

## Reflexiones sobre las técnicas de documentación digital del arte rupestre: la restitución bidimensional (2D) versus la tridimensional (3D)

*Thoughts about digital recording techniques of rock art: Bidimensional restitution (2D) vs. threedimensional records (3D)*

Inés Domingo Sanz<sup>1</sup>, Valentín Villaverde Bonilla<sup>2</sup>,  
 Esther López Montalvo<sup>3</sup>, José Luís Lerma<sup>4</sup>  
 y Miriam Cabrelles<sup>4</sup>

1 · ICREA Research Professor, Universitat de Barcelona/SERP. 2 · Universitat de València, Dpto. de Prehistòria i Arqueologia, 3 · Universidad de Zaragoza, Área de Prehistoria, 4 · Universitat Politècnica de València, Dpto. de ingeniería cartográfica, geodesia y fotogrametría

### RESUMEN

La era digital ha puesto al alcance de la arqueología y de los estudios de arte rupestre un amplio abanico de herramientas y programas para obtener una documentación más exhaustiva del arte rupestre. El presente artículo pretende ir más allá de la enumeración y descripción de cada una de las técnicas digitales de documentación disponibles. Lo que proponemos, desde nuestra experiencia en la utilización de técnicas de documentación digital 2D y 3D, es reflexionar críticamente sobre las ventajas y problemáticas de cada una de ellas. Paralelamente, proponemos unos criterios generales mínimos para la documentación integral del arte rupestre. Esta reflexión nos permite concluir que las técnicas 3D no son necesariamente una alternativa a las técnicas 2D, sino que las complementan, e incluso se combinan para ofrecer una lectura volumétrica no sólo del soporte, sino también de los motivos, que va más allá de la mera copia digital.

### ABSTRACT

The digital age has made accessible to archaeology and to rock art studies a wide range of tools and software to get a more complete documentation of rock art. This paper aims to go beyond the listing and description of the digital techniques available today. What we suggest, from our experience in the use of 2D and 3D digital recording techniques is to reflect critically on the advantages and limitations of each one of them. We also suggest some minimum steps to produce accurate rock art reproductions. We conclude that 3D techniques are not necessarily an alternative to 2D techniques, but a complement. Moreover, they should be used together to provide volumetric reproductions not only of the bedrock, but also of the motifs.



### INFORMACIÓN · INFORMATION

#### Palabras clave

Arte rupestre levantino, Documentación digital, calcos 2D, modelos 3D, fotogrametría, escáner láser

*Recibido* · mayo 2010

*Aceptado* · noviembre 2010

*Revisado* · junio 2013

#### Keywords

Levantine rock art, digital recording, 2D tracings, 3D models, photogrametry, laser scanner

*Received* · May 2010

*Accepted* · November 2010

*Revised* · June 2013

## 1. INTRODUCCIÓN

La reproducción del arte rupestre es un tema recurrente en la investigación arqueológica ya que durante más de un siglo calcos y fotografías han constituido la principal herramienta para demostrar la existencia del arte rupestre, para facilitar su estudio, gestión y difusión, o para analizar y evaluar su estado de conservación.

La trayectoria centenaria de descubrimientos y estudios que nos precede ha puesto en evidencia que el arte rupestre se halla sujeto a grandes problemas de conservación. Si el siglo XX puede calificarse como el de los grandes descubrimientos, también es el de los saqueos y el de la aceleración de los procesos de alteración del patrimonio. Junto a la degradación medioambiental, el impacto antrópico (las visitas no reguladas, el vandalismo o el impacto directo o indirecto del desarrollo urbanístico) han provocado el deterioro y la desaparición de un buen número de motivos y conjuntos rupestres. En algunos casos su existencia tan sólo perdura a través de la documentación gráfica generada por la propia investigación, con ejemplos tan significativos como las figuras levantinas arrancadas y/o destruidas de yacimientos como la Roca dels Moros y els Gascons (Barranco de Calapatá, Teruel) (Cabré 1915: 135-136), diversos conjuntos del

Barranco de la Valltorta (Castelló), como la Cova dels Cavalls, Civil o la Cova del Rull (Cabré 1923, Viñas 1982), o las figuras cortadas con una sierra radial en el conjunto de Benirrama (Vall de la Gallinera, Alacant) (Hernández, Ferrer y Catalá 1998), entre otros muchos ejemplos. Pero el valor del registro gráfico va incluso más allá. La reciente revisión de imágenes antiguas del yacimiento Paleolítico de Santimamiñe (Vizcaya) permitió identificar un proceso de adición o retoque contemporáneo de diversas figuras (un bisonte, un caballo y un oso) (González y Ruiz 2010), que hubiera pasado inadvertido de carecer de esa documentación previa. Por tanto, la documentación exhaustiva, integral y no invasiva de los conjuntos es un requisito indispensable para efectuar seguimientos continuados de los procesos de degradación y alteración de los mismos y garantizar la pervivencia de este patrimonio. Así mismo, cualquier aspecto de la investigación del arte rupestre requiere, como punto de partida, la obtención de una documentación gráfica objetiva que permita el estudio exhaustivo de motivos, temas, y de las pautas de composición, adición y superposición, etc. Esa necesidad de obtener una documentación completa y exhaustiva, evitando la intervención directa sobre motivos y soporte, ha llevado a una búsqueda constante de nuevas formas de documentación, cada vez menos invasivas y más objetivas.



Figura 1 · Detalle de un calco manual de Porcar de la Cova del Civil (Tírig, Castelló)

Lejos han quedado las fases iniciales en las que el dibujo a mano alzada o las acuarelas de pintores o dibujantes como Porcar, Cabré o Benítez Mellado servían como prueba o evidencia gráfica de los primeros hallazgos (Fig. 1). La necesidad de obtener documentos métrica y formalmente más fieles a la realidad llevó a adoptar otras formas de documentación directa (como el calco directo o por contacto, que consiste en la colocación de un plástico transparente sobre la superficie decorada, sobre el que se identifican y calcan los motivos representados) o indirecta (como el calco con bastidor o sobre fotografía o diapositiva) que fueron mejorando progresivamente los resultados, y que permitían respetar la escala y las proporciones (Aujoulat 1987; Moneva 1993; Fritz y Tosello 2007). Pero sin duda el gran salto cualitativo en las técnicas de documentación del arte rupestre llegó, en la década de los 90 del siglo XX, de la mano de las tecnologías digitales, que no sólo amplían las posibilidades de reproducción, y de combinación de distintos documentos en un solo archivo, sino que también facilitan la continua revisión y corrección de la documentación, siempre que el formato de los archivos se mantenga actualizado.

