

# CLONAR EL PATRIMONIO HISTÓRICO. CREACIÓN DE UNA RÉPLICA. APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN CONSERVACIÓN

Silvia Rosende\* y Juan Carlos Andrés\*

Con motivo de la creación de un complejo arqueológico y museístico en Egipto, compuesto en parte por la reproducción de las más famosas e importantes tumbas de faraones como Tutankamon, Horemheb, o Ramses VIII, se realiza, a petición del Consejo Superior de Antigüedades de Egipto, la réplica tipo facsímile de una parte de la magnífica tumba del faraón Seti I.

Punta de lanza a nivel mundial, este proyecto demuestra la absoluta simbiosis entre tecnología y conservación del Patrimonio. Como se narra en este artículo, el innovador proceso y la más alta tecnología aplicada han conseguido, sin tan siquiera tocar el original, que se reproduzcan a una altísima resolución (la mayor conseguida hasta ahora) todos los detalles y características de superficies tan complejas como los muros decorados en bajorrelieve y policromados del Imperio Nuevo Egipcio.

La primera consecuencia de esta actuación es la ruptura del tabú sobre las reproducciones, creado a partir de los posibles daños que los moldes hechos "in situ" producen en el original, dándose la paradoja de que una reproducción hecha para ayudar a la conservación de un modelo finalmente lo dañe.

La complejidad del proyecto obligó al desarrollo de nuevos *softwares* para procesar la infinidad de datos que componen el modelo informático, así como a la creación de un nuevo material al que denominamos "yeso flexible", y que por las características formales del original fue imperativo desarrollar.

**Palabras clave:** clonar, escáner, láser, software, colorímetro, mecanizado, molde, "yeso flexible", réplica.

## CLONING HISTORIC HERITAGE. THE CREATION OF A REPLICA. NEW TECHNOLOGIES APPLIED TO CONSERVATION

*In order to mark the creation of an archaeological and museum site in Egypt, made up in part of reproductions of the most famous and most important Pharaoh tombs such as those of Tutankhamun, Horemheb and Ramses VIII, the Egyptian Supreme Council of Antiquities commissioned a facsimile replica of part of Seti I's magnificent tomb.*

*This globally pioneering project demonstrates the total symbiosis between technology and heritage conservation. As described in this article, the innovatory process and hi-tech applications used have resulted in the high-resolution reproduction (the best ever to date) of all the details and characteristics of surfaces as complex as the polychrome and bas-relief-adorned walls of the New Egyptian Empire. This has been achieved without touching the original.*

*This first consequence of this measure is that it has broken the taboo surrounding reproductions. Moulds made "in situ" have generally been believed to involve the risk of damage to the original, giving rise to a paradoxical situation whereby reproductions made to assist in the conservation of a model can actually damage it.*

*Due to the complexity of the project it was necessary to develop new software to process the vast amount of data contained in the computer model. Likewise, the formal characteristics of the original demanded the development of a new material that we have called "flexible plaster".*

**Key words:** cloning, scanner, laser, software, colour meter, mechanised, mould, "flexible plaster", replica.

Recibido: 06/06/2003  
Aceptado: 09/06/2003

\* Técnicos especialistas  
en procesos escultóricos.  
Fotografía: Juan Carlos Andrés.  
Factum-Arte.



*Detalle de la réplica acabada y expuesta en el Museo Arqueológico Nacional.*

## Introducción

*Setos Men Mat Re, Seti I, entra por última vez en su morada de eternidad setenta días después de fallecer. El osiriaco cuerpo es acogido por una de las obras maestras del arte funerario egipcio. Pasillos y cámaras excepcionalmente trabajados con bajorrelieves y pinturas, le acompañarán en su descenso a la cámara dorada. Estamos en el comienzo del segundo mes de inundación, agosto de 1279 a JC.*

Como representación a escala del mundo subterráneo o “AM DUAT”, la tumba real no es solo un lugar seguro y oculto, sino el mundo donde se regenera el espíritu del faraón. Garantizada históricamente la supervivencia de su morador, resulta paradójico que su magnífica tumba, la más grande del Valle de los Reyes, no esté en condiciones de asegurarse su futura existencia.

