

El ININ hoy

# ARQUEOMETRÍA de cerámicas y obsidianas con la ESPECTROSCOPIA MÖSSBAUER<sup>1</sup>

Por Agustín Cabral Prieto (acpr@nuclear.inin.mx)

La historia de ciertas culturas desaparecidas bien podría estudiarse a partir de sus cerámicas y obsidianas: la clasificación de estos vestigios arqueológicos puede indicar tanto su origen o procedencia, como su proceso de manufactura. Ambos aspectos aportan datos importantes para describir el grado de comercio, desarrollo, hábitos, usos y costumbres de culturas desaparecidas.

Una de las técnicas aplicables a la caracterización de cerámicas y obsidianas es la espectroscopía Mössbauer (EM), que ha ganado muchos adeptos desde el primer trabajo publicado sobre el tema, en 1969. Entre otras ventajas, este análisis permite::

- a) una clasificación para determinar la procedencia;
- b) reconocimiento del tipo de sustancias utilizadas para la pigmentación o decoración; y
- c) fechado aproximado.

<sup>1</sup> Este artículo de divulgación lleva el mismo nombre del artículo elaborado por el doctor Agustín Cabral para el libro *Arqueometría*, editado por Rodrigo Esparza López y Efraín Cárdenas García, (Colegio de Michoacán, 2005). Cabe destacar que este libro es el primero hecho en México, por autores mexicanos sobre este tema.

<sup>2</sup> Análisis elemental y multielemental, consistente en activar los átomos de una muestra por medio de neutrones provenientes de un reactor nuclear de investigación, como el TRIGA Mark III del ININ. Las radiaciones provenientes de esta activación determinan los elementos presentes en la muestra.

Los estudios arqueométricos por la técnica Mössbauer aplicados a las obsidianas están dirigidos a la clasificación de las muestras y por esto no sólo resulta una herramienta complementaria al análisis por activación neutrónica<sup>2</sup> y otras técnicas nucleares, sino que también puede ofrecer resultados únicos en la diferenciación entre obsidianas.

Además de las obsidianas, la espectroscopía Mössbauer ha permitido inferir el proceso de fabricación de cerámicas a partir de sus características físicas y químicas.

A grandes rasgos, estos serían los diversos estudios con cerámicas y obsidianas que hasta ahora ofrece la espectroscopía Mössbauer a la arqueometría. En el futuro, las necesidades y la creatividad del arqueólogo podrán sugerir nuevas aplicaciones, pues en última instancia es él quien orienta el trabajo desde su campo de actividad.

En el recuadro de la siguiente página se exponen los fundamentos básicos de la espectroscopía Mössbauer a fin de comprender la aplicación de esta herramienta de investigación en el campo de la arqueometría.

En este artículo se describe la aplicación de la espectroscopía Mössbauer sobre materiales de interés arqueológico con el propósito de destacar las ventajas de esta técnica de investigación de gran relevancia para la arqueometría y, por ende, de la arqueología.



## La recolección de muestras

Con el propósito de recolectar algunos vestigios prehispánicos, investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) y de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (UAM-I) llevaron a cabo una excursión convocada por la doctora Silvia Bulbulián, en la década de los noventa.

Entre los especialistas del ININ que asistieron se cuentan Dolores Tenorio Castelleros, Samuel Tejada Vega y el que suscribe. A través de la presidencia municipal de Nopalillo, en el estado de Hidalgo, los investigadores tuvieron acceso a un sitio protegido por el Instituto Nacional de Antropología e Historia en el que se elaboraban diversas piezas en la época prehispánica y en donde se encuentran algunos residuos derivados de esa actividad.

