

# Reproducción de una cavidad miarolítica del granito de La Cabrera (Madrid) en el Museo Geominero (Instituto Geológico y Minero de España)

E. Baeza Chico, R.P. Lozano, M.C. de Frutos y M. de la Fuente

Museo Geominero. Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid  
E-mails: e.baeza@igme.es - r.lozano@igme.es - mc.defrutos@igme.es - m.delafuente@igme.es

## RESUMEN

Siguiendo la línea de actuaciones didácticas desarrollada en los últimos años en el Museo Geominero, se ha recreado una cavidad miarolítica similar a las que se encuentran en el granito biotítico de La Cabrera (Madrid) con el fin de mostrar las características de estas rocas al público general. Mediante la técnica de moldeo y vaciado se han obtenido réplicas de cristales naturales de ortosa y cuarzo procedentes de estas miarolas y conservados en los fondos del Museo, que posteriormente se dispusieron en las paredes de una cavidad tallada en un soporte adecuado. El soporte de la cavidad se recubrió con imágenes digitales del granito de La Cabrera, que le confirieron un aspecto muy cercano al real. En el trabajo se describe detalladamente la metodología de actuación y los materiales empleados con el fin de facilitar la reproducción de recreaciones similares como apoyo a la divulgación de las Ciencias de la Tierra.

Palabras clave: cavidad miarolítica, difusión Ciencias de la Tierra, La Cabrera, moldeado, replicado

## ***Reproduction of a miarolitic cavity from La Cabrera (Madrid) granite in the Geominero Museum (Spanish Geological Survey)***

### ABSTRACT

*The Geominero Museum, following the didactic trajectory developed during last years, has made a reproduction of a miarolitic cavity similar to those that can be found in the biotitic granite of La Cabrera (Madrid), with the aim of showing the features of that rock to general public. Following moulding and casting techniques several replicas of natural ortose and quartz (belonging to real miaroles and stored at the Museum) have been obtained. Later, they were arranged on the walls of a cavity cut in a suitable support. Finally, the support of the cavity was covered with digital images of La Cabrera granite that gave it a quite real appearance. In this paper we describe in detail the working methodology and the materials used in order to provide readers the making of similar reproductions as a support to popularize Earth Sciences.*

*Key words: casting, Earth Sciences popularization, La Cabrera, miarolitic cavity, moulding*

## Introducción

El diseño de materiales didácticos en los museos con contenidos geológicos está adquiriendo cada vez un mayor auge debido, en gran medida, a que éstos facilitan la comprensión de diferentes aspectos de las Ciencias de la Tierra, difícilmente asimilables de otro modo por el público general. En este sentido, el Museo Geominero viene desarrollando desde hace varios años una serie de actividades didácticas y de difusión, para las que se producen materiales especí-

ficos. Algunos de ellos fueron diseñados para las actividades presentadas en pasadas ediciones de la Feria Madrid por la Ciencia (evento de divulgación científica promovido por la Comunidad de Madrid): moldes para generar huellas de dinosaurio sobre arena húmeda (Rábano *et al.*, 2003), maquetas de la topografía y geología de la Comunidad de Madrid (Rábano *et al.*, 2004) y recreaciones métricas de fondos oceánicos junto a una maqueta de la Tierra con posibilidad de observar su estructura interna (Rábano *et al.*, 2005). También se han generado materiales

didácticos de este estilo para exposiciones temporales como por ejemplo la denominada "Un tesoro geológico en la Autovía del Cantábrico", para la que se produjo una maqueta de casi dos metros de longitud de un trilobites y una simulación de la Tierra durante el Ordovícico de unos 80 cm de diámetro (Gutiérrez-Marco y Bernárdez, 2003). En el presente trabajo se muestra la metodología de actuación para la creación de una cavidad miarolítica idealizada a partir de técnicas comunes de moldeado y vaciado, utilizadas con mucha frecuencia en Paleontología (Arnold, 1965; Pardo, 1992). Las publicaciones existentes en relación con trabajos similares no suelen describir de una forma detallada las diferentes etapas de cada proceso, lo que dificulta enormemente la reproducción de los productos finales. Por este motivo, en este trabajo se realiza una exhaustiva descripción, tanto de la metodología empleada en cada etapa como de los materiales utilizados, con el objetivo de que el lector pueda obtener fácilmente resultados similares.

La idea original para la realización de este elemento didáctico surge como consecuencia del diseño de la exposición temporal del Museo Geominero titulada "Cuevas de cristal en La Cabrera (Madrid)", inaugurada en la VII Feria de Madrid por la Ciencia (2006). Sus principales objetivos son, por una parte, dar a conocer los aspectos más relevantes de las cavidades miarolíticas que aparecen en el granito biotítico de La Cabrera (Madrid) (González del Tánago *et al.*, 1986; Lozano, 2003), y por otra, aproximar al público a la identificación tanto de minerales comunes en estas rocas como de inclusiones blindadas en cristales de cuarzo. En esta exposición se muestra, entre otros elementos, parte de la colección mineralógica de La Cabrera conservada en los fondos del Museo Geominero. Además, se incluyen varios paneles que presentan el aspecto de las cavidades, si bien para el público general resulta muy dificultoso aproximarse a la idea tridimensional de una de estas miarolas a partir únicamente de imágenes. Para solucionar este problema se plantearon tres opciones:

- a) Recuperar un fragmento de granito con una cavidad miarolítica en su interior. Un ejemplo de ello puede observarse en la entrada del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC, Madrid), donde se expone un bloque de granito con una cavidad decimétrica en su interior.
- b) Generar una recreación a tamaño natural de una geoda, adhiriendo cristales naturales de varias especies a las paredes de un hueco artificial previamente confeccionado. Un ejemplo de este tipo de trabajos puede observarse en una de las paredes del sector de Mineralogía del Museo de Historia Natural de Viena (Austria).

