

# El análisis isotópico y la determinación del origen del alabastro

Joan Escudé González

**Resumen**—El alabastro ha sido utilizado como roca ornamental desde la antigüedad y su presencia en arqueología e historia del arte es significativa. El estudio isotópico puede aportar indicios analíticos de las canteras de procedencia de las que se extrajo el material, hecho que nos puede proporcionar información arqueológica de gran importancia.

**Palabras Claves**— Alabastro, Isótopos, Canteras de origen, Espectrometría de masas.

## 1. INTRODUCCIÓN

Gran parte de los materiales pétreos, minerales y orgánicos posee lo que se podría denominar una “huella” isotópica que los relaciona con su fuente o zona de origen [1]. Así, igual que en algunos casos debemos recurrir a la detección de elementos traza para poder conocer el origen de determinados materiales, el análisis isotópico puede aplicarse de manera similar. Pero, ¿qué es un isótopo?

Todos los átomos que componen el universo se caracterizan por tener un mismo número de protones y electrones característico de cada elemento. Esto se debe a que el átomo debe ser siempre neutro, así pues, cada elemento vendrá determinado por su número atómico, esto es, el número de protones existente en su núcleo. No obstante, un átomo puede tener un número variable de neutrones, de modo que pueden existir átomos de un mismo elemento (es decir, con el mismo número atómico) con diferente número másico (el número másico se obtiene al sumar el número de protones y el número de neutrones, las dos partículas elementales con masa). Cada uno de estos átomos se denominará isótopo (Fig. 1).

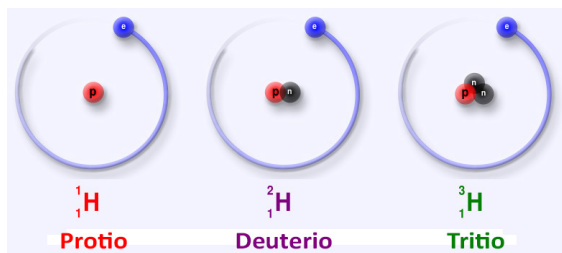


Fig. 1. Los tres isótopos del hidrógeno. El protio, isótopo más abundante, con un solo protón, el deuterio, isótopo estable, con un protón y un neutrón, y el tritio, isótopo radiactivo, con un protón y dos neutrones y que tiene al helio-3 como isótopo radiogénico o “hijo”. Imagen: Wikimedia commons.

Los isótopos de un elemento tienen igual comportamiento químico pero pueden presentar diferencias en los procesos físicos. Algunos isótopos pueden ser inestables y convertirse en otros elementos por desintegración radiactiva. La relación entre estos isótopos radiactivos o “padre” y los isótopos que derivan de ellos, llamados radio-

génicos o “hijo”, es una de las bases de la investigación mediante análisis isotópico.

## 2. EL ALABASTRO

A lo largo de la historia menudo se ha usado el término alabastro para referirse indistintamente a dos tipos de rocas de aspecto parecido pero de naturaleza completamente diferente: el alabastro oriental o calcáreo y el alabastro yesífero. El primero es lo que se conoce geológicamente como travertino, roca compuesta principalmente por calcita, esto es, carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), muy usada en Egipto (de ahí su denominación); el segundo es el que se corresponde con la definición geológica de alabastro y está compuesto casi en su totalidad por sulfato de calcio dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), es, por tanto, una variedad cristalina del yeso [2]. Ambas rocas tienen propiedades similares en cuanto a translucidez, color y facilidad de talla (Fig. 2) pero es el auténtico alabastro el centro de interés de este escrito.



Fig. 2. Alabastrones de tipología parecida realizados en alabastro yesífero (a) y calcita (b). Fotografías: Metropolitan Museum of Art.

El alabastro es una roca evaporita que se forma por sucesivos procesos de precipitación e hidratación de las formas anhidras e hidratadas del sulfato cálcico en condiciones de presión confinante, especialmente en zonas marinas someras y lagos salinos. Como hemos dicho, está constituido esencialmente por cristales de yeso en un 95-99%, pero también contiene otros minerales como anhidrita, basanita, calcita o filosilicatos de arcilla, que serán las impurezas que darán las distintas coloraciones y tonalidades al material. Del mismo modo, a nivel químico, aparte del sulfato de calcio y del agua, encontraremos

trazas de elementos como el magnesio, el manganeso, el hierro, el potasio o el estroncio [2].