La era digital ha puesto al alcance de la arqueología un amplio abanico de equipos, programas y técnicas de captura, retoque, tratamiento y rectificación gráfica y métrica de imágenes 2-D (Photoshop, GIMP, ImageJ, rdf, etc), así como de restitución 3D de alta resolución y precisión (fotogrametría digital, escáner láser 3-D) que permiten documentar tanto los motivos rupestres, como las formas y dimensiones del soporte que actúa de lienzo. Su introducción ha permitido una reducción progresiva de la subjetividad, así como un aumento de la precisión gráfica y métrica, facilitando la obtención de una documentación cada vez más completa y exhaustiva. Así mismo, se amplía la diversidad de lecturas posibles de un mismo documento, en función de la finalidad de la reproducción (investigación, conservación, publicación científica o de divulgación) y el formato de difusión (digital o impreso). Además, como aspecto fundamental para la conservación del arte rupestre, evita la intervención directa sobre el arte y su soporte durante el proceso de documentación. En el siglo XXI su adaptación tanto para la documentación de motivos pintados (Vicent et al. 1996; Montero et al. 1998; Cacho y Gálvez 1999; Villaverde et al. 2000; Clog y Díaz-Andreu 2000; Domingo y López-Montalvo 2002; López-Montalvo y Domingo 2005 y 2009; Martínez-Bea 2009) como grabados (Robson et al. 2001; Díaz-Andreu et al. 2006; Rütther, 2007; Cassen y Robin, 2010; Ortiz et al. 2010; Domingo et al. 2013) obliga a desestimar cualquier otro procedimiento de documentación que implique la más mínima intervención sobre motivos y soporte.

Las ventajas que abren estos programas para la automatización de algunos aspectos del proceso (como la discriminación entre pigmento y soporte mediante herramientas de selección de color) llevó a sugerir la posibilidad de que las nuevas tecnologías permitieran eliminar la subjetividad implícita en la intervención activa del investigador en el proceso de documentación (Montero et al. 1998; Vicent et al. 1996). Sin embargo, la experiencia demuestra que aunque existen nuevos programas que aceleran algunas partes del proceso

(como ImageJ), y las herramientas de selección de color son cada vez más precisas, la intervención del investigador sigue siendo necesaria. No debemos olvidar que el estudio, conservación y difusión del arte rupestre requiere algo más que una reproducción exacta, ya sea real o digital, de los conjuntos rupestres. Como en la documentación de cualquier otro vestigio arqueológico es necesario ofrecer una lectura técnica y analítica precisa (Aujoulat 1987: 38), que facilite la identificación e individualización de motivos, especialmente cuando existe una conservación deficiente de los temas o un elevado número de superposiciones que dificulta su interpretación. El papel del investigador en esa lectura e interpretación durante el proceso de documentación sigue siendo fundamental, en un proceso de descomposición gráfica de los paneles que Lorblanchet describe como equivalente al de excavación arqueológica, llegando a afirmar que una figuración no calcada es como un vestigio no exhumado (Lorblanchet 1993).

Con estas premisas, el objetivo de este artículo es ir más allá de la enumeración y descripción de cada uno de los programas y de las técnicas digitales de documentación disponibles. Lo que proponemos, desde nuestra experiencia en la utilización de técnicas de documentación digital, tanto para la reproducción bidimensional, como más recientemente tridimensional del arte rupestre Levantino, es reflexionar críticamente sobre las ventajas y problemáticas de cada una de ellas para sacar el máximo partido a la documentación generada. En cualquier caso consideramos que las técnicas 3D no son necesariamente una alternativa a las técnicas 2D, sino que las complementan, e incluso deben combinarse para ofrecer una lectura volumétrica y analítica no sólo del soporte, sino también de los motivos, que vaya más allá de la mera copia digital.

## 2. ¿QUÉ TÉCNICA PARA QUÉ FIN?

Como cualquier documento arqueológico que tenga una finalidad técnica, la reproducción o calco del arte rupestre debe constituir un documento descriptivo y analítico a escala que facilite la visualización, estudio e interpretación científica y divulgativa del arte rupestre, así como la evaluación de los procesos de alteración y degradación que afectan a los motivos y al soporte. No obstante, antes de proceder a la documentación es fundamental determinar la finalidad del documento que vamos a producir. De este modo, podremos seleccionar tanto la técnica más adecuada de reproducción, como los detalles que nos interesa resaltar en la documentación generada (motivos, soporte, pérdidas de pigmento, desconchados, etc). Así por ejemplo, no tiene sentido obtener únicamente un modelo fotorrealístico tridimensional de los paneles, si lo que pretendemos es profundizar en la definición estilística de los motivos pintados y, por tanto, necesitamos no sólo reconocer cada motivo, sino también poder manipularlos individualmente (y aislados del soporte) con finalidades comparativas.

Los avances de la era digital son constantes y el abanico de programas disponibles es tan amplio, que a veces resulta abrumador, dificultando la toma de decisiones a la hora de determinar el mejor procedimiento de documentación.



