

Registro tridimensional acumulativo de la secuencia estratigráfica. Fotogrametría y SIG en la intervención arqueológica de lo Boligni (Alacant)

Ana M^a Charquero Ballester¹ y Jordi A. López Lillo²

¹ Máster en Arqueología Profesional. Universitat d'Alacant. España

² Becario de Investigación, Área de Arqueología. Universitat d'Alacant. España

Resumen

En el siguiente trabajo se presenta, a través de la experiencia de su puesta en práctica en el sitio arqueológico de lo Boligni, una metodología de registro estratigráfico que ha permitido, en base a pares estereoscópicos de fotografías cenitales, digitalizar superficies interfaciales por renderización de nubes de puntos de alta densidad a medida que avanzaba la excavación, para obtener, finalmente, un Modelo Tridimensional Acumulativo (MTA) de la secuencia estratigráfica. Se expone cómo la recuperación masiva de datos volumétricos gracias a unas herramientas digitales relativamente sencillas y asequibles ha supuesto para dicha intervención, y con su integración en entornos CAD y SIG, nuevas posibilidades en el tratamiento cotidiano de la información arqueológica.

Palabras Clave: METODOLOGÍA, REGISTRO ARQUEOLÓGICO, ESTRATIGRAFÍA, FOTOGRAMETRÍA DIGITAL, SIG

Abstract

In this paper a stratigraphic recording methodology is presented after a practical experience at the lo Boligni archaeological site. This experience has allowed, on the basis of cenital stereo-photo pairs, the digitalization of interfacial surfaces through high density point clouds renderization as the excavation went on, in order to obtain a Three-dimensional Cumulative Model (TCM) of the stratigraphical sequence. It will be exposed the way some easy and affordable digital tools are used at the excavation in order to achieve a massive data recovery, and how their integration in CAD and GIS environments opens new possibilities for the everyday archaeological information treatment.

Key words: METHODOLOGY, ARCHAEOLOGICAL RECORD, STRATIGRAPHY, DIGITAL PHOTOGRAMMETRY, GIS

Since each value and description of 3d graphic entity is not sufficient for a proper evaluation of archaeological record it is necessary to obtain and build 3d features inside a more sophisticated system.

Cattani, Fiorini y Rondelli, 2004

1. Introducción: contexto y objetivo

El objetivo de nuestra comunicación es el de aportar una propuesta metodológica para el registro arqueológico en campo basada en la fotogrametría digital terrestre y alternativa al dibujo técnico realizado por medios tradicionales, presentada a partir de las experiencias de su puesta en práctica experimental durante la intervención realizada en lo Boligni (Alacant) en diciembre de 2010³. Una propuesta abierta, ya

que no se pretende definir un modelo cerrado de actuación sino, precisamente, llamar la atención sobre las posibilidades de ciertas herramientas digitales, de manejo relativamente sencillo y bajo coste, que permiten la recuperación de un gran volumen de datos no sólo interesantes desde el punto de vista de la gestión técnica de la información arqueológica y la difusión de estos conocimientos, sino también en lo que supone para la investigación y el análisis, para la generación de nueva información a partir de ella.

2. Algunas reflexiones teóricas y experiencias previas

La fotogrametría como instrumento en arqueología

Como se ha dicho, para la documentación del sitio arqueológico de lo Boligni se ha empleado la fotogrametría digital terrestre de bajo

forma general, y más concretamente enfocada como una herramienta potencialmente de uso cotidiano en las intervenciones de campo; del otro, un proyecto centrado en el estudio arqueológico de un proceso productivo cuyo único resto material documentado es una serie de hornos dispersos en el campo alicantino, subvencionado mediante una ayuda a la investigación concedida por el Instituto Alicantino de Cultura "Juan Gil-Albert" y del cual formó parte la excavación de varias de estas estructuras en lo Boligni.

³ En esta intervención han confluído los intereses de diversos proyectos. De un lado, un Trabajo de Investigación Tutelado en el marco del Máster en Arqueología Profesional de la Universitat d'Alacant, dirigido por el dr. Jaime Molina Vidal y cuyo fin es la valoración de las aplicaciones de la fotogrametría digital terrestre en Arqueología, de

coste, concretamente la técnica fundamentada en la toma de pares estereoscópicos cenitales como base para la restitución digital de los elementos registrados. La fotogrametría como instrumento de representación gráfica se viene aplicando en arqueología ya desde la fase analógica de la misma, es decir, con técnicas de fotografía y restitución estereoscópica tradicional anterior a la implementación de dispositivos digitales (ALMAGRO, 1988; 2004: 58-98). Sin embargo, ha sido con el desarrollo de las nuevas tecnologías, especialmente en lo referido a la fotogrametría arquitectónica, cuando tanto el abaratamiento de las herramientas como la codificación informática del proceso han comenzado a hacerlos asequibles a cualquier profesional (SANTA CRUZ, 2003: 34) lo cual, paralelamente, ha supuesto también un aumento en el número de proyectos arqueológicos en los que se ha experimentado con la aplicación de la fotogrametría digital (cf. CABALLERO et al., 1996; ANTONIANZAS et al., 2003; CATTANI et al., 2004; FIORINI, 2008).

Desde nuestra óptica, la línea de aplicación más prometedora surgida de la trabazón entre fotogrametría y arqueología es la que toma la estratigrafía como objeto del registro fotogramétrico, en tanto que esta técnica se puede acomodar perfectamente y con resultados muy interesantes, como veremos, al llamado “método Harris” de excavación empleado de forma mayoritaria en los trabajos arqueológicos a día de hoy (CABALLERO, 2006: 92).