Aunque siempre bajo la sombra del mármol, históricamente el alabastro ha sido ampliamente usado para la realización de obras de arte. Desde la antigüedad, asirios, egipcios, etruscos, fenicios y griegos aprovecharon las posibilidades que un material tan blando podía aportar para la reproducción de los detalles más mínimos, especialmente para esculturas figurativas. Además, en la arquitectura minoica, yesos y alabastros eran considerados materiales de prestigio y usados en las zonas nobles de las edificaciones [3]. Posteriormente, también se usó como recubrimiento de ventanas por sus propiedades translúcidas y para escultura por las posibilidades de policromado y dorado que presentaba. Como desventajas podemos citar su fragilidad y su sensibilidad a los agentes atmosféricos ya que, al ser un sulfato de calcio, es parcialmente soluble en agua [4], [5].

### 3. EL ANÁLISIS ISOTÓPICO EN ARQUEOLOGÍA

No fue hasta mediados del siglo pasado, gracias a los avances en espectrometría de masas, que se estableció que las variaciones en la composición isotópica de los materiales podían aportar información acerca de los mismos. Los principales campos de la arqueología en los que el desarrollo de esta técnica puede ser de utilidad son: la datación isotópica, con las conocidas técnicas del carbono 14 o las dataciones geológicas de uranio/torio; la investigación de paleodietas, gracias a la composición isotópica de carbono, nitrógeno, estroncio y plomo de los huesos de animales y humanos que incluso nos puede indicar, a través de su dieta, el paleoambiente en el que vivieron; y los estudios de procedencia, comparando la "huella" isotópica característica de determinadas canteras con los materiales usados en construcción en épocas pasadas [1].

#### 3.1. Método de análisis

El análisis isotópico se lleva a cabo mediante espectrometría de masas, técnica para la que el elemento tiene que ser químicamente extraído en forma pura del material a analizar [1]. Para ese fin, la metodología de trabajo consiste en limpiar las muestras con agua bidestilada y tras el secado se procede a una molturación en mortero de ágata para obtener una muestra en polvo que será digerida en compuestos ácidos [3], [5]. Se trata, por tanto, de una técnica analítica destructiva, aunque se puede realizar con cantidades de muestra del orden de miligramos [6].

#### 3.2. Análisis de procedencia mediante detección de isótopos

Probablemente es el campo arqueológico más amplio en el que el análisis isotópico puede aportar información significativa. Se puede usar para establecer la procedencia de metales, obsidiana, mármol, yeso y alabastro, vidrio, marfil, pigmentos, etc.; para llevar a cabo estudios de numismática; para establecer el origen de cerámicas por el método de análisis samario-neodimio de los silicatos o para la identificación de falsificaciones. Los dos elementos más usados para este tipo de técnicas son el plomo (Pb) y el estroncio (Sr) [1].

➤ **Plomo:** El Pb es un metal pesado y es un buen candidato al análisis isotópico ya que es relativamente abundante y tiene un bajo tiempo de residencia en agua de mar. Por regla general, los elementos que tienen un tiempo de residencia mayor al tiempo de mezcla de los océanos (unos 1000 años) producen una huella geoquímica demasiado homogénea a nivel global, por lo que acostumbran a no ser válidos para el análisis isotópico. El plomo tiene un tiempo de residencia de unos 80-100 años y sus tres isótopos más abundantes ( $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}$  y  $^{207}\text{Pb}$ ) son radiogénicos (hijos de isótopos inestables de uranio y torio) y no son radiactivos, por lo que no desaparecen por desintegración [3]. El análisis isotópico del Pb ha tenido gran desarrollo en el ámbito de la arqueometalurgia, por su común asociación con la plata, el cobre, el hierro o el cinc. La composición isotópica del Pb no cambia durante los procesos de transformación metalúrgica, por lo que la "huella" isotópica de una fuente mineral podrá rastrearse en las escorias y los objetos de metal derivados de la misma [1].