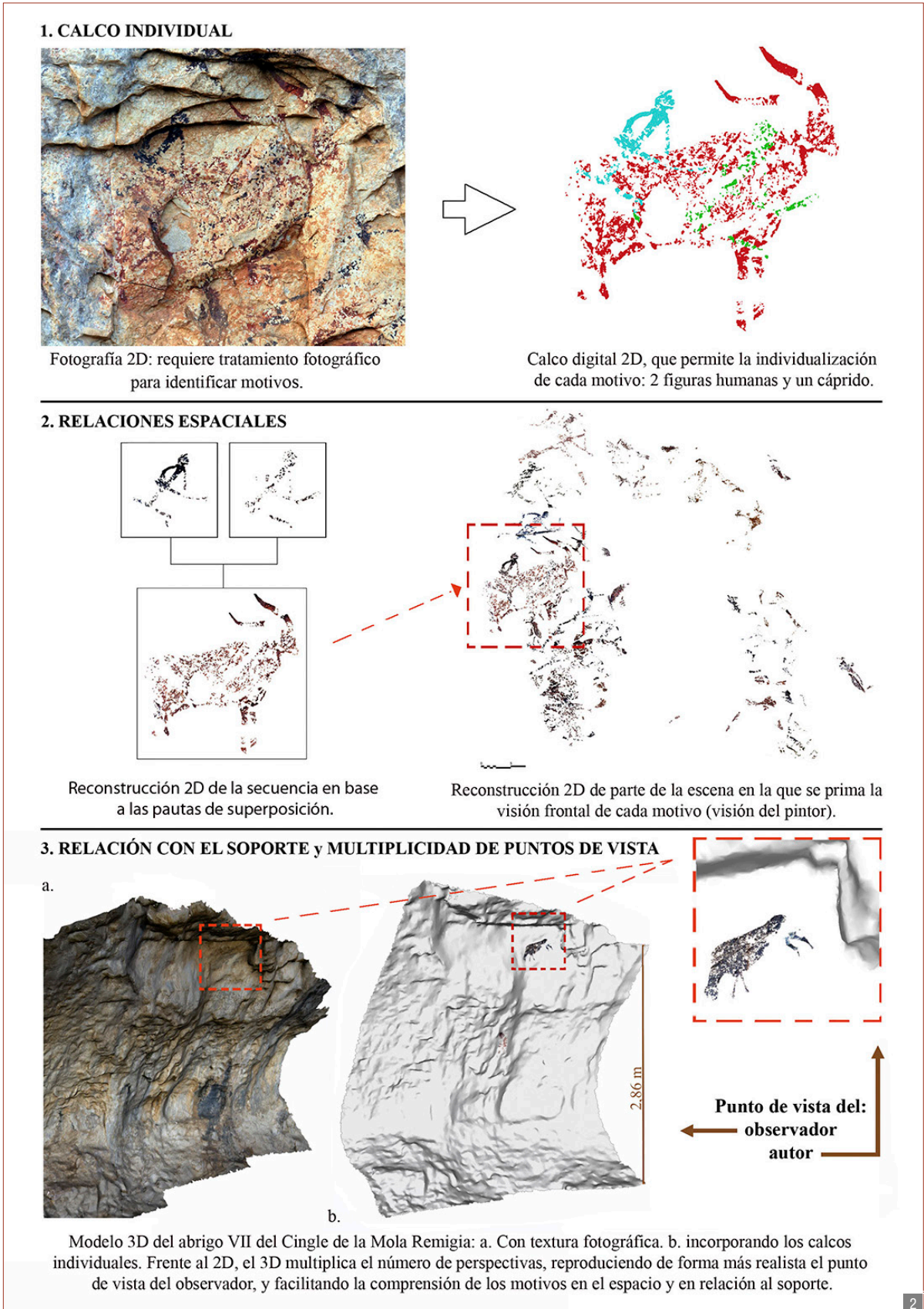


Figura 2 · Documentos necesarios para una reproducción integral del arte rupestre

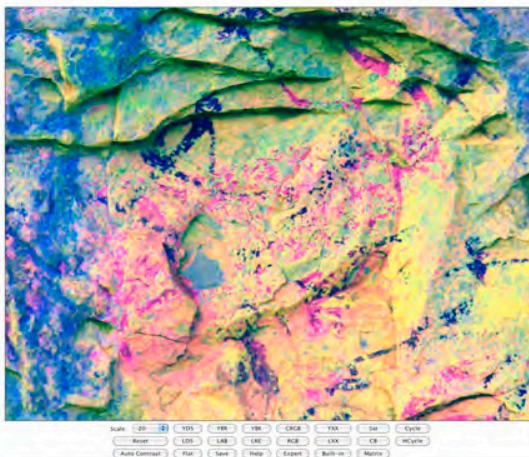
En cualquier caso, en nuestra opinión la reproducción del arte rupestre con finalidades científicas (y sus posteriores aplicaciones divulgativas) requiere una lectura y reproducción gráfica detallada y a escala de lo representado y un análisis técnico de los paneles que, al margen del programa y de la técnica seleccionados, debería incluir (Fig. 2):

1. Una primera reproducción o calco individual a escala de cada motivo, individualizado del soporte, para poder centrar la atención en los detalles representados y facilitar la comparación entre motivos (forma, color, tamaño, proporciones, etc.). Este tipo de documento resulta de especial utilidad para proceder a su

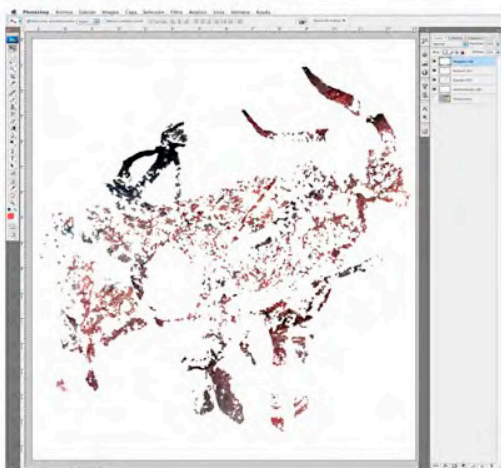
### 1. CALCO INDIVIDUAL



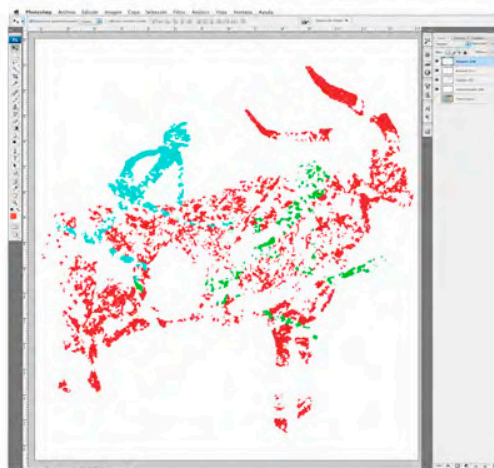
Fotografía 2D: requiere tratamiento fotográfico para identificar motivos.



Tratamiento de la imagen con imageJ.



Calco de los motivos respetando la tonalidad del pigmento. Selección de color realizada con Photoshop.



Calco de los motivos acentuando las diferencias para mostrar la superposición.



Calco individualizado de cada motivo para facilitar su estudio y comparación.

3

Figura 3 · Proceso de reproducción del calco individual

clasificación tipológica y poder establecer variantes estilísticas, así como para realizar seguimientos de conservación.

2. Un segundo tipo de reproducción o documento que permita observar la relación de cada figura con respecto al resto de motivos del panel, con el fin de abordar el análisis

de las pautas compositivas propias de cada fase y la secuencia de construcción del entramado decorativo.

3. Un tercer documento que muestre la relación de figuras y composiciones con el soporte, ya que podría incidir en el discurso narrativo de ciertas escenas y en la propia posición y ordenación espacial de las figuras.