Después de sufrir saqueos, abandono, ocupaciones temporales y hasta la iconoclastia de los primeros copios, su agonía comienza cuando Belzoni la descubre al mundo.

Siguiendo los criterios científicos de la época se estudia la tumba (5 años después se descifran los jeroglíficos), incluyendo actuaciones como el reparto de frisos y otras zonas decoradas entre museos como el Louvre, y la extracción de moldes de cera que sirvieron para crear en Londres la primera reproducción parcial de *la tumba de Seti I*.

A estos daños producidos por la infancia de disciplinas como la arqueología, y los criterios de con-

servación imperantes en esa época, hay que sumar los actuales de la masificación turística que condujo a su cierre en 1988 tras una década de torrenciales lluvias en el valle.

Noviembre del año 2002 a JC, 3281 años después, y enmarcada en un actuación necesariamente conservacionista, se inaugura en el Museo Arqueológico Nacional la exhibición en facsímil de una parte de dicha tumba.

Realizada por la empresa Factum Arte, y bajo el amparo del Consejo Superior de Antigüedades de Egipto, esta réplica de 16 m<sup>2</sup> de la pared sur de la cámara del sarcófago, resuelve mediante la más avanzada tecnología, la antigua problemática de reproducir exactamente la pintura y el bajorrelieve sin dañar, ni tan siquiera tocar el original; haciendo factible un esperado proyecto del Gobierno Egipcio para devolver a la humanidad la visión de una de las joyas de su patrimonio.

## EL LASER Y EL FARAÓN

Cuando a finales del año 2001 el equipo de Factum Arte se desplaza a la tumba para la recogida de datos, lo hace tras intensas investigaciones sobre el protocolo de trabajo a desarrollar. Las técnicas y los colores que usaron los trabajadores de Deir-el-Medina serán estudiados exhaustivamente, ya que marcarán las directrices del posterior trabajo.

*Para la recogida de datos tridimensionales se desarrolló, por medio de Factum y colaboradores, el scanner SETI.*

Montado sobre una estructura de raíles de aluminio diseñados para tal fin, es capaz de desplazarse automáticamente y escanear una sección de 52cm por 3 m de altura, para una vez repositionado, realizar de nuevo la operación.

El tremendo contraste entre las milenarias paredes y este sistema de lectura y desplazamiento, es contemplado con reverencia por los orgullosos descendientes de tan magnos artesanos.

La situación espacial de algunos elementos arquitectónicos como pequeños nichos, esquinas, o zonas de difícil acceso que presenta la orografía de la tumba, siendo esta la más profunda del Valle de los Reyes con una pendiente de muy alto porcentaje, y constituida por un amplio espacio que la excavación egipcia no llegó a terminar, complica el trabajo realizado con el escáner, dándose situaciones donde la estructura de raíles del lector láser no puede ser acomodada haciendo más compleja la toma de datos a realizar.

Cuando se realiza la lectura total de la tumba, el escáner SETI 3D solo pudo realizarlo en el 80% de la superficie, usándose para el resto el sistema ModelMaker. Este tipo de escáner, aunque de menor resolución que el diseñado por Factum Arte y dependiente de la pericia del operario que lo maneja, está alojado en una estructura de ejes móviles que permiten su posicionamiento en diferentes ángulos, posibilitando la lectura de ese problemático 20 % de superficies anteriormente detalladas.

*El escáner SETI 3D se desplaza tomando medida de 100.000.000*



*puntos tridimensionales por metro cuadrado* barriendo la superficie con su láser, siendo este, el único punto de contacto con la superficie original.

Con esta resolución hasta el más mínimo detalle como la saturación de la pintura en la pincelada, o cualquier irregularidad en la superficie quedará registrada para su posterior reproducción.