- c) El mismo caso anterior de recreación pero adhiriendo, en lugar de cristales naturales, réplicas de los mismos, obtenidos mediante técnicas de moldeado y vaciado.

La primera opción podría parecer la más acertada puesto que se mostraría el objeto real, pero presenta serios inconvenientes: resulta complicado localizar un bloque de dimensiones adecuadas con una cavidad donde se aprecie claramente la textura que forman los cristales de su interior. Además, estas cavidades suelen estar brechificadas y los cristales habitualmente no conservan su posición original (Lozano *et al.*, 1999). Por último, también es necesario considerar el esfuerzo necesario para transportar un fragmento de dimensiones métricas de granito (considerando una densidad media de  $\approx 2.7 \text{g/cm}^3$  para el granito, un cubo de 80 cm de lado pesaría en torno a 1.400 kg).

La segunda opción podría dar buenos resultados, dado que también se utilizarían elementos naturales obtenidos en trabajos de campo. Sin embargo, el principal inconveniente es la obtención de suficientes cristales para realizar el relleno, que presenten características morfológicas similares, ya que en una misma miarola los cristales suelen tener un hábito parecido. Aunque el material que sustenta la oquedad puede ser ligero, el peso de la recreación puede conducir también a problemas a la hora del transporte. Un tercer inconveniente es la necesidad de utilizar un material de relleno para aplicarlo en los huecos que necesariamente se formarían entre los cristales adheridos.

Después de evaluar y descartar las dos primeras opciones, se optó por la tercera, que permitió solventar algunos de los problemas anteriormente planteados. Las réplicas de los cristales, una vez acabadas, presentan un aspecto muy similar a los originales. Los materiales empleados, que se describirán más adelante, son más ligeros que los originales. Además, permiten su manipulación mecánica para una mejor adaptación entre cristales, evitándose así el problema de los huecos entre ejemplares. No obstante, el replicado resulta laborioso porque una cierta parte del tiempo empleado debe dedicarse a pruebas destinadas a obtener texturas, colores, transparencias y brillos, similares a los presentes en los ejemplares naturales. Los procesos descritos en este trabajo pueden facilitar su reproducción así como minimizar los gastos materiales y laborales.

## Material y métodos

Para la realización de la recreación se desarrollaron

los siguientes pasos: 1) obtención de las réplicas, para lo que hubo que proteger y preparar cada original, fabricar los moldes, vaciarlos y realizar el acabado final y 2) realización de la recreación de la cavidad, con el tallado previo del soporte, la inserción y ensamblaje posterior de las réplicas de los cristales y la simulación de la textura externa del bloque. Respecto a los materiales, en la tabla 1 se detalla la función y composición de los productos utilizados.

### **Obtención de las réplicas**

Desde la antigüedad se han venido realizando réplicas de objetos utilizando el método de moldeo y vaciado, proceso en el que es necesario tener una visión volumétrica del ejemplar y una valoración del número de réplicas a realizar. Consiste en la realización de un molde del original aplicándole cualquier material que registre la forma y textura del mismo (barro, escayola, silicona, látex, gelatina, etc.) y que, tras su endurecimiento, forme un negativo del original susceptible de ser rellenado con un material que registre la morfología del molde para asegurar la reproducción del original (Pardo, 1992; Baeza Chico, 1995; Pereira, 1999; Baeza Chico, 2000).

Existen diferentes tipos de moldes que, dependiendo del material que se utilice, podrán ser rígidos o flexibles, pueden estar formados por una o varias piezas, y tener o no una carcasa rígida que preserve la forma del molde (Gutiérrez del Solar y Gómez-Alonso, 1994). En el caso que nos ocupa, para la elaboración de las réplicas tanto de las ortosas como de los cuarzos, se ha optado por la producción de un molde flexible de silicona de una sola pieza (cuyas características se describen más adelante). El vertido de diferentes materiales en este tipo de molde permite una reproducción totalmente fiel de los originales (Fleischmann, 1979; Baeza Chico y Llorente Bárcena, 2004).

Aunque en las cavidades miarolíticas del granito de La Cabrera aparecen más de 60 especies minerales (González del Tánago y La Iglesia, 1998) para la obtención de réplicas se han elegido únicamente minerales pegmatíticos: ortosa y cuarzo procedentes de varias miarolas. Ello simplifica la lectura de la representación y permite realizar una comparativa mineralógica con el granito que alberga a la pegmatita, haciendo hincapié en las diferencias texturales de ambos tipos de roca.

Se han empleado 10 originales incluyendo monocristales y agregados de cada mineral. En el caso del cuarzo se han realizado cerca de 300 réplicas. De

ellas, más de 200 corresponden a ejemplares pequeños (< 5 cm en su máxima dimensión), mientras que para las 100 restantes se utilizaron piezas más voluminosas (> 5 cm en su máxima dimensión). Los ejemplares más pequeños han servido en muchos casos para rellenar huecos entre otras muestras de mayor tamaño. El número de réplicas de ortosa es menor (en torno a 150 ejemplares). Éstos, después de ser insertados en las paredes de la cavidad, ocupan mayor superficie que los cuarzos.