## Fundamentos del efecto Mössbauer

La espectroscopia Mössbauer es una técnica nuclear que permite la caracterización de compuestos a partir de dos isótopos como la pareja cobalto 57 - hierro 57 ( $^{57}\text{Co} \rightarrow ^{57}\text{Fe}$ ), la más utilizada en esta técnica. Por la reacción nuclear de captura electrónica (CE), el cobalto 57 se transforma en el isótopo estable hierro 57; esto ocurre cuando el núcleo de cobalto 57 captura un electrón (de carga negativa) y éste se une con un protón (positivo) dando como resultado un neutrón. Esta transformación nuclear hace que el cobalto 57 se transforme en hierro 57 excitado y durante su desexcitación se produzca un rayo gamma cuya energía es de 14.41 kilo electrones volt (keV).

La espectroscopia Mössbauer se basa en el proceso de emisión y absorción de energía en forma resonante entre los niveles nucleares de dos isótopos. Por medio de ella se estudian las interacciones hiperfinas entre el núcleo y su entorno, con lo que se pueden conocer propiedades eléctricas o magnéticas o de simetría entre las moléculas de la muestra que se estudia.

El ININ cuenta con un espectroscopio Mössbauer con una fuente radiactiva de cobalto 57, donde se practican experimentos diversos.

El principio de esta técnica es producir una resonancia entre núcleos atómicos y estudiarla. El concepto de resonancia nuclear o sintonía entre dos núcleos se deriva del hecho de que, bajo ciertas condiciones, el isótopo estable de hierro 57 presente en muestras como obsidianas y cerámicas, por ejemplo, absorbe la energía de 14.41 keV proveniente del hierro 57 excitado, sin ningún retroceso<sup>3</sup>.

Para comprender la resonancia, un ejemplo clásico se da cuando un cantante rompe una copa: lo que ocurre es que la voz alcanza la potencia suficiente y la misma frecuencia de resonancia del cristal de la copa y, gracias a esta sintonía, la copa se rompe. En un espectrómetro Mössbauer de cobalto 57, el hierro 57 excitado entra en resonancia con el hierro 57 que contiene la muestra que se estudia.

<sup>3</sup> El proceso de emisión y absorción de energía en forma resonante se puede frustrar por el hecho de que los átomos (emisor y absorbedor) retroceden al momento de emitir y absorber energía, perdiéndose energía. Un ejemplo ilustrativo del retroceso es el disparo de una pistola: al accionarla, retrocede. Este retroceso se puede estimar y evitar experimentalmente.

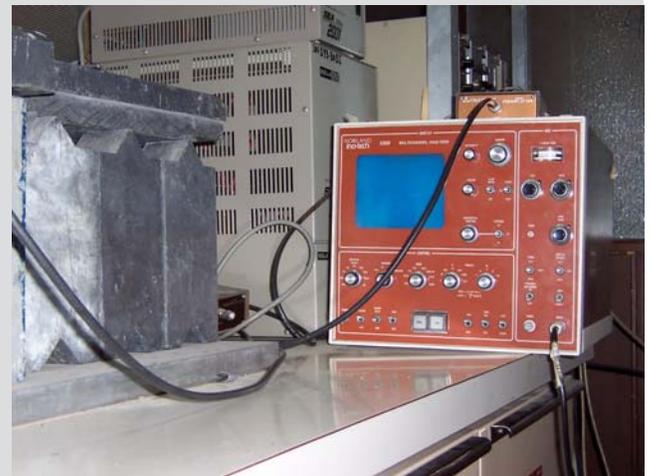


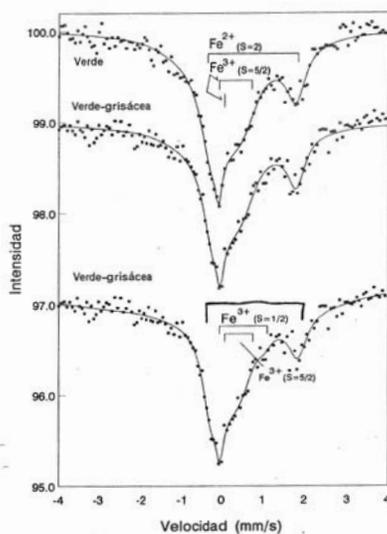
Figura 1. Espectrómetro Mössbauer, ININ

## La obsidiana verde del estado de Hidalgo

El intenso uso comercial que se le daba a la obsidiana en otras épocas, hace pensar que el sitio en el que se encontraron (por ejemplo, en una tumba) no es necesariamente el sitio donde se formaron. Los estudios del autor este artículo tienen el propósito de contribuir a la caracterización de los yacimientos de obsidiana en México a través de la espectroscopía Mössbauer, técnica que permite reconocer rápidamente el origen de estos vidrios volcánicos.