La toma de datos también se realizó en el llamado Hall of Beauties, divertículo donde se representa al Faraón con ofrendas ante los Dioses, para así poder crear una primera reproducción de 1,5 m<sup>2</sup> que sirvió para la presentación del proyecto en Londres.

En esta sección de la tumba se realizó una reintegración digital de la cara del monarca, aprovechando que su rostro se repite varias veces en este camarín. Posteriormente, y siguiendo el proceso que podréis ver más adelante, la reintegración se materializa, aportando un nuevo valor a esta actuación, el aprovechamiento de los datos digitales para la restauración y conservación del patrimonio.

Para la captura del color, tan presente en la tumba y, en continua comunión con el bajorrelieve, se usó una cámara Hasselblad equipada con soporte digital Phase One H20. Además se hicieron necesarios otros sistemas de medición del color, uno

de ellos, no menos efectivo, mediante comparación con muestras realizadas con témperas.

Fue imprescindible realizar un exhaustivo trabajo de campo en el estudio de la pintura, factores como la compleja superficie sobre la que está aplicada la pintura, el estado de conservación o los daños producidos en la tumba por intervenciones anteriores, otorgan a algunas zonas características propias como el brillo u otras que deben ser catalogadas y puestas en relación con las notas sobre el color.

### TALLA MECÁNICA

A partir de aquí, la empresa se pone en contacto con nosotros para trabajar conjuntamente en la réplica egipcia.

La producción de nuestro facsímil entra en la fase de materializar los datos numéricos conseguidos mediante el escaneado. La empresa inglesa Delcam UK, especialistas en la creación de prototipos por medio del fresado mecánico, fue la encargada de llevarlo a cabo.

Se construyeron unas baldosas de poliuretano mezclado con chabota cerámica, inyectado a alta presión. Este material permite el trabajo abrasivo de la fresa sin quemarlo como ocurriría con cualquier otro plástico.



*Izquierda.  
Sección del  
Hall of  
Beauties.  
Tumba de Seti I.  
Reproducción.*

*Al lado.  
Reintegración  
del rostro del  
Faraón.*

Cada baldosa mide 52 x 52 cm. (coincidiendo con las franjas de lectura del láser), la broca usada para el fresado mide 0,6 mm de punta y trabaja en pasadas paralelas de 0,1 mm.

Esta era la primera vez que se capturaba y fresaba la superficie de un monumento con un error de 0,1mm.

Con esta resolución cada baldosa se mecanizaba en 24 horas.

*Este mismo proceso, realizado de nuevo por Factum Arte, se ha llevado a cabo para construir una réplica de la Dama de Elche para el Museo Arqueológico de Alicante con la colaboración del Museo Arqueológico Nacional, presentada el mes de mayo del año 2003.*

### MOLDEO Y REPRODUCCIÓN

Una vez examinada y limpia cada baldosa, se realiza un molde de silicona para así poder obtener tantas copias como puedan necesitarse para las pruebas de impresión.

Se plantea un molde de cada baldosa con su correspondiente carcasa rígida.

La silicona se aplicó con agente tixotrópico en un total de tres capas. La primera de ellas se aplicó más diluida que las posteriores, consiguiendo de esta manera un perfecto registro de la superficie. Obviamente, se esperó a la polimerización de la capa para aplicar la siguiente. El molde y su correspondiente carcasa se realizaron de una sola pieza, pues las características formales del bajorrelieve no presentan enganches,



*Molde de silicona del retrato de Seti I.*

permitiendo una fácil separación de todos los elementos.

Las carcasas se hicieron de escayola reforzada con tela de arpillera para, con un grosor fino, conseguir poco peso y manejabilidad.

*El material para hacer las copias debía ser un elemento flexible por la dificultad de imprimir en una superficie con volúmen* (la distancia máxima de separación entre los cabezales de la impresora y la superficie a imprimir debe ser menor a 2 cm, cota supe- rada con creces en algunas zonas,

debido al bajorrelieve y a la super- ficie irregular de la pared).