A continuación se describen los materiales y métodos utilizados en cada uno de los pasos necesarios para la realización de las réplicas:

### *Protección y preparación del original*

Los tratamientos de protección pretenden preservar la integridad de los ejemplares originales. Para ello, se ha aplicado sobre cada ortosa una capa submilimétrica de resina acrílica (Paraloid B-72) disuelta en acetona al 5% en peso (Tabla 1). Después del proceso de moldeo, que se describe más adelante, la protección se elimina disolviendo la resina con acetona. Aunque la capa que se aplica tiene poco espesor (decenas de micras), puede rebajar ligeramente la fidelidad de la réplica obtenida. Por este motivo, sólo se ha aplicado a la ortosa y no al cuarzo, ya que el primero apenas tiene protuberancias en las caras, mientras que el segundo presenta abundantes estrías de crecimiento que deben reproducirse. Además, el cuarzo es más resistente y más impermeable que la ortosa frente a cualquier agente químico. Por otra parte, la ortosa presenta fracturas debido a su exfoliación por las que podría introducirse el material de moldeo.

En el caso de la ortosa, el original se ha de preparar convenientemente para evitar que las grietas que presenta no dificulten la extracción de la silicona que constituye el molde, así como de los vaciados posteriores. De este modo, se aplica una mezcla de silicona (*RTV-S 431*) catalizada al 5% en peso y añadiendo un agente tixotrópico (2% en peso) que produce un aumento considerable en la viscosidad de la silicona original evitando que el producto se descuelgue sobre la superficie aplicada (Tabla 1). Este material se inserta en las grietas de forma somera, de modo que éstas quedan cubiertas sin que el material penetre completamente. Cuando se vierte después la silicona fluida que formará el molde (el mismo producto pero sin el agente tixotrópico), ambas siliconas se adhieren, minimizando la profundidad de las grietas en el futuro vaciado y evitando enganches.

### Fabricación del molde

El molde se fabrica mediante moldeo por colada, método que permite obtener una resolución óptima en los vaciados (Chaney, 1989; Smith and Bruce, 1985) (Fig. 1). Se prepara un recipiente de foam (poliestireno expandido) a medida del ejemplar y posteriormente se vierte silicona (RTV-S 431) catalizada, hasta recubrir totalmente los cristales (Tabla 1). La duración del proceso de curado depende de la cantidad de catalizador utilizado, así como de la temperatura y humedad relativa del aire. En nuestro caso se catalizó al 5% en peso a 25° C entre 50 y 60% de humedad relativa. Con estas condiciones los ejemplares curaron en 24 horas. Después, se retiró el original y se aireó el molde otras 24 horas durante las que se optimizó la reticulación, quedando preparado para el primer vaciado.

En el caso de la ortosa, se ha realizado un molde

para cada ejemplar, es decir 10 moldes individualizados. Dado el tamaño centimétrico de los ejemplares no ha sido necesario la realización de una carcasa rígida, que evitaría las posibles deformaciones de la silicona del molde y por tanto de las réplicas a obtener. No obstante, sí ha sido necesario realizar un soporte de poliestireno expandido provisto de huecos realizados a la medida de cada molde que ha actuado de carcasa común para todos ellos, facilitando el trabajo de vaciado en serie.

En el caso del cuarzo, se han realizado 10 réplicas de cada cristal y a partir de ellas se han creado unos moldes múltiples o "baterías" (Fig. 2A) para, a su vez, obtener 10 vaciados a partir de un molde único, controlando de este modo el color y textura de las réplicas. Este sistema facilita el posterior proceso de replicado, optimizando el tiempo necesario para realizar el procedimiento.