Sobre el registro de la estratigrafía arqueológica

De acuerdo con la necesidad de un modo de registro que se adapte a una realidad tridimensional en constante cambio a causa de la excavación secuencial de las superficies del mismo –y por tanto de la destrucción del objeto de análisis–, es obligado documentar en el momento cada uno de los elementos estratigráficos (CARANDINI, 1977); recogiendo esta idea, y para satisfacer la posterior necesidad de acceder a la información espacial una vez el contenido del espacio físico haya desaparecido, se propuso en la intervención de lo Boligni una restitución digital de la forma y extensión tridimensional de las capas de dicho espacio, materializada en un Modelo Tridimensional Acumulativo (MTA) como documentación analítica de las unidades estratigráficas y recomposición virtual tridimensional de la realidad destruida.

El concepto de MTA consiste, por tanto, en las superficies digitalmente reconstruidas, situadas en un espacio tridimensional ensamblado a partir de datos topográficos, en el cual quede perfectamente reflejada la relación física entre las unidades estratigráficas de una excavación. Cabe recordar, preventivamente y por sus posteriores implicaciones, que lo que se registra fotogramétricamente son los interfaces de contacto entre UEs –sus superficies superiores, por así decirlo– y no el volumen de las mismas, es decir: el estrato en sí, que se haya comprendido entre dicha superficie y la de los estratos a los que éste cubre; una circunstancia que, de hecho, obviamente se da también en el dibujo técnico tradicional (CARANDINI, 1997). En base a lo dicho se entiende que el objetivo del proceso y del MTA es el de lograr una recuperación secuencial de las entidades estratigráficas y, finalmente, una reconstrucción topográfica de la excavación en cada una de sus fases (HARRIS, 1979).

A pesar de que no se ha difundido su uso y en absoluto se trata de un modo de registro empleado comúnmente en arqueología, lo cierto es que sí se han dado ejemplos previos similares a la propuesta que hemos dado en llamar MTA (cf. GRAU, 2006). Éste es el caso de la intervención en Sta. M^a de Melque, donde ya en 1996 (CABALLERO et al.) se utilizó la fotogrametría analógica para la restitución de las plantas de contexto excavadas, representadas

posteriormente de forma diacrónica a partir del dibujo vectorial tridimensional en CAD de cada una de ellas. Por otro lado, por ejemplo, se puede señalar cómo en 2004 (CATAN et al.) la información del sitio arqueológico de Montale, registrada con un equipo digital que aunaba SIG y datos obtenidos por Estación Total y fotografías digitales cenitales, fue empleada en un estudio comparativo entre la modelización de los estratos de la excavación mediante voxelización y mediante vectorización. El punto fundamental es la premisa asumida en ambas experiencias y por la cual se entiende que la técnica de excavación estratigráfica da lugar a un complejo conjunto de información tridimensional que requiere un sistema de representación capaz de reproducir lo más completamente dicha complejidad.

3. La excavación de lo Boligni: un ejemplo práctico para una propuesta metodológica

Especificaciones técnicas del equipo utilizado

Atendiendo a que una de las características que consideramos más atractiva de la metodología de registro empleada en nuestra intervención arqueológica es, precisamente, su asequibilidad, hemos considerado fundamental referir unos instrumentos la mayor parte de los cuales, como se verá, de hecho se encuentran usualmente ya en gran parte de los equipos de trabajo.

Así sucede con las cámaras digitales, empleando en nuestro caso una Canon EOS 1000D con un objetivo *zoom* situado a una distancia focal fija de 18 mm. La elección de este modelo en concreto se fundamentó en su disponibilidad de la opción *live view*, por lo demás cada vez más implantada en las cámaras reflex de todas las gamas. Los parámetros internos de la combinación de su sensor y su distancia focal, premisa básica en fotogrametría con el fin de “orientar” las fotografías dentro del *software* utilizado, eran conocidos gracias a una calibración previamente realizada para la cual, teniendo en cuenta la distancia a la que iban a ser realizadas las tomas, se construyó una rejilla de aproximadamente 5 x 5 m, tratando de reproducir en la calibración las condiciones más parecidas a las que encontraríamos en campo.

El sistema de elevación consistió en una pértiga extensible de fibra de vidrio desde cuyo extremo, adaptado para recibir una rótula de fotografía, se cableó la cámara a un dispositivo LCD en tierra que permitía controlar la imagen en tiempo real, facilitando el encuadre correcto de la toma antes de disparar por control remoto (Fig. 1). Finalmente, completaba el equipo en campo una Estación Total, de la cual sólo se dispuso unos días, y un nivel topográfico convencional.

Por su parte, tampoco el *hardware* informático en el cual se procesó, restituyó, editó y gestionó toda la información escapa a la normalidad, estando compuesto por dos PCs portátiles comunes cuyos procesadores de doble núcleo, tarjetas gráficas dedicadas, memoria RAM y otras especificaciones corresponden a ordenadores de gama media y son suficientes para soportar el *software* empleado.

Estrategia seguida en campo

La obtención de la información en campo requerida para la restitución digital del MTA obligó a planificar una estrategia de excavación que resolviera las siguientes cuestiones:

- 1) delimitación y división de la excavación en unidades de registro documentables con los medios con los que se contaba;
- 2) condicionantes derivados de la técnica de excavación arqueológica, es decir: de un área a documentar en constante cambio;
- 3) procedimiento que se ha de seguir en campo para combinar y optimizar la obtención de información fotogramétrica y topográfica de forma simultánea.



