamente las fábricas sedimentarias y arqueológicas en los niveles relacionados con la transición Paleolítico medio/superior en la Cova

Gran, aportando nuevos datos a los previamente discutidos en Benito-Calvo *et al.* (2009). Por el otro, los resultados son comparados con los obtenidos en un experimento que desarrollamos con la intención de valorar la incidencia del pisoteo en las fábricas de los conjuntos arqueológicos del yacimiento (Benito-Calvo *et al.*, 2011).

3. Contexto geográfico y geológico

La Cova Gran de Santa Linya (X= 318541, Y= 4643877, H31, ETRS89, 385 m snm) es un abrigo de 80 x 40 m de planta protegido por una visera caliza de 30 m de altura (figura 1). El yacimiento se ubica en el fondo de un estrecho valle en el que se encaja el torrente de Sant

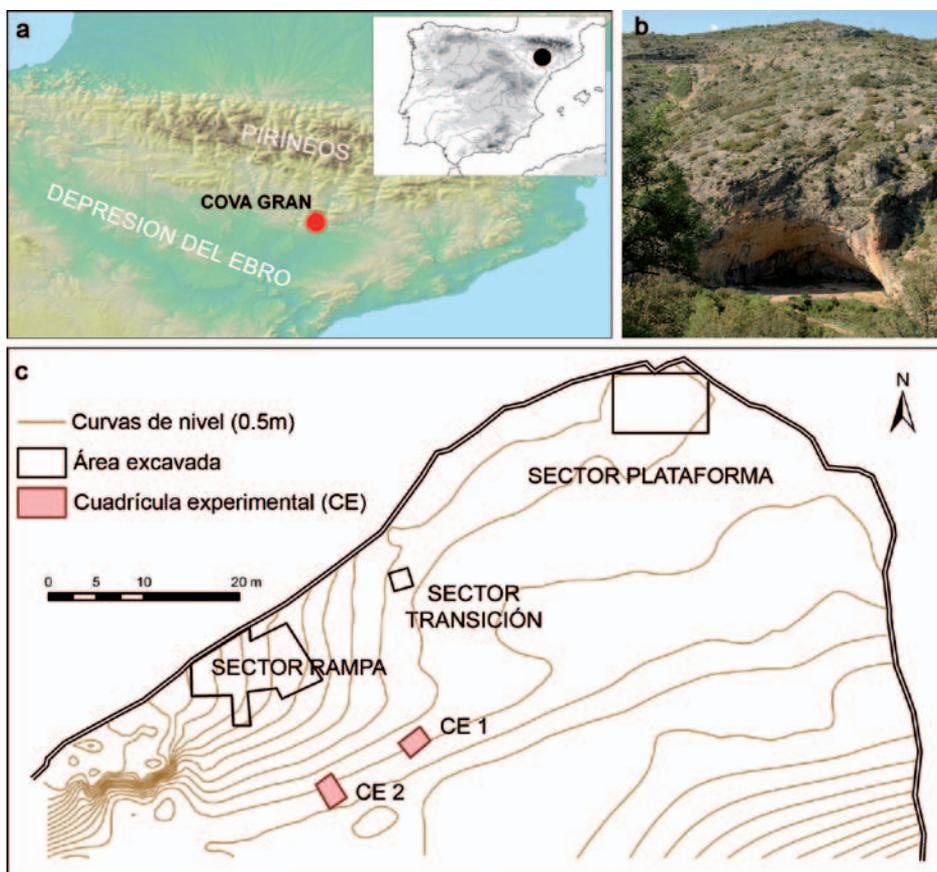


Figura 1. Área de estudio. a) Localización geográfica dentro de la Península Ibérica; b) Vista general del yacimiento; c) Planta del yacimiento con la ubicación de las zonas de excavación y las cuadrículas experimentales.

Miquel, curso que desagua en el Noguera Pallaresa. Este torrente discurre a lo largo del contacto entre las calizas campanienses (cretácico superior) y las arcillas, yesos y doleritas del Keuper (triásico superior). Aunque actualmente no transporta agua con regularidad, es posible que la cavidad fuera afectada por crecidas de su cauce, tal y como se ha señalado en otros cursos de la cuenca hidrográfica en la que se encuadra el torrente (Rico Herrero, 2004).

Geográficamente se integra en el segundo arco de las Sierras Marginales Catalanas (SMC). Las SMC conforman el contacto entre las dos unidades morfoestructurales y biogeográficas que caracterizan el tercio septentrional de la Península Ibérica: la Depresión del Ebro y el arco Pirenaico (figura 1). Esta unidad geológica se configura por un conjunto de mantos de cobertera mesozoica y cenozoica que se suceden de norte a sur, dando lugar a un conjunto de estructuras tectónicas con rellenos cuaternarios (Pocoví, 1978; Peña, 1983).

A nivel regional, destaca el papel de los ríos Noguera Pallaresa y Noguera Ribagorçana que han modelado un paisaje abrupto con fondos de valle encajados pero de fácil acceso y de alta conectividad entre ellos a partir de la red fluvial. El sustrato calizo de estas sierras configura sistemas kársticos poco desarrollados que propician la formación de cuevas y abrigos utilizados regularmente hasta prácticamente hoy en día. Algunos de ellos conservan indicadores de su ocupación durante el pleistoceno superior y el holoceno (Pizarro *et al.*, 2013). Aunque la Cova Gran se localiza en un pequeño valle transversal, su posición permite un fácil acceso a los valles interiores del Pirineo a partir de los escarpes

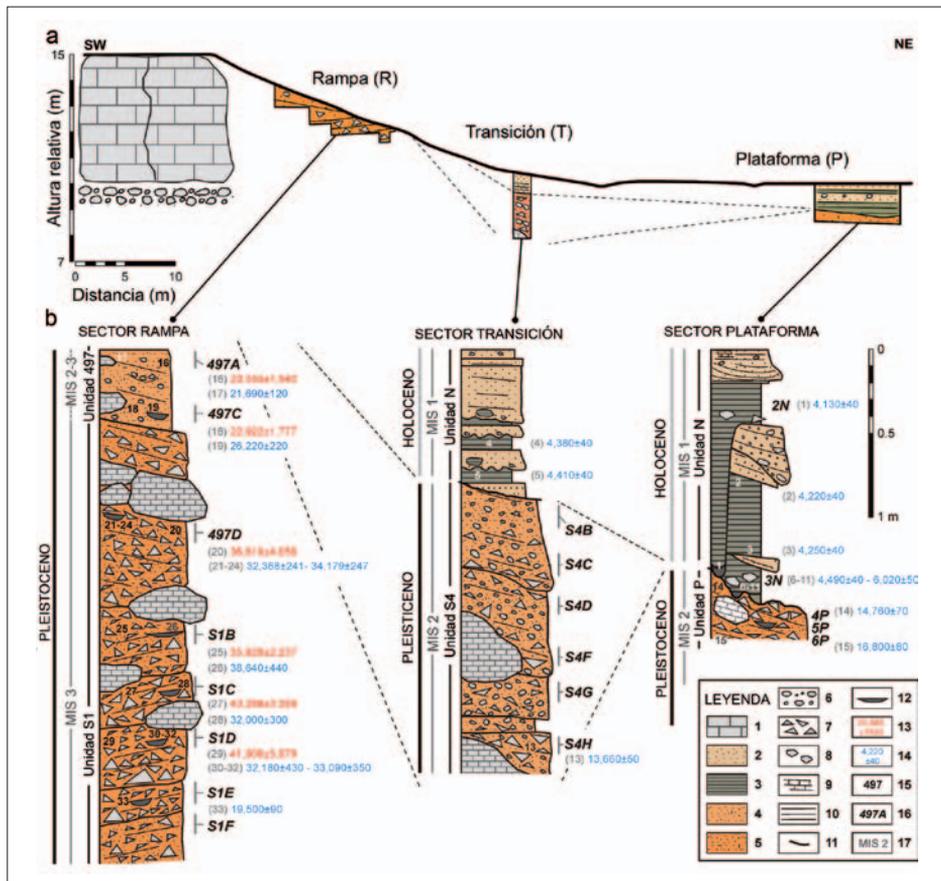
excavados por el Noguera Ribagorçana y el Noguera Pallaresa en la sierra del Montsec. Igualmente, su cercanía al curso medio del Segre permite una rápida conexión con la Depresión del Ebro.

4. Secuencia estratigráfica y registro material

Debido a la gran extensión del yacimiento, no se dispone de una secuencia estratigráfica completa. Hasta el momento se han diferenciado dos secuencias estratigráficas parciales que no se han podido conectar físicamente. Al oeste del abrigo se preserva un depósito gravitacional que se apoya sobre grandes bloques y que denominamos sector Rampa (R), compuesto por clastos calizos y matriz arenó-arcillosa. Este cuerpo sedimentario, que alcanza una altura de +9 m de altura relativa respecto al lecho del arroyo, desciende hacia el E —sector transición (T)— conectando con una plataforma (P) horizontal localizada a +3 m del torrente de Sant Miquel. En el sector P se identifican sedimentos arenosos recientes que se extienden hacia un plano inferior (LP) sobre el que incide actualmente el arroyo (figura 1) (Mora *et al.*, 2011).

La secuencia más antigua identificada en el depósito se sitúa en el sector Rampa, en la que se ha excavado una secuencia de 3 m de espesor sin alcanzarse el sustrato, y en la que se diferencian dos unidades litoestratigráficas: unidad inferior -S1-, y unidad superior -497- (figura 2).

La unidad S1 está formada por derrubios autóctonos que se articulan en varios tramos de contacto gradual separado por distintas caídas de bloques de tamaño métrico. En conjunto son sedi-



mentos angulares o muy angulares de tamaños medios y mal clasificados. La matriz es escasa (< 20 %) y está integrada por arenas limo-arcillosas que aumentan de techo a muro. La fracción fina está compuesta principalmente por calcita y

dolomita, que decrecen hacia techo coincidiendo con el aumento de minerales silíceos (cuarzo, albita, ilita y clinocloro) y la aparición de yeso (Benito-Calvo *et al.*, 2009). En la configuración de esta unidad se definen dos áreas sedimentoló-

gicamente diferenciadas. Los tramos basales excavados en la zona E de la rampa presentan una pendiente W-SW que progresivamente se vuelve horizontal. Los tramos superiores, situados al W adquieren una pendiente en sentido E-NE. Se han reconocido cinco ocupaciones correspondientes al paleolítico medio (S1F, S1E, S1D, S1C y S1B), cada una de ellas con un espesor medio de entre 10 y 15 cm. Estos niveles contienen abundante industria lítica elaborada en sílex y rocas metamórficas, y restos de fauna, entre los que se identifica *Stephanorhinus* sp., *Equus caballus*, *Equus* cf. *hydruntinus*, *Cervus elaphus*, *Bos* sp., *Capra pirenaica* y *Oryctolagus cuniculus*. A techo de esta unidad se ha excavado el nivel arqueológico 497D que tiene un espesor medio de 5-10 cm. Los atributos tecno-tipológicos de la industria lítica recuperada (láminas, laminitas rectilíneas y lascas) permiten su adscripción al paleolítico superior inicial (Martínez-Moreno *et al.*, 2010, 2012).

Sobre la unidad S1 se apoya el cuerpo sedimentario 497. Este se dispone con una inclinación de 12° en dirección N70° E, compuesto por materiales autóctonos asociados a procesos de arrollada difusa, tal y como señala la presencia de gravas finas y muy finas redondeadas y subredondeadas englobadas en una abundante matriz de arenas lutíticas (40 %). Entre los minerales de la matriz domina la calcita y el cuarzo a partes iguales, con presencia minoritaria de albita, ilita y clinocloro (Benito-Calvo *et al.*, 2009). Este lecho sedimentario contiene las unidades arqueológicas 497C y 497A, que presentan unas características tecno-tipológicas similares a las de la unidad 497D. La fauna recuperada en estos niveles incluye *Equus caballus*, *Cervus elaphus* y *Capra*

pirenaica. En todos los niveles de paleolítico superior se han recuperado ornamentos marinos, siendo la especie más abundante *Nassarius pygmaea*.

En los sectores T y P aparecen niveles sedimentarios que se adscriben al final del pleistoceno superior y holoceno. Estas secuencias se apoyan directamente a partir de un contacto discordante sobre los depósitos pleistocenos y señalan un paleorrelieve que erosiona parcialmente los sedimentos infrayacentes. Estos depósitos contienen unidades arqueológicas atribuidas al magdalenense antiguo, magdalenense medio-superior y mesolítico junto a varias ocupaciones neolíticas. En estas últimas se han identificado estructuras como hogares, fosas de almacenaje y agujeros de poste que se combinan con facies de *fumier*, entre los que se intercalan eventos tractivos de arenas y gravas (Mora *et al.*, 2011).

5. Metodología

Proponemos analizar de forma independiente las orientaciones preferenciales y pendientes de clastos y artefactos con el fin de evaluar si existen diferencias entre las fábricas sedimentarias y arqueológicas (figuras 3a, 3b y 4). Para este análisis se han calculado los índices K y C (Woodcock, 1977; Woodcock y Naylor, 1983), los vectores propios (V1, V2 y V3) y el índice de orientación preferencial (R%). Debido a sus características ternarias, se ha aplicado el triángulo de Vollmer (SpheriStat 3). Para el cálculo se han incluido los datos recuperados hasta 2011 ($n = 1097$), lo que permite su comparación con los resultados ya publicados para estos niveles (tablas 1 y 2) (Benito-Calvo *et al.*, 2009, 2011).



Figura 3. Materiales arqueológicos y clastos procedentes de la excavación y las cuadrículas experimentales. a) Acumulación procedente del nivel 497C; b) acumulación del nivel S1B; c) Vista general de la cuadrícula experimental 1 (CE 1); d) Detalle de los materiales de la CE 1.

La posición tridimensional de los artefactos arqueológicos fue registrada con la ayuda de una estación total, mientras que los datos de las fábricas (orientación y ángulo de buzamiento) se tomaron con brújula y clinómetro (figura 4). Estos datos se refieren a los ejes mayores de objetos superiores a 2 cm (Kjaer and Krüger, 1998) y con índices de elongación superiores a 1,6. Las medidas han sido directamente representadas en histogramas angulares (orientación) o proyecciones estereográficas (orientación y ángulo de buzamiento). Siguiendo la indicación de Lenoble y Bertran (2004), únicamente se analizan

unidades arqueológicas que disponen más de 50 efectivos.

En un trabajo anterior se llevó a cabo un programa experimental con el fin de valorar la incidencia del pisoteo sobre las fábricas arqueológica (Benito-Calvo *et al.*, 2011). Se crearon dos cuadrículas experimentales (3 x 2 m) en las que se depositaron sedimentos autóctonos del yacimiento, para simular las características sedimentarias del sector Rampa, junto a reproducciones de materiales arqueológicos (restos líticos y óseos) de los cuales se tomó la posición, orientación y pendiente (figuras 3c y 3d). Tras someter ambas celdas a pisoteo

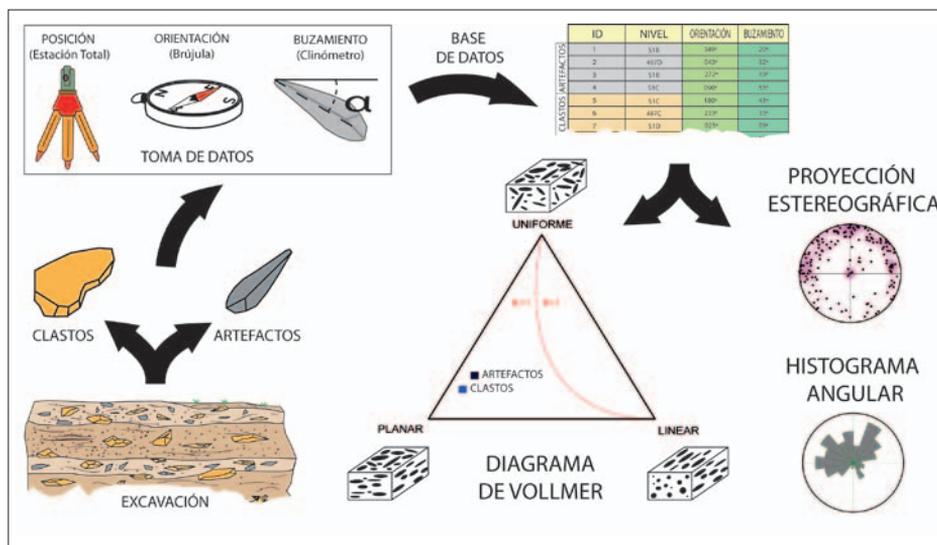


Figura 4. Resumen de la metodología empleada para la obtención y tratamiento de los datos de las fábricas sedimentarias y arqueológicas.

continuado durante seis semanas, fueron excavadas con la misma metodología aplicada en el resto de la excavación. La posición, orientación y pendiente de cada pieza fueron tomadas con estación total, brújula y clinómetro. Por medio de ArcGIS 10 y SpheriStat 3, se calcularon el desplazamiento horizontal y vertical de los objetos y la distribución direccional de estos conjuntos con el fin de conocer los cambios sufridos en la distribución de los artefactos. Las características del experimento han sido difundidas en Benito-Calvo *et al.* (2011).

6. Resultados

El estudio de las fábricas sedimentarias y arqueológicas de las unidades arqueológicas de la Cova Gran permite cuantificar

los parámetros referidos anteriormente en el apartado de metodología (tabla 2). Se dispone de datos sobre la orientación y la pendiente de los clastos de las unidades 497A, 497C, 497D, S1B y S1C, y de los artefactos de los niveles 497C, 497D, S1B y S1C que globalmente constituyen un conjunto de $n = 1097$ que incrementa sustancialmente las poblaciones analizadas en contribuciones anteriores (Benito-Calvo *et al.*, 2009, 2011).