Figura 4 · Calco digital 2D de la escena de caza de la Cova dels Cavalls (Tírig, Castelló) (a partir de Martínez y Villaverde, coords, 2002)

4. Y por último, una documentación que de cuenta de la multiplicidad de planos y perspectivas desde donde es visible una misma obra.

### 2.1. Reproducción o calco individual

El punto de partida de la documentación gráfica debe ser la comprensión individualizada de cada uno de los motivos del panel. Para este tipo de análisis, la reproducción 2D mediante tratamiento digital de fotografías de alta resolución proporciona por el momento los resultados más efectivos. La posibilidad de trabajar directamente sobre esas imágenes digitales, que permiten grandes ampliaciones, facilita la observación de detalles que difícilmente podían ser observados sobre el terreno durante la realización de calcos directos. Así mismo, los programas de tratamiento de imagen (Photoshop, imageJ, GIMP y otro amplio abanico de programas de retoque digital) permiten acentuar las diferencias entre pigmento y soporte, facilitando la elaboración de calcos digitales de gran precisión (para una explicación detallada del procedimiento ver Domingo y López-Montalvo 2002; Domingo 2007). Es cierto que la reproducción bidimensional (es decir, en soporte plano) de motivos pintados en espacios tridimensionales arrastra cierta distorsión métrica, ya que presta atención únicamente a dos dimensiones (la altura y la anchura), pero ignora la tercera dimensión (la profundidad). Esa deformación se acentúa por la distorsión provocada por el uso de imágenes fotográficas de partida en las que la propia lente provoca distorsiones en función de la distancia focal y el ángulo de disparo.

En la actualidad existen programas de rectificación métrica de imágenes (como el rfd) que a partir de un mínimo de cuatro coordenadas permiten proceder al remapeado de las mismas. El rigor del resultado depende de la calidad de las fotografías de partida, de la distribución y de la precisión con la que marquemos los puntos, y sobre todo, de la planitud de la superficie. Estos programas de transformación geométrica 2D son más adecuados para la rectificación de la distorsión de superficies planas y perfiles lineales, que para superficies irregulares, que son las propias del arte rupestre (Rüther 2007). En caso de superficies rugosas o con cierto relieve, las imágenes corregidas siguen manteniendo un cierto grado de distorsión. Así mismo, se recomienda utilizar cámaras digitales calibradas que permiten corregir el efecto de distorsión de las lentes del objetivo. En caso contrario, habría que medir más puntos con tal de corregir fielmente el efecto de la distorsión del objetivo y de la perspectiva (Lerma 2002: 74-76, 96-109). De esta forma podemos proceder a una primera corrección de la deformación de las imágenes previa a la realización de los calcos o reproducciones individuales. En cualquier caso, es importante recordar que en el arte rupestre prehistórico las

imágenes pintadas y grabadas son, en sí mismas, interpretaciones bidimensionales de modelos reales sobre un soporte tridimensional (salvo en el caso de los bajos relieves). Por tanto, la distorsión generada durante el proceso de calco o reproducción bidimensional de cada motivo es en nuestra opinión mínima y aceptable, siempre que se seleccione la visión frontal a cada motivo, las superficies a representar sean pequeñas y la superficie pueda asumirse plana.

Los documentos generados mediante el retoque de imágenes 2D nos han resultado de gran utilidad para la identificación de motivos, y su posterior comparación para analizar cambios estilísticos (formales, métricos y técnicos), así como para facilitar la visualización de motivos y temas muy deteriorados, de difícil visualización y/o integrados en complejas superposiciones (Fig. 3) (ver por ejemplo Martínez y Villaverde 2002; Domingo et al. 2007).

Es importante resaltar al respecto las posibilidades que brinda actualmente la fotografía digital, al permitir obtener, mediante máquinas y objetivos diseñados a tal fin, imágenes en longitudes de onda diferentes a las obtenidas con los sistemas tradicionales (infrarrojos, ultravioletas, etc.), lo que amplía considerablemente las capacidades de la documentación de motivos grabados o pintados que se encuentren recubiertos o velados por deposiciones de calcita o de origen orgánico. Estas imágenes pueden combinarse con las fotografías digitales tradicionales y ofrecer un calco de síntesis que sobrepasa el simple tratamiento de la imagen en los programas tradicionales.

De igual manera, se hace imprescindible en el futuro un mayor control del color, mediante la utilización de sistemas arqueométricos y una caracterización objetiva de la temperatu-



Figura 5 · *Propuesta de fases decorativas de la Cova dels Cavalls individualizadas por colores*

ra. Si la documentación aspira a constituir una herramienta de control de la conservación, esta faceta, escasamente atendida, debe constituir una línea prioritaria de investigación y trabajo.

## 2.2. Relación espacial entre figuras

La finalidad de este segundo documento es poder identificar posibles agrupaciones y escenas, y analizar los procesos de adición y superposición que nos permitirán reconstruir la secuencia gráfica de cada conjunto. Un tipo de documento que debe garantizar la incorporación de todos los motivos y restos conservados, independientemente de su grado de conservación, su entidad o su concepto figurativo (López-Montalvo y Domingo 2005). Para la obtención de este tipo de documento las técnicas 2D han proporcionando hasta el momento resultados aceptables (Fig. 4), si bien su principal limitación es que al ignorar la tercera dimensión, es decir, la profundidad, provoca una deformación de la superficie, que será mayor cuando mayor sean las irregularidades de la pared. Por tanto, aunque se obtienen buenas reconstrucciones de conjunto, es importante reconocer que los resultados suelen ser métricamente inexactos.

La reproducción bidimensional de un espacio de dibujo tridimensional obliga a seleccionar un punto de vista único que nos va a proporcionar una imagen sesgada de esa realidad tridimensional. La selección de una perspectiva cónica para reproducir todo el conjunto (la forma de perspectiva más próxima a la visión real -es decir, el punto de vista de un observador con un solo ojo desde un único punto fijo-) provoca la deformación de todos aquellos motivos situados en superficies cóncavas o convexas y en ángulos distintos al frontal al punto de vista seleccionado. Para evitar esa deformación, tra-

dicionalmente se ha primado el diseño de las composiciones desde una proyección ortogonal (que consiste en representar sobre un plano frontal la forma de un objeto visto de frente). Esta forma de representación prima la reproducción en un solo documento 2D de todos los motivos del panel desde un punto de vista frontal y perpendicular a cada uno de ellos, lo que facilita la interpretación del conjunto, en detrimento de las distancias que median entre ellos. Las distancias que se derivan son distancias reducidas sobre el plano de proyección. En nuestra opinión este tipo de documentación sigue siendo esencial como herramienta de trabajo y de difusión en formato 2D, aceptando la existencia de un margen de error mínimo en las distancias entre motivos en beneficio de la obtención de una documentación de conjunto óptima (López-Montalvo y Domingo 2005 y 2009). La posibilidad de combinar diversos documentos en un solo archivo nos permiten descomponer los paneles en fases decorativas (Fig. 5).