La apariencia a simple vista tie- ne que ser parecida al muro real antes de la policromía; necesitá- bamos una absorción similar a la del muro original, que fuera compatible con los pigmentos elegidos para la impresora y la exigencia primordial de su elasticidad se debía para una vez impreso, poder adaptarlo a su posición original sin agrietarse.

Así se crea un material flexible inspirado en los aparejos usados para pintura y restauración. Se realizaron

más de 200 combinaciones con dife- rentes materiales.

En el mercado existen numero- sos productos preparados y comer- cializados para crear superficies imprimibles de apariencia similar al aparejo aquí desarrollado, pero nin- guna fue útil porque estos aparejos al ser aplicados sobre una superficie no absorbente, (la silicona), tienen una fuerte retracción provocando el cuarteado total de la superficie según esta va secando.

Se crearon tablas de retracción para medir el coeficiente de merma del material.

Son tiras milimetradas del mis- mo producto que una vez secas son medidas, y al compararlas con su medida original nos dan la magnitud de la retracción.

Todas estas pruebas nos hicie- ron elegir un aparejo compuesto de cargas naturales y pigmentos, aglu- tinadas con una resina vinílica. La len- ta evaporación y las características mecánicas de cada elemento usado en este mortero favorecen la estabi- lidad y cohesión de la mezcla. Para asegurar la perfecta superficie y el grosor medio adecuado (0'5mm) se aplicó una segunda capa, Su com- posición es similar a la anterior pero con una proporción de carga un 50% menor.

Una vez terminado este proceso hemos creado un sustrato que se asemeja al muro original y está pre- parado para recibir la impresión. Las siguientes capas determinarán el gra- do de flexibilidad y la resistencia a la deformación.

La solución para dar estas capas estratificadas la encontramos des- pués de realizar bastantes pruebas, en un producto formulado a base de una emulsión polimérica de estire- nos-ésteres acrílicos con excelentes características de elasticidad.

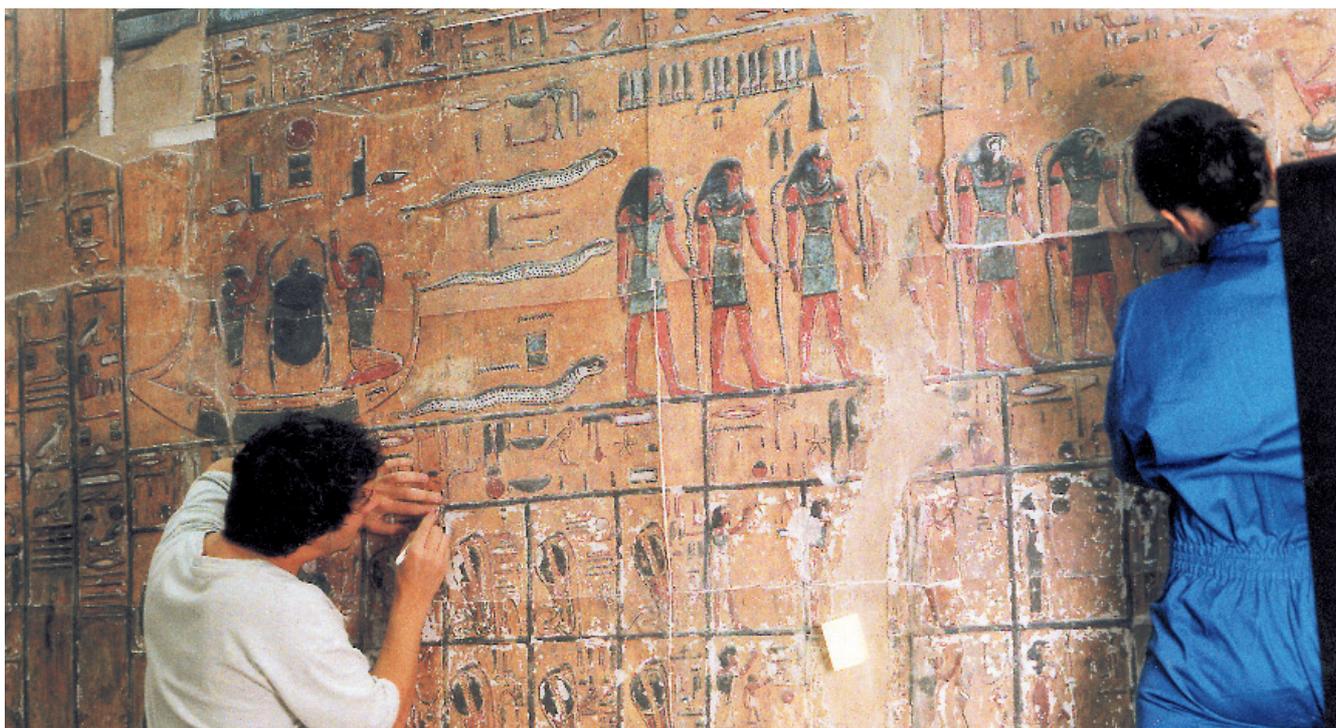
A esta emulsión, denominada como "caucho-acrílico" por la em- presa suministradora, Plastiform, S.A., nosotros le añadimos cargas naturales inorgánicas para modificar sus propiedades tanto físicas como mecánicas; también modificamos su viscosidad y opacidad con la finalidad de disminuir la transmisión luminosa.