6.1. Fábricas sedimentarias

Los resultados obtenidos a partir del cálculo de índices de las fábricas sedimentarias indican el predominio de las fábricas planares (índice planar o *girdle* $0,59 < G < 0,79$). El grado de orientación preferencial descarta las fábricas lineares ($25,6 < R\% < 42,1$). Del mismo modo, las

Tabla 2. Índices calculados para el análisis de las fábricas de los artefactos y los clastos, n) Tamaño de la muestra; V1, V2, V3) Vectores propios calculados para la muestra, O) Orientación, B) Buzamiento; V. Pr) Valores propios; Índice de las fábricas Vollmer, C) Cluster, G) Gridle, U) Uniforme; Índice de Woodcock, K) Índice K de Woodcock, C) Intensidad de la fábrica, R%) módulo del vector resultante expresado en %. Desviación estándar (σ)

Nivel	n	V1			V2			V3			Vollmer			Woodcock							
		O	B	V. Pr	O	B	V. Pr	O	B	V. Pr	C	σ	G	σ	U	σ	K	σ	C	σ	R%
Artefactos																					
497C	109	57	5	55,05	326	12	42,67	168	78	11,28	0,114	0,007	0,576	0,576	0,310	0,018	0,192	0,009	1,585	0,029	26,4
497D	178	298	9	77,11	30	12	73,89	172	75	27,00	0,018	0,005	0,527	0,011	0,455	0,011	0,042	0,006	1,049	0,012	35,2
S1B	128	54	3	56,14	323	14	51,75	157	75	20,11	0,034	0,006	0,494	0,014	0,471	0,015	0,086	0,009	1,027	0,016	27,5
S1C	139	44	3	65,35	314	2	58,72	194	87	14,93	0,048	0,006	0,630	0,014	0,322	0,015	0,078	0,005	1,476	0,023	11,2
Clastos																					
497A	81	32	11	39,51	299	12	32,73	162	73	8,77	0,084	0,01	0,592	0,01	0,325	0,025	0,143	0,011	1,506	0,039	37,1
497C	66	286	1	34,12	16	11	28,77	192	79	3,11	0,081	0,011	0,778	0,029	0,141	0,032	0,077	0,007	2,395	0,112	41,5
497D	126	335	10	64,00	66	4	55,00	176	79	6,60	0,071	0,006	0,771	0,016	0,158	0,018	0,071	0,004	2,267	0,056	42,1
S1B	131	260	5	65,00	351	10	56,00	144	79	10,00	0,069	0,005	0,699	0,014	0,232	0,015	0,087	0,004	1,856	0,032	31,8
S1C	139	104	6	36,00	13	7	28,00	233	81	2,70	0,120	0,011	0,760	0,03	0,120	0,032	0,107	0,009	2,606	0,133	25,6

proyecciones estereográficas muestran una distribución planar de los clastos (tabla 2 y figura 5). La unidad superior, que contiene los niveles 497A y 497C, presenta una orientación del vector propio principal V1 hacia el NE, siguiendo la inclinación del cuerpo sedimentario, con un bajo ángulo de buzamiento, mientras que los clastos de las unidades 497D, S1B y S1C, que se encuentran en la unidad inferior, presentan bajos ángulos de buzamiento y sin orientación preferencial concreta de V1 (tabla 2).

En todas las unidades se documentan índices $K \approx 0$ que sitúan el complejo en el campo de las fábricas planares ($0 < K < 1$). Los valores de intensidad de fábrica (C) varían de moderados a altos ($1,506 < C < 2,606$) (tabla 2). Todos los conjuntos sedimentarios estudiados presentan una distribución planar, situándose próximos al vértice de las fábricas planares, siguiendo el eje planar-uniforme

del diagrama de Vollmer (1989) (figura 6). Estos datos indican la ausencia de movimientos postdeposicionales que causen la alineación de clastos. Esta forma planar de las fábricas se ajusta a los patrones establecidos para depósitos gravitacionales (Lenoble *et al.*, 2008), lo que descarta que el torrente de Sant Miquel haya influido sobre los cuerpos sedimentarios del sector Rampa.

En los depósitos gravitacionales es frecuente una cierta componente isotrópica que viene magnificada por la pendiente y la rugosidad del terreno (Benn, 1994; Mills, 1983; Bertran *et al.*, 1997). En la Cova Gran, el bajo grado de isotropía puede ser debido a la leve pendiente del depósito. Aunque la orientación de los vectores propios principales (V1) debería reflejar la orientación e inclinación de los diferentes cuerpos sedimentarios, al tratarse de un depósito con morfología irregular es de esperar

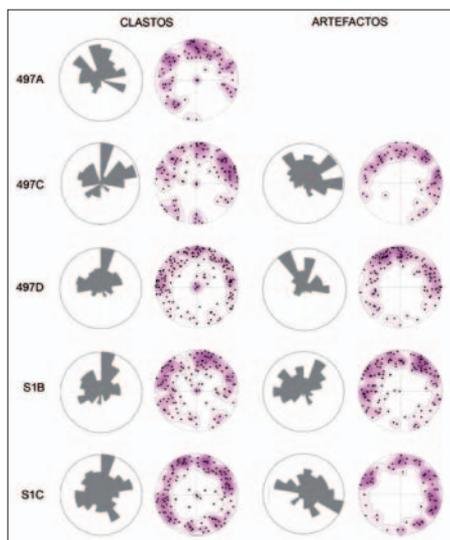


Figura 5. Proyecciones estereográficas y densidad de distribución de los datos del azimuth y buzamiento para los clastos y los artefactos de los niveles 497A, 497C, 497D, S1B y S1C.

que la orientación de los estratos varíe en cada punto. Este fenómeno se ve reflejado en la orientación de V1 de las distintas unidades del cuerpo S1 (497D, S1B y S1C), excavadas en una mayor extensión. En cambio, los valores de V1 en la unidad 497 (497A y 497C) reflejan la orientación preferencial de los clastos sedimentarios. Esta inferencia concuerda con un origen deposicional distinto para cada uno de estos dos cuerpos sedimentarios.

6.2. Fábricas arqueológicas

Ningún nivel presenta una orientación preferencial con valores de R% distantes de las fábricas lineares. Únicamente los datos de la unidad 497C se aproximan a

las fábricas lineares, permaneciendo en el campo de las planares (tabla 2). Tridimensionalmente, el vector propio principal (V1) se orienta hacia el NE en las unidades 497C, S1B, y S1C, mientras que en 497D se orientan hacia el NW. Del mismo modo se observan bajos ángulos de buzamiento. Por su parte, los índices K y C sitúan estas unidades en el sector de las fábricas planares, aunque con un grado de isotropía mayor que el observado en las fábricas sedimentarias (tabla 2 y figura 6).

La coincidencia de las fábricas sedimentológicas y arqueológicas es un indicador de procesos de reorganización postdeposicional que afecta a un depósito arqueológico (Bertran *et al.*, 1997; Bertran y Lenoble, 2002). Sin embargo, en la Cova Gran las características intrínsecas de las fábricas arqueológicas permiten diferenciarlas de las fábricas sedimentológicas, que muestran un menor grado de isotropía (Benito-Calvo

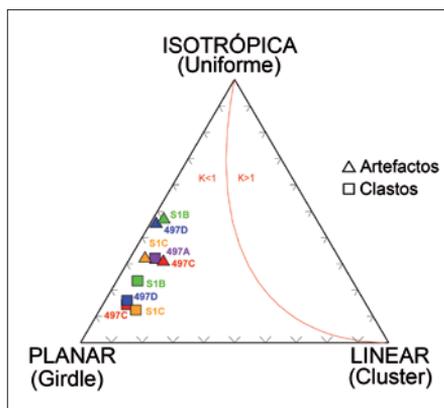


Figura 6. Diagrama ternario de Vollmer con la distribución de las fábricas asociadas a los clastos y los artefactos de los niveles arqueológicos discutidos en este trabajo.

et al., 2009). Esta observación advierte que los materiales arqueológicos no han sido afectados por procesos sin/postdeposicionales severos que reorganicen la disposición originaria de los objetos. Una posible causa de estas divergencias, indicadas por una disposición aleatoria del material arqueológico, podría relacionarse con la actividad humana.

7. Discusión: fábricas, procesos de formación y arqueoestratigrafía

El análisis de las fábricas permite avanzar en la interpretación de procesos de formación del yacimiento de la Cova Gran. El depósito se sitúa en un abrigo de grandes dimensiones excavado en una pared de caliza muy diaclasada por la tectónica regional y afectada por procesos kársticos. La caída de fragmentos y bloques heterométricos genera contextos sedimentarios con texturas y morfologías que pueden ser caracterizadas mediante el análisis de fábricas. En consecuencia, este tipo de análisis permite evaluar en qué medida los procesos sin/postdeposicionales afectan a la distribución espacial y la organización de los materiales arqueológicos recuperados en los niveles de paleolítico medio y de paleolítico superior inicial de esta secuencia.

Los resultados obtenidos señalan que los clastos que integran los cuerpos sedimentarios tienden a orientaciones de tipo *planar* que se amoldan al relieve natural de la superficie del abrigo, mientras los artefactos presentan un patrón más *isotrópico*, no apreciándose orientaciones preferenciales. Esto implica que los mecanismos gravitacionales que originan la regularización de clastos y bloques no explican la disposición del material

arqueológico sobre esas superficies. Al mismo tiempo denota que el material arqueológico no se reorganiza de forma significativa, ya sea por procesos tafonómicos o por fenómenos de escorrentía superficial (Benito-Calvo *et al.*, 2009). Del mismo modo, las derivaciones obtenidas a partir de nuestras experimentaciones (Benito-Calvo *et al.*, 2011) sugieren que la isotropía observada sobre el material arqueológico difiere de los patrones derivados de la acción de un pisoteo intensivo sobre materiales en superficie o semienterrados (figuras 3c y 3d).

Estas observaciones concuerdan con otros atributos como el buen estado de conservación de los artefactos, siendo escasos los restos líticos con alteraciones postdeposicionales como por ejemplo las piezas con retoques mecánicos o el redondeamiento de bordes y aristas, que denoten una intensa actividad hídrica. En este sentido, el análisis de las fábricas permite descartar que el torrente de Sant Miquel incida en la configuración de los cuerpos sedimentarios o sobre el material arqueológico preservado en el sector Rampa. Sin embargo, no puede descartarse su incidencia sobre el depósito, especialmente en el sector Plataforma. La oscilación altimétrica entre el sector Rampa (+ 9 m) y el sector Plataforma (+ 3 m) advierte que posiblemente el torrente incide sobre el abrigo, fosilizando la secuencia atribuida a la transición paleolítico medio/superior en esta zona concreta del yacimiento (figura 2). Este agente explicaría dos fenómenos. El primero es la inversión estratigráfica en la que los depósitos más antiguos se localizan en la zona más elevada del abrigo. El segundo, la interrupción abrupta de los niveles arqueológicos de paleolítico medio de esta

secuencia, que no tienen continuidad en el sector Plataforma.

De igual forma, estos atributos sugieren que fenómenos mecánicos (como la incidencia del pisoteo) o ambientales (crioturbación) no han promovido una migración vertical generalizada de artefactos entre niveles. Señalamos que se han recuperado piezas fracturadas *in situ* que no han sido dispersadas, lo que denota una cierta integridad espacial incompatible con intensos procesos de reorganización postdeposicional.

Otra línea argumental que puede ayudar a precisar la resolución estratigráfica de un depósito es el análisis de las distribuciones en planta combinado con la proyección de secciones concretas del yacimiento. Este método constituye una técnica resolutive a la hora de establecer relaciones entre materiales tanto en el plano horizontal como en el vertical y permite definir conjuntos de materiales espacial y temporalmente interrelacionados (Villa, 2004; Mora *et al.*, 2008).

La geometría detectada para las unidades arqueológicas correspondientes al paleolítico medio y paleolítico superior inicial en el sector Rampa se articula a partir de la estratificación de niveles discretos y de poco espesor que se alternan con niveles estériles que caracterizan una secuencia de ocupaciones discontinuas (figura 7). Estos estériles sellan y preservan una sucesión de eventos ocupacionales diferentes que conforman unidades arqueológicas interestratificadas, que se identifican en planta y presentan un desarrollo vertical limitado (Martínez-Moreno *et al.*, 2010).

Esta observación conlleva varias implicaciones. Por un lado, se puede asumir que los niveles arqueológicos de la Cova Gran conforman superficies dinámicas resultado

de un número indeterminado de ocupaciones del abrigo que se suceden a lo largo de una escala temporal difícil de precisar, pero que no puede considerarse muy prolongada (Martínez-Moreno *et al.*, 2010; Mora *et al.*, 2011). Asumimos que cada unidad arqueológica configura palimpsestos atribuibles a diferentes eventos de ocupación, pero que contiene una resolución arqueostratigráfica que permite una identificación de conjuntos de materiales que se suceden dentro de un orden estratigráfico coherente. La extensión excavada, la dispersión vertical media, así como el número de artefactos líticos recuperados son factores indicativos de que nos encontramos ante conjuntos con los que abordar el análisis de las variaciones tecno-culturales que se detectan en esta secuencia (Martínez-Moreno *et al.*, 2010).

Este análisis evidencia que estos conjuntos no son el resultado de procesos de adición entre niveles atribuibles a periodos crono-culturales distintos, o el resultado de una recuperación inadecuada de la muestra arqueológica, factores reiteradamente aducidos al referir numerosas secuencias de Europa occidental que contienen niveles referidos con la «transición» paleolítico medio/superior (Zilhão, 2006; Zilhão y d'Errico, 1999).

Este escenario sugiere que los resultados derivados del estudio de los artefactos recuperados en las unidades arqueológicas referidas al fenómeno de cambio tecno-cultural detectado entre los niveles S1B/497D de la Cova Gran, puede aportar argumentos relevantes para analizar las causas relacionadas con la desaparición de los neandertales y la aparición de los primeros tecno-complejos de paleolítico superior en la Península Ibérica (Martínez-Moreno *et al.*, 2010, 2012). Las implicaciones de esta

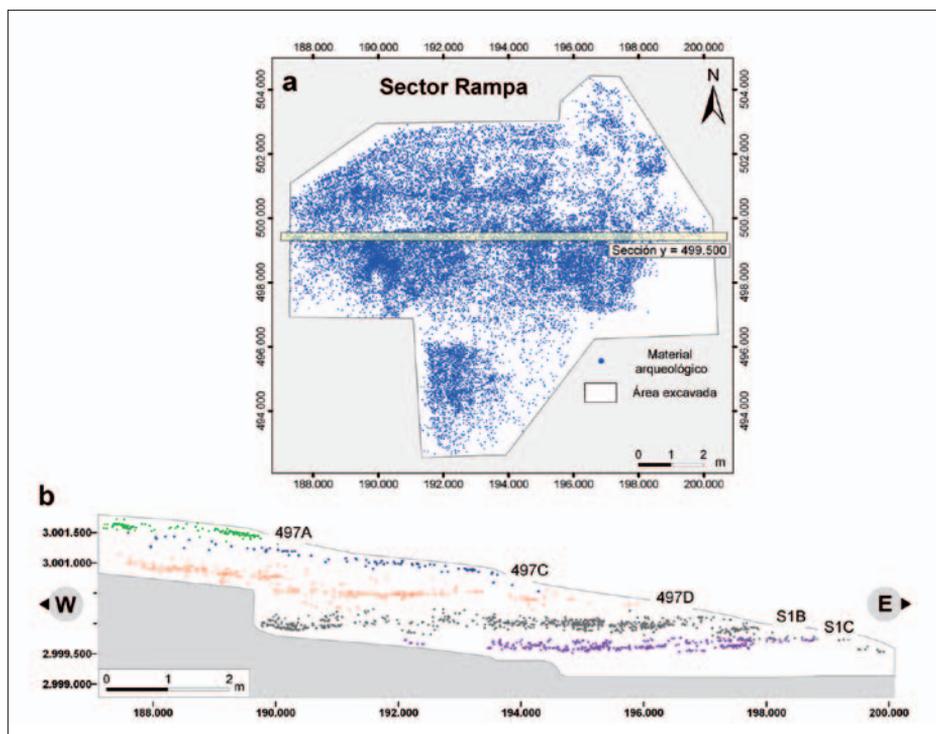


Figura 7. Arqueostratigrafía del sector rampa de la Cova Gran. a) Distribución del material arqueológico correspondiente a la zona excavada y posición de la sección presentada; b) Sección E-W en la que se observa la distribución vertical de los niveles arqueológicos de paleolítico medio (S1C y S1B) y paleolítico superior inicial (497A, 497C y 497D). La proyección de puntos permite identificar tramos estériles que separan las unidades arqueológicas a lo largo de su recorrido e indican una escasa migración vertical de los artefactos.

discusión, que merecerá ser examinada de forma detallada en futuras aportaciones, se sustentan en gran medida en los resultados que derivan del estudio de las fábricas presentados en este artículo.