Estudios realizados en Mesoamérica revelan que la obsidiana fue tan importante en su tiempo, como lo es el petróleo en nuestros días. Por esta causa a la obsidiana se le considera no solo como un material con distintos usos artesanales y domésticos, sino como un producto estratégico que, incluso controló parte de la economía de culturas pasadas.

Para el trabajo que aquí se expone, se usaron unos rastros de obsidiana verde y gris, coletados en Nopalillo, además de otra obsidiana adquirida en Tepoztlán, Morelos. Aunque solo se trataba de trozos pequeños, fueron suficientes para



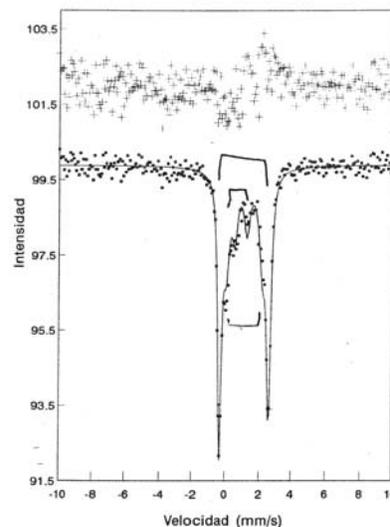
**Figura 2. Espectros Mössbauer de las obsidiana verdes de la sierra de Pachuca, Hidalgo. Los espectros de estas dos obsidiana son muy parecidos.**

analizarlos por medio de EM. Valga mencionar que las obsidiana verdes se diferencian claramente a la vista por su coloración ligeramente distinta, no obstante, el propósito de este estudio fue determinar sus diferencias por medios espectroscópicos.

La figura 2 muestra los espectros Mössbauer de las obsidiana verde y verde grisácea provenientes de la mina de Nopalillo en la sierra de las Navajas. Para la caracterización de estas obsidiana se utilizaron varias de las técnicas analíticas que posee el ININ: la emisión de rayos X inducida por protones (PIXE), el análisis por activación neutrónica (AAN), la difracción de rayos X (DRX), la espectroscopía Mössbauer (EM), la resonancia paramagnética electrónica (RPE) y la microscopía electrónica de barrido (MEB).

Por su parte, la figura 3 muestra el espectro Mössbauer de la obsidiana negra. Aunque de origen incierto, este espectro consiste en un doblete externo principal y otros dos dobletes adicionales internos, todos ellos característicos del hierro valencia 2.

Una observación interesante sobre estas

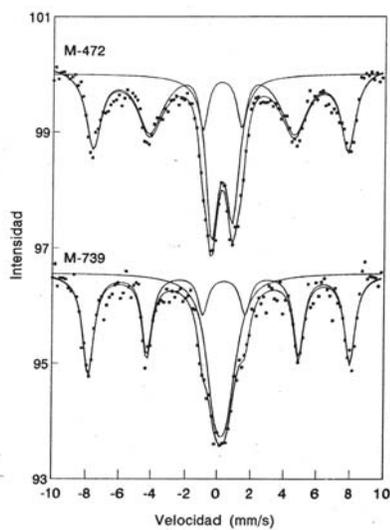


**Figura 3. Espectro Mössbauer de la obsidiana negra. El espectro consiste básicamente de la superposición de tres espectros provenientes del hierro valencia 3. La ausencia de hierro valencia tres en esta obsidiana es peculiar.**