Para conseguir más resistencia mecánica utilizamos refuerzos fila- mentosos de fibra de vidrio Mat 300.

Así, con estos resultados, conse- guimos el material perfecto para



*Colocación de una baldosa ya impresa sobre el muro.*



resolver las incógnitas que se presentaban en los inicios del proceso de reproducción sobre los moldes.

*De esta forma se presenta en este proyecto el material que se denominó “yeso flexible”.*

La existencia de dos tipos diferentes de volúmenes a reproducir, el dado por el bajorrelieve, y el propio de la pared; nos obliga a realizar (una vez vaciada cada baldosa y sin sacar esta del molde) un molde interior (uno para cada baldosa), que constituye el muro sobre el que con posterioridad se fijarán las baldosas impresas, una vez plasmado en ellas el volumen original del bajorrelieve y el movimiento irregular del muro.

Los moldes interiores se realizaron con una fina capa de escayola a la que se adhirió un módulo, de igual tamaño y grosor para cada baldosa, de poliestireno expandido de alta densidad.

El muro lo forman cuarenta de estos módulos unidos y repasados entre sí, por ello esos moldes interiores debían ser manejables y tener poco peso. Gracias a que el yeso flexible fue ideado para ser trabajado con un grosor mínimo, en la superficie de este primer muro de moldes interiores se registra la huella del bajorrelieve necesaria para la perfecta ubicación de estos a la hora de acoplar las baldosas de yeso flexible ya impresas.

La realización de estos trabajos en nuestro taller y en las instalaciones de Factum favoreció la investigación de nuevos materiales y técnicas, a la vez que se perfeccionaban los sistemas de impresión.

El plan de trabajo requirió soluciones tanto de materiales para realizar la réplica, como de construcción y montaje de la misma.

### RESUCITANDO VIEJAS PALABRAS

El paso siguiente es imprimir las baldosas previa aplicación de una capa de cola base pulverizada sobre el relieve reproducido para homogeneizar la absorción del soporte y que este sea completamente apto para recibir el color.

La conjunción del “yeso flexible” con esta aplicación nos da la solución para poder imprimir sobre el soporte correctamente.

Se realizaron estudios previos para controlar un proceso que se convierte en encaje de bolillos cuando se tiene que hacer coincidir la información del color con la del volumen, y hasta la más mínima fisura tiene su correspondencia de falta de color con un inconveniente añadido: todos los procesos anteriores han provocado distorsiones milimétricas que deben ser compensadas. Por esta razón se trabajó sobre un

archivo informático que debía coincidir perfectamente con la baldosa imprimir.