Fig. 1. Fotografado cenital de un cuadrante en el corte abierto en Foia Casans 2 durante los trabajos de campo

Para resolver la primera cuestión –siempre teniendo en cuenta que es la solución que se aplicó en este caso concreto– se dividieron los dos sectores de la excavación en cuadrantes de 3 x 3 m, marcada su división físicamente mediante las piquetas y cintas usuales en la delimitación de los cortes. La elección de dichas dimensiones responde al área que nuestra cámara fotográfica elevada unos 5 m del suelo y con una distancia focal de 18 mm era capaz de captar sin dificultad. Con estas especificaciones, se abrieron dos sectores con una superficie de 6 x 9 m para Foia Casans 2-corte A, correspondiente a seis cuadrantes, y 3 x 6 m en Les Índies-corte B (Fig. 2), correspondiente a dos. Es necesario señalar, asimismo, que la división en cuadrantes del corte no afectó al desarrollo de la excavación, secuencial y en área abierta, teniendo que entender la disociación entre las unidades de registro fotogramétrico (cuadrantes) y las unidades de excavación (todo el corte, simultáneamente); tampoco afectará, como veremos, a la recomposición digital de la totalidad de la superficie del corte de excavación mediante el ensamblado de los diferentes cuadrantes.

El condicionante derivado del carácter cambiante del área excavada intrínseco a la naturaleza del método arqueológico se solventó creando un sistema de puntos jerarquizados: en primer lugar “fijos”, situados espacialmente en el extremo superior de las piquetas que delimitaban los cuadrantes, que permanecieron invariables a medida que avanzaba la excavación; a ellos se le añadía una serie de puntos “semi-flotantes” ubicados en este caso en torno de lo que se consideraron estructuras que no iban a verse afectadas por la excavación; y, finalmente, varias series de puntos “flotantes” distribuidos por la superficie de los estratos, como apoyo en el proceso de orientación fotogramétrica y cuya cota quedaba documentada topográficamente; una vez registrados, esta última serie de puntos era retirada. La coincidencia de los puntos de control (fijos, flotantes y semi-flotantes) situados para ayudar al proceso de restitución fotogramétrica con los puntos registrados bien por la Estación Total bien por el nivel, permitió solventar también el condicionante de la toma simultánea de dos tipos de información en campo (*vid. infra*, nota 2).

En resumidas cuentas, el procedimiento en campo fue el siguiente: situados los puntos de control permanentes desde el principio de la intervención y los semi-flotantes según se aislaban estructuras u otros hitos de características similares, con la aparición de un nuevo estrato se procedía a situar los puntos flotantes. Se realizaban los pares de fotografías y se anotaban los datos de los puntos comprendidos en ellas en croquis, incluyendo altimetría, tipo de punto, unidad estratigráfica sobre la que se situaba, fecha, etc.; tras esto, se retiraban los puntos flotantes y se continuaba con la excavación de la siguiente unidad para repetir el proceso cada vez que se alcanzaba un cambio de estratigráfico.



Fig. 2. Vista general de los sectores Foia Casans 2 (arriba) y Les Índies (abajo); nótese la presencia de los puntos fijos, en rojo, delimitando los márgenes de cada cuadrante

4. Reconstruyendo la realidad: datos, procesamiento y posibilidades de la propuesta

Datos brutos y datos primarios

De los trabajos en campo se van a obtener dos conjuntos de “datos digitales en bruto” (Fig. 3). Por un lado, la información topográfica tomada con Estación Total, en una única serie y correspondiente a los puntos fijos y semi-flotantes conservados al finalizar la excavación, las cotas cero de ambos cortes, las bases de estacionamiento desde donde se capturaron los datos, y diferentes puntos cuyas coordenadas geográficas absolutas eran conocidas y posteriormente valdrían para georreferenciar todo el registro digital, como veremos⁴. Del otro, los pares de fotografías cenitales que, tras su correspondiente procesamiento en un *software* para fotogrametría, tendrían en lo que hemos dado en llamar “datos primarios”: los modelos tridimensionales de la superficie de cada cuadrante en cada fase de excavación, y sus correspondientes ortofotografías. Si bien no parece necesario abundar en detalles técnicos sobre esta fase del proceso, puramente informático, sí que hay que señalar, sobre los productos obtenidos, el hecho de habernos visto obligados utilizar también separadamente la información fotográfica en una proyección bidimensional rectificada para hacerla métrica (ortofotografías), y la tridimensional (modelos), a pesar de que los modelos se podían presentar texturizados con las correspondientes fotografías en una virtualización completa de la realidad (Fig. 4).

Operar de esta manera responde a los problemas de incompatibilidad de formatos surgidos a la hora de verter la información de un entorno de trabajo a otros, que en ocasiones se han tenido que solucionar transfiriendo los datos en una forma más básica que la que era capaz de alcanzar el *software* de procesamiento primario, para desde ahí repetir algunos procesos y acabar reensamblando nuevamente toda la información. Éste ha sido el caso de la integración en SIG, que hubo de realizarse a partir de los listados de coordenadas x-y-z de las nubes de puntos para que este

nuevo *software* generara su propia representación gráfica y la transformara en una superficie de tipo TIN la cual, retomando la visualización tridimensional ya en un entorno geográfico, daba valor altimétrico a su correspondiente ortofotografía. Por otro lado, además, la flexibilidad que permite contar tanto con los modelos como con su proyección bidimensional resulta ciertamente ventajosa a la hora de cubrir los requerimientos de la documentación arqueológica tradicional, agilizando algunos procesos que eventualmente pueden no ser objeto del interés del equipo de trabajo y utilizando herramientas informáticas ya ampliamente extendidas en el sector, como son los *softwares* CAD. Pero desgranemos poco a poco las posibilidades del procesamiento secundario de nuestros datos.