8. Conclusión

La sistematización del análisis de fábricas que llevamos realizando en los últimos

años nos ha permitido profundizar en aspectos críticos en el estudio de los conjuntos arqueológicos como son los procesos de formación y la integridad de estos. En este trabajo hemos presentado una síntesis metodológica que incluye los principales aspectos que conciernen el análisis de fábricas y la adaptación de las técnicas de análisis a nuestra metodología de excavación. La resolución de esta técnica para el caso concreto de la Cova

Gran nos ha sorprendido en gran medida por sus posibilidades en la evaluación de procesos sin/postdeposicionales, mostrando patrones de distribución de los elementos arqueológicos diferenciados de los procesos sedimentarios y de pisoteo. Las hipótesis con las que hemos trabajado en los últimos años son corroboradas por estos resultados, junto a otros caracteres de los conjuntos estudiados como son la distribución espacial de los restos o el estado de conservación. Estas nos hablan de un grado elevado de preservación de los palimpsestos del paleolítico medio final y paleolítico superior antiguo en la Cova Gran.

radas por estos resultados, junto a otros caracteres de los conjuntos estudiados como son la distribución espacial de los restos o el estado de conservación. Estas nos hablan de un grado elevado de preservación de los palimpsestos del paleolítico medio final y paleolítico superior antiguo en la Cova Gran.

Agradecimientos

Esta investigación se inscribe dentro del proyecto *Poblamiento y formas de vida durante el Pleistoceno Final y el Holoceno en el Prepirineo Oriental* (HAR2010-15002E). Las excavaciones en el yacimiento de la Cova Gran son financiadas por el Servei d'Arqueologia i Paleontologia de la Generalitat de Catalunya y el Institut d'Estudis Ilerdencs-Diputació de Lleida. La Societat de Munts de Santa Linya autoriza la realización de trabajos de excavación en la Cova Gran. Esta es una contribución al grupo Cultura material y comportamiento humano de la Universitat Autònoma de Barcelona (2014SGR-84). Miquel Roy Sunyer (FI-DGR2012) y Xavier Roda Gilabert (FPI-MICINN) son beneficiarios de becas de investigación. Rafael Mora agradece el apoyo del programa ICREA-Academia.

Referencias bibliográficas

- BAILEY, G. 2007. «Time perspectives, palimpsests and the archaeology of time». *Journal of Anthropological Archaeology* 26: 198-223.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaa.2006.08.002>>
- BENITO-CALVO, A.; MARTÍNEZ-MORENO, J.; JORDÁ PARDO, J.F.; DE LA TORRE, I.; MORA TORCAL, R. 2009. «Sedimentological and archaeological fabrics in Palaeolithic levels of the South-Eastern Pyrenees: Cova Gran and Roca dels Bous sites (Lleida, Spain)». *Journal of Archaeological Science* 36: 2566-77.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2009.07.012>>
- BENITO-CALVO, A.; MARTÍNEZ-MORENO, J.; MORA, R.; ROY, M.; RODA, X. 2011. «Trampling experiments at Cova Gran de Santa Linya, Pre-Pyrenees, Spain: their relevance for archaeological fabrics of the Upper-Middle Paleolithic assemblages». *Journal of Archaeological Science* 38: 3652-61.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2011.08.036>>

- BENITO-CALVO, A.; DE LA TORRE, I. 2011. «Analysis of orientation patterns in Olduvai Bed I assemblages using GIS techniques: implications for site formation processes». *Journal of Human Evolution* 62: 50-60.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhevol.2011.02.011>>
- BENN, D.I. 1994. «Fabric shape and the interpretation of sedimentary data». *Journal of Sedimentary Research* A64: 910-15.
- BENN, D.I.; RINGROSE, T.J. 2001. «Random variation of a fabric eigenvalues: implications for the use of A-Axis fabric data to differentiate till facies». *Earth Surface Processes and Landforms* 26: 295-306.
<[http://dx.doi.org/10.1002/1096-9837\(200103\)26:3<295::AID-ESP159>3.0.CO;2-1](http://dx.doi.org/10.1002/1096-9837(200103)26:3<295::AID-ESP159>3.0.CO;2-1)>
- BERNALDO DE QUIRÓS, F.; MAILLO, J.M.; NEIRA, A. 2008. «The place of unit 18 of Castillo cave in the Middle to Upper Paleolithic transition». *Eurasian Prehistory* 5: 57-72.
- BERTRAN, P. 1994. «Dégradation des niveaux d'occupation paléolithiques en contexte périglaciaire: exemples et implications archéologiques». *Paleo* 6: 285-302.
- BERTRAN, P.; TEIXER, J-P. 1995. «Fabric Analysis: Application to Paleolithic sites». *Journal of Archaeological Science* 22: 521-35.
<<http://dx.doi.org/10.1006/jasc.1995.0050>>
- BERTRAN, P.; HÉTU, B.; TEXIER, J.-P.; STEIJN, H. 1997. «Fabric characteristics of subaerial slope deposits». *Sedimentology* 44: 1-16.
<<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3091.1997.tb00421.x>>
- BERTRAN, P.; LENOBLE, A. 2002. «Fabriques des niveaux archéologiques: méthode et premier bilan des apports à l'étude taphonomique des sites paléolithiques». *Paleo* 14: 13-28.
- BAR-YOSEF, O.; BORDES, J.-G. 2010. «Who were the makers of the Châtelperronian culture?». *Journal of Human Evolution* 59: 586-93.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhevol.2010.06.009>>
- BORDES, J.-G. 2002. «Lithic taphonomy of the Châtelperronian/Aurignacian interstratifications in Roc de Combe and Le Piage (France)». En ZILHÃO, J.; D'ERRICO, F. (eds): *The chronology of the Aurignacian and of the transitional technocomplexes dating, stratigraphies, cultural implications*, 223-44. Trabalhos de Arqueologia 33. Lisboa: Instituto Português de Arqueologia.
- BUTZER, K. 1982. *Archaeology as Human Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press.
<<http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511558245>>
- CAHEN, D.; KEELEY, L.; VAN-NOTEN, F. 1979. «Stone tools, toolkits, and human behavior in prehistory». *Current Anthropology* 20: 661-83.
<<http://dx.doi.org/10.1086/202371>>
- CZIESLA, E.; EICKHOFF, S.; ARTS, N.; WINTER, D. (Ed.) 1990. *The Big Puzzle. International symposium on refitting stone artefacts*. Studies in Modern Archaeology, 1.
- CURRAY, J.R. 1956. «Analysis of two-dimensional orientation data». *Journal of Geology*, 64: 117-34.
<<http://dx.doi.org/10.1086/626329>>
- DIBBLE, H. L.; CHASE, P. G. ; MCPHERRON S.; TUFFREAU, A. 1997. «Testing the reality of a "living floor" with archaeological data». *American Antiquity*, 62: 629-51.
<<http://dx.doi.org/10.2307/281882>>
- EREN, M.I.A.; DURANT, A.; NEUDORF, C.; HASLAM, M.; SHIPTON, C.; BORA, J.; KORISSETAR, R.; PETRAGLIA, M. 2010. «Experimental examination of animal trampling effects on artefact movement in dry and water saturated substrates: a test case from South India». *Journal of Archaeological Science* 37: 3010-21.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2010.06.024>>
- GIFFORD, D.; BEHRENSMEYER, A. 1977. «Observed formation and burial of a recent human occupation site in Kenya». *Quaternary Research* 8: 245-66.
<[http://dx.doi.org/10.1016/0033-5894\(77\)90071-0](http://dx.doi.org/10.1016/0033-5894(77)90071-0)>

- GIFFORD-GONZALEZ, D.; DAMROSCH, D.; DAMROSCH J.; THUNEN, R. 1985. «The third dimension in site structure: an experiment in trampling and vertical dispersal». *American Antiquity* 50: 803-18.
<<http://dx.doi.org/10.2307/280169>>
- GRAVINA, B.; MELLARS, P.; RAMSEY, C. B. 2005. «Radiocarbon dating of interstratified Neanderthal and early modern human occupations at the Chatelperronian type-site». *Nature*, 438, 51-56.
<<http://dx.doi.org/10.1038/nature04006>>
- KJAER, K.H.; KRÜGER, J. 1998. «Does clast size influence fabric strength?», *Journal of Sedimentary Research* 68: 746-49.
<<http://dx.doi.org/10.2110/jsr.68.746>>
- KROLL, E.; PRICE, T. (Ed.) 1991. *The interpretation of archaeological spatial patterning*. Nueva York: Plenum Press.
- LENOBLE, A.; ORTEGA, I.; BOURGUIGNON, L. 2000. «Processus de formation du site moustérien de Champs-de-Bossuet (Gironde)». *Paleo* 12: 413-25.
- LENOBLE, A.; BERTRAN, P. 2004. «Fabric of Palaeolithic levels: methods and implications for site formation processes». *Journal of Archaeological Science*, 31: 457-69.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2003.09.013>>
- LENOBLE, A.; BERTRAN, P.; LACRAMPE, F. 2008. «Solifluction-induced modifications of archaeological levels: simulation based on experimental data from a modern periglacial slope and application of French Palaeolithic sites». *Journal of Archaeological Science*, 35: 99-110.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2007.02.011>>
- LEROI-GOURHAN, A.; BRÉZILLON, M. 1966. «L'habitation magdalénienne n° 1 de Pincevent près Monterau (Seine-et-Marne)». *Gallia préhistoire*, 9: 263-385.
- MALINSKY-BULLER, A.; HOVERS, E.; MARDER, O. 2011. «Making time: “Living floors”, “palimpsests” and site formation processes — A perspective from the open-air Lower Paleolithic site of Revadim Quarry, Israel». *Journal of Anthropological Archaeology*, 30: 89-101.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaa.2010.11.002>>
- MARTÍNEZ-MORENO, J.; MORA, R.; DE LA TORRE, I. 2010. «The Middle-to-Upper Palaeolithic transition in Cova Gran (Catalonia, Spain) and the extinction of Neanderthals in the Iberian Peninsula». *Journal of Human Evolution*, 58: 211-26.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhevol.2009.09.002>>
- MARTÍNEZ-MORENO, J.; GONZÁLEZ MARCÉN, P.; MORA TORCAL, R. 2011. «Data matrix (DM) codes: A technological process for the management of the archaeological record». *Journal of Cultural Heritage*, 12(2): 134-39.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2010.10.001>>
- MARTÍNEZ-MORENO, J.; MORA, R.; DE LA TORRE SÁINZ, I.; BENITO, A. 2012. «The role of flakes in the early Upper Palaeolithic assemblage of Cova Gran de Santa Linya (Southeastern Prepyrenees, Spain)». En PASTOORS A.; PERESANI, M. (eds): *Flakes not Blades: The role of flake production at the onset of the Upper Palaeolithic in Europe*. Wissenschaftliche Schriften des Nanderthal Museums 5: 85-104. Mettmann.
- MCPHERRON, S.J.P. 2005. «Artefact orientation and site formation processes from total station proveniences». *Journal of Archaeological Science*, 32: 1003-14.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2005.01.015>>
- MELLARS, P.; GRAVINA, B.; RAMSEY, C. B. 2007. «Confirmation of Neanderthal/modern human interstratification at the Chatelperronian type-site». *PNAS* 104(9): 3657-62.
<<http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0608053104>>
- MILLS, H. H. 1983. «Clast-fabric strength in hillslope colluvium as a function of slope angle». *Geografiska Annaler*, 65 (3/4): 255-62.
<<http://dx.doi.org/10.2307/520590>>

- MORA, R. 1994. «El Sistema Lógico Analítico». En MERINO, J.M. (Ed.), *Tipología Lítica* (pp. 368-86). *Munibe* 9. Donostia.
- MORA, R.; MARTÍNEZ-MORENO, J.; CASANOVA, J. 2008. «Abordando la noción de “variabilidad musterriense” en Roca dels Bous (Prepirineo suroriental, Lleida)». *Trabajos de Prehistoria*, 65(2): 13-28.
- MORA, R.; BENITO-CALVO, A.; MARTÍNEZ-MORENO, J.; GONZÁLEZ MARCEN, P.; DE LA TORRE, I. 2011. «Chrono-stratigraphy of the Upper Pleistocene and Holocene archaeological sequence in Cova Gran (South-Eastern Pre-Pyrenees, Iberian Peninsula)». *Journal of Quaternary Science* 26: 635-44.
<<http://dx.doi.org/10.1002/jqs.1486>>
- NIELSEN, A. 1991. «Trampling the archaeological record: an experimental study». *American Antiquity* 56: 483-503.
<<http://dx.doi.org/10.2307/280897>>
- PEÑA, J. L. 1983. *La Conca de Tremp y sierras prepirenaicas comprendidas entre los ríos Segre y Noguera Ribagorzana. Estudio geomorfológico. Cartografía*. Lleida, Instituto de Estudios Ilerdenses.
- PIZARRO, J.; ROY, M.; RODA, X.; VEGA, S.; SAMPER, S.; PLASENCIA, J.; CASANOVA, J.; LÓPEZ-PRAT, M.; GONZÁLEZ MARCÉN, P.; MARTÍNEZ-MORENO, J.; MORA, R. 2013. «Nous elements de reflexió al voltant del poblament del Prepirineu Oriental al llarg del plistocè superior i l'holocè». *III Col·loqui d'Arqueologia d'Odèn (el Solsonès). Darreres investigacions al Prepirineu Lleidatà 2009-2011*. Odèn.
- POCOVÍ, A. 1978. «Estudio geológico de las Sierras Marginales Catalanas». *Acta Geológica Hispánica*, 13 (3): 73-79.
- RICO HERRERO, M. 2004. *Las paleocrecidas en la cuenca media del río Segre durante el Pleistoceno superior-Holoceno: registros morfosedimentarios y análisis hidrológico*. Tesis doctoral inédita. Universidad de Zaragoza.
- SCHIFFER, M.B. 1983. «Toward the identification of formation processes». *American Antiquity* 48: 675-705.
<<http://dx.doi.org/10.2307/279771>>
- 1987. *Formation Processes of the Archaeological Record*. University of New Mexico Press, Albuquerque.
- STOCKTON, E.D. 1973. «Shaw's Creek Shelter: human displacement of artefacts and its significance». *Mankind* 9: 112-17.
- TEXIER, J.P. 2000. «A propos des processus de formation des sites préhistoriques». *Paleo*, 12: 379-86.
- THEUNISSEN, R.; BALME, J.; BECK, W. 1998. «Headroom and human trampling: cave ceiling height determines the spatial patterning of stone artefacts at Petzkes Cave, northern New South Wales». *Antiquity*, 72: 80-89.
- VILLA, P. 1982. «Conjoinable pieces and site formation processes». *American Antiquity*, 47: 276-290.
<<http://dx.doi.org/10.2307/279901>>
- 2004. «Taphonomy and stratigraphy in European prehistory». *Before Farming* 1: 1-20.
- VILLA, P.; COURTIN, J. 1983. «The interpretation of stratified sites: a view from underground». *Journal of Archaeological Science*, 10: 267-81.
<[http://dx.doi.org/10.1016/0305-4403\(83\)90011-0](http://dx.doi.org/10.1016/0305-4403(83)90011-0)>
- VOLLMER, F.W. 1989. «A triangular fabric plot with applications for structural analysis». *American Geophysical Union Transactions*, 70: 463.
- WATSON, G. S. 1965. «Equatorial distribution on a sphere». *Biometrika*, 52 (1/2): 193-201.
<<http://dx.doi.org/10.2307/2333824>>
- 1966. «The statistics of orientation data». *Journal of Geology*, 54: 786-97.

- WOODCOCK, N.H. 1977. «Specification of fabric shapes using an eigenvalue method». *Geological Society of America Bulletin*, 88: 1231-36.
<[http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1977\)88<1231:SOF SUA>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1977)88<1231:SOF SUA>2.0.CO;2)>
- WOODCOCK, N.H.; NAYLOR, M.A. 1983. «Randomness testing in three-dimensional orientation data». *Journal of Structural Geology*, 5: 539-48.
<[http://dx.doi.org/10.1016/0191-8141\(83\)90058-5](http://dx.doi.org/10.1016/0191-8141(83)90058-5)>
- ZILHÃO, J. 2006. «Chronostratigraphy of the Middle-to-Upper Paleolithic transition in the Iberian Peninsula». *Pyrenae*, 37: 7-84.
- ZILHÃO, J.; D'ERRICO, F. 1999. «The chronology and taphonomy of the earliest Aurignacian and its implications for the understanding of Neandertal extinction». *Journal of World Prehistory*, 13: 1-68.
<<http://dx.doi.org/10.1023/A:1022348410845>>
- ZILHÃO, J.; D'ERRICO, F.; BORDES, J-G.; LENOBLE, A.; TEXIER J. P.; RIGAUD, J. P. 2006. «Analysis of Aurignacian interstratification at the Châtelperronian-type site and implications for the behavioral modernity of Neandertals». *PNAS*, 103(33): 12643-48.
<<http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0605128103>>
- 2008. «Grotte des Féés (Châtelperron). History of research, stratigraphy, dating and archeology of the Châtelperronian type-site». *Paleoanthropology*, 2008: 1-42.

Aportaciones de los estudios de fitolitos en la prehistoria: formación, metodología y casos de estudio

Rosa M. Albert¹, Marta Portillo²



Recibido: 28-10-2014

Aceptado: 10-11-2014

Resumen

En los últimos años los estudios de microfósiles vegetales, y los fitolitos en particular, se han consolidado como herramienta indispensable para reconstruir las condiciones paleoambientales y la paleovegetación, así como para trazar la utilización y explotación de los recursos vegetales en el pasado. En este trabajo se abordan diversas cuestiones metodológicas considerando procesos de formación, composición, producción y preservación de estos microrrestos. Asimismo se incide en la importancia de entender tanto los procesos de formación como los procesos postdeposicionales que pueden haber afectado la preservación de los restos y que son cruciales en la interpretación del registro arqueológico. A través de una selección de casos de estudio articulados en tres ejes temáticos principales (reconstrucción de la paleovegetación, uso del fuego y primeras prácticas agrícolas y ganaderas), se demuestra su enorme potencial y variabilidad de aplicaciones.