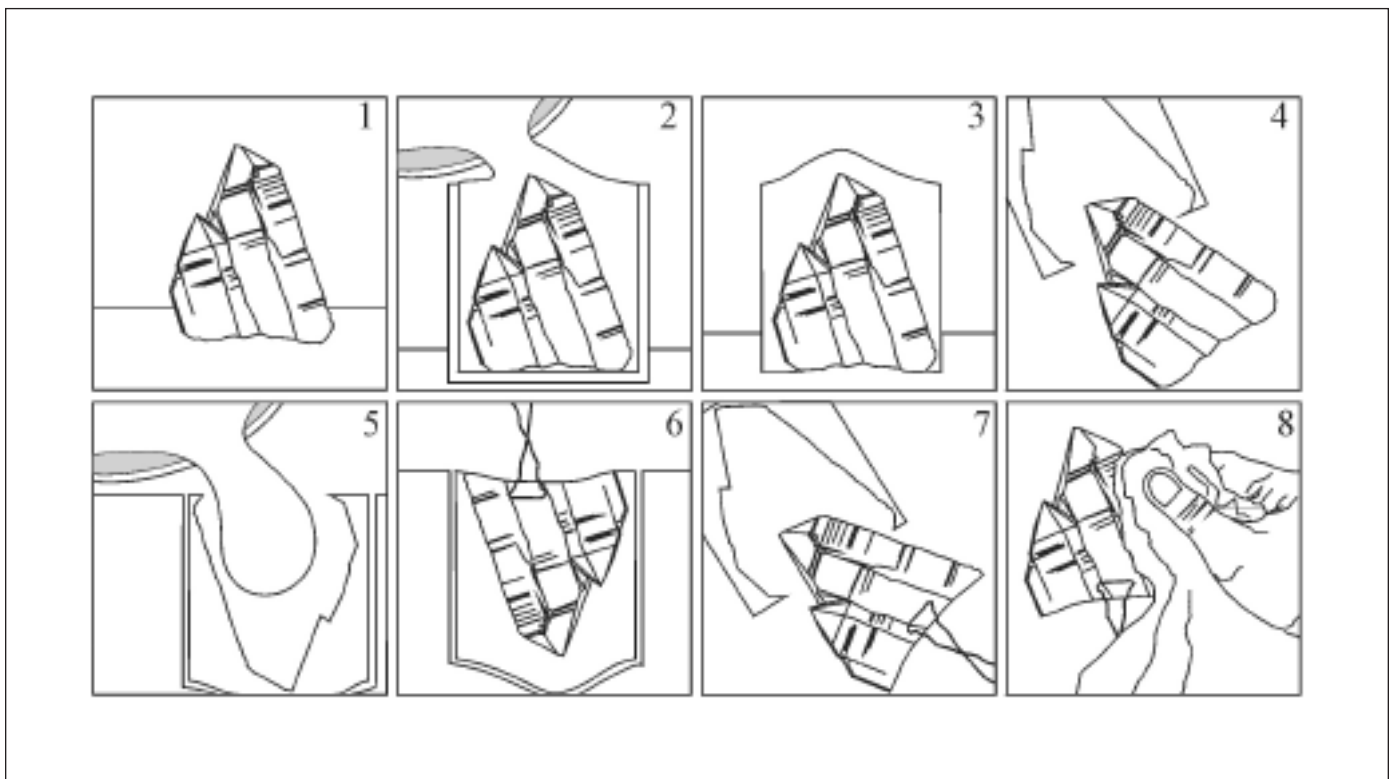


Fig. 1. Representación del proceso de replicado en los cuarzos de La Cabrera (Madrid). 1: ejemplar original; 2: situación del original en el contenedor de "poliespan" y aplicación de la silicona para la realización del molde; 3: curado de la silicona; 4: extracción del original y obtención del molde; 5: situación del molde en un nicho de "poliespan" y vertido del poliéster de vaciado; 6: inserción de alambre galvanizado y curado del poliéster; 7: extracción de la réplica; 8: acabado manual consistente en frotar las superficies con un fragmento de tela

Fig. 1. Diagram of casting and moulding process used to copy the quartzs of La Cabrera (Madrid). 1: original element; 2: location into the expanded polystyrene container and application of silicone for moulding; 3: silicon polycondensation; 4: extraction of the original specimen and mould obtention; 5: placement of the mould in a expanded polystyrene receptacle and pouring of copying material (polyester); 6: insertion of galvanized wire and polyester polymerization; 7: cast extraction; 8: manual finish by rubbing the copy surfaces with a fragment of cloth



### Vaciado

Una vez preparados los moldes, se procede al vaciado de los ejemplares. Las réplicas de ortosas se obtienen a partir de escayola Exaduro a la que se le añaden dos tipos de pigmentos en polvo (Tierra Siena natural y Siena calcinada) necesarios para obtener un tono "crema" similar al de los cristales originales (Tabla 1). Las proporciones en peso de la mezcla son las siguientes: 75% de agua, 20% de escayola, 3% de Siena calcinada y 2% de Tierra Siena natural. Una vez que ha fraguado la mezcla (pasados unos 45 minutos) se obtienen réplicas muy similares a los originales (Fig. 2B).

Para el vaciado del cuarzo se ha utilizado un material completamente diferente dado que este mineral es transparente. La búsqueda del rango de color similar al existente en los cuarzos de La Cabrera (cuarzo ahumado) ha sido dificultosa. Se han utilizado tres técnicas diferentes con distintos productos (Tabla 1):

- Empleo exclusivo de resina activada (Cronolita) + catalizador (MEK). La proporción de catalizador es de 1,5% en peso en la resina. Se obtienen réplicas completamente transparentes sin apenas color.
- Uso de resina activada con tratamiento de acetona coloreada. Posteriormente al curado, se sumergen las réplicas durante 5 segundos en acetona coloreada con laca transparente de color ahumado. Así se obtienen réplicas transparentes con varios tonos ahumados.
- Utilización de resina activada + catalizador (MEK) + activador adicional (Octoato de Cobalto al 0,2% en peso la resina) + lacas transparentes de colores apropiados. La proporción de la mezcla en peso es la siguiente: 97,3% de resina, 1,5% de catalizador, 0,2% de activador y 1% de lacas. La introducción de lacas reduce la transparencia de las réplicas. El activador adicional, además de acelerar la reacción, colorea la resina evitando un uso excesivo de lacas. El resultado son réplicas anubarradas, translúcidas y de intenso color ahumado (Fig. 2C).

Las mezclas deben homogeneizarse correctamente para evitar un curado defectuoso, por lo que se ha empleado un agitador magnético (Techno Kartell, TK22) a temperatura ambiente de 25° C durante 10 minutos.

Finalmente, en el caso de las réplicas de ortosas se introduce un alambre galvanizado de 0,3 mm en la parte posterior antes de que la mezcla comience a fraguar, dejando libre unos 5 cm de alambre. Este elemento permitirá el posterior anclaje en la cavidad. En las réplicas de cuarzo sólo se ha insertado alambre en los ejemplares más opacos.