La impresión se realiza con una impresora Mammoth y se tardó una hora y media en el registro preliminar e impresión de cada reproducción, midiendo estas 52x 52 cm

Una vez acabadas las baldosas, aparecen, fuera de la confusión creada por la densidad de la decoración, grafitos en griego, francés y árabe, unos anteojos que alguien pintó sobre uno de los babuinos, y hasta la huella dactilar de uno de los posibles artesanos que se apoyó cuando la pintura de fondo estaba aún fresca.

*Cortando las uniones para fijar definitivamente las piezas.*



*Impresión de una de las paredes de un nicho que forma parte del conjunto reproducido. Se representa la ceremonia de la apertura de boca a la momia de Seti I realizada por un oficiante, posiblemente su hijo Ramses II, enmascarado como el dios Anubis.*

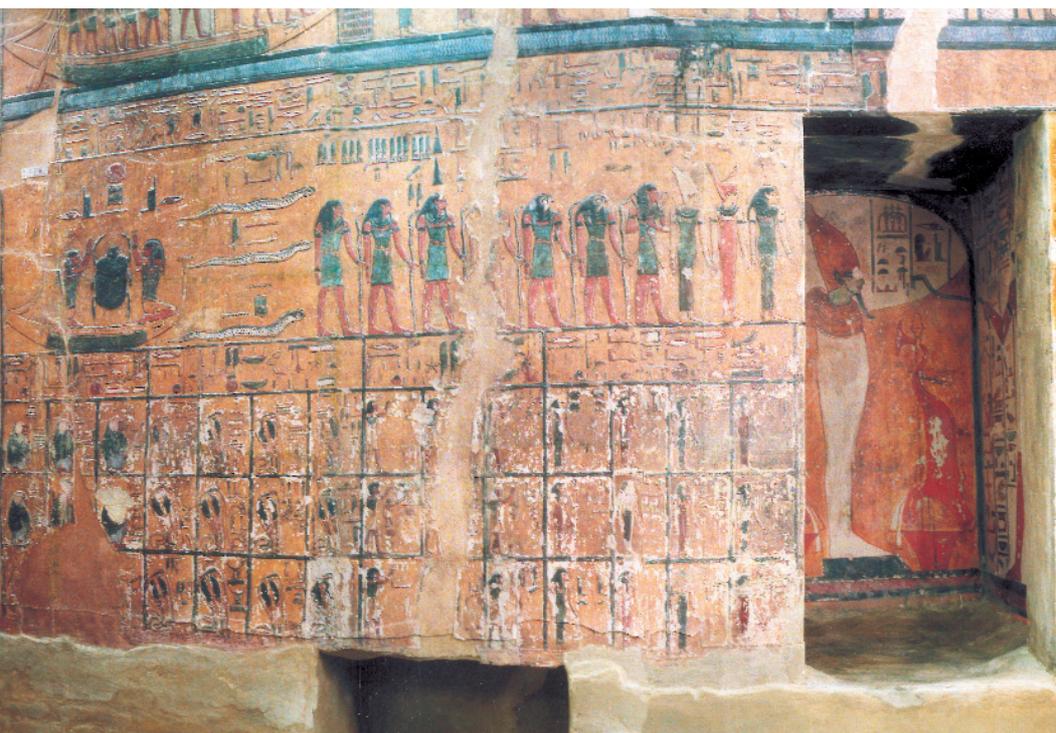


Imagen de la réplica acabada y expuesta en el Museo Arqueológico Nacional.

Hemos recuperado la forma, el volumen, el color para la filosofía que creó estas paredes, hemos vuelto a dar vida a esas ancianas palabras de magia y transformación eterna.