Palabras clave: prehistoria; fitolitos; metodología; paleovegetación; paleoeconomía; tafonomía.

Resum. Aportació dels estudis de fitòlits en la prehistòria: formació, metodologia i casos d'estudi

En els darrers anys els estudis de microfòssils vegetals i els fitòlits en particular s'han consolidat com una eina indispensable per a la reconstrucció de les condicions paleoambientals i la paleovegetació, com també per traçar la utilització i l'explotació dels recursos vegetals en el passat. En aquest treball s'aborden diferents qüestions metodològiques considerant el procés de formació, composició, producció i preservació d'aquestes microrrestes. Així mateix s'incideix en la importància d'entendre tant els processos de formació com els processos postdeposicionals que poden haver afectat la preservació de les restes i que són crucials en la interpretació del registre arqueològic. A través d'una selecció de casos d'estudi articulats en tres eixos principals (reconstrucció de paleovegetació, ús del foc i primeres pràctiques agrícoles i ramaderes), es demostra el gran potencial i variabilitat de les aplicacions.

Paraules clau: prehistòria; fitòlits; metodologia; paleovegetació; paleoeconomia; tafonomia.

1. ICREA/ERAAUB. Universitat de Barcelona. Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia. C/ Montalegre, 6-8. 08001 Barcelona.

rhalb@ub.edu

2. ERAAUB. Universitat de Barcelona. Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia. C/ Montalegre, 6-8. 08001 Barcelona.

mportillo@ub.edu

Abstract. Contributions from studies of phytoliths in prehistoric times: formation, methodology and case studies

In recent years studies of plant microfossils, and phytoliths in particular have emerged as an indispensable tool for reconstructing paleoenvironmental conditions and palaeovegetation and to trace the use and exploitation of plant resources in the past. This paper addresses several methodological issues considering formation processes, composition, production and preservation of this micro remains. It also stresses the importance of understanding both formation and post-depositional processes that may have affected the preservation of the remains which are crucial in interpreting the archaeological record. Through a selection of case studies related to three main themes (palaeovegetation reconstruction, use of fire and early farming practices), phytolith analysis demonstrates its huge potential and variability of applications.

Keywords: Prehistory; Phytolits; methodology; paleonviroment; paleoeconomy; taphonomy.

ALBERT, Rosa M.; PORTILLO, Marta. «Aportaciones de los estudios de fitolitos en la prehistoria: formación, metodología y casos de estudio». *Treballs d'Arqueologia*, 2014, núm. 20, p. 79-93. DOI: 10.5565/rev/tda.48

1. Definición de fitolitos y características principales

Los estudios paleoantropológicos y arqueológicos de los últimos años reflejan, cada vez más, la estrecha relación existente entre el ecosistema y el comportamiento y desarrollo cognitivo de los grupos humanos (Vrba, 1995; deMenocal, 2011). Uno de los aspectos principales que componen un ecosistema es la vegetación. A partir de su reconstrucción, es posible inferir el tipo de clima y la disponibilidad de recursos en un entorno y momento determinados. En los últimos años, el avance de la ciencia arqueológica y especialmente la aplicación de metodologías procedentes de diversas disciplinas científicas hace que en la actualidad tengamos acceso a un amplio rango metodológico que nos permite hacer inferencias sobre la vegetación en un lugar y tiempo determinados. De entre todos estos, queremos destacar

los análisis de fitolitos. Los análisis de fitolitos aplicados a contextos arqueológicos se enmarcan dentro la microarqueología (Weiner, 2010), y se basan en el estudio de microrrestos recuperados de yacimientos arqueológicos, que no son observables a primera vista y que necesitan de un equipamiento adicional para poder ser identificados. Además de los fitolitos también se incluyen dentro de la microarqueología, entre otros, los estudios de esferolitos fecales, las diatomeas, las espículas de esponja, los almidones, el polen, así como el estudio de los sedimentos, que permite obtener información sobre los procesos de formación, su composición mineralógica y química y su efecto sobre la conservación de los diferentes restos depositados.

Los fitolitos de sílice o silicofitolitos son microrrestos silíceos que se forman en el interior de las plantas cuando estas todavía están vivas. Las plantas absorben, junto con el agua del suelo, una

serie de minerales, entre los que se encuentra el ácido monosilíceo ($\text{Si}(\text{OH})_4$). Este ácido es transportado a las partes aéreas de la planta, donde, en forma de gel, puede depositarse en las paredes de las células, rellenar las células a medida que van muriendo o impregnar los espacios intercelulares. Posteriormente este gel se solidifica adaptando la morfología celular donde se han depositado. Es entonces cuando ya podemos hablar de fitolitos. Este proceso de silicificación tiene lugar principalmente en el tejido epidérmico de hojas, tallos e inflorescencias, así como ciertos frutos. Cuando las plantas o partes de las plantas mueren y se depositan en el suelo, la materia orgánica decae y libera los fitolitos que pasan a formar parte del sedimento (Piperino, 1988, 2006).

Características de los fitolitos

Morfología

Debido a su proceso de formación, los fitolitos reproducen el tejido celular de ciertas plantas, siendo, pues, fácilmente identificables en el microscopio. En algunos casos, como los cereales, los estudios morfométricos de fitolitos permiten reconocerlos a nivel de especie (Ball *et al.*, 1999). Además, al tener tejidos celulares diferenciados, es posible identificar la parte de la planta donde se han formado (hojas, tallos, inflorescencias, tronco, frutos, etc.) (Albert y Weiner, 2001) (figura 1).

Mineralogía

La composición de los fitolitos (sílice) hace que estos sean altamente resistentes

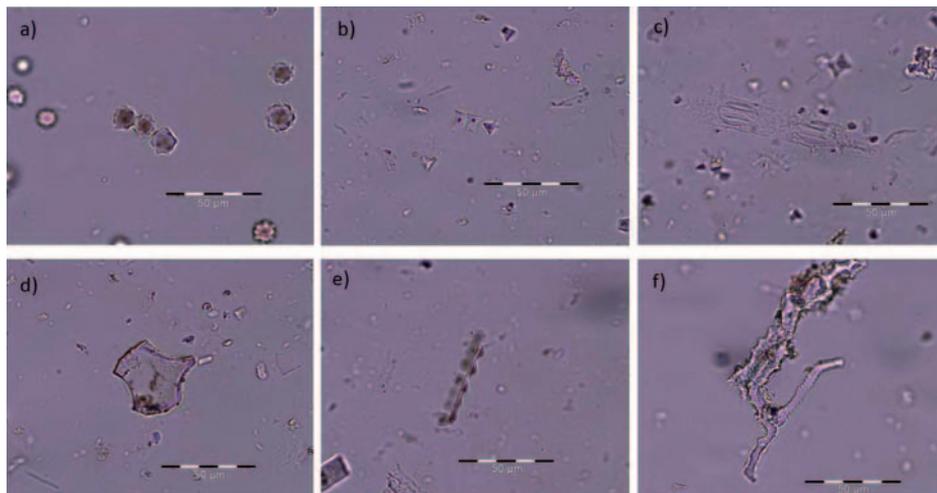


Figura 1. Microfotografías de fitolitos de plantas modernas de colección de referencia, Tanzania (Albert *et al.*, 2006; véase PhytCore, <http://www.phytcore.org>) (400×). a) esferoides equinados, hojas de *Phoenix reclinata*, b) células cortas de tipo rondel, tallo de *Sporobolus spicatus*, c) estomas, tallo de *Sporobolus spicatus*, d) célula buliforme, hojas de *Cynodon dactylon*, e) células epidérmicas «de forma de cono» (*Cone shaped*), tallo de *Cyperus dives*, f) traqueida, hojas de *Acacia tortilis*.

tes al paso del tiempo, pudiendo recuperarse en niveles de varios millones de años (McInerney *et al.*, 2011). También son resistentes a los procesos de combustión y permanecen morfológicamente inalterados hasta temperaturas cercanas a los 850° (Albert y Cabanes, 2007), modificando únicamente su índice de refracción (Elbaum *et al.*, 2003). Sin embargo, en ambientes altamente alcalinos con pH superior a 8,5-9 pueden llegar a disolverse (Piperino, 2006).

Producción diferencial

No todas las plantas ni partes de las plantas producen fitolitos en la misma proporción. Esta mayor o menor silicificación dependerá, entre otras cosas, de la disponibilidad de ácido monosilíceo en el suelo, así como del clima; a mayor presencia de agua en un suelo rico en sílice, mayor absorción por parte de la planta del ácido monosilíceo y, por lo tanto, mayor producción de fitolitos. Por otro lado, la mayor o menor absorción de sílice también depende del tipo de planta. Las plantas monocotiledóneas y, en especial, la familia de las gramíneas, son grandes productoras de fitolitos (Rosen y Weiner, 1994; Piperino, 2006). Otras monocotiledóneas también ricas en producción de fitolitos son las ciperáceas (Ollendorf, 1992) y las palmáceas (Bamford *et al.*, 2006). Dentro de las dicotiledóneas, los fitolitos se encuentran principalmente en las hojas, en ciertos frutos y, en menor medida, en el tronco y la corteza (Albert *et al.*, 1999; Tsartsidou *et al.*, 2007). En contextos arqueológicos, esta producción diferencial de fitolitos permite cuantificar la presencia de diversas plantas y partes de las mismas.

Condiciones de preservación

Los fitolitos pueden verse alterados tanto por acción química como mecánica. En relación a la alteración química, el ejemplo más característico es el de los ambientes con pH elevado. En ambientes cálcicos, el pH de los sedimentos compuestos de cenizas de madera oscila entre 9 y 13. Teniendo en cuenta que los fitolitos son estables en un pH hasta 8,2 aproximadamente, la primera pregunta a formular es la durabilidad y el estado de la conservación de fitolitos en sedimentos donde los principales componentes mineralógicos corresponden a la calcita derivada de cenizas. Un ejemplo es Cueva Bajondillo (Torremolinos), donde los fitolitos aparecieron fuertemente alterados químicamente (Albert, 2007). Datos más reveladores se obtuvieron, sin embargo, en la Cova del Frare (Matadepera), donde existe una fuerte circulación de agua permanente, llegando a formar planchas estalagmíticas. Los fitolitos identificados, aunque no eran de una cronología excesivamente antigua (alrededor de 4000 años), se encontraban en un pésimo estado de conservación siendo difícilmente identificables, especialmente en los niveles directamente por debajo de dichas planchas (Albert *et al.*, 1997a). Por el contrario, en los niveles superiores, los fitolitos fueron fácilmente reconocibles morfológicamente. Otro ejemplo es el de la cueva PP13 en Pinnacle Point (Sudáfrica), en la que se observó una conservación diferencial entre la zona más cercana a la entrada de la cueva, donde los fitolitos aparecían en un mal estado de conservación y la zona del fondo de la cueva, donde habían quedado preservados de las acciones exteriores y aparecieron en un excelente

estado, permitiendo identificar estructuras silíceas de dicotiledóneas en conexión anatómica (Albert y Marean, 2012). Por otro lado, en aquellas situaciones donde los fuegos no han estado en contacto directo con el agua o donde la calcita ha desaparecido como es el caso de Cova del Parco (Alòs de Balaguer) (Albert *et al.*, 1997b) o de los fuegos centrales de la cueva de Kebara en Israel (Albert *et al.*, 2000), los fitolitos se encuentran relativamente bien conservados. Así pues, un ambiente cálcico o la presencia de cenizas de madera no es *a priori* suficiente para provocar una disolución de los fitolitos. En cambio, un ambiente cálcico con una percolación hídrica más o menos constante a través de los sedimentos sí puede acelerar de forma dramática y en un relativamente corto espacio de tiempo la disolución de estos microrestos.

Por lo que respecta a la alteración mecánica de los fitolitos, en el Mirador (Sierra de Atapuerca) se identificaron estructuras multicelulares de fitolitos (en conexión anatómica), en mayor número, en los niveles mejor conservados, mientras que en aquellos niveles donde se había observado algún tipo de movimiento postdeposicional, estos elementos disminuían notablemente (Cabanes *et al.*, 2009). Así pues, los procesos postdeposicionales, como por ejemplo la bioturbación o el desplazamiento de sedimentos, pueden desmembrar las estructuras multicelulares, convirtiéndolas en fitolitos unicelulares.

El reconocimiento de las condiciones y causas de conservación o disolución de los fitolitos es también un buen indicador sobre los procesos postdeposicionales que tuvieron lugar posteriormente a la deposición de los restos en un yacimiento o nivel determinado, contri-

buyendo pues a mejorar la interpretación de los restos preservados a la vez que inferir las razones por las que pueden haberse disuelto otros restos.

2. Metodología

Al igual que otras disciplinas paleobotánicas, la identificación y adscripción de los fitolitos se realizan a partir de su comparación con colecciones de referencia de plantas modernas. Es importante que estas plantas procedan de la misma zona de estudio que las muestras arqueológicas. De esta forma se minimizan las diferencias relacionadas con un mayor o menor proceso de silicificación que pueden afectar en la cantidad y variedad de fitolitos.

Para la extracción de fitolitos de plantas modernas seguimos la metodología propuesta por Albert y Weiner (2001). Esta se basa en una primera combustión de la muestra en un horno de mufla a 500 °C durante 4 horas. Las cenizas obtenidas son tratadas con una solución de ácido clorhídrico y nítrico, y posteriormente de peróxido de hidrógeno para eliminar el resto de materia orgánica que pueda no haber sido eliminada correctamente durante la combustión. Las láminas para el estudio microscópico se preparan utilizando aproximadamente 0,5 mg de muestra mezclada con resina (Entellan New) y se cubren para ser observadas al microscopio petrográfico a 400×. También es posible realizar esta identificación a partir del microscopio electrónico (SEM). De esta forma se obtiene un mayor detalle especialmente a nivel de textura, que puede ser útil para su identificación taxonómica. Para obtener una interpretación fiable, es necesari-

rio cuantificar un número mínimo de 200 fitolitos (Piperno, 1988; Albert y Weiner, 2001). Las imágenes digitales de fitolitos son almacenadas posteriormente en bases de datos junto a la información relacionada. En nuestro caso utilizamos la base de datos PhytCore (<http://www.phytcore.org>), que contiene actualmente más de 4000 imágenes de fitolitos, tanto de colecciones de referencia como de muestras arqueológicas. PhytCore permite añadir imágenes que luego son refrendadas por un comité especializado. Asimismo posee también ámbitos abiertos que permiten establecer discusiones sobre nomenclatura, taxonomía, etc.

El muestreo de sedimentos arqueológicos para análisis de fitolitos es relativamente sencillo y solo hay que tener en cuenta una serie de precauciones necesarias: a) las muestras deben estar correctamente contextualizadas; b) es necesario realizar recogida de muestras de control (por ejemplo de zonas estériles) que permitan identificar el origen de las plantas reconocidas (acción antrópica o causas naturales); c) prevenir posibles contaminaciones, para ello la muestra debe ser recogida con material limpio y guardada en contenedores esterilizados.

Debido a su formación dentro de la planta mientras está viva, los fitolitos pueden encontrarse en cualquier tipo de resto susceptible de haber contenido estas plantas, desde el propio sedimento hasta otros restos materiales como dientes, molinos, cerámicas, industria lítica, etc. Dependiendo del tipo de resto a estudiar, la metodología de extracción puede variar susceptiblemente.

En general, el proceso se basa en la eliminación de todos aquellos componentes que pueden impedir la correcta identificación y cuantificación de los

fitolitos (por ejemplo, carbonatos, fosfatos, materia orgánica, etc.). Una vez eliminados, el material silíceo restante se separa por densidades, mediante la utilización de líquido pesado (polytungstato de sodio), lo que permite concentrar los fitolitos a la vez que separarlos de otros elementos más pesados como el cuarzo (Albert *et al.*, 1999). Finalmente los fitolitos son identificados tanto a partir del microscopio óptico a 400x, como del microscopio electrónico.

3. Casos de estudio

Debido a la gran variedad de soportes donde se pueden realizar estudios de estos microfósiles, la información a obtener también será de diverso tipo. Por ejemplo, el estudio de un suelo de ocupación puede ofrecer información sobre las diferentes funcionalidades (zonas dormitorio, actividades de estabulación, etc.) (Albert *et al.*, 2008). El estudio de los dientes nos informará de la dieta (Henry *et al.*, 2014), los molinos nos informarán de los materiales vegetales procesados (Portillo *et al.*, 2009), etc.

A pesar de que la aplicación de los estudios de fitolitos en contextos arqueológicos es relativamente reciente (principalmente desde los años setenta), son muchos los trabajos que se han realizado en estos cuarenta años abarcando diversos campos de actuación y con un amplio espectro tanto cronológico como geográfico.

Repasaremos algunos ejemplos significativos y que se enmarcan dentro de las tres líneas principales de investigación de las autoras: a) reconstrucción de la paleovegetación durante el plio-pleistoceno africano; b) uso del fuego por parte

de las primeras poblaciones de *Homo*, y c) primeras prácticas agrícolas y ganaderas. Estas tres líneas de investigación se centran en tres momentos clave de transición para la evolución y el desarrollo cognitivo humano que han dado lugar a las sociedades actuales. Repasaremos brevemente cada uno de ellos.