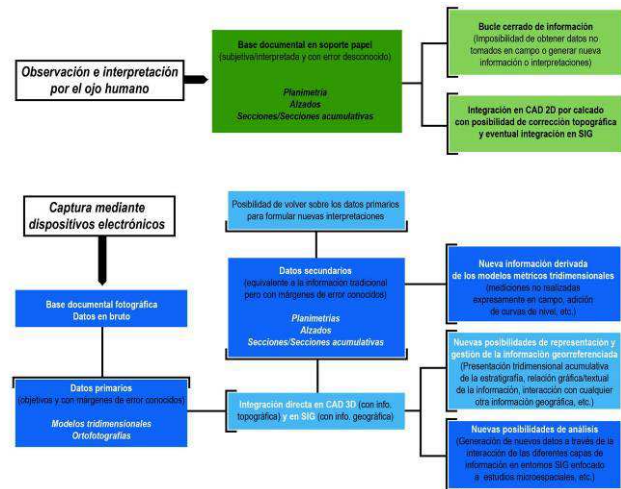


Fig. 3. Esquema comparativo de los tipos de datos, características, procesos y novedades de la captura tradicional y la propuesta sostenida en esta comunicación

Obtención de la documentación tradicional y novedades aportadas

Comenzando por planimetrías y alzados, como ya se ha señalado, la captura de la realidad mediante dispositivos electrónicos va a coadyuvar a objetivar la información base sobre la cual sólo ahora, en un segundo momento, se realizará una interpretación a través de la percepción humana equiparable al dibujo técnico en campo; y esto supone el primer avance significativo en tanto que posibilita repetir tantas interpretaciones subjetivas como sea preciso, incluso una vez después de haberse destruido durante la excavación la realidad representada, escapando a la subjetividad única e incontrastable del método tradicional. Además, el calcado directo desde una ortofotografía, integrada por ejemplo en CAD (Fig. 5) o en cualquier otro entorno de trabajo susceptible de funcionar en *layers*, siempre va a arrojar precisiones mayores y, en todo caso, los márgenes de error en que pudiera moverse la representación nos son conocidos gracias al procesamiento informático, lo cual no hay que olvidar que, si ciertamente no puede acabar de eliminarlos, sí añade determinadas garantías de control.

A pesar de que las representaciones tradicionales se suelen limitar a dos dimensiones, los modelos tridimensionales van a aportar también en este sentido algunas novedades interesantes incluso antes de pensar en utilizar *softwares* no tan extendidos en la arqueología. Así, será posible verter al plano la volumetría contenida en curvas de nivel como un elemento mucho más gráfico y comprensible que el marcado de puntos de cota dispersos. Pero, sin duda, la ventaja más inmediata del trabajo sobre ortofotografías y modelos

⁴ A propósito del papel que cumplen los datos topográficos en la metodología de registro que planteamos en esta comunicación, es necesario señalar que el tipo de información recuperada y el dispositivo utilizado para realizarlo se deben en buena medida a una adaptación a los recursos disponibles para la intervención en lo Boligni. Así, la disponibilidad de una Estación Total limitada a los días previos al cierre de la excavación recomendó, por un lado, la utilización tradicional del nivel topográfico con el que se mantuvo un registro altimétrico de seguridad de todos los puntos —fijos, semi-flotantes y flotantes— a medida que progresaban los trabajos y el cual, sin embargo, se demostró hasta cierto punto irrelevante habida cuenta de los altos márgenes de error en que funcionaba respecto de la información obtenida por fotogrametría digital; por el otro, precisamente esta limitación fue un motivo más de los que marcaron la disposición de los puntos semi-flotantes como referencia de apoyo que rompiera la alineación regular de los fijos y aumentara la precisión de las triangulaciones. Es decir, que de disponer de una Estación Total de continuo, se podría haber planteado quizá una flexibilización del sistema de puntos pero, sobre todo, se podría haber recuperado alguna información topográfica precisa de puntos flotantes en cada superficie digitalizada. Pero más importante que esto es la conexión con la información geográfica: efectivamente, el uso de Estación Total nos va a remitir a un sistema de coordenadas cartesianas relativas el cual sólo podremos convertir a absolutas geográficas —en nuestro caso UTM ED50— mediante la inclusión en la serie de captura de puntos cuyas coordenadas podamos conocer por otro medio —por ejemplo, construcciones y otros hitos paisajísticos estables que se pudieran localizar posteriormente en planos u ortofotografías aéreas georreferenciadas—. Para aumentar la precisión de este paquete de información y eliminar este paso intermedio se podría haber usado un dispositivo DGPS, por más que también sea cierto que los instrumentos y condiciones en que se trabajó en lo Boligni son más comunes a cualquier equipo arqueológico y, a la postre, se han demostrado perfectamente válidos para las necesidades de registro que se requerían.

tridimensionales procedentes de la fotogrametría digital es la derivada de su cualidad métrica, que va a permitir contar en todo momento con cualquier medición no expresamente realizada en campo.