Así mismo, permite reconstruir los paneles deteriorados a partir de la combinación de la documentación actual con documentación antigua (Fig. 6). Esta propuesta de visión integrada de los conjuntos nada tiene que ver con otras propuestas actuales de "restauración-reconstrucción" virtual de motivos o paneles (ver por ejemplo Solís 2009), que recuerdan a las antiguas reconstrucciones manuales de motivos de investigadores como Cabré o Benítez Mellado (Moneva 1993: 422-423). No debemos olvidar que si bien resultan didácticas para un público no especializado, comportan cierta polémica en el ámbito científico por poder conducir a errores interpretativos, que no necesariamente se ajustan a la realidad original. Por tanto, el documento científico debe evitar la idealización y reconstrucción de figuras para ofrecer representaciones fieles de lo que se ha conservado.



6



Figura 6 · En la reciente documentación de los Cova dels Cavalls combinamos calcos digitales actuales, en negro, (Martínez y Villaverde, coords, 2002), con documentación antigua, en gris, (Obermaier y Wernert, 1919), para ofrecer una visión integral del conjunto.

Figura 7 · Escena de recolección de la miel de la Cueva de la Araña (Bicorp, Valencia), con detalle del soporte y de la abertura natural de la roca donde el trepador introduce la mano, según Benítez-Mellado y Hernández-Pacheco (Ripoll, 2002: 359)

láser o procedimientos fotogramétricos a partir de pares o múltiples imágenes, con los calcos bidimensionales, obtenidos mediante retoque digital de imágenes fotográficas, proporcionan una reproducción métrica del panel con un grado de precisión muy elevado. La precisión de estas técnicas depende de múltiples parámetros: precisión espacial de la medición de los puntos (error principal), error del propio método de triangulación o mado, y de los errores derivados de los procesos posteriores de procesado (como por

A día de hoy, la combinación de los calcos individuales 2D con las posibilidades que ofrecen las técnicas 3D resultan prometedoras, ya que agilizan y garantizan el proceso de reconstrucción de los paneles (realmente costoso mediante la clásica técnica de triangulación), proporcionando reproducciones métricas.

La combinación de los modelos tridimensionales de alta precisión, generados mediante la utilización de escáner

ejemplo el suavizado). El beneficio de estos procedimientos es que la documentación tridimensional resultante puede editarse tanto en formato 2D (apto para la difusión impresa), como en modelos 3D (con texturas artificiales, fotorrealísticas o combinadas con los calcos, para facilitar la identificación de motivos y superposiciones de escasa visibilidad) e incluso como animaciones virtuales e interactivas o de video, más aptos para la difusión digital y la divulgación patrimonial



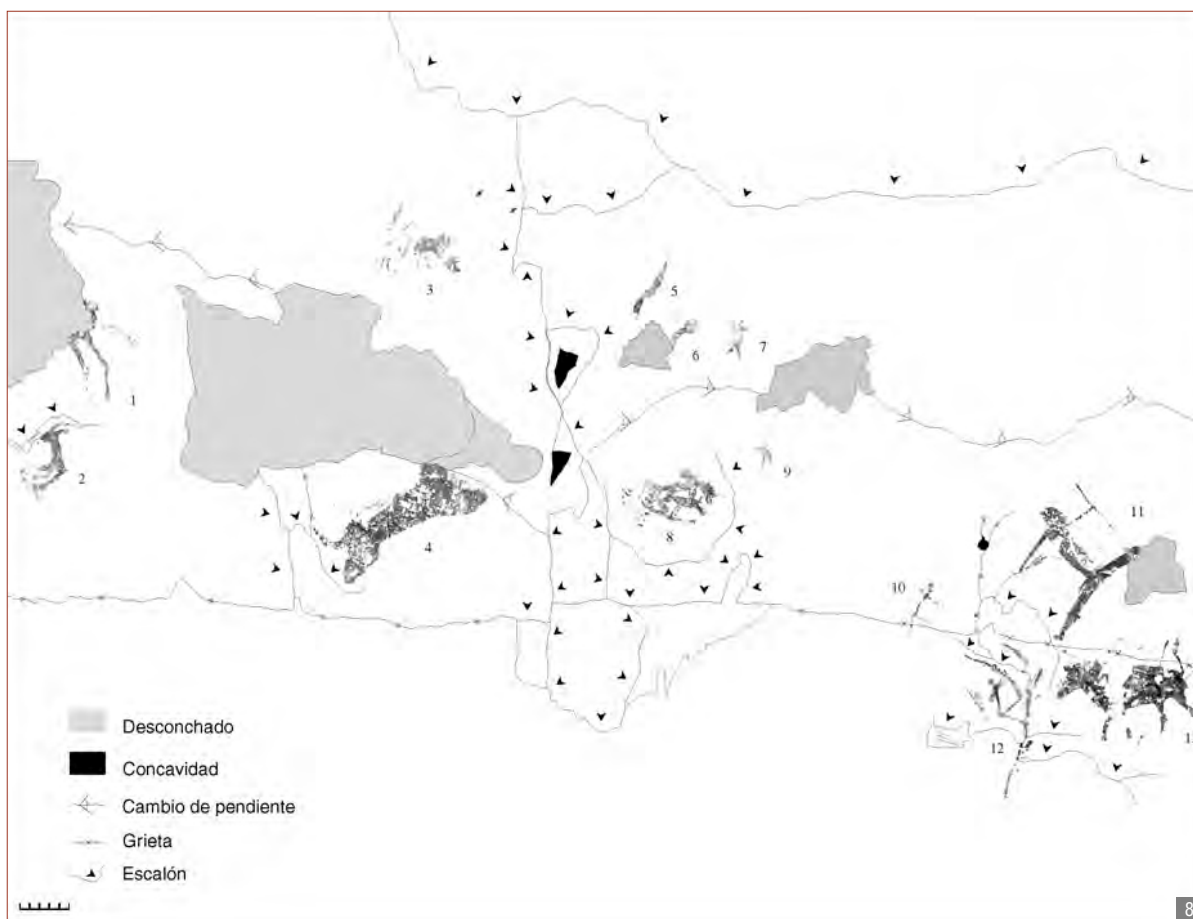


Figura 8 · Reproducción bidimensional de motivos y soporte (Mas d'en Josep, Castelló, según Domingo et al, 2003)

(Lerma et al 2009). Así mismo, a partir de estos modelos se pueden extraer secciones horizontales y verticales de la cavidad (Lerma et al 2010), útiles para mostrar la planta del yacimiento y la localización de las representaciones, cuando seleccionamos un formato de difusión bidimensional.