Reconstrucción del paleoambiente y la paleovegetación en África oriental durante el plio-pleistoceno

El desarrollo de los primeros homínidos africanos está fuertemente relacionado con el entorno y el modo en que utilizaron los recursos que tenían disponibles. A partir de esta línea de investigación, pretendemos mejorar nuestro conocimiento sobre cuáles eran estas condiciones, principalmente a nivel de vegetación. Solo así podremos conocer los recursos que tenían disponibles, tanto a nivel de dieta como de provisión de herramientas, refugios, etc., y que favorecieron su supervivencia. Desde el año 2001, nuestro equipo lleva realizando análisis de fitolitos para reconstruir la vegetación en la garganta de Olduvai (Tanzania) durante el período en que habitaban la zona *Parantropus boisei* y *Homo habilis* hace aproximadamente 1,8 millones de años. Nuestro trabajo se basa en un estudio combinado de plantas y suelos modernos, lo que nos permite obtener información sobre la cantidad y los tipos morfológicos producidos por diferentes especies de plantas, a la vez que determinar los morfotipos que tienen un mayor índice de conservación bajo unas condiciones mineralógicas determinadas. Para ello hemos realizado estudios en zonas cercanas a la garganta de Olduvai con características similares a las que existirían durante la época de estudio, en este

caso: el cráter del Ngorongoro, Parque Nacional del Serengeti, lagos Masek y Ndu, lago Eyasi, etc. (Albert *et al.*, 2006, 2014; Bamford *et al.*, 2006). La ventaja que poseen la mayor parte de estos sitios es que, al haber sido declarados parques nacionales, tienen un impacto antrópico limitado y controlado. Estos resultados son utilizados en el estudio del registro paleoantropológico. Aunque se trata de un proyecto a largo plazo, los resultados obtenidos hasta hoy día han permitido reconstruir el paisaje, entre otros de la localidad FLK, en el nivel superior del lecho I (UMBI), donde se recuperaron los restos de *Parantropus boisei* y *Homo habilis* (Blumenschine *et al.*, 2012) y en la zona HWKEE, definida por los trabajos de Hay (1976) como una zona de agua fresca caracterizada por una vegetación con abundancia de palmeras (Albert *et al.*, 2009). Actualmente hemos ampliando la zona de estudio a los contextos habitados por *H. erectus*.

Otros ejemplos de estudios de fitolitos realizados en la misma o en otras zonas geográficas y en períodos similares son, entre otros, Barboni *et al.* (2010), WoldeGabriel *et al.* (2009) o Mercader *et al.* (2013).

Control y uso del fuego

El fuego ha sido uno de los elementos imprescindibles para la supervivencia del ser humano y se ha relacionado con el desarrollo de la complejidad social e intelectual de los primeros homínidos (Perlès, 1977). En períodos prehistóricos, los fuegos representan un importante papel en la estructura social, alrededor del cual se desarrollaban las actividades principales. Aunque es posible que estos fuegos se realizaran en espacios abiertos,

abrigos o cuevas, es en estos dos últimos contextos donde se han identificado en mayor número.

Los estudios de fitolitos sobre fuegos prehistóricos permiten obtener información sobre su funcionalidad, a partir de la identificación del combustible y el papel que desempeñaban en el hábitat (cocina, calor, luz, transformación de materiales) e indirectamente sobre el tipo de hábitat (de larga o corta duración), el paisaje y la posible selección de combustible.

Los resultados obtenidos en la mayor parte de los yacimientos indican que la madera era el principal combustible utilizado para los fuegos. Este mayor dominio de la madera, sin embargo, puede ir acompañado por el uso de otros elementos vegetales en proporciones variables. Estas diferencias observadas en el tipo de combustible que acompaña a la madera se interpretan en términos de comportamientos humanos diversificados, relacionando los fuegos con diferentes estrategias de recolección y tipos de hábitats. Así, por ejemplo, un dominio de la madera sin prácticamente acompañamiento de otras partes de la planta o grupos de plantas puede responder a una utilización reiterativa de los fuegos y un uso continuado del hábitat, donde la madera sería probablemente seleccionada, almacenada y finalmente utilizada para realizar los fuegos. Estos fuegos proporcionarían principalmente brasas, las cuales pueden ser utilizadas para procesos culinarios. Un ejemplo de este tipo de fuegos se encuentra en los niveles del paleolítico medio de la cueva de Kebara, en Israel (Albert *et al.*, 2000), en la que, además, se identificó la dispersión de cenizas por el yacimiento. Un ejemplo diferente es la cueva de Hayonim (Israel) (Albert *et al.*, 2003), donde los

niveles musterienses estaban dominados por fitolitos de hojas de plantas dicotiledóneas y fitolitos de madera. Estos resultados, junto con la proporción en que estaban presentes estos fitolitos de hojas y madera, sugieren que el combustible utilizado correspondería mayoritariamente a ramas de árboles o arbustos. Este yacimiento se ha relacionado con un comportamiento de recogida de combustibles de manera aleatoria, en las inmediaciones del hábitat, como por ejemplo ramas caídas que todavía conservan las hojas. Hayonim se ha interpretado como un hábitat de corta ocupación, de pocos días, para realizar diferentes actividades probablemente relacionadas con la caza. En el yacimiento Grotte XVI (Francia) los resultados del nivel C (musteriense) evidenciaron, en contra de hipótesis anteriores, una mayor presencia de fitolitos de madera y gramíneas, lo que se interpretó como un posible uso de estas últimas, bien para producir fuegos destinados a secar pescado (justificado por el gran número de espinas identificadas), o para otras actividades como lechos que hubieran sido quemados (Karkanas *et al.*, 2002). Esta mayor presencia de gramíneas, junto con posiblemente hojas de *Quercus*, también se identificó en los niveles de paleolítico superior, nivel II de la Cova del Parco (Alòs de Balaguer) (Albert *et al.*, 1997b). En el nivel J del Abric Romaní (Capellades) se observó una variación en la utilización del combustible en los diferentes fuegos, yendo desde una mayoritaria utilización de las partes leñosas hasta un dominio de plantas gramíneas (Cabanes *et al.*, 2007). En el Mirador (Sierra de Atapuerca) la identificación de fitolitos, procedentes también de la familia de gramíneas y esferolitos fecales (partículas de carbonato cálcico formadas en el aparato

digestivo de determinados animales, principalmente herbívoros), indicaba la utilización de la mayoría de los sedimentos quemados del nivel 4 como lugar de estabulación durante la edad del bronce (Cabanes *et al.*, 2009). En Amud Cave (Israel), se ha sugerido el consumo de semillas de gramíneas por parte de los habitantes del paleolítico medio (Madella *et al.*, 2002).

Hay situaciones en que los fuegos, debido a procesos postdeposicionales, ya no son visibles a simple vista. Este es el caso de la cueva de Tabun (Israel). Aquí los fitolitos, junto con el análisis mineralógico de los sedimentos a partir de la espectrometría de infrarrojos por derivada de Fourier (FTIR), fueron determinantes para detectar la presencia de fuegos que habían quedado enmascarados por caídas de sedimentos procedentes de la chimenea (Albert *et al.*, 1999).

Pero los análisis de fitolitos también pueden ser utilizados en contextos de cuevas para detectar otras actividades además de los fuegos. Un ejemplo es la cueva de Sibudu en Sudáfrica, donde estos estudios permitieron identificar lechos para dormir (Wadley *et al.*, 2011).

Primeras prácticas agrícolas

En este apartado las investigaciones se han dirigido hacia la reconstrucción de los cambios paleoambientales en la transición del pleistoceno final hacia el holoceno, y los mecanismos socioculturales que dieron lugar a los procesos de domesticación de plantas y animales, con especial interés por el Levante, dado su papel pionero en la región mediterránea. Son diversas las cuestiones que emergen del estudio de estas sociedades, entre las que destaca la identificación de produc-

tos para su alimentación y la de sus animales, los productos secundarios y subproductos derivados de actividades agrícolas y ganaderas, de las técnicas de cultivo y de explotación animal, sistemas de almacenamiento y procesado, etc. En este sentido, los fitolitos se han demostrado indispensables especialmente en contextos con escasa o nula preservación de restos macrobotánicos, como es el caso del registro Natufiense, permitiendo reconocer la explotación de recursos vegetales de estas comunidades, así como la intensificación del uso de los cereales silvestres (Rosen, 2010).

Estos microfósiles son especialmente abundantes en la familia de las gramíneas y el estudio morfológico de fitolitos multicelulares (estructuras multicelulares o fitolitos en conexión anatómica, figura 2) permite realizar identificaciones taxonómicas a nivel de género (Rosen, 1992). Las estructuras multicelulares reproducen el conjunto del tejido celular y son el resultado de una fuerte silicificación de la planta, y han sido utilizados como indicadores de irrigación (Rosen y Weiner, 1994). Una segunda línea metodológica aplicada en la identificación de determinadas especies de cereales, permitiendo la discriminación de variedades domésticas y silvestres, es el estudio morfométrico de células individuales (Ball *et al.*, 1999). En lo que respecta al procesado de los cereales, y la molienda en particular, estos estudios han permitido identificar espacios destinados a esta actividad cotidiana, así como el tipo de cereal procesado en diversos yacimientos neolíticos (Portillo *et al.*, 2009, 2013; Portillo y Albert, 2014).

Una cuestión clave es también la de tratar de determinar la introducción de los restos vegetales en el contexto arqueoló-

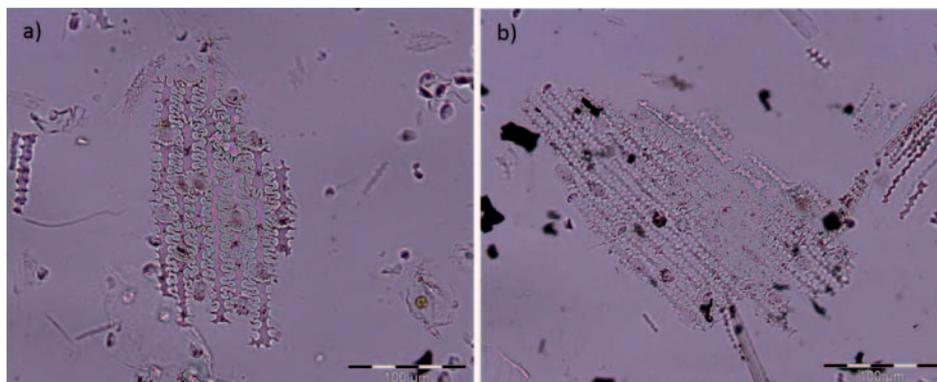


Figura 2. Microfotografías de fitolitos multicelulares de las inflorescencias de cereales levantinos, colección de referencia University College London (Portillo *et al.*, 2014) (200×). a) *Triticum dicocum*, b) *Hordeum vulgare*.

gico, ya sea en forma de productos o subproductos agrícolas o como componente de los excrementos de los animales domésticos. La integración de los estudios de fitolitos con otros microfósiles como los esferolitos fecales (partículas calcíticas) y otras evidencias directas (ácidos bílicos, concentraciones de fosfatos o microlaminación), ha permitido identificar espacios domésticos dedicados a la estabulación del ganado tanto en asentamientos al aire libre, abrigos y cuevas, como en yacimientos urbanos de arquitectura monumental, acumulaciones de material fecal en basureros, o la utilización de excrementos como combustible o material de construcción, entre otros usos (véase Matthews, 2010 y Shahack-Gross, 2011, y referencias).

Conclusiones

Los análisis de fitolitos se han convertido, en estos últimos años, en una herramienta imprescindible para reconstruir,

no solo las condiciones paleoambientales y la paleovegetación, sino también para mejorar nuestro conocimiento sobre diversos aspectos relacionados con la utilización y explotación de los recursos vegetales en el pasado. Asimismo no hay que olvidar la importante información que su estudio ofrece para comprender tanto los procesos de formación como los procesos postdeposicionales que pueden haber afectado los restos arqueológicos. En este trabajo nos hemos centrado en ofrecer ejemplos procedentes de nuestro trabajo de investigación durante los últimos veinte años. Sin embargo, no hay que olvidar que son cada vez más los grupos que se dedican a este tipo de análisis, aplicados no solo a contextos arqueológicos, sino también ambientales. Algunos ejemplos son los realizados sobre la domesticación del maíz en América (Piperno 2009; Piperno *et al.*, 2009), o para identificar la aparición en el tiempo de la familia de las gramíneas C4 (Strömberg y McNerney, 2011). Sin embargo, y a pesar de

estas aplicaciones de tan amplio espectro, todavía es mucho lo que queda por hacer y muchas preguntas a las que dar respuesta. Necesitamos seguir avanzando en varios aspectos de la investigación, los cuales incluyen la ampliación del estudio de muestras de referencia; un mayor desarrollo de los análisis morfométricos para mejorar la identificación al nivel de especie; seguir investigando las condiciones que afectan a la conservación de los fitolitos y la mayor resistencia de unos morfotipos respecto a otros; mejorar la fiabilidad en la identificación de los fitolitos quemados que permitan un mayor y mejor reconocimiento unido a la temperatura, etc.

Otros aspectos que se han tratado y que todavía son objeto de debate se relacionan con el carbón ocluido dentro de los fitolitos y que ha sido utilizado para responder a cuestiones de tipo ambiental, a partir de estudios de isótopos sobre el carbón (Hodson *et al.*, 2008; Strömberg y McInerney, 2011) o para datación de C14 (Wilding *et al.*, 1967; Piperno *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2012), estos últimos con diferentes y controvertidos resultados.

No cabe duda de que los análisis de fitolitos ofrecen un enorme potencial para resolver cuestiones de diversa índole y las investigaciones realizadas en los últimos años así lo demuestran.

Referencias bibliográficas

- ALBERT, R.M. 2007. «Identificación de restos vegetales en las capas de cenizas de Cueva Bajondillo (Torremolinos, Málaga): Los estudios de fitolitos», en CORTÉS, M. (ed.) *Cueva Bajondillo (Torremolinos). Secuencia cronocultural y paleoambiental del Cuaternario reciente en la Babía de Málaga*. Málaga: CEDMA.
- ALBERT, R.M.; CABANES, D. 2007. «Fire in prehistory: An experimental approach to combustion processes and phytolith remains». *Israel Journal of Earth Sciences* 56: 175-89.
<<http://dx.doi.org/10.1560/IJES.56.2-4.175>>
- ALBERT, R.M.; MAREAN, C. 2012. «Early *Homo Sapiens* Exploitation of Plant Resources Through The Study Of Phytoliths: A Case Study From Site Pinnacle Point 13b (South Africa)». *Geoarchaeology* 27: 363-84.
<<http://dx.doi.org/10.1002/gea.21413>>
- ALBERT, R.M.; WEINER, S. 2001. «Study of phytoliths in prehistoric ash layers using a quantitative approach», in: MEUNIER, J.D.; COLIN, F. (eds.) *Phytoliths: Applications in Earth Sciences and Human History*: 251-66. Lisse: A.A. Balkema Publishers.
- ALBERT, R.M.; BAMFORD, M.K.; CABANES, D. 2006. «Taphonomy of phytoliths and macroplants in different soils from Olduvai Gorge, Tanzania: application to Plio-Pleistocene palaeoanthropological samples». *Quaternary International* 148: 78-94.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2005.11.026>>
- ALBERT, R.M.; BAMFORD, M.K.; CABANES, D. 2009. «Palaeoecological significance of palms at Olduvai Gorge, Tanzania based on phytolith remains». *Quaternary International* 193: 41-48.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2007.06.008>>