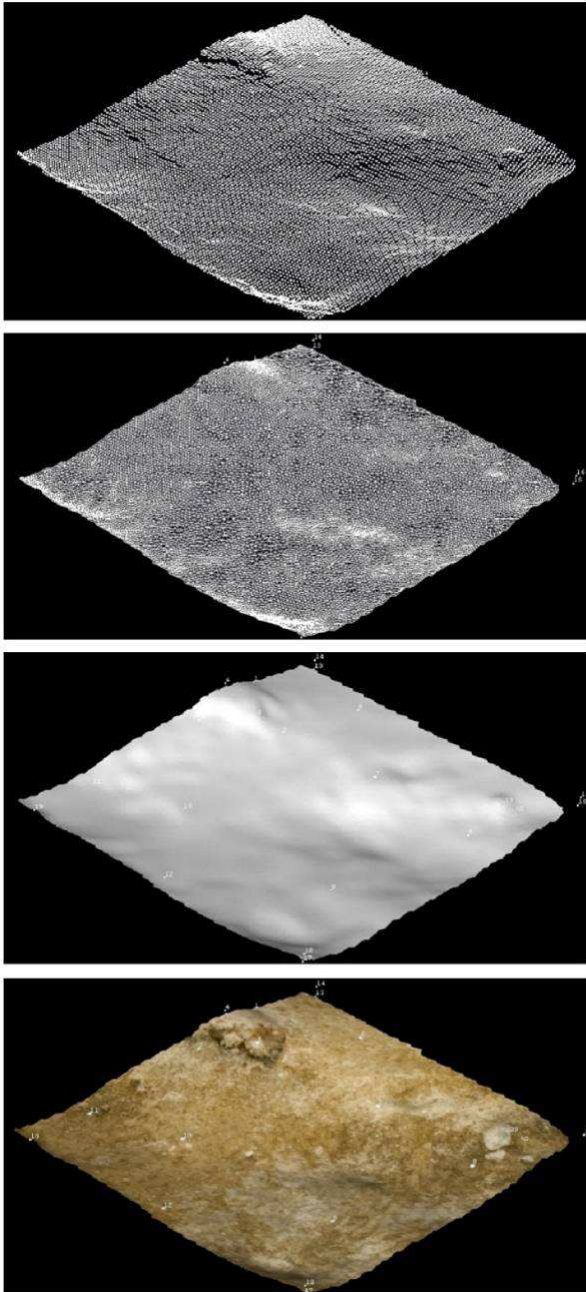


Fig. 4. Cuatro momentos del tratamiento en software fotogramétrico de la recuperación de los datos tridimensionales. De arriba abajo: nube de puntos, malla triangulada, superficie renderizada y texturización fotográfica

Si de alguna manera esta característica quedaba contenida implícitamente cuando hablábamos de calcar plantas y alzados, va a ser en la obtención de secciones y, sobre todo, de las secciones acumulativas donde se haga más evidente el cambio cuantitativo que supone el método de registro que planteamos. Y es que, de hecho, la

virtualización de las superficies interfaciales entre Unidades Estratigráficas lleva implícito el registro de todas las secciones posibles, posibilitando el montaje de estas superficies por su ensamblado respecto de los puntos fijos y semi-flotantes topografiados que comparten entre ellas, bien sea de forma “sincrónica” para recuperar el área de excavación –en nuestro caso obtenida en CAD (Fig. 6), pero, obviamente, realizable en otros softwares–, bien de forma “diacrónica” en el MTA, bien combinándolas. De esta manera, únicamente será necesario “cortar”, por así decirlo, sobre la línea en el plano que se desee consultar o representar para acceder a su correspondiente sección o sección acumulativa (Fig. 7).

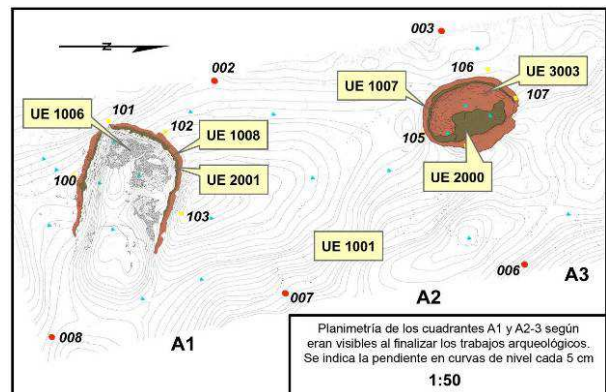


Fig. 5. Ejemplo de planimetría calcada a partir de ortofotografías ensambladas en CAD y a la cual se le añadió la información volumétrica expresada en curvas de nivel

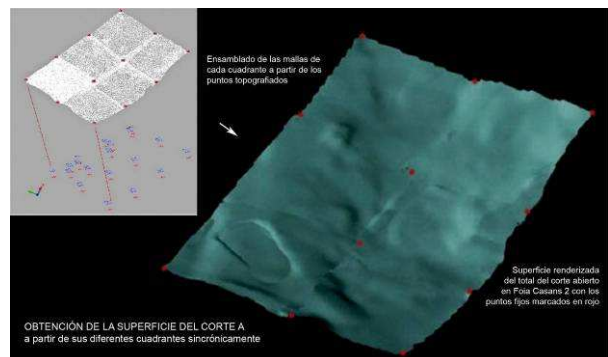


Fig. 6. Montaje en software CAD de la superficie tridimensional de los seis cuadrantes de Foia Casans 2, con unas dimensiones de 6 x 9 m, en un momento concreto de su excavación; en el recuadro superior se muestra una captura del trabajo de ensamblado en malla triangulada sobre los puntos topografiados

Nuevas posibilidades de representación, gestión y análisis

Precisamente va a ser el MTA el primer elemento novedoso en las posibilidades de representación de los datos obtenidos en campo, y el uso directo de este montaje va a permitir una aproximación más cercana a la realidad de la excavación, más completa y comprensible visualmente.

Como venimos sosteniendo, si entendemos el MTA como el concepto vertebrador de una forma de registro para estratigrafía arqueológica, secuencial y tridimensional, no hay porqué pensar que las características concretas de los productos y el uso de la información por los cuales optamos en este ensayo sean más que, precisamente, eso: un ejemplo adaptado a unas circunstancias

determinadas. De esta manera, si nosotros nos hemos ceñido en lo tocante a la captura, procesamiento y representación de la información tridimensional a datos de estructura vectorial centrados en la captura de superficies, otras experiencias sobre la misma idea de registro han propuesto, por ejemplo, una posterior conversión a estructuras *voxel* que gestionaran volumetrías (cf. CATAN *et al.*, 2004), con prestaciones diferentes adaptadas a objetivos diferentes.