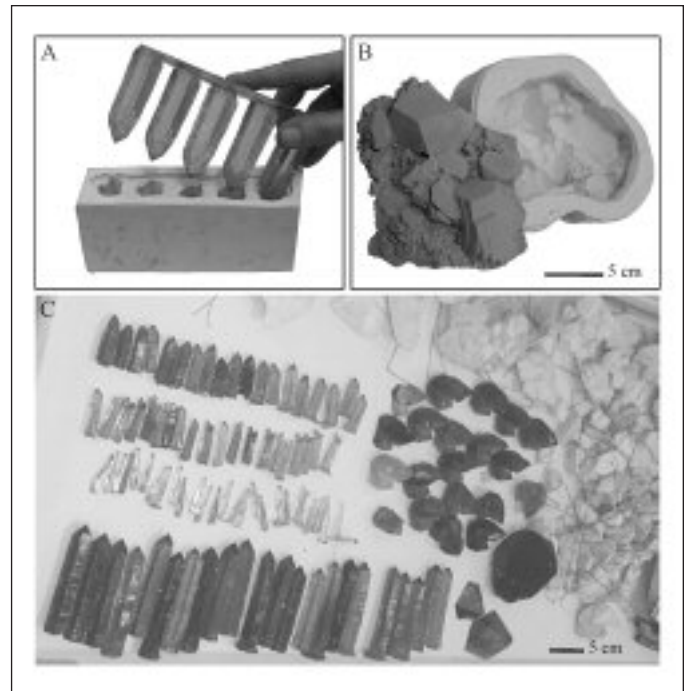


Fig. 2. A: Extracción de cinco réplicas de cuarzo a partir de un molde común en "batería". B: Aspecto de una de las réplicas de ortosa después de extraerla del molde. C: Conjunto de réplicas de cuarzo y ortosa, preparados para su inserción en la cavidad. Obsérvense los diferentes tonos de ahumado en las réplicas de cuarzo, así como el alambre galvanizado empleado para facilitar el anclaje de las ortosas en las paredes de la cavidad

Fig. 2. A: Extraction of five quartz casts from a serial mould. B: Orthose cast appearance after its extraction from a mould. C: Set of quartz and orthose casts, ready to be placed at the cavity. Note the different smoked shades in the quartz casts, and the galvanized wire used to enable orthose casts insertion on the cavity walls

### Acabado

El acabado es el paso definitivo en la obtención de réplicas, pues afecta en buena medida a su aspecto final, sobre todo en el caso de las ortosas (Fig. 3B). Los cristales naturales presentan diferentes tonalidades de color en sus distintas caras y por ello se aplicaron diluciones de goma laca en etanol con distintas proporciones (Tabla 1). Estas mezclas producen un ligero oscurecimiento imprimiendo un aspecto mojado al color de la réplica. Las proporciones de las diluciones empleadas fueron: a) goma laca más etanol hasta alcanzar la saturación (máximo oscurecimiento); b) dilución al 50% en peso (tonos más claros). De este modo se obtienen tres tonos, dos por diluciones y otro por el color original del vaciado. Por último, se consigue un brillo similar al del material natural, aplicando talco en polvo en toda la superficie visible de la réplica (Tabla 1).

El acabado del cuarzo es mucho más sencillo e

Denominación	Función	Composición
Paraloid B-72	Consolidante/protector	Polímero acrílico (Copolímero de etilmetacrilato y metilacrilato)
Primal AC-33	Consolidante/protector	Polímero acrílico (emulsión)
Goma laca (shellac)	Consolidante/protector	Mezcla de ésteres de ácidos grasos hidroxilados y ácidos sesquiterpénicos
Lacas transparentes	Pigmento	Contiene butanona oxima
RTV S-431	Material de moldeo	Silicona
S-431	Catalizador de silicona	-
Agente tixotrópico	Espesante de silicona	Alquiléter sulfato sódico
Cronolita 1019 EI	Material de vaciado	Resina activada de poliéster con estireno
Exaduro	Material de vaciado	Sulfato cálcico (hemihidrato- $\alpha$ )
C-201	Catalizador de poliéster	Peróxido de metil etil cetona (MEK)
CC-91	Activador de poliéster	Octoato de cobalto
Cola termofusible	Adhesivo	Polietileno
Pegamento Imedio	Adhesivo	Nitrato de celulosa
A0-129.0501D4	Pintura impermeabilizante	-
Tierra siena natural	Pigmento	Mezcla de óxidos e hidróxidos de hierro
Tierra siena calcinada	Pigmento	Mezcla de óxidos e hidróxidos de hierro
Talco en polvo	Abrillantador	Talco, variedad esteatita
Poliespan	Soporte	Poliestireno expandido (densidad = 10)
Vinilo adhesivo	Recubrimiento	Cloruro de polivinilo + papel base + adhesivo

Tabla 1. Relación de los productos empleados durante el desarrollo de todo el proceso de reproducción de la cavidad miarolítica. Se detallan las funciones principales de cada producto y la composición de la mayoría de ellos (se omite en aquellos productos en que el fabricante no la proporciona)

Table 1. Summary of the products used in the complete reproduction process of the miarolitic cavity. Main function and composition of them are detailed (last feature only absent when is not specified by manufacturers)

incluso en muchas réplicas es innecesario. Consiste simplemente en frotar las superficies con un fragmento de tela (Fig. 1.8) para obtener un brillo similar al brillo vítreo del cuarzo (Fig. 3A).

### Preparación del soporte de la cavidad

Como soporte de la cavidad se ha utilizado un bloque de 80x80x80 cm de poliestireno expandido (Tabla 1) que simulará un bloque serrado de granito, común en las canteras donde se explota esta roca.

### Tallado y preparado de la cavidad

En primer lugar, se ha realizado una plantilla en papel con la morfología de la sección de la cavidad. Esta sección afecta a dos de las caras del cubo (vertical y horizontal), simulando dos cortes perpendiculares de la cavidad. Se ha elegido una morfología sigmoidal, común entre las cavidades de La Cabrera.