- ALBERT, R.M.; BAMFORD, M.K.; ESTEBAN, I. 2014. «Reconstruction of ancient palm vegetation landscapes using a phytolith approach». *Quaternary International*.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2014.06.067>>
- ALBERT, R.M.; MANGADO, X.; MARTIN, A. 1997a. «Estudio sobre la conservación y disolución de fitolitos en sedimentos calcáreos. Análisis de una columna estratigráfica de la Cova del Frare (Matadepera, Barcelona)». En: PINILLA, A.; JUAN-TRESSERRAS, J.; MACHADO, M.J. (eds). *Estado actual de los estudios de fitolitos en suelos y plantas*. Monografías 4: 187-196. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- ALBERT, R.M.; CALVO, M.; MANGADO, X. 1997b. «Raw material supplies, Microwear and Phytolith analyses of the lithic industry in Level II of Cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera, Spain)». En: SCHILD, R.; SULGOSTOWSKA, Z. (eds.) *Man and Flint*: 161-66. Warszawa: Institute of Archaeology and Ethnology, Polish Academy of Sciences.
- ALBERT, R.M.; BAR-YOSEF, O.; MEIGNEN, L.; WEINER, S. 2000. «Phytoliths in the Middle Paleolithic deposits of Kebara cave, Mt. Carmel, Israel: Study of the plant materials used for fuel and other purposes». *Journal of Archaeological Science* 27: 931-47.
<<http://dx.doi.org/10.1006/jasc.2000.0507>>
- ALBERT, R.M.; BAR-YOSEF, O.; GOLDBERG, P.; MEIGNEN, L.; WEINER, S. 2003. «Phytolith and mineralogical studies of hearths from the Middle Paleolithic levels of Hayonim cave (Galilee, Israel)». *Journal of Archaeological Science* 30: 461-80.
<<http://dx.doi.org/10.1006/jasc.2002.0854>>
- ALBERT, R.M., TSATSKIN, A., RONEN, A., LAVI, O., ESTROFF, L., LEV-YADUN, S., WEINER, S. (1999). «Mode of occupation of Tabun Cave, Mt Carmel, Israel during the Mousterian Period: A study of the sediments and phytoliths». *Journal of Archaeological Science* 26: 1249-1260.
<<http://dx.doi.org/10.1006/jasc.1999.0355>>
- ALBERT, R.M.; SHAHACK-GROSS, R.; CABANES, D.; GILBOA, A.; LEV-YADUN, S.; PORTILLO, M.; SHARON, I.; WEINER, S. 2008. «Phytolith-rich layers from the Late Bronze and Iron Ages at Tel Dor (Israel): mode of formation and archaeological significance». *Journal of Archaeological Science* 35: 55- 75.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2007.02.015>>
- BALL, T.B.; GARDNER, J.S.; ANDERSON, N. 1999. «Identifying inflorescence phytoliths from selected species of wheat (*Triticum monococcum*, *T. dicoccum*, *T. dicocoides*, and *T. aestivum*) and barley (*Hordeum vulgare* and *H. spontaneum*) (Gramineae)». *American Journal of Botany* 86: 1615-23.
<<http://dx.doi.org/10.2307/2656798>>
- BAMFORD, M.K.; ALBERT, R.M.; CABANES, D. 2006. «Assessment of the Lowermost Bed II Plio-Pleistocene vegetation in the eastern palaeolake margin of Olduvai Gorge (Tanzania) and preliminary results from fossil macroplant and phytolith remains». *Quaternary International* 148: 95-112.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2005.11.027>>
- BARBONI, D.; ASHLEY, G. M.; DOMÍNGUEZ-RODRIGO, M.; BUNN, MABULLA, A.Z.P.; BAQUEDANO, E. 2010. «Phytoliths infer locally dense and heterogeneous paleovegetation at FLK North and surrounding localities during upper Bed I time, Olduvai Gorge, Tanzania». *Quaternary Research* 74: 344-54.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.yqres.2010.09.005>>
- BLUMENSCHINE, R.J.; STANISTRET, I.G.; NJAU, J.K.; BAMFORD, M.K.; MASAO, F.T.; ALBERT, R.M.; STOLLHOFEN, H.; ANDREWS, P.; PRASSACK, K.A.; MCHENRY, L.J.; FERNÁNDEZ-JALVO, Y.; CAMILLI, E.L.; EBERT, J. I. 2012. «Environments and hominin activities across the FLK Peninsula during *Zinjanthropus* times (1.84 Ma), Olduvai Gorge, Tanzania». *Journal of Human Evolution* 63: 364-83.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhevol.2011.10.001>>

- CABANES, D.; ALLUÉ, E.; VALLVERDÚ, J.; CÁCERES, I.; VAQUERO, M.; PASTÓ, I. (2007). «Hearth Functioning at Level J (50 kyr, B.P.) from Abric Romaní (Capellades, Spain): Phytoliths, charcoal, sediment, bones and stone-tools». En: MADELLA, M.; ZURRO, D. (eds.) *Plant, People and Places*. Oxford: Oxbow Books.
- CABANES, D.; BURJACHS, F.; EXPÓSITO, I.; RODRÍGUEZ, A.; ALLUE, E.; EUBA, I.; VERGES, J. M. 2009. «Formation processes through archaeobotanical remains: The case of the Bronze Age levels in El Mirador cave, Sierra de Atapuerca, Spain». *Quaternary International* 193: 160-73.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2007.08.002>>
- DEMENOCA, P.B. 2011. «Climate and Human Evolution». *Science* 311: 540-41.
<<http://dx.doi.org/10.1126/science.1190683>>
- ELBAUM, R.; WEINER, S.; ALBERT, R. M.; ELBAUM, M. 2003. «Detection of burning of plant materials in the archaeological record by changes in the refractive indices of siliceous phytoliths». *Journal of Archaeological Science* 30: 217-26.
<<http://dx.doi.org/10.1006/jasc.2002.0828>>
- HAY, R.L. 1976. *Geology of the Olduvai Gorge*. Berkeley: University of California Press.
- HENRY, A.G.; BROOKS, A.S.; PIPERNO, D.R. 2014. «Plant foods and the dietary ecology of Neanderthals and early modern humans». *Journal of Human Evolution* 69: 44-54.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhevol.2013.12.014>>
- HODSON, M. J.; PARKER, A. G.; LENG, M. J.; SLOANE, H. J. 2008. «Silicon, oxygen and carbon isotope composition of wheat (*Triticum aestivum* L.) phytoliths: implications for palaeoecology and archaeology». *Journal of Quaternary Science* 23: 331-39.
<<http://dx.doi.org/10.1002/jqs.1176>>
- KARKANAS, P.; RIGAUD, J. P.; SIMEK, J. F.; ALBERT, R. M.; WEINER, S. 2002. «Ash bones and guano: A study of the minerals and phytoliths in the sediments of Grotte-XVI, Dordogne, France». *Journal of Archaeological Science* 29: 721-32.
<<http://dx.doi.org/10.1006/jasc.2001.0742>>
- MADELLA, M.; JONES, M. K.; GOLDBERG, P.; GOREN, Y.; HOVERS, E. 2002. «The Exploitation of Plant Resources by Neanderthals in Amud Cave (Israel): The Evidence from Phytolith Studies». *Journal of Archaeological Science* 29: 703-19.
<<http://dx.doi.org/10.1006/jasc.2001.0743>>
- MATTHEWS, W. 2010. «Geoarchaeology and taphonomy of plant remains and microarchaeological residues in early urban environments in the Ancient Near East». *Quaternary International* 214: 98-113.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2009.10.019>>
- MCINERNEY, F.; STRÖMBERG, C.A.; WHITE, W.C. 2011. «The Neogene transition from C3 to C4 grasslands in North America: stable carbon isotope ratios of fossil phytoliths». *Paleobiology* 37: 23-49.
<<http://dx.doi.org/10.1666/09068.1>>
- MERCADER, J.; BENNET, T.; ESSELMONT, C.; SIMPSON, S.; WALDE, D. 2013. «Phytoliths from Middle Stone Age habitats in the Mozambican Rift (105-29ka)». *Journal of Human Evolution* 64: 328-36.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhevol.2012.10.013>>
- OLLENDORF, A.L. 1992. «Towards a classification scheme of sedge (Cyperaceae) phytoliths», in RAPP, Jr. G.; MULHOLLAND, S.C. (eds.) *Phytolith Systematics. Emerging Issues, Advances in Archaeological and Museum Science*: 91-111. Nueva York: Plenum Press.
- PERLÈS, C. 1977. *La Préhistoire du Feu*. París: Masson.
- PIPERNO, D.R. 1988. *Phytolith analysis: An Archaeological and Geological Perspective*. San Diego: Academic Press.
- 2006. *Phytoliths: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists*. Lanham: Alta-Mira Press.

- 2009. «Identifying crop plants with phytoliths (and starch grains) in Central and South America: A review and an update of the evidence». *Quaternary International* 193: 146-59. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2007.11.011>>
- PIPERNO, D. R.; ANDRES, T. C.; STOTHERT, K. E. 2000. «Phytoliths in Cucurbita and Other Neotropical Cucurbitaceae and Their Occurrence in Early Archaeological Sites From the Lowland American Tropics». *Journal of Archaeological Science* 27: 193-208. <<http://dx.doi.org/10.1006/jasc.1999.0443>>
- PIPERNO, D. R.; RANERE, A. J.; HOLST, I.; IRIARTE, J.; DICKAU, R. 2009. «Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B.P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico». *PNAS* 106: 5019-24. <<http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0812525106>>
- PORTILLO, M.; ALBERT R.M. 2014. «Early Crop Cultivation and Caprine Herding: The Evidence from Phytolith and Fecal Spherulite Studies». En: HENRY, D.O.; BEAVER, J.E. (eds.). *The Sands of Time: The Desert Neolithic Settlement at Ayn Abū Nukhayla*. 121-37. Berlín: Ex oriente.
- PORTILLO, M.; ALBERT R.M.; HENRY, D.O. 2009. «Domestic activities and spatial distribution in Ain Abū Nukhayla (Wadi Rum, Southern Jordan): The use of phytoliths and spherulites studies». *Quaternary International* 193: 174-83. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2007.06.002>>
- PORTILLO M.; BOFILL M.; MOLIST M.; ALBERT, R.M. 2013. «Phytolith and use-wear functional evidence for grinding stones from the Near East». En: ANDERSON, P.C.; CHEVAL, C.; DURAND, A. (dirs.). *Regards croisés sur les outils liés au travail des végétaux. An interdisciplinary focus on plant working tools*: 161-74. Antibes: Éd. APDCA.
- PORTILLO, M.; KADOWAKI, S.; NISHIAKI, Y.; ALBERT, R.M. 2014. «Early Neolithic household behavior at Tell Seker al-Aheimar (Upper Khabur, Syria): a comparison to ethnoarchaeological study of phytoliths and dung spherulites». *Journal of Archaeological Science* 42: 107-18. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2013.10.038>>
- ROSEN, A.M. 1992. «Preliminary identification of silica skeletons from Near Eastern archaeological sites: an anatomical approach». En: RAPP, Jr. G.; MULHOLLAND, S.C. (eds.) *Phytolith Systematics. Emerging Issues, Advances in Archaeological and Museum Science*: 129-47. Nueva York: Plenum Press.
- 2010. «Natufian plant exploitation: Managing risk and stability in an environment of change». *Eurasian Prehistory* 7: 117-31.
- ROSEN, A.M.; WEINER, S. 1994. «Identifying ancient irrigation- a new method using opaline phytoliths from Emmer Wheat». *Journal of Archaeological Science* 21: 125-32. <<http://dx.doi.org/10.1006/jasc.1994.1013>>
- SANTOS, G.M.; ALEXANDRE, A.; SOUTON, J.R.; TRESEDER, K.K.; CORBINEAU R.; REYERSON, P. 2012. «Possible source of ancient carbon in phytolith concentrates from harvested grasses». *Biogeosciences* 9: 1873-84. <<http://dx.doi.org/10.5194/bg-9-1873-2012>>
- SHAHACK-GROSS, R., 2011. «Herbivorous livestock dung: formation, taphonomy, methods for identification, and archaeological significance». *Journal of Archaeological Science* 38: 205-18. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2010.09.019>>
- STRÖMBERG, C.A.; MCINERNEY, F.A. 2011. «The Neogene transition from C₃ to C₄ grasslands in North America: assemblage analysis of fossil phytoliths». *Paleobiology* 37: 50-71. <<http://dx.doi.org/10.1666/09067.1>>
- TSARTSIDOU, G.; LEV-YADUN, S.; ALBERT, R.M.; MILLER-ROSEN, A.; EFSTRATIOU, N.; WEINER, S. 2007. «The Phytolith Archaeological Record: Strengths and Weaknesses Based on a Quantitative Modern Reference Collection from Greece». *Journal of Archaeological Science* 34: 1262-75. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2006.10.017>>

- VRBA, E.S. 1995. «On the connections between paleoclimate and evolution». En: VRBA, E.S.; DENTON, G.H.; PARTRIDGE, T.C.; BURCKLE, L.C. (eds), *Paleoclimate and Evolution with Emphasis on Human Origins*: 24-45. New Haven: Yale University Press.
- WADLEY, L.; SIEVERS, C.; BAMFORD, M.; GOLDBERG, P.; BERNA, F.; MILLER, C.H. 2011. «Middle Stone Age Bedding Construction and Settlement Patterns at Sibudu, South Africa». *Science* 334: 1388-91.
<<http://dx.doi.org/10.1126/science.1213317>>
- WEINER, S. 2010. *Microarchaeology: Beyond the Visible Archaeological Record*. Cambridge University Press.
<<http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511811210>>
- WILDING, L.P.; BROWN, R.E.; HOLOWAYCHUK, N. 1967. «Accessibility and properties of occluded carbon in biogenetic opal». *Soil Science* 103: 56-61.
<<http://dx.doi.org/10.1097/00010694-196701000-00009>>
- WOLDEGABRIEL, G.; AMBROSE, S.H.; BARBONI, D.; BONNEFILLE, R.; BREMOND, L.O.; CURRIE, B.; DEGUSTA, F.; HART, W.K.; MURRAY, A. M.; RENNE, P.R.; JOLLY-SAAD, M.C.; STEWART, K.M.; WHITE, T.D. 2009. «The Geological, Isotopic, Botanical, Invertebrate, and Lower Vertebrate Surroundings of *Ardipithecus ramidus*». *Science* 326: 651-55.
<<http://dx.doi.org/10.1126/science.1175817>>

La aplicación de los códigos Data Matrix (DM) en el registro y la catalogación arqueológica

Xavier Roda Gilabert,¹ Sofia C. Samper Carro,² Rafael Mora Torcal,¹
Paloma González Marcén,¹ Jorge Martínez Moreno¹



Recibido: 18-10-2012
Aceptado: 15-12-2012

Resumen

El registro e inventariado de los materiales arqueológicos es una parte esencial de la investigación arqueológica. Durante el trabajo de laboratorio, cada ítem es identificado individualmente. Esta tarea se realiza generalmente a mano, lo que facilita la pérdida de información debido a errores humanos. De este modo, números erróneos, ortografía ilegible o la desaparición del identificador de los artefactos son comunes. Ante la ausencia de un método fiable y duradero de marcado de los objetos, una parte importante del trabajo en los museos consiste en el re-inventariado de las colecciones. En este trabajo se presenta la utilización de los códigos Data Matrix (DM) para el catalogado del material arqueológico. Su uso en los yacimientos de Roca dels Bous y la Cova Gran de Santa Linya (Lleida, España) evidencia que la aplicación de esta técnica facilita el almacenaje y preservación de las colecciones arqueológicas.

Palabras clave: códigos Datamatrix (DM); catalogado de artefactos; gestión de colecciones; contenidos multimedia.

Resum. L'aplicació dels codis Datamatrix (DM) en el registre i catalogació arqueològica

El registre i inventari del material arqueològic es una part essencial de la recerca arqueològica. Al llarg del treball de laboratori cada objecte és identificat individualment. Aquesta tasca es realitza generalment a mà, fet que facilita la pèrdua d'informació a causa d'errors humans. D'aquesta manera números erronis, ortografia ilegible o la desaparició de l'identificador són molt comuns. Davant l'absència d'un mètode fiable de marcatge, una part important del treball als museus consisteix en el reinventariat de les col·leccions. En aquest treball es presenta la utilització dels codis Datamatrix (DM) en el catalogat del material arqueològic. El seu ús als jaciments de Roca dels Bous i la Cova Gran de Santa Linya (Lleida, Espanya) evidencia que l'aplicació d'aquesta nova tècnica facilita l'emmagatzematge i la preservació de col·leccions arqueològiques.

Paraules clau: codis Datamatrix (DM); catalogat d'artefactes; gestió de col·leccions; continguts multimèdia.

1. Centre d'Estudis del Patrimoni Arqueològic de la Prehistòria (CEPAP-UAB). Universitat Autònoma de Barcelona. Facultat de Lletres. 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès).
javier.roda@uab.cat; rafael.mora@uab.cat; paloma.gonzalez@uab.cat; jorge.martinez@uab.cat
2. College of Asia & the Pacific. H.C. Coombs Building. Department of Archaeology & Natural History. The Australian National University. 0200 ACT.
sofia.samper@anu.edu.au

Abstract. DataMatrix codes' (DM) application on the archaeological record

The recording and inventory of archaeological material is a key point in archaeology. During laboratory duties, each item is individually identified and labelled. This task is usually by hand, which facilitates the information loss due to human error. Thus wrong numbers, misspelling or id loss are common. The lack of a reliable method of marking leads to allocate most of museum tasks to the relabelling of collections. In this paper we present the application of DataMatrix (DM) codes for archaeological labelling. The application of DM in Roca dels Bous and Cova Gran Santa Linya (Lleida Spain) rockshelters has shown that this technique facilitates the storage and preservation of the archaeological collections.

Keywords: Datamatrix codes (DM); artefact labelling; collections management; multimedia contents.

RODA GILABERT, Xavier; SAMPER CARRO, Sofia C.; MORA TORCAL, Rafael; GONZÁLEZ MARCÉN, Paloma; MARTÍNEZ MORENO, J. «La aplicación de los códigos Data Matrix (DM) en el registro y la catalogación arqueológica». *Treballs d'Arqueologia*, 2014, núm. 20, p. 95-107. DOI: 10.5565/rev/tda.49

Introducción

El registro del material arqueológico es una parte esencial del trabajo en la excavación arqueológica (Renfrew & Banh, 1991; Laplace 1971). El inventariado individualizado de los objetos es una práctica habitual en las excavaciones prehistóricas, y cada vez más común en yacimientos históricos. Gracias a esta identificación singularizada, un artefacto se puede poner en relación con el resto de objetos, con la unidad arqueológica y con el yacimiento arqueológico al que pertenecen. La identificación singularizada permite contextualizar los objetos, facilitando la documentación de patrones espaciales y la identificación de los procesos de formación del yacimiento.

El marcado de los objetos arqueológicos es una tarea que tradicionalmente se ha realizado a mano, implicando una gran inversión de recursos —tiempo y trabajo— y, frecuentemente, dando

lugar a errores humanos. En los últimos años se ha ensayado la aplicación de sistemas de identificación digitales en el trabajo de campo. Entre ellos podemos citar el uso códigos de barras en yacimientos como Roc de Marsal (Dibble *et al.*, 2007) o Atapuerca (Canals y Guerra Rodríguez, 2011). Alternativamente, en este artículo presentamos una implementación tecnológica que consiste en la aplicación de los códigos Data Matrix (DM) para el catalogado del material arqueológico. Esta sistemática se ejemplifica a partir de su uso en los yacimientos de Roca dels Bous y la Cova Gran de Santa Linya (Lleida, España), en los cuales esta metodología ha sido empleada a lo largo de los últimos cinco años (Martínez-Moreno *et al.*, 2011). Esta aplicación supone una importante mejora en la gestión y catalogación del registro arqueológico, que beneficia al tratamiento de los artefactos durante las rutinas del trabajo de campo y laboratorio.