Si bien esta circunstancia estuvo determinada en parte por las herramientas informáticas con que veníamos trabajando, más operativas o directamente diseñadas para estructuras de datos en vectores, no deja de ser cierto que han respondido perfectamente a los requerimientos planteados. Otro tanto ocurre con la virtualización de superficies frente a volúmenes –es decir: con el trabajo con interfaces frente a estratos–, que realmente ha resultado fácilmente sincronizable con la dinámica de excavación arqueológica estratigráfica; de esta manera hay que anotar que, habiendo digitalizado en todo momento unas unidades de registro invariables (cuadrantes), cada superficie “en bruto” no se va a corresponder necesariamente con un estrato en toda su extensión y bien puede contener interfaces de varias UEs. Esto no es óbice para que, aislada el área de cada una de estas unidades como *features* independientes y, en tanto esto, eliminada la información repetida –las superficies presentes en más de una captura–, se hubiera podido optar por un montaje vectorial en tres dimensiones más cercano al volumétrico pues, al fin y al cabo, la información está registrada igualmente. Pero el mantenimiento y representación también de estas superficies repetidas va a permitir, en contrapartida, representaciones del MTA más cercanas a la realidad “visible” del proceso de excavación, como por ejemplo con la exageración vertical de la distancia entre superficies (Fig. 8).

En cualquier caso, este tipo de consideraciones toman más relevancia ubicadas en el contexto de la integración de los datos primarios de carácter planimétrico en *softwares* SIG, un paso que va a abrir un buen número de posibilidades tanto en la representación de los datos como en su gestión e, incluso, en su análisis.

El volcado a un entorno de trabajo geográfico ya ha sido explicado en parte y, en esencia, no difiere del volcado –más común– en CAD, con la salvedad de la inclusión de coordenadas absolutas sobre las cuales georreferenciar nuestra información recuperada en campo; así, se operó sobre la base de la serie de puntos topográfica para ir adjuntando en cada cuadrante y en diferentes *layers* ortofotografías y nubes de puntos con valor altimétrico, convertidas posteriormente en MDTs. De nuevo, la primera ventaja será inmediata y vendrá de la recién adquirida característica inherente a toda información SIG: un posicionamiento geográfico exacto que puede añadirse fácilmente a las formas tradicionales de representación arqueológica, mejorándola. De hecho, el geoposicionamiento de los datos no sólo de prospecciones sino también de excavaciones, aunque aún de forma limitada, empieza a ser uno de los requisitos demandados por las administraciones autonómicas encargadas de gestionar el patrimonio arqueológico⁵. Además, una vez integrados en SIG, los datos de la excavación pudieron ponerse en relación con cualquier otro tipo de datos geográficos que los contextualizaran o ampliaran la información servida en sus representaciones planimétricas –cartografía de diferentes tipos, ortofotografías aéreas a escala mayor, etc.–.

En esta línea, las ventajas para la gestión macroscópica que ha de realizar cualquier institución que almacene información proveniente de diferentes intervenciones no deben de eclipsar las ventajas

directas para la gestión de una única excavación por parte del equipo que la realiza. Al igual que se ha explicado para la generación de planimetrías en entornos CAD, el funcionamiento en *layers* de los sistemas de información geográfica permitió incluir capas de entidades poligonales vectoriales calcando las UEs desde las ortofotografías y, dada la vinculación de la representación gráfica con la información tabulada en bases de datos, se pudo vincular a cada una de ellas todos los datos anotados en las fichas de registro –tipo, cronología, composición, descripción, interpretación, referencia de muestras, hallazgos, fotografías, etc.– generando finalmente un verdadero sistema integrado para la gestión global de la información arqueológica registrada durante la excavación de lo Boligni (Fig. 9). Sistema al cual se le habrían podido añadir, igualmente, *layers* referentes a posicionamiento de hallazgos o, en general, cualquier tipo de materiales o informaciones discretas consideradas significativas, de haber sido otras las características del sitio arqueológico y las necesidades de la investigación⁶.

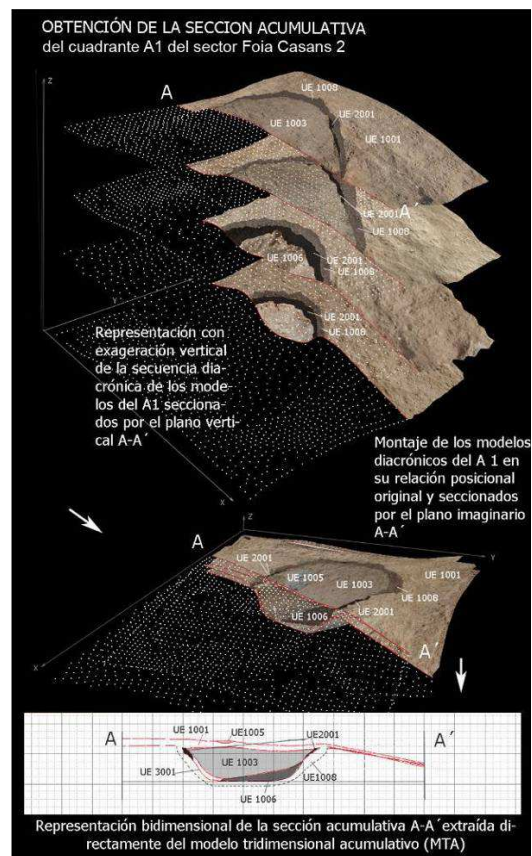


Fig. 7. Ejemplo de obtención de una sección acumulativa bidimensional a través del MTA

⁵ Es, por ejemplo, el caso valenciano (cf. http://www.cult.gva.es/dgpa/arqueologia/modelos_c.html).