Utilizando la plantilla, se ha marcado en el poliestireno el perímetro de la futura cavidad (Fig. 4.1). El tallado se ha realizado utilizando instrumental metálico de corte (cuters, cuchillos, bisturís, etc.), profundizando en torno a 50 cm. Una de las paredes laterales de la cavidad se ha tallado de forma cóncava y la otra de forma convexa. En la primera se ha excavado

hasta generar otra pequeña cavidad que aflora en la zona lateral inferior del bloque, produciendo una oquedad con morfología intrincada.

Una vez finalizado el tallado de la cavidad se procede a recubrirla con una mezcla de pintura impermeabilizante blanca con adición de los pigmentos utilizados en el vaciado de las réplicas de ortosas para crear un fondo de un tono de color y brillo similar al de las réplicas de ortosas (Fig. 4.2).

Se han fragmentado dos de los vértices superiores del bloque para asemejar aún más la morfología de un bloque de granito real (Fig. 4.3).

### Ensamblaje de las réplicas

Las réplicas se han adherido a las paredes de la cavidad de dos maneras diferentes: las ortosas y los cuarzos más opacos se han insertado utilizando el alambre galvanizado previamente colocado y los cuarzos más transparentes se han adherido utilizando adhesivo termofusible en barras (Tabla 1). Algunas réplicas pequeñas de cuarzo se sitúan sobre las réplicas de ortosa, aprovechando algunas oquedades que presentan estas últimas. De este modo, se realiza un "mosaico" de ejemplares distribuidos de forma que se mitigue el efecto visual causado por la presencia de varias réplicas idénticas (Fig. 4.3). Para mejorar el aspecto general del interior de la geoda, se han relle-

nado algunos huecos entre ejemplares con la misma escayola (Exaduro) coloreada que se empleó para el vaciado de las ortosas.

Además, la inserción de un elevado número de ejemplares idénticos en las paredes de la cavidad podría producir en el observador la poco deseable sensación de irrealidad. Para mitigarla se han fragmentado un buen número de ejemplares (sobre todo los de mayor tamaño), generando piezas de menor superficie en el caso de las ortosas y de menor longitud en el caso del cuarzo. Además, no se ha utilizado el mismo tono de color en todas las réplicas de cuarzo sino que se ha variado ligeramente dentro del rango de tonos ahumados presente en los originales.

### Simulación de la textura externa del bloque

A la hora de dar un aspecto granítico al bloque que alberga la cavidad se han planteado varias posibilidades:

- Adaptar placas pulidas de granito natural de La Cabrera a las caras del soporte que alberga a la cavidad.
- Generar una textura similar al granito alterado a partir de la adhesión en las caras del soporte de una fracción de grano grueso obtenida por machaqueo del propio granito de La Cabrera.
- Fijación en las caras del soporte de vinilo adhesivo donde previamente se han impreso imágenes reales del granito de La Cabrera.

La primera opción resulta interesante pues ofrecería una imagen real del granito y gracias al pulido de la roca se podrían observar nítidamente los minerales que la componen. La opción fue descartada por varios motivos: 1) el elevado coste del material, que necesariamente ha de encargarse específicamente dimensionado; 2) el gran aumento de peso que adquiriría la recreación, dificultando mucho el transporte y 3) el problema del borde de la cavidad, donde se ha de representar una roca granítica de grano grueso (pegmatita con cuarzo, feldespato y biotita), con la gran dificultad que conlleva conseguir placas naturales con texturas de este tipo.

La segunda opción aportaría una imagen bastante cercana a la real, aunque su principal inconveniente consiste en que resulta un proceso muy laborioso (machaqueo, lavado, secado, adhesión y consolidación superficial de la fracción granítica utilizada). Esta opción también presenta el problema del borde de la cavidad.

Considerando todo lo anterior, la alternativa que se ha elegido ha sido la del empleo de imágenes digitales del granito de La Cabrera, tomadas con una cámara Olympus Camedia (modelo C-5050) utilizando una resolución de 3.200x2.400 pixels. Para ello se han seleccionado superficies de rotura en bloques de granito biotítico del área cercana a Valdemanco (Madrid) y se han satinado con agua antes de realizar las fotografías para obtener una mayor nitidez de la imagen.

Las fotografías seleccionadas fueron dimensionadas utilizando el programa Corel Draw versión 10, tomando como referencia un tamaño de grano similar al del granito de grano grueso de La Cabrera. Se generaron de este modo dos imágenes, una de 164x82 cm para cubrir la cara superior y una de las laterales del cubo (donde aflora la cavidad mayor) y otra de 246x82 cm que cubrirá el resto de caras laterales y la cavidad pequeña. Las imágenes se hicieron algo mayores que el bloque para facilitar el proceso de adhesión y solapamiento. Para simular la interfase entre el granito y la cavidad se tomaron fotografías de halos de alteración de algunas cavidades miarolíticas de La Cabrera de color rosado (Lozano *et al.*,