Los códigos Data Matrix (DM)

Los códigos Data Matrix (DM) fueron desarrollados en los años ochenta por RVSI Acuity Cimatrix Inc. Corporation (Nashua, US) y en la actualidad son de dominio público y están protegidos por el estándar ISO//EC16022 que garantiza su acceso libre y gratuito. Dentro de esta categoría se han desarrollado diferentes tipos de códigos, como QR-codes, Aztec codes, Semadode, idcDMatrix. (http://en.wikipedia.org/wiki/Data_Matrix). Los DM pueden contener gran cantidad de información y su uso se ha extendido a las zonas industrializadas aplicándose a la logística, el servicio postal, la industria médica o el control de calidad de pro-

ductos industriales. A esto podemos añadir su extensión al ámbito del marketing a través del uso de dispositivos móviles tales como teléfonos o tabletas.

Estos códigos tienen una estructura bidimensional que consiste en una cuadrícula de celdas que almacenan datos alfanuméricos. Habitualmente son impresos en formato cuadrado donde cada cuadro representa un bit. Este hecho los diferencia de los códigos de barras donde la información es encriptada entre el ratio de las barras y la distancia de separación de las mismas. La cantidad de información que pueden contener depende del tamaño de los mismos (tabla 1).

Tabla 1. Tamaños de los códigos DM y capacidad numérica o alfanumérica máxima que pueden contener

Tamaño	Datos	
	Númericos	Alfanuméricos
3 × 3 mm	10	6
3,5 × 3,5 mm	16	10
5 × 5 mm	34	24

Es su pequeño tamaño lo que los hace enormemente útiles en nuestra área de estudio, ya que la información con la que identificamos un objeto arqueológico se suele reducir a tres descriptores: el yacimiento, la unidad arqueológica o nivel y un número secuencial que lo individualiza de cualquier otro objeto y está relacionado con las coordenadas donde se ha recuperado. El uso de etiquetas troqueladas con todos estos tamaños nos permite elegir el del código DM en función del tama-

ño del objeto arqueológico que queremos identificar.

Los códigos DM ofrecen diferentes ventajas respecto al etiquetado tradicional o frente al uso de etiquetas de códigos de barras que son de mayor de tamaño y en muchos casos no se pueden aplicar directamente sobre el objeto, por lo que deben ser adheridas a bolsas contenedoras. Contrariamente, debido a sus reducidas dimensiones, los DM se adhieren directamente sobre la superficie del objeto, reduciéndose sustancialmente

posibles pérdidas o errores durante la manipulación de los mismos, o al intercambiar los códigos de identificación de los contenedores. Adicionalmente, la información contenida puede ser recuperada incluso si parte del código está dañado, ya que estos códigos ofrecen un sistema de restauración de errores que permite recobrar hasta un 25% de la información. Esto permite la lectura de códigos parcialmente dañados y garantiza la preservación de la información albergada en los mismos.

El catalogado de artefactos

Tradicionalmente, el catalogado se ha realizado a mano asignando al objeto arqueológico su identificador en el proceso de excavación e inventariándolo posteriormente en el laboratorio. Para el marcaje se ha utilizado tinta china, aplicada con plumilla o bien algunos tipos de tinta indeleble. Esto conlleva escribir el identificador sobre la superficie del objeto, o sobre una capa de esmalte, barniz o incluso pintura blanca (Tipp-Ex®). El marcaje a mano es un proceso repetitivo y mecánico que puede presentar múltiples errores debido a fallos en la numeración o la ilegibilidad de los caracteres. Además, está sujeto a factores como la porosidad de la pieza, el tamaño y la irregularidad de la superficie. Estos elementos afectan a la calidad del marcaje y hacen que los caracteres resulten ilegibles pasado un tiempo. La vida media de estos tipos de marcaje depende de las condiciones de almacenaje, así como de los materiales utilizados.

Como consecuencia de la falta de un procedimiento fiable de identificación de los objetos arqueológicos, una parte

importante del trabajo en museos consiste en repetir el marcaje de los mismos para prevenir la pérdida de información, especialmente en el caso de colecciones relevantes (Dibble *et al.*, 2009). La aplicación de esta nueva técnica para la identificación de los artefactos facilita el almacenaje y archivo de los restos arqueológicos.

Las infraestructuras que permiten la aplicación de este sistema son el lector de códigos, la impresora, etiquetas troqueladas, el software que las genera y el producto adhesivo (Paraloid B72) que garantiza la preservación del DM adherido a las piezas. La metodología que hemos desarrollado consta de cuatro fases:

Planificación del identificador

El software que genera las etiquetas permite introducir los atributos relevantes para el cifrado de los códigos, entre los que se encuentran: identificador del yacimiento, nivel arqueológico y número secuencial de catálogo. Estos atributos son transformados en secuencias alfanuméricas (figura 1).



Figura 1. Atributos presentes en las etiquetas troqueladas.

Estos campos están ordenados jerárquicamente de mayor a menor importancia, siendo el principal el número secuencial de catálogo que se otorga a cada objeto y cuya longitud máxima es de 6 dígitos. Este número no se puede repetir nunca dentro del mismo nivel arqueológico. El segundo atributo es el identificador de nivel y finalmente el código de yacimiento. Cada uno de estos campos cuenta con dos dígitos. La combinación de estos campos conforma series de diez dígitos, suficientes para catalogar cualquier colección independientemente de su tamaño, ya que estas cadenas alfanuméricas, al combinar cifras y letras, dentro de la secuencia multiplican exponencialmente el número de combinaciones posibles.

En función del tamaño del DM seleccionado se puede introducir una secuencia de datos de longitud variable. Así un código de $3,5 \times 3,5$ mm, permite almacenar una información máxima compuesta por una cadena alfanumérica de diez dígitos. Si se selecciona trabajar con códigos más pequeños, será preciso seleccionar los campos que se quieren incorporar en la etiqueta.

Impresión etiquetas troqueladas

Las etiquetas troqueladas están fabricadas con polipropileno, lo que ofrece una durabilidad elevada y las hace muy aptas para la impresión digital, ya que son estables en condiciones variables de temperatura y humedad. Son impresas en tinta térmica con una resolución de 300 dpi (Stevenson, 2009). Este tipo de impresión es una buena solución calidad/precio para la impresión. Actualmente, en el mercado se dispone de una amplia gama de impresoras digitales que

permiten la impresión de los códigos sobre las etiquetas troqueladas. Estas etiquetas, al estar diseñadas para este uso, facilitan enormemente el proceso de selección y manipulación de los códigos DM. Hemos de tener en cuenta que el código DM requiere que exista alrededor del mismo un espacio en blanco que facilite su lectura. Al tratarse de una precisión milimétrica, en su impresión repetimos el mismo código cuatro veces sobre cada etiqueta, por lo que el individuo que lleva a cabo el trabajo deberá seleccionar el que reúna las condiciones más precisas en su centrado. Igualmente las propias etiquetas o la resina acrílica que empleamos son fáciles de obtener en empresas especializadas en la distribución de productos de restauración, conservación y almacenaje de material arqueológico.

Adherencia del DM al artefacto

Las etiquetas son fijadas sobre las piezas mediante Paraloid B72. Esta resina acrílica, usada habitualmente en la restauración y conservación de materiales arqueológicos, ofrece una excelente fijación y conservación de los códigos DM, ofreciendo estabilidad química y resistencia a la decoloración (Koob, 1986; Horie 2005; Podany *et al.*, 2001). La resina acrílica es disuelta en componentes volátiles (acetona o alcohol), lo que facilita su aplicación y secado rápido. Son aplicadas dos capas, una directamente sobre la pieza y posteriormente otra sobre el código DM, lo que permite la fijación de la etiqueta y un buen sellado de la misma. Después de numerosos ensayos hemos establecido que una disolución del Paraloid al 20 % ofrece condiciones óptimas de secado para agilizar el proceso.

Lectura y gestión

Una cuestión importante es la recuperación de la información contenida en el código que puede realizarse por varios sistemas. El método de lectura más habitual es mediante un lector láser, que transfiere directamente los datos del código al ordenador. Este no es el único sistema, ya que pueden captarse por otros soportes digitales como cámaras de vídeo y fotográficas, o incluso cámaras de teléfonos móviles que dispongan de la aplicación que permita su lectura. En nuestro caso, el software de lectura está integrado con el programa de desarrollo propio ArqueoUAB (Mora *et al.*, 2010) que gestiona el inventario de una excavación arqueológica.

Roca del Bous y la Cova Gran de Santa Linya: cinco años de experiencia en el uso de los códigos Data Matrix (DM)

A lo largo de los últimos cinco años, el catalogado mediante códigos DM se ha aplicado de manera sistemática a los yacimientos excavados desde el Centre d'Estudis del Patrimoni Arqueològic de la Prehistòria de la Universitat Autònoma de Barcelona (CEPAP-UAB), entre ellos destacan la Roca dels Bous y la Cova Gran de Santa Linya (Lleida, España). Ambos yacimientos se sitúan en la zona de contacto entre los valles interiores del Prepirineo y la Depresión del Ebro. Este escenario sugiere que los yacimientos fueron utilizados como refugios por los últimos grupos de neandertales y los humanos modernos que habitaron esta zona. Su característica común consiste en la presencia de múltiples estructuras de combustión, junto con restos

óseos y de industria lítica. La abundancia de restos arqueológicos, muchos de pequeño tamaño (<5 mm) hace de estos dos yacimientos los lugares idóneos para evaluar la viabilidad del uso de los códigos DM en el trabajo de campo y laboratorio (Martínez-Moreno *et al.*, 2011).

Los resultados preliminares de estos estudios se han publicado en revistas especializadas y han introducido elementos de debate dentro de la comunidad científica (entre otros Mora *et al.*, 2008; Mora *et al.*, 2011; Mora *et al.*, 2012; Mora *et al.*, 2014a; Mora *et al.*, 2014b). De forma paralela al desarrollo de los trabajos de investigación básica se ha generado una intensa actividad de divulgación complementaria que, finalmente, ha cristalizado en un programa integral de difusión del patrimonio cultural vinculado a la investigación y al territorio en el cual se localizan los yacimientos (www.larocadelsbous.uab.cat; www.espaiorigens.com).

Del laboratorio al campo

El primer paso es generar diariamente las etiquetas de los códigos DM que presumiblemente serán usadas durante una jornada de trabajo de campo. A cada artefacto coordinado en el yacimiento se le asigna una etiqueta con el DM que posteriormente le será adherido en el trabajo de laboratorio. Esta rutina obedece a que en los yacimientos no se dispone de red eléctrica, por lo que las impresoras no son funcionales en el yacimiento. De hecho, aparatos como la estación total o las Personal Digital Assistant (PDA) se alimentan de baterías que se recargan diariamente en el laboratorio.

Durante la excavación el procedimiento es relativamente simple. Cuando se coordinan los artefactos, a cada uno se

les asigna una etiqueta individualizada (figura 2a). En la toma de datos del artefacto, el teodolito láser registra sus coordenadas a las que se les otorga un identificador único e irrepetible que contiene una secuencia de datos conformado por el nivel y número secuencial de catálogo (Parcerisas y Mora, 1995). Esta secuencia alfanumérica es la misma que está impresa en la etiqueta del código Data Matrix. Una vez tomada la posición del artefacto, se introduce en una bolsa de plástico individualizada con su etiqueta correspondiente. Este proceso se agiliza mediante la impresión previa de las etiquetas.

El uso de Personal Digital Assistant (PDA) como cuaderno de campo permite tener un control de los objetos recuperados en campo, ya sean restos líticos, huesos, carbones o semillas, al recoger datos cuantitativos y atributos que califiquen la contextualización de un artefacto. Las PDA contienen la misma secuencia de códigos que identifica al objeto, por

lo que es poco probable que se cometa un error en la identificación individualizada del artefacto (Mora *et al.*, 2010). Este procedimiento implica que, antes de coordinar un artefacto, se ha verificado tres veces la correspondencia entre objeto y código que lo identifica. En primer lugar, la asignación del número secuencial para cada objeto mediante el código DM y posteriormente, la verificación de este número en la estación total y la PDA que ejercen la función de hojas de campo. Este proceso reduce la posibilidad de que se intercambien etiquetas.

Posteriormente, en el laboratorio se vacían los datos del teodolito láser en el ordenador, incorporándolos diariamente a la base de datos. Igualmente, la información que contiene la PDA se vuelca directamente sobre la base de datos, permitiendo la combinación de los datos referidos con la posición espacial y los datos contextuales de cada coordenado recuperado en la excavación (Mora *et al.*, 2001; Mora *et al.*, 2010).

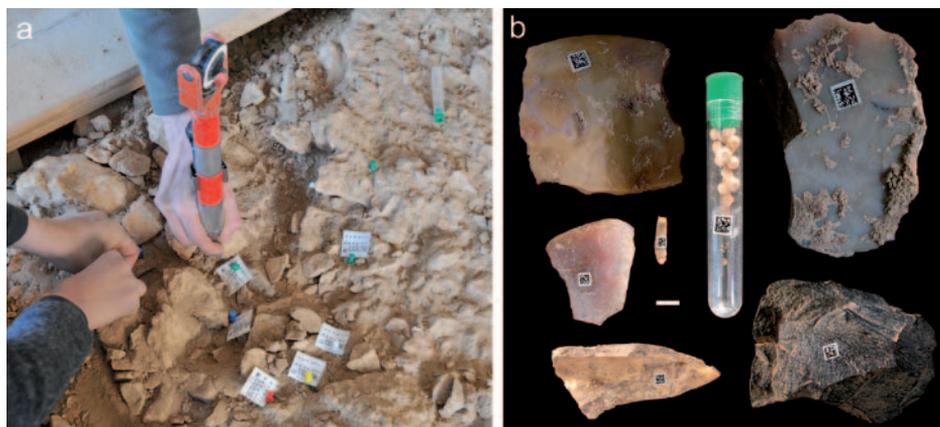


Figura 2. Uso de las etiquetas Data Matrix durante el trabajo de campo. a) Serie de etiquetas junto a piezas en proceso de documentación; b) Ejemplo de piezas sigladas mediante códigos DM.

Paralelamente, los artefactos son sometidos a tratamientos de limpieza habituales por métodos no agresivos. Una vez limpios, se aplica la primera capa de Paraloid que será la base en la que se colocará el código DM (figura 2b). Cada etiqueta contiene distintos tamaños de códigos y los ejemplares de cada fila contienen la misma información. La elección del tamaño de código se realiza en función de las características del artefacto, especialmente de su tamaño. Al disponer en cada fila de varios códigos, se selecciona aquel que esté mejor centrado dentro del troquelado de la etiqueta. El código se separa de la etiqueta y se adhiere sobre la superficie de la primera capa, y posteriormente se repasa con una segunda capa de Paraloid para proteger la etiqueta.

Hemos señalado que el secado de esta resina es muy rápido, por lo que la pieza puede ser identificada de forma

inmediata y segura por medio de la lectura del código DM con el lector láser, al mismo tiempo que es reconocida por la base de datos (figura 3a). Así pueden introducirse otros atributos que no se han registrado durante la excavación, como el peso, la métrica y otras informaciones referidas a su estado de conservación, alteraciones tafonómicas, y en general cualquier atributo de análisis incluido en la base de datos. Esta información permite completar el inventario diario de materiales recuperados en el trabajo de campo (figura 3b).

Valoración y problemáticas

A lo largo de las últimas campañas de excavación se han catalogado varios miles de piezas usando los DM. A modo de ejemplo, incluimos un gráfico donde se presenta el recuento de las piezas recuperadas en ambos yacimientos (figura 4). En ambos casos la totalidad de las piezas

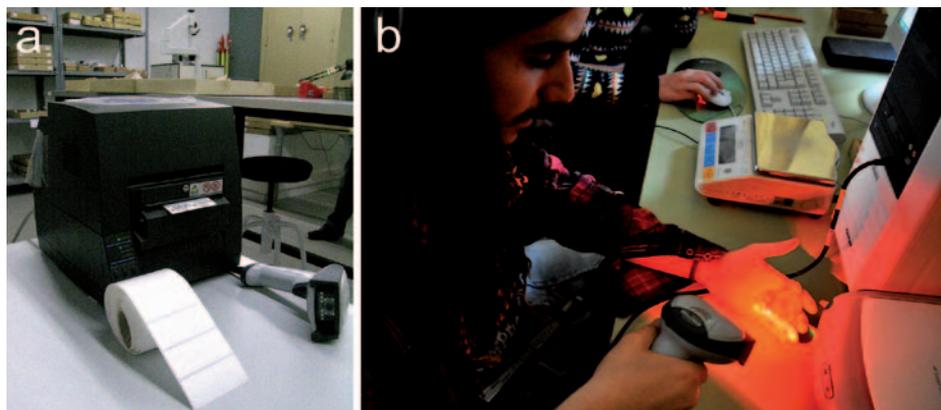


Figura 3. Gestión de las etiquetas Data Matrix en el trabajo de laboratorio. a) dispositivos usados para la impresión y lectura de las etiquetas troqueladas; b) lectura de los códigos en el proceso de inventariado en la base de datos.