⁶ Por cuestiones de espacio, hemos optado por no abundar en dichas características. En cualquier caso, ya se ha señalado la naturaleza de los restos exhumados en lo Boligni y lo cierto es que más allá de las estructuras de combustión en sí y de algunos carbones, no se documentó ningún otro rastro de origen antrópico. En consonancia con ello, los intereses investigadores se centraron desde un principio en recuperar muestras sedimentarias y antracológicas susceptibles de ser analizadas arqueométricamente, y en documentar de la forma más detallada posible las estructuras y la estratigrafía generada en su construcción, uso y abandono, buscando aislar una explicación funcional de los hornos (LÓPEZ LILLO, 2010).

Finalmente, los paquetes de instrumentos de análisis geográfico que acompañan a los *softwares* SIG, va a abrir las puertas a la eventual creación de nueva información por interrelación de capas de datos en el marco de estudios microespaciales. Este tipo de trabajos –por ejemplo los análisis de dispersiones y concentraciones significativas– ciertamente se han planteado con independencia de herramientas como el MTA, utilizando instrumentos de medición tradicionales para su triangulación y posicionamiento relativo en la excavación, pero sin duda el hecho de poder contextualizarlos en superficies tridimensionales de una manera potencialmente generalizada va a dotarlos de nuevas posibilidades; unas posibilidades que sólo la experimentación en el marco de posteriores proyectos de investigación podrá ir concretando.

5. Conclusión: valoración de una experiencia

Tal y como se ha visto, con un equipo de bajo coste y una aplicación experimental de la metodología propuesta, se ha documentado integralmente la excavación en lo Boligni, la cual únicamente contó con este sistema de registro. Atendiendo, en tanto esto, a que se han cubierto ampliamente las necesidades de la intervención y los objetivos del ensayo, la valoración general no puede ser más que positiva, así en lo que se refiere a la estrategia seguida en campo –la cual tras sólo tres semanas de excavación y careciendo de toda experiencia previa se había convertido prácticamente en una rutina sistemática bien adaptada al ritmo de trabajo usual– como en lo tocante a la cantidad y calidad de los datos obtenidos, su flexibilidad y las prestaciones de unos modos de visualización considerablemente ágiles, completos y acordes a la realidad tridimensional que pretenden representar. Con todo, cabe señalar que el proceso documental se ha llevado tan lejos como requería este contexto de aplicación y, sin lugar a dudas, esto no agota las posibilidades de una propuesta metodológica que permanece abierta.

En base a todo ello, a que esta propuesta, además, surge desde la arqueología y se ajusta mejor a sus necesidades de representación y en tanto esto se ha demostrado al alcance de cualquier equipo de trabajo con una formación relativamente básica en aplicaciones digitales, sólo nos queda finalizar con una llamada a la reflexión sobre el uso que estas tecnologías –aun las más asequibles– permiten para la documentación en campo, el enorme avance cuantitativo que representan, la flexibilidad de los datos obtenidos y las novedades que aportan en su edición, en contraste con el escaso uso que se está haciendo de ellas en el sector.

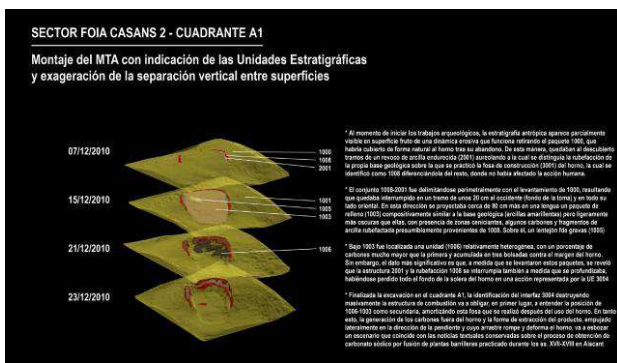


Fig. 8. Montaje tridimensional a partir de la información SIG en el que se muestra la secuencia de excavación de un cuadrante, combinando, junto a las superficies TIN correspondientes a lo digitalizado en cada fecha, las unidades estratigráficas, calcaedas como polígonos vectoriales a partir de las ortofotografías e integradas en diferentes layers