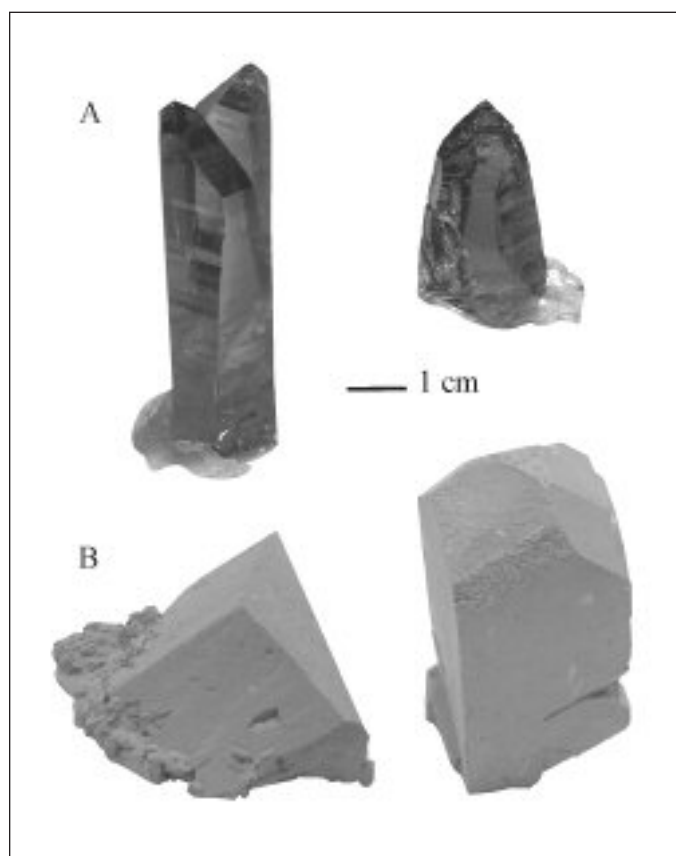


Fig. 3. A: Ejemplos de réplicas de cristales de cuarzo ahumado. Nótense la transparencia y las estrías de crecimiento en las caras de prisma. B: Ejemplos de réplicas de cristales de ortosa  
Fig. 3. A: Example of smoked quartz casts. Note the transparency and the growth grooves on prismatic faces. B: Example of orthose crystal casts

1999), utilizando la misma metodología. Una vez obtenidas y seleccionadas, se recortaron digitalmente en forma rectangular y se fueron incorporando a la silueta de los bordes de las cavidades, reproduciéndose así el halo de alteración presente en algunas miarolas de La Cabrera.

La impresión de las imágenes se ha realizado en un plotter hp designjet 5.500 ps sobre vinilo mate adhesivo para exteriores. Una vez adherido el vinilo al soporte de la cavidad, se recortaron los bordes de la misma con un bisturí. Para rellenar los huecos existentes entre los cristales del borde de la cavidad se utilizaron pequeños recortes de vinilo impreso con la imagen del granito. Éstos se fijaron utilizando pegamento lmedio (Tabla 1) que reblandece el vinilo y permite una buena adaptación a las irregularidades de esta parte del soporte. A la hora de cubrir las esquinas fragmentadas del bloque se ha utilizado una pistola de calor (Bosch, PHG 600-2C) para reblandecer el

vinilo y adaptarlo en caliente a las morfologías irregulares, dando así una mayor sensación de realidad a la recreación (Fig. 4.4).

Finalmente, la recreación se situó sobre una peana de madera y se recubrió con una urna de vidrio para facilitar su conservación y evitar la manipulación de las réplicas por parte del público.

## Conclusiones

El apoyo que ofrecen los materiales didácticos para la comprensión de diversos aspectos de las Ciencias de la Tierra resulta indiscutible. Entre estos materiales las maquetas y las recreaciones se emplean con frecuencia dada su eficacia a la hora de transmitir mensajes expositivos con contenidos complejos. Conociendo los procesos y materiales implicados en la confección de estos elementos, resulta sencillo reproducir las maquetas en sucesivas ocasiones obteniendo resultados similares. Lejos de lo que se pudiera pensar a la luz de la calidad de los productos finales generados, la metodología y los materiales empleados no son excesivamente complejos ni costosos. Como muestra el presente trabajo, las técnicas de moldeo y vaciado presentan gran versatilidad y, combinadas con elementos de diseño gráfico, dan lugar a excelentes resultados.

## Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de Gregorio Arce por sus consejos en la impresión del vinilo adhesivo y a la empresa *Patagónica* por el apoyo referido al suministro de materiales. Asimismo, expresan su agradecimiento a M<sup>a</sup> Victoria López-Acevedo y Carlos Pereira por la revisión crítica del presente trabajo.

## Referencias

- Arnold, M. 1965. The use of plastics in Paleontology. In: Kummel, B. and Raup, D. (eds.), *Handbook of Paleontological Techniques*, Freeman and Co, New York, 420-422.
- Baeza Chico, E. 1995. Las Réplicas en Paleontología. Técnicas y materiales de moldeo y vaciado. *Tierra y Tecnología*, 11, 7-13.
- Baeza Chico, E. 2000. El uso de copias y réplicas de objetos singulares. Su justificación en la actualidad. *Boletín de Productos de Conservación*, 46, 2-3.
- Baeza, Chico, E. y Llorente Bárcena, M. 2004. Patrimonio paleontológico de alto valor científico y exposiciones iti-