En otro orden de ideas, la obtención de modelos tridimensionales virtuales de alta resolución, métricamente correctos, facilita en gran medida el estudio de los paneles, ya que permite suplir las largas horas de campo que requería la medición in situ de figuras y distancias, por mediciones sobre la estación de trabajo u ordenador en el laboratorio.

### 2.3. Relación entre arte rupestre y soporte

Mostrar de forma gráfica la relación que mantienen las figuras y composiciones con el soporte pétreo es especialmente útil para conocer con exactitud la localización de cada motivo y determinar si existe un uso preferente de determinados espacios, si las irregularidades del soporte han servido para figurar el espacio o el paisaje, si presenta algún tipo de modificación intencional para preparar el espacio de dibujo, etc. Así mismo, es también útil para marcar los puntos de degradación y planificar las estrategias de conservación.

Los intentos de mostrar esa relación entre los motivos y el soporte fueron tempranos, con ejemplos como las reproducciones de arte rupestre Levantino de Benítez Mellado, que intentan dar cuenta de las características del soporte de la Cueva de la Araña (Hernández-Pacheco 1924) (Fig. 7), o los calcos del dibujante Antonio Bregante y de Breuil, o del propio Ripoll, que reproducen con detalle el soporte de algunos moti-

vos y escenas del Cingle de la Mola Remigia (Ripoll 1963). Sin embargo, es en este apartado en el que las técnicas digitales 2D han mostrado mayores limitaciones. Para documentar en detalle el soporte recurrimos a la fotografía combinada con calcos bidimensionales en los que por medio de diversos tipos de convenciones gráficas tratamos de dar cuenta del relieve y de las alteraciones del mismo (López-Montalvo y Domingo 2005 y 2009). Sin embargo, el éxito de este procedimiento de documentación es relativo a la hora de mostrar la volumetría y textura de la superficie pétreo y plantea serias dificultades para conseguir un efecto tridimensional (Fig. 8).

Es en este apartado donde los modelos 3D proporcionan mayores aportaciones, ya que nos permiten recuperar la sensación espacial y volumétrica propia de los espacios con arte rupestre, con soportes naturales caracterizados por acentuados cambios de pendiente y concavidad, así como por una cierta multiplicidad de planos de representación. Los modelos 3D permiten recuperar esa estructura tridimensional de los espacios pintados, combinando en un mismo documento el calco de cada motivo, el modelo 3D del soporte (con su volumetría) y la fotografía con su textura que brinda modelos fotorealísticos 3D que nos aproximan a la realidad gráfica (Fig. 9).

Este tipo de documentación abre nuevas posibilidades para el estudio e interpretación del arte rupestre, y en concreto de los aspectos técnicos relativos a los usos y limitaciones del soporte a la hora de construir los paneles, las composiciones, las escenas e incluso las figuras, ya que los accidentes del soporte pueden condicionar las formas



Figura 9 · La combinación de calcos 2D y modelos 3D permiten ofrecer una multiplicidad de lecturas de un mismo panel

de aplicación del pigmento, la trayectoria y la calidad de los trazos, la disposición y la morfología de determinadas partes anatómicas (López-Montalvo y Domingo 2005).

#### 2.4. Multiplicidad de planos y puntos de vista

Sin duda una de las mayores limitaciones de las técnicas bidimensionales, tanto tradicionales como digitales, es la dificultad de recoger de forma gráfica la multiplicidad de planos y puntos de vista desde los que se conciben las representaciones rupestres. Normalmente la documentación bidimensional tiende a primar un único punto de vista que, por lo general, viene a coincidir con el del pintor (la visión frontal a cada motivo), pero en raras ocasiones muestra otras perspectivas más próximas al punto de vista del receptor (la visión de conjunto). Éstas diferencias son especialmente significativas cuando los motivos se encuentran en posiciones altas o desplazadas, que generan para el autor una visión distinta a la del observador (Fig. 10).

La introducción de las técnicas de documentación tridimensionales para la documentación del arte rupestre viene a suplir esta deficiencia, abriendo nuevas posibilidades de interpretación. A través de visores 3D los modelos tridimensionales pueden ser escalados y rotados para percibir las figuras desde distintos puntos de vista. De este modo obtenemos una multiplicidad de perspectivas y de ángulos de visualización a medida que nos desplazamos por la cavidad.

Se abre, además, la posibilidad de valorar de forma más ajustada a la realidad física de los abrigos las composiciones en las que intervienen numerosas figuras y ocupan una cierta superficie. La observación de la composición puede primar la posición teórica del observador una vez finalizada la misma (teniendo en cuenta la topografía, las limitaciones de la plataforma, la altura con respecto al nivel de observación, etc.). O incluso ofrecer diversas visiones alternativas cuando la selección de un solo punto de vista no sea fácil o siquiera aconsejable.