➤ **Estroncio:** El Sr es un metal alcalinotérreo que puede actuar de forma parecida al calcio en muchos minerales. Es un elemento que podemos encontrar disperso en todos los materiales calcáreos, sus sales se encuentran disueltas en aguas interiores y marinas y puede estar presente en rocas sedimentarias e ígneas. A través del suelo y el agua los compuestos de Sr se transmiten a plantas y animales. El Sr tiene cuatro isótopos naturales ( $^{88}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$ ,  $^{87}\text{Sr}$  y  $^{84}\text{Sr}$ ), todos ellos estables [1]. El análisis isotópico del Sr puede aportar información de multitud de materiales como rocas, huesos y marfil. Una de sus aplicaciones principales ha sido la atribución de los orígenes de yesos y alabastros de los palacios minoicos y micénicos de Creta y de la Grecia continental [5].

No obstante, en ocasiones la técnica del análisis isotópico presenta limitaciones. Como vemos en Costaglia *et al.* [3] el análisis isotópico del Pb no sirvió para distinguir entre alabastros toscanos y sicilianos. O en Playà *et al.* [7] vemos como este tipo de análisis es útil para distinguir entre alabastros de la misma época de origen marino y no marino pero es más difícil discernir entre las distintas canteras de alabastros de igual época y origen (Fig. 3).

### 4. EL ALABASTRO Y SU ORIGEN

A pesar de que la mayoría de las antiguas canteras de yesos y alabastros han sido actualmente abandonadas o reconvertidas en explotaciones industriales, su localización por parte de arqueólogos e historiadores es bien conocida. Sin embargo, la procedencia de los materiales yesíferos antiguos que han legado a nuestros días resulta a menudo difícil de establecer [7].

El estudio de la procedencia del alabastro puede ser útil para la verificación de hipótesis acerca de las rutas comerciales históricas basadas en estudios iconográficos y estilísticos y para la identificación, adjudicación de origen y datación de falsificaciones [6].

Para establecer sus canteras de origen, los alabastros pueden analizarse por la composición isotópica de elementos traza como el Sr, presente en unas concentraciones del 0,03-0,5% [5], pero también es posible examinar la composición isotópica de los elementos de compuestos principales como el sulfato. Los isótopos de azufre ( $\delta^{34}\text{S}$ ) y oxígeno ( $\delta^{18}\text{O}$ ) han sido utilizados en numerosas investigaciones, aunque de entre estos dos, es el primero el que aporta informaciones más fiables [5], [6], [7]. La notación  $\delta$  se debe a que los valores para estos isótopos se presentan como una desviación en tanto por mil del ratio de abundancia del isótopo pesado respecto al ligero [6].

Las canteras de alabastro poseen "huellas" isotópicas muy específicas, con valores homogéneos en materiales de un mismo origen y fuertes contrastes con materiales de orígenes diferentes, especialmente en lo que se refiere a los isótopos de Sr y S [6].

La composición isotópica actual de estos elementos en compuestos de yeso es esencialmente idéntica (si no se han producido alteraciones diagenéticas) a la composición isotópica en las aguas marinas o salobres donde estos depósitos se formaron. De este modo, puesto que la variación de la composición isotópica del Sr y del S a través de las diferentes eras geológicas es un dato conocido gracias a los estudios geoquímicos, podremos distinguir entre las "huellas" isotópicas de Sr y S de yesos y alabastros de diferentes épocas de formación [5].

Si se disponen de muestras de las diferentes canteras localizadas y de las diferentes piezas de las que se quiere investigar su origen, se pueden conformar una serie de gráficos en los que podemos ver, por un lado, unas zonas que se corresponden con los rangos de datos de las composiciones isotópicas de las muestras de las canteras y, por otro, los puntos obtenidos por los valores de las piezas analizadas. De este modo se generan una especie de "mapas" de origen (Fig. 3) donde podemos ver en qué zonas se sitúan las piezas analizadas y, por tanto, a qué canteras se puede atribuir su origen [6], [7].