### MONTAJE

Los módulos de poliestireno se fijaron a una estructura de madera creada a partir de medidas tomadas en la misma tumba, y sobre ellas se presentaron las baldosas de 52 x 52 cm. con la finalidad de cortar las uniones entre ellas. Esto fue posible porque las baldosas tienen zonas comunes, esto es se solapan unas con otras permitiendo integrar las juntas en grietas, siluetas o accidentes del muro.

El conjunto a reproducir consta además, como puede observarse en las fotografías, de una base de ladrillo con marcas claras de haber sido objeto de restauración, y un nicho. La única zona de la réplica que no fue escaneada ni reproducida mecánicamente es la base de ladrillo, que fue reproducida a partir de plantillas y medidas tomadas "in situ".

Por último, una vez repasadas y pintadas las uniones, se aplicó una pátina general pues los signos del

paso del tiempo son difíciles de reproducir mecánicamente.

### CONCLUSIÓN

Además de crear una réplica de esta exactitud innovando tecnológicamente actuaciones anteriores, nos encontramos ante un mundo de oportunidades para el campo de restauración y conservación. El archivo creado para construir esta muestra, tiene guardados todos los datos físicos de esta porción de la tumba para, poder compararlo con lecturas futuras y comprobar su estado de conservación o bien la salvaguarda para el mundo en caso de colapso de la construcción, posible pues todo tiene su ciclo vital.

La viabilidad de escanear los fragmentos repartidos por los museos del mundo y la reintegración digital de elementos existentes en zonas donde esto sea posible, (como la ya nombrada reintegración de la cabeza del faraón, que se muestra en las fotografías 1 y 2), brindan la posibilidad de reconstruir la tumba, (tanto digital como materialmente) como era ese momento de plenitud. Ese tiempo, en el que los artistas egipcios salían por última vez de la tumba y el cartucho con los 9 chacales,

antiguo logotipo de la necrópolis Tebana, era impreso en las juntas de sus puertas para ser selladas.

*El éxito del trabajo requería de soluciones conjuntas, por tanto, el trabajo en equipo dio los resultados esperados y buscados.*

*A los obreros de la muerte.*

### Bibliografía

- Cadena, S., (2003): "Proyecto DUPLE". Revista de Arqueología. (6). M.C. Ediciones S.A. Madrid. 18-25.
- Lasheras, J.A., (2001): "El Museo y la Neocueva de Altamira". Arqueo. (2). ed. RBA Revistas S.A. Barcelona. 28-29.
- Lasheras, J.A., et al. (2001): "Nace Altamira". Descubrir el Arte. (29). Arlanza Ediciones S.A. Madrid. 32-42.
- Lowe, A., (2003): "The Tomb of Seti I. Digital Technology in conservation". Factum Arte. Madrid.
- Macarrón, A.M., y González, A., (1998): *La conservación y la restauración en el s. XX*. Madrid. Tecnos.
- Moneva, L., (2001): "Altamira, La Capilla Sixtina del Cuaternario". Arqueo (2). ed. RBA Revistas S.A. Barcelona. 28-29.
- Múzquiz & Saura., (2000): "Nueva luz sobre Altamira". Nacional Geografic. Edición Especial Otoño. RBA, Publicaciones, S.A. Barcelona. 156-197.

### Internet:

- Holland, C., (2002): "Eye-popping Immortality starts U.S. tour". New York Time  
[http://www.charlotte.com/mld/charlotte/entertainment/visual\\_arts/3705220.htm](http://www.charlotte.com/mld/charlotte/entertainment/visual_arts/3705220.htm)
- Muy Interesante-Observatorio (2003): "Monumentos en Facsímil".  
[http://muyinteresante.es/canales/muy\\_act/anterior/febrero03/observa.htm](http://muyinteresante.es/canales/muy_act/anterior/febrero03/observa.htm)
- Press Release., (2002): "The Quest for Immortality: Treasures of Ancient Egypt".  
[http://www.mos.org/whats/happening/press\\_releases/20020619-qeh.html](http://www.mos.org/whats/happening/press_releases/20020619-qeh.html)