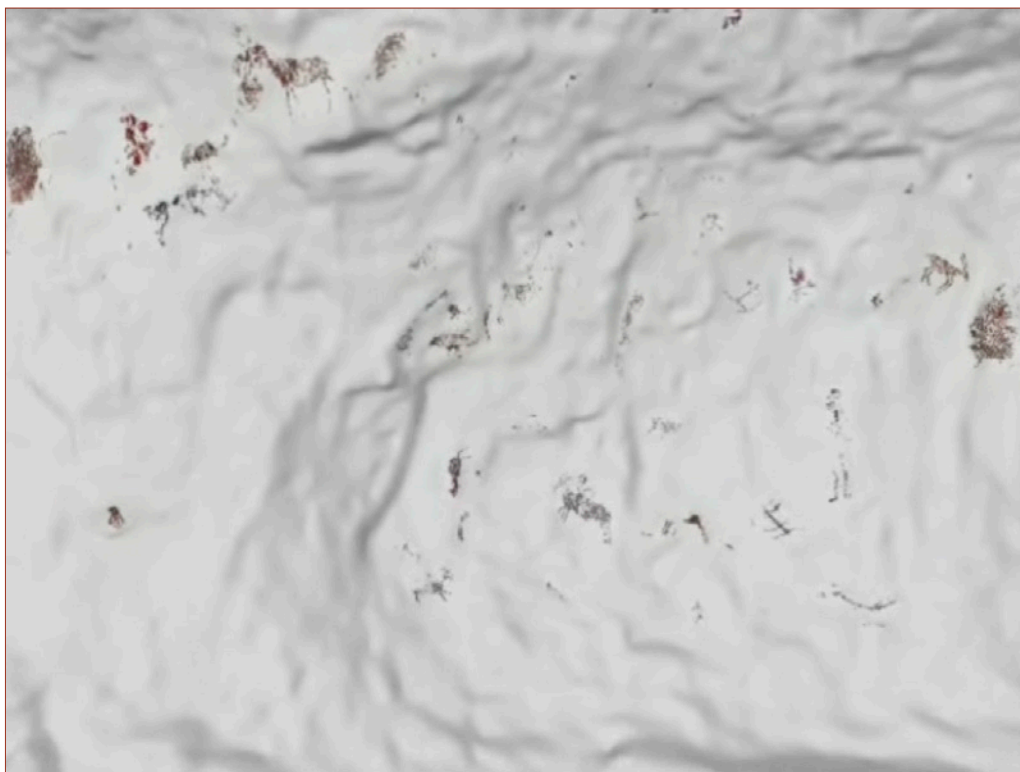


Figura 10 · Video del Levantamiento 3D del abrigo X del Cingle de la Mola Remigia (Ares del Maestre, Castelló) en el que se combina el modelo fotorrealístico 3D con el modelo 3D con proyección de calcos y se pueden percibir las figuras desde distintos puntos de vista

### 3. CONCLUSIONES

La documentación digital del arte rupestre es una técnica al servicio del estudio, la conservación y difusión de este patrimonio, cuya introducción ha permitido mejorar la calidad gráfica y métrica de la documentación obtenida, y reducir el impacto sobre motivos y soporte durante el proceso de documentación, al tratarse de técnicas no invasivas.

La documentación gráfica impresa producida mediante técnicas convencionales constituía un registro puntual y difícilmente revisable. Frente a ella, la ventaja de la documentación digital es que permite la superposición de múltiples documentos o lecturas de un mismo panel, su constante revisión y actualización, y su descomposición y adaptación a las diversas finalidades de la documentación gráfica (investigación, conservación y divulgación).

Como hemos visto a lo largo de estas líneas, las técnicas de documentación digital 2D (fotografía y calco) y 3D son técnicas complementarias que de forma combinada permiten aumentar el número de lecturas posibles de un mismo documento, y por tanto ofrecen lecturas más exhaustivas e integrales. Mientras los modelos 3D proporcionan una información más detallada sobre las formas y dimensiones del yacimiento, o la localización de los motivos y su relación con el soporte (al recoger la naturaleza tridimensional de los conjuntos), los calcos 2D son necesarios para facilitar la interpretación de los motivos, las composiciones y las escenas, especialmente cuando las figuras están muy deterioradas (o desvanecidas) o existen numerosas superposiciones.

En la actualidad, la elección de una u otra técnica, o la combinación de ambas, todavía se halla claramente ligada a la disponibilidad de recursos, ya que las técnicas 3D requieren una mayor inversión y personal técnico más especializa-

do. Así mismo, su adaptación a las labores de difusión científica y divulgativa es desigual, ya que la difusión masiva de formatos 3D, su almacenamiento o incluso las posibilidades que ofrece para la comparación de conjuntos necesaria para un estudio científico, son todavía limitados, convirtiéndolo en un formato más apto para la difusión virtual (publicaciones en formato digital, páginas web, museos, etc.).

### 4. BIBLIOGRAFÍA

- AUJOULAT, N. (1987). *Le relevé des oeuvres pariétales paléolithiques. Enregistrement et traitement des données*. Documents d'Archéologie Française, 9. París.
- CABRÉ, J. (1915). *El arte rupestre en España (regiones septentrional y oriental)*. Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas, nº 1, Madrid.
- CABRÉ, J. (1923). Las pinturas rupestres de la Valltorta. I. Desaparición de las pinturas de una de las estaciones prehistóricas. *Memoria de la Sociedad Española de Antropología, Etnografía y Prehistoria*, año 2, tomo II, cuaderno 1º: 107-118.
- CACHO, R., y GÁLVEZ, N. (1999). New procedures for tracing Paleolithic rock paintings: Digital photography. En J. A. Barceló, I. Briz, & A. Vila (Eds.), *Proceeding of the 26th CAA, held at Barcelona, Spain, in March 1998*. International series 757 (pp. 73-76). Oxford: British Archaeological Reports.
- CASSEN, S. AND ROBIN, G. (2010). Recording art on Neolithic Stelae and Passage Tombs from Digital Photographs. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 17: 1-14.
- CASSEN, S. y ROBIN, G. (2010). Recording art on the Neolithic stelae and passage tombs from digital photographs. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 17: 1-14.
- CLOG, P; DIAZ-ANDREU, M. y LARKMAN, B. (2000). Digital image processing and the recording of rock art. *Journal of Archaeological Science*, 27: 837-843.
- DÍAZ-ANDREU, M; BROOKE, C; RAINSBURY, M. y ROSSER, N. (2006). The spiral that vanished: the application of non-contact recording techniques to