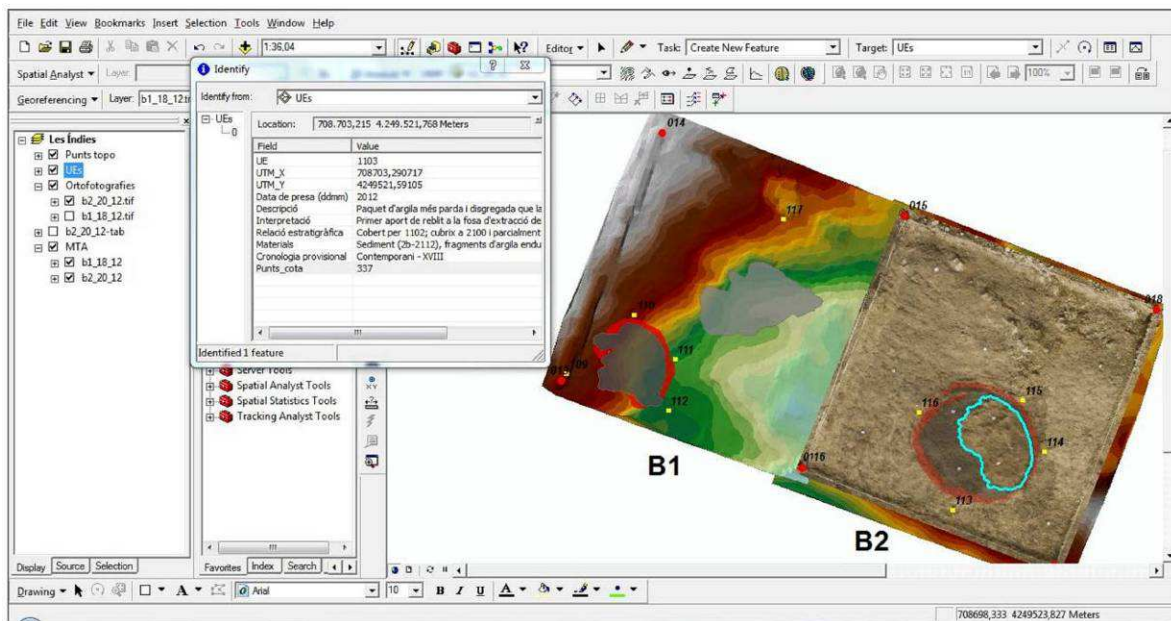


Fig. 9. Captura de pantalla de la información una vez introducida en un entorno SIG. Nótese, a la izquierda, las diferentes capas contenidas en este montaje (puntos topográficos, calcaeo vectorial de unidades estratigráficas, ortofotografías, nubes de puntos y MDT obtenidos a partir de estas nubes). A la derecha, se muestra la parte gráfica de este interfaz geográfico, con indicación de la posición en coordenadas UTM ED50 h30, donde se ha seleccionado una de las UEs (1103) para abrir el cuadro de diálogo en el que se muestra la información textual de esta unidad en concreto (centro)

Agradecimientos

Hemos de agradecer la colaboración y ayuda prestada por un grupo de compañeras y compañeros que, de una manera u otra, se han visto involucrados en el desarrollo del presente trabajo: al Dr. Jesús Moratalla Jávega, co-director de la intervención en lo Boligni, y al resto del equipo que participó en las excavaciones; a la Dr. Julia Sarabia Bautista; y, en general, al Àrea d'Arqueologia de la Universitat d'Alacant; al Dr. Antonio Álvaro Tordesillas, finalmente, del Departamento de Urbanismo y Representación de la Arquitectura de la ETS de Arquitectura de Valladolid. Sin duda, y sin que ello conlleve responsabilidad ninguna sobre nuestros planteamientos y nuestros errores, la experiencia que presentamos aquí habría sido del todo imposible sin ellos.

Bibliografía

- ANTOÑANZAS, M. A. *et al.* (2003): "El Sequeral (Calahorra, La Rioja). Investigación fotogramétrica y arqueología", *Arqueología de la Arquitectura*, nº 2, pp. 13-16.
- BARKER, Ph. (1977): *Techniques of Archaeological Excavation*, Londres.
- BUILL, F.; NÚÑEZ, M. A.; RODRÍGUEZ, J. J. (2007): *Fotogrametría arquitectónica*, Barcelona.
- CABALLERO, L.; ARCE, F.; FEIJOO, S. (1996): "Fotogrametría y el análisis arqueológico", *Revista de Arqueología*, nº 186, pp. 14-25.
- CABALLERO ZOREDA, L. (2006): "El dibujo arqueológico. Notas sobre el registro gráfico en arqueología", *Papeles de Parta*, 3, pp. 75-95.
- CARANDINI, A. (1997): *Historias en la tierra. Manual de excavación arqueológica*, Barcelona.
- CATTANI M.; FIORINI A.; RONDELLI B. (2004): "Computer applications for a reconstruction of archaeological stratigraphy as a predictive model in urban and territorial contexts", en AUSSERER K.F. *et al.*: *Enter the Past: the E-way into four dimensions of Cultural Heritage*, CAA 03 Computer Application and Quantitative Methods in Archaeology, Proceedings of the 31st Conference, Vienna.
- FIORINI A. (2008): "Esperienze di fotomodellazione e stereofotogrammetria archeologica" en VOLPE, G.; DE FELICE, G.; SIBILANO, M. G. (eds.): *Digitalizzare la pesantezza. L'Informatica e il metodo della stratigrafia*, Atti del Workshop, Foggia, pp. 175-186.
- GRAU MIRA, I., ed. (2006): *La aplicación de los SIG en la Arqueología del Paisaje*, Alicante.
- HARRIS, E. C. (1979): *Principles of archaeological Stratigraphy*, Londres.
- KOISTINEN, K.; LATIKKA, J.; PÖNTINEN, P. (2002): "The cumulative 3D data collection and management during archaeological project", en *XVIII International Symposium CIPA 2001*, pp. 223-228.
- LÓPEZ LILLO, J. A. (2010): "Estructuras de combustión en el entorno de la sierra de Fontcalet (Alacant). Un primer acercamiento a su estudio", *Lucentum*, XXIX, pp. 199-216.
- MANACORDA, D. (1989): "Introduzione", en HARRIS, E. C.: *Principi di stratigrafia archeologica*, pp. 9-36, Roma.
- PÉREZ GARCÍA, J. L.; MOZAS CALVACHE, A. T. *et al.* (2009): "Fotogrametría de bajo coste para estudios arqueológicos de la arquitectura: aplicación a la muralla este de la fortaleza de la mota. Alcalá la Real (Jaén)", en *Mapping*, nº 138, pp. 6-13.