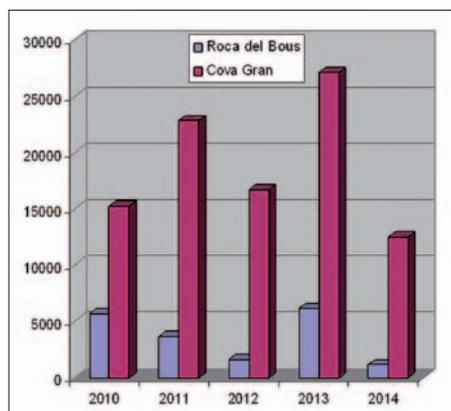


Figura 4. Gráfico con el recuento de las piezas recuperadas en los yacimientos de Roca del Bous y la Cova Gran desde la implantación de los códigos DM.

extraídas fueron identificadas a lo largo de la campaña de excavación dedicando entre dos y tres horas de trabajo de laboratorio diarias.

En ambos yacimientos se han observado cambios en las dinámicas de trabajo que afectan a la productividad y la calidad de los resultados obtenidos en el catalogado. Entre ellos podemos citar una reducción del tiempo empleado en el inventariado, junto con una disminución del personal requerido para el marcaje de los mismos. Por lo tanto, este método es capaz de agilizar el proceso reduciendo además los errores asociados al mismo. En estos momentos las siglas erróneas o pérdidas de información se estiman en porcentajes inferiores al 1%. El porcentaje de errores detectados a lo largo del proceso es minimizado con la revisión sistemática de las piezas. Entre los problemas observados podemos destacar: códigos descentrados (figura 5a), mal adheridos (figura 5c); aparición de

burbujas en el Paraloid dificultando la lectura del código (figura 5b), o descamación de la resina (figura 5d). La mayoría de estos problemas tiene su origen en un mal estado del Paraloid aplicado sobre las piezas. Esto es debido a la acumulación de partículas de sedimento en el interior del dispensador o a la evaporación de la acetona por una exposición aeróbica excesiva de la resina. La solución a estos problemas es sencilla y se limita a un control diario del estado del Paraloid, que en condiciones óptimas debe presentar una textura acuosa, y en la aplicación correcta de los DM en cada uno de los pasos del proceso de etiquetado.

Discusión

Los códigos Data Matrix son una herramienta útil para la gestión de los objetos arqueológicos tanto en el trabajo de campo como en el de gabinete. Además, la introducción de esta tecnología en los museos puede cambiar la forma en la que se gestiona el mantenimiento y conservación de las colecciones.

El objeto arqueológico ha de ser tratado como una entidad a la que se asocia una posición georreferenciada en el espacio y una información contextual. A todo ello se accede a través de su identificador, que es único en la unidad arqueológica a la que se adscribe. El uso de los códigos DM nos permite acceder a la información rápidamente en cualquier momento del proceso del trabajo, ya que la digitalización de la información es algo recurrente hoy día.

En esta valoración debe indicarse que estos sistemas digitales no están sometidos a errores habituales en el marcaje manual,

en el que no son raros fallos que conllevan la pérdida irreversible de información contextual (Dibble y Mc Pherron, 1998). En la actualidad el uso de los códigos DM se está extendiendo a diferentes ámbitos del patrimonio y la arqueología. Entre ellos podemos citar grupos de investigación como Sustainable Archaeology de

Canadá, que ha implementado el uso de códigos para la gestión de colecciones arqueológicas (Bathurst y Westby, 2013) o el yacimiento de época histórica del Cástulo (Linares, Jaén) (www.estudiospatrimoniales.es).

Otra cuestión pertinente es indicar si la migración desde los sistemas tradicio-

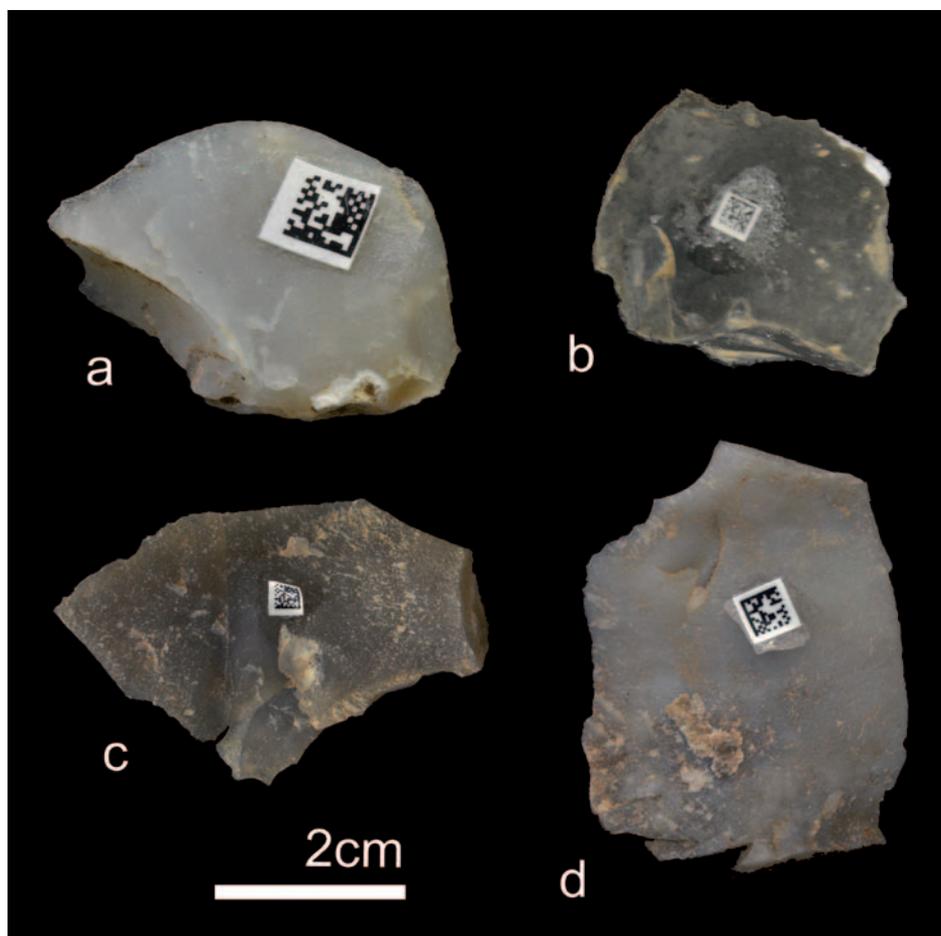


Figura 5. Problemáticas derivadas de la implantación de los códigos Data Matrix. a) códigos des-centrados; b) aparición de burbuja; c) mal adheridos; d) descamación de la resina.

nales de catalogado hacia métodos digitales como los códigos DM es rentable. Esta implementación tecnológica supone una mejora significativa al superar deficiencias derivadas del marcaje manual. Por otro lado, su puesta en práctica supone una inversión económica en la compra de aparatos como lectores láser o impresoras que actualmente no es excesivamente gravosa. El proceso de lectura del código se realiza de forma mecánica mediante lectores láser o aplicaciones gratuitas disponibles para dispositivos móviles.

En lo referido a otras aplicaciones de los DM en la gestión del patrimonio arqueológico, queremos destacar su utilidad en la organización de exposiciones. Los restos originales o réplicas expuestos pueden ser identificados con códigos DM y vinculados a contenidos multimedia. La implementación de sistemas de códigos facilita la creación de contenidos interactivos mediante los cuales el público general puede manipular material arqueológico marcado con códigos DM y ofrecen una herramienta para la difusión del conocimiento a audiencias juveniles, acostumbradas al uso de este tipo de implementos. Los visitantes, mediante la lectura de los códigos, acceden a vídeos, audios u otro tipo de soportes, usando varios tipos de dispositivos de uso cotidiano en la sociedad actual (por ejemplo, tabletas digitales, teléfonos inteligentes, PDA) que implican que los museos no deben hacer una inversión en dispositi-

vos para la lectura de códigos (Farina *et al.*, 2014).

Conclusión

Los resultados obtenidos a lo largo de los últimos cinco años en los yacimientos de Roca dels Bous y la Cova Gran de Santa Linya subrayan una serie de ventajas en el uso de códigos DM para el catalogado de los restos arqueológicos:

- Fiabilidad en la impresión digital de las etiquetas troqueladas que evita el error humano.
- Reducción del tiempo empleado en el inventariado a la vez que se minimizan los errores derivados del mismo.
- Aumento en la productividad y efectividad del proceso de etiquetado que superan el coste económico de las infraestructuras necesarias.
- Durabilidad de los códigos y de la resina acrílica utilizada (Paraloid B72), que hace que este sistema sea óptimo para la gestión y el mantenimiento de grandes colecciones.
- Rapidez en la recuperación de la información contenida en el código que agiliza la manipulación de los objetos.

Bajo esta perspectiva, los códigos DM suponen un importante avance, y deben considerarse una alternativa en la gestión y catalogación de colecciones depositadas en fondos de museos y almacenes arqueológicos.

Agradecimientos

Los trabajos de campo han sido subvencionados por el Servei d'Arqueologia i Paleontologia de la Generalitat de Catalunya. Las investigaciones en la Cova Gran y la Roca dels Bous forman parte del proyecto «Poblamiento humano durante el pleistoceno final e inicios del holoceno en el sureste de los Pirineos (HAR2010-15002, HAR2013-42338)» y del grupo de investigación 2014SGR-0084. Xavier Roda Gilabert es beneficiario de la ayuda FPI-MINECO (BES-2011-045180). Sofia C. Samper Carro es beneficiaria de una beca predoctoral dentro del programa Australian Research Council's Laureate Fellowship (FL120100156).

Referencias bibliográficas

- BATHURST, R.R.; WESTBY, K. 2013. *Digital tools for archaeological collections and inventory management*. Poster presented at the annual meeting of the Society for American Archaeology, Honolulu, HI.
- CANALS, A.; GUERRA RODRÍGUEZ, D. 2011. «Yacimientos arqueológicos de la Sierra de Atapuerca: Un sistema inalámbrico y computerizado de registro de datos de campo». *Virtual Archaeological Review* 2(4): 147-50.
- DESIGN, C.B. 2010. *Technical data sheet Paraloid® B72 Fixative (SY7F)*.
- DIBBLE, H.; MCPHERRON, S. 1998. «On the computerization of archaeological projects», *Journal of Field Archaeology* 15, 431-40.
<<http://dx.doi.org/10.2307/1530045>>
- DIBBLE, H.L.; MAREAN, C.W.; MCPHERRON, S.P. 2007. «The use of barcodes in excavation projects». *The SAA Archaeological Record* 7, 33-38.
- DIBBLE, H.; MCPHERRON, S.; SANDGATHE, D.; GOLDBERG, P.; TURQ, A.; LENOIR, M. 2009. «Context, curation, and bias: an evaluation of the Middle Paleolithic collections of Combe-Grenal (France)». *Journal of Archaeological Science* 36, 2540-2550.
- FARINA, S.; PAGANUCCI, S.; LANDINI, W. 2011. «Data Matrix Codes: Esperimental use in a Museum Exhibition». *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem. Serie B*, 118: 75-80.
- KOOB, S. 1986. «The use of Paraloid B-72 as an adhesive: its application for archaeological ceramics and other materials». *Studies in Conservation* 31, 7-14.
<<http://dx.doi.org/10.1179/sic.1986.31.1.7>>
- HORIE, C. 2005. *Materials for Conservation. Organic Consolidants, Adhesives and Coatings*, Elsevier.
- LAPLACE, G. 1971. «De l'application des coordonnées à la fouille stratigraphique». *Munibe (Antropología y Arqueología)* 2-3: 19-71.
- MARTÍNEZ-MORENO, J. I.; DE LA TORRE, R.; MORA, R.; CASANOVA, J. 2010. «Technical variability and changes in the pattern of settlement at Roca dels Bous (Southeastern Prepyrenees, Spain)», 1-23.
- MORA, R.; PARCERISAS, J.; MARTÍNEZ, J. 2001. «Computer-based recording systems of Pleistocene deposits with large mammals». En: CAVARRETTA, G.; GIOIA, P.; MUSSI, M.; PALOMBO, M.R. (Eds.), *The World of Elephants*, Roma, 219-23.

- MORA, R.; MARTÍNEZ-MORENO, J.; CASANOVA, J. 2008. «Abordando la noción de “variabilidad musteriense” en Roca dels Bous (Prepirineo suroriental, Lleida)». *Trabajos de Prehistoria* 65, 13-28.
- MORA TORCAL, R. A.; BENITO-CALVO, J.; MARTÍNEZ-MORENO, I.; DE LA TORRE, S.; VEGA BOLÍVAR, M.; ROY, X.; RODA GILABERT, A.; SAMPER, S. 2014. «Una secuencia clave en la Prehistoria del Mediterráneo Occidental: Cova Gran de Santa Linya (Prepirineo de Lleida)». En: SALA RAMOS, R.; CARBONELL, E.; BERMÚDEZ DE CASTRO, J. M.; ARSUAGA, J. L. *Los cazadores recolectores del Pleistoceno y del Holoceno en Iberia y el estrecho de Gibraltar. Estado actual del conocimiento del registro arqueológico*. Burgos: Universidad de Burgos/Fundación Atapuerca, 162-66.
- MORA TORCAL, R.; MARTÍNEZ-MORENO, J.; BENITO CALVO, A.; ROY SUNYER, M.; RODA GILABERT, X.; CASANOVA MARTÍ, J.; TORRESÁINZ, I. D. L. 2012. «Roca dels Bous y Cova Gran: historias en torno a dos abrigos musterienses del Prepirineo de Lleida». En: FULLOLA PERICOT, J.M.; FERRER PALMA, J. E. *Neanderthales en Iberia: Últimos avances en la investigación del Paleolítico Medio Ibérico*. Málaga: Servicio de Publicaciones/Centro de Ediciones de la Diputación de Málaga. XXXIII: 101-126.
- MORA, R.; BENITO-CALVO, A.; MARTÍNEZ-MORENO, J.; GONZALEZ MARCEN, P.; DE LA TORRE, I. 2011. «Chrono-stratigraphy of the Upper Pleistocene and Holocene archaeological sequence in Cova Gran (south-eastern Pre-Pyrenees, Iberian Peninsula)». *Journal of Quaternary Science* 26(6): 635-44.
<<http://dx.doi.org/10.1002/jqs.1486>>
- MORA, R.; MARTÍNEZ-MORENO, J.; DE LA TORRE, I. 2010. «ArqueoUAB: a systematic archaeographic for the analysis of Palaeolithic sites». En: MELERO, P.; CANO, P.; REVELLES, J. (Ed.), *Fusion of cultures*, Granada, Spain, April 6-9, 2010, 125-28.
- MORA, R.; MARTÍNEZ-MORENO, J.; RODA GILABERT, X.; DE LA TORRE, I.; BENITO-CALVO, A.; ROY, M.; SAMPER, S.; VEGA, S.; PIZARRO, J.; PLASENCIA, J. 2014. «El yacimiento Musteriense de la Roca dels Bous (Prepirineo de Lleida)». En: SALA RAMOS, R.; CARBONELL, E.; BERMÚDEZ DE CASTRO, J. M.; ARSUAGA, J. L. *Los cazadores recolectores del Pleistoceno y del Holoceno en Iberia y el estrecho de Gibraltar. Estado actual del conocimiento del registro arqueológico*. Burgos: Universidad de Burgos/Fundación Atapuerca: 159-62.
- MARTÍNEZ-MORENO, J.; GONZÁLEZ MARCÉN, P.; MORA TORCAL, R. 2011. «Data matrix (DM) codes: A technological process for the management of the archaeological record». *Journal of Cultural Heritage* 12(2): 134-39.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2010.10.001>>
- PARCERISAS, J.; MORA, R. 1995. «La estación total inteligente y sus aplicaciones en el trabajo arqueológico». En: VALDÉS, L.A., I.; PUJUANA, I. (Ed.). *Aplicaciones informáticas en Arqueología: teorías, y sistemas*. Bilbao, 409-17.
- PODANY, J.; GARLAND, K.M.; FREEMAN, E.R.; ROGERS, J. 2001. «Paraloid B-72 as a structural adhesive and as a barrier within structural adhesive bonds: evaluations of strength and reversibility». *Journal of the American Institute for Conservation* 40, 15-33.
<<http://dx.doi.org/10.1179/019713601806113120>>
- RENFREW, C.; BAHN, P. 1991. *Archaeology. Theories, methods and practice*. Londres: Thames and Hudson Ltd.
- STEVENSON, R. 2005. *Láser Marking Matrix Codes on PCBs Printed Circuit Design and Manufacture*.
- WIKIPEDIA. 2014. *Data Matrix*.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Data_Matrix>

TREBALLS d'ARQUEOLOGIA

Núm. 20, 2014, ISSN 2339-6490 (en línia)

<http://revistes.uab.cat/treballsarqueologia>

Métodos y técnicas para la recuperación del registro arqueológico: una mirada desde el presente

- 3 Métodos y técnicas para la recuperación del registro arqueológico: una mirada desde el presente.
- 7 Métodos de excavación: del trabajo de campo a la interpretación arqueológica.
- 21 Archaeological fieldwork techniques in Stone Age sites. Some case studies.
- 41 Conceptos básicos y métodos en geoarqueología: geomorfología, estratigrafía y sedimentología.
- 55 Verificando la integridad del registro arqueológico: análisis de fábricas en las unidades arqueológicas del paleolítico medio/superior de la Cova Gran (Santa Linya, Lleida).
- 79 Aportaciones de los estudios de fitolitos en la prehistoria: formación, metodología y casos de estudio.
- 95 La aplicación de los códigos Data Matrix (DM) en el registro y la catalogación arqueológica.