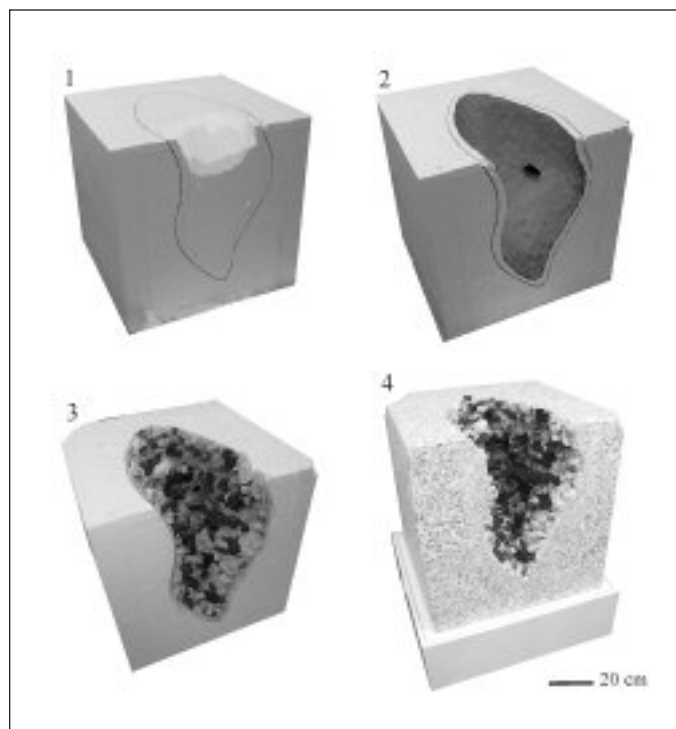


Fig. 4. Tallado y preparado del soporte de la cavidad. 1: Delimitación del perímetro de la cavidad y estado inicial del tallado. 2: Aspecto de la cavidad después del tallado y de la aplicación de la pintura antigoteras. 3: Imagen del soporte una vez insertadas las réplicas. 4: Aspecto final de la recreación tras adherir el vinilo con la imagen impresa del granito

*Fig. 4. Engraving and preparation of the cavity support. 1: Delimitation of the cavity perimeter and inicial phase of carving. 2: Cavity appearance after engraving and leak-proof horizontal elastomer application. 3: Support picture after casts insertion. 4: Final appearance of the reproduction after the adhesion of the vinyl with the printed granite image*



- nerantes: aplicación de técnicas y métodos de conservación al registro de grandes mamíferos plio-pleistocenos (Fonelas P-1, Cuenca de Guadix-Baza, Granada). *XX Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*, Alcalá de Henares, 25-26.
- Chaney, S. 1989. Mold making with room temperature vulcanizing silicone rubber. In: Feldman, R.M., Chapman, R.E. and Hannibal J.T. (eds.), *Paleotechniques*. Paleontological Society Special Publication, Knoxville, 284-304.
- Fleischmann, M. 1979. Open-face mold making. *Curator*, 22 (4), 265-270.
- González del Tánago, J., Bellido, F. y García Cacho, L. 1986. Mineralogía y evolución de las pegmatitas graníticas de La Cabrera (Sistema Central Español). *Boletín Geológico y Minero*, 97 (1), 103-121.
- González del Tánago, J. y La Iglesia, A. 1998. Zeolitas y minerales cálcicos de baja temperatura en las pegmatitas graníticas del plutón de La Cabrera (Sistema Central Español). *Estudios Geológicos*, 54(5-6), 181-190.
- Gutiérrez del Solar, P. y Gómez Alonso, B. 1994. *Restauración y conservación de vertebrados fósiles. Técnicas de moldeo*. C.S.I.C., Madrid, 51 pp.
- Gutiérrez-Marco, J.C. y Bernárdez, E. 2003. *Un tesoro geológico en la Autovía del Cantábrico. El túnel Ordovícico del Fabar en Ribadesella, Asturias*. Libro-catálogo de la exposición homónima, Ministerio de Fomento, Madrid, 398 pp.
- Lozano, R.P., Casquet, C. y González Laguna, R. 1999. Bolsadas pegmatíticas con cavidades rellenas de minerales hidrotermales en el plutón de La Cabrera (Sistema Central Español). Modelo de evolución. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 22A, 63-64.
- Lozano, R.P. 2003. *Petrología de los rellenos cálcicos hidrotermales de las cavidades miarolíticas del plutón de La Cabrera*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 373 pp.
- Pardo, A. 1992. *Técnicas de replicado para piezas paleontológicas*. Prensas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza, 66 pp.
- Pereira, C. 1999. Facsímiles de objetos de arte tridimensional, 1ª parte: moldeo. *Restauración & rehabilitación*, 25, 66-71.
- Pereira, C. 1999. Facsímiles de objetos de arte tridimensional, 2ª parte: vaciado. *Restauración & rehabilitación*, 26, 66-71.
- Rábano, I., Moratalla, J., Menéndez, S., Baeza, E., Lozano, R.P., Rodrigo A., García, M., Ortiz, J., González, M. y de Caso, J.J. 2003. Esos lagartos terribles. En: *IV Feria Madrid por la Ciencia 2003*. Comunidad de Madrid y Ediciones SM, Madrid, 98-101.
- Rábano, I., Menéndez, S., Lozano, R.P., Baeza, E., Hidalgo, A.J., Domingo, E. y García Arranz, I. 2004. Madrid en roca viva. En: *V Feria Madrid por la Ciencia 2004*. Comunidad de Madrid y Ediciones SM, Madrid, 158-161.
- Rábano, I., Menéndez, S., Lozano, R.P., Baeza, E., Hidalgo, A.J., Domingo, E., de la Lastra, D. y Méndez García, M. 2005. Viajes imposibles. En: *VI Feria Madrid por la Ciencia*. Comunidad de Madrid y Ediciones SM, Madrid, 140-143.
- Smith, A. and Bruce, L. 1985. The joy of casting. *Explorer*, 27 (4), 22-24.

Recibido: mayo 2006

Aceptado: agosto 2006