- an elusive rock art motif at Castlerigg stone circle in Cumbria. *Journal of Archaeological Science*, 33 (11): 1580-1587.
- DOMINGO, I. (2007). Recomendaciones de Inés Domingo para la obtención de calcos o reproducciones digitales de pinturas rupestres. En Domingo, I.; Burke, H. y Smith, C. *Manual de Campo del Arqueólogo*. Barcelona, Ariel: 389-392.
- DOMINGO, I. y LÓPEZ-MONTALVO, E. (2002). Metodología en el proceso de obtención de calcos o reproducciones. En Martínez, R. y Villaverde, V. (coords) *La Cova dels Cavalls en el Barranc de la Valltorta*. Monografía del Instituto de Arte Rupestre, 1.
- DOMINGO, I., LÓPEZ-MONTALVO, E., VILLAVARDE, V., GUILLEM, P.M. y MARTÍNEZ, R. (2003). Las pinturas rupestres del Cingle del Mas d'En Josep (Tírig, Castelló). Consideraciones sobre la territorialización del arte levantino a partir del análisis de las figures de bóvidos y jabalíes. *Saguntum*, 35: 9-49.
- DOMINGO, I., LÓPEZ-MONTALVO, E., VILLAVARDE, V. y MARTÍNEZ, R. (2007). *Los Abrigos VII, VIII y IX de les Coves de la Saltadora (Coves de Vinromà, Castelló)*. Monografías del Instituto de Arte Rupestre, 2. Valencia.
- DOMINGO, I., VILLAVARDE, V., LÓPEZ MONTALVO, E., LERMA, J.L., y CABRELLES, M. (2013). Latest developments in rock art recording: towards an integral documentation of Levantine rock art sites combining 2D and 3D recording techniques. *Journal of Archaeological Science* 40 (4): 1879-1889.
- FRITZ, C. y TOSELLO, G. (2007). The hidden meaning of forms: methods of recording paleolithic parietal art. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 14 (1): 48-80.
- GONZÁLEZ-SAINZ, C y RUIZ, R. (2010) *Una visita a Santimamiñe. Precisiones en el conocimiento del conjunto parietal paleolítico*. Monografías de Kobie, Bilbao.
- HERNÁNDEZ, M; FERRER, P. y CÁTALA, E. (1998). *Art Llevantí*. Cointaina, Centre d'Estudis Contestans.
- HERNÁNDEZ-PACHECO, E. (1924). *Las pinturas prehistóricas de las Cuevas de la Araña (Valencia)*. *Evolución del arte rupestre en España*. Madrid, Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas, 34.
- LERMA, J.L. (2002). *Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital*. Universidad Politécnica de Valencia.
- LERMA, J.L., CABRELLES, M., NAVARRO, S. y GALCERÁ, S. (2009). Documentación 3D de la Cova de Parpalló. En Mira, J.A.; Martínez, R. y Matamoros, C. (coord.) *El Arte rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 años en la Lista del Patrimonio Mundial de la Unesco. El arte rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 años en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO. Actas del IV Congreso (Valencia 3-5 diciembre de 2008)*. Valencia, Generalitat Valenciana: 289-293.
- LERMA, J.L; NAVARRO, S; CABRELLES, M. y VILLAVARDE, V. (2010). Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study. *Journal of Archaeological Science*, 37: 499-507.
- LÓPEZ-MONTALVO, E. y DOMINGO, I. (2005). Nuevas tecnologías y restitución bidimensional de los paneles levantinos: primeros resultados y valoración crítica del método. *Actas del III Congreso de Neolítico de la Península Ibérica*. Santander, 719-728.
- (2009). Nuevas técnicas aplicadas a la documentación gráfica del arte Levantino: valoración crítica del método tras una década de experimentación. En Mira, J.A.; Martínez, R. y Matamoros, C. (coord.) *El Arte rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 años en la Lista del Patrimonio Mundial de la Unesco. El arte rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 años en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO. Actas del IV Congreso (Valencia 3-5 diciembre de 2008)*. Valencia, Generalitat Valenciana: 295-302.
- LORBLANCHET, M. (1993). Finalité du relevé. En GRAPP *L'art pariétal paléolithique, techniques et méthodes d'étude*. Edition du comité des Travaux Historiques et Scientifiques, París: 329-337.
- MARTÍNEZ-BEA, M. (2009). *Las pinturas rupestres del abrigo de La Vacada (Castellote, Teruel)*. Monografías Arqueológicas, 43. Prehistoria. Zaragoza, Universidad de Zaragoza.
- MARTÍNEZ, R. y VILLAVARDE, V. (coords) (2002). *La Cova dels Cavalls en el Barranc de la Valltorta*. Monografías del Instituto de Arte Rupestre, 1.
- MONEVA, M<sup>a</sup>.D. (1993). Primeros sistemas de reproducción de Arte Rupestre en España. *Espacio, Tiempo y Forma, Serie I, Prehistoria y Arqueología*, 6: 413-442.
- MONTERO, I., RODRÍGUEZ, A., VICENT, J. M. y CRUZ, M. (1998). Técnicas digitales para la elaboración de calcos de Arte Rupestre. *Trabajos de Prehistoria*, 55(1): 155-169.
- OSBERMAIER, H. y WERNERT, P. (1919). *Las pinturas rupestres del Barranco de la Valltorta. (Castellón)*. Memoria de la Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas, 23. Madrid, Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas.
- ORTIZ, J., GIL, M.L., MARTÍNEZ, S., REGO, M.T., y MELIJE, G. (2010). A Simple Methodology for Recording Petroglyphs using Low-Cost Digital Image Correlation Photogrammetry and Consumer-Grade Digital Cameras, *Journal of Archaeological Science*, 37: 3158-3169.
- RIPOLL, E. (1963). *Pinturas rupestres de la Gasulla. Monografías de Arte Rupestre*. Arte Rupestre Levantino, nº 2. Barcelona.
- (2002). *Abate H. Breuil. Antología de textos*. Lleida, Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- ROBSON, K.A., CHALMERS, A., SAIGOL, T., GREEN, C. y D'ERRICO, F. (2001). An automated laser scan survey of the Upper Palaeolithic rock shelter of Cap Blanc. *Journal of Archaeological Science*, 28: 283-289.
- RÜTHER, H. (2007). State of the art Technologies in Heritage documentation: the giraffe engravings of Oued Djerat, Algeria. En Deacon, J. (ed) *African rock art: the future of Africa's past*. Kenya, Trust for African rock art: 59-70.
- SOLIS, M. (2009). Métodos digitales para la restauración-reconstrucción virtual aplicada al estudio del arte rupestre. En Mira, J.A.; Martínez, R. y Matamoros, C. (coord.) *El Arte rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 años en la Lista del Patrimonio Mundial de la Unesco. El arte rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. 10 años en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO. Actas del IV Congreso (Valencia 3-5 diciembre de 2008)*. Valencia, Generalitat Valenciana: 343-349.
- VICENT, J. M., MONTERO, I., RODRÍGUEZ, A., MARTÍNEZ, I. y CHAPA, T. (1996). Aplicación de la imagen multispectral al estudio y conservación del arte rupestre postpaleolítico. *Trabajos de Prehistoria*, 53(2): 19-35.
- VIÑAS, R. (1982). *La Valltorta. Arte rupestre del Levante español*. Barcelona. Ed.Castell.
- VILLAVARDE, V., MARTÍNEZ, R., DOMINGO, I., LÓPEZ-MONTALVO, E y GARCÍA-ROBLES, R. (2000). Abric de Vicent: un nuevo abrigo con Arte Levantino en Millares (València) y valoración de otros hallazgos en la zona. *Actas do 3º Congreso de Arqueología Peninsular. Vol. IV, Pré-historia recente da Península Ibérica*. 433-442. Porto: ADECAP.