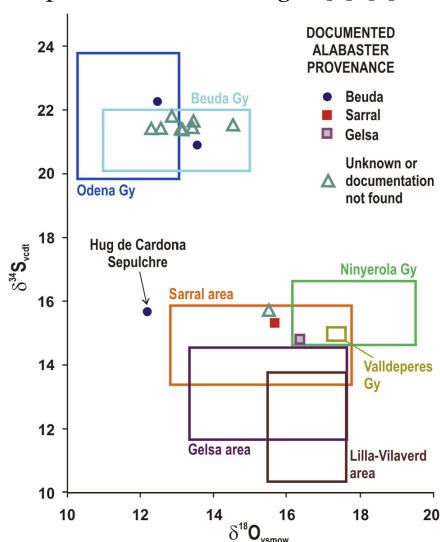


Fig. 3. Tabla de resultados que presenta las ratios de valores de isótopos de azufre y oxígeno de diferentes canteras de la zona de Cataluña (Beuda, Odena, Sarral, etc.) y los valores de diferentes piezas analizadas cuyo origen era conocido en algunos casos y desconocido en otros. [7]

## 5. CONCLUSIONES

El análisis isotópico es una herramienta que puede proporcionar resultados muy interesantes a la hora de investigar el origen de una roca muy usada desde la antigüedad como el alabastro. A pesar de ser una técnica destructiva y con ciertas limitaciones, si se disponen de suficientes muestras de las canteras de las que se sospecha puedan provenir las piezas a examinar, se pueden obtener resultados muy concluyentes o por lo menos descartar algunas de las posibilidades.

El hecho de trabajar con rangos de valores puede generar solapamientos de las zonas correspondientes a las diferentes canteras analizadas, lo que en ocasiones nos impedirá realizar una discriminación entre las piezas. Otras veces, no obstante, la información que obtengamos será lo suficientemente significativa como para establecer conclusiones respecto a las hipótesis planteadas.

## REFERENCIAS

- [1] Z. A. Stos-Gale, "Isotope archaeology: reading the past in metals, minerals, and bone," *Endeavour*, vol. 16, no. 2, pp. 85-90, 1992.
- [2] U. Nuviala, "Caracterización del alabastro," en *I Jornadas de Caracterización y Restauración de Materiales Pétreos en Arquitectura, Escultura y Restauración*, 2002, vol. Tomo I: Ro, pp. 52-55.
- [3] P. Costagliola, M. Benvenuti, F. Corsini, C. Maineri, and I. Mascaro, "Pb-isotope signatures of Italian alabasters: possible application to provenance studies of works of art," *European Journal of Mineralogy*, vol. 13, no. 2, pp. 421-428, Apr. 2001.
- [4] M. Ligęza, E. Pańczyk, L. Rowińska, L. Waliś, and B. Nalepa, "A contribution of INAA to the determination of the provenance of the fourteenth century sculpture," *Nukleonika*, vol. 46, no. 2, pp. 71-74, 2001.
- [5] N. H. Gale, H. C. Einfalt, H. W. Hubberten, and R. E. Jones, "The sources of Mycenaean gypsum," *Journal of Archaeological Science*, vol. 15, no. 1, pp. 57-72, Jan. 1988.
- [6] W. Kloppmann, L. Leroux, P. Bromblet, C. Guerrot, E. Proust, A. H. Cooper, N. Worley, S. A. Smeds, and H. Bengtsson, "Tracing medieval and renaissance alabaster works of art back to quarries: A multi-isotope (Sr, S, O) approach," *Archaeometry*, vol. 56, no. 2, pp. 203-219, 2014.
- [7] E. Playà, M. Inglès, L. Rosell, M. Ortí, M. Artigau, J. Yeguas, R. Manote, and J. Pey, "Determining Gypsum Alabaster Provenance in Sculptural Artefacts: an Application Example," *Macla. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, vol. 16, pp. 50-51, 2012.



Joan Escudé González es diplomado y graduado en Conservación y Restauración de Bienes Arqueológicos por la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Cataluña. En activo desde el año 2008 en los campos de la arqueología, la paleontología y los bienes etnológicos, actualmente está cursando el Máster en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico de la Universidad Pablo de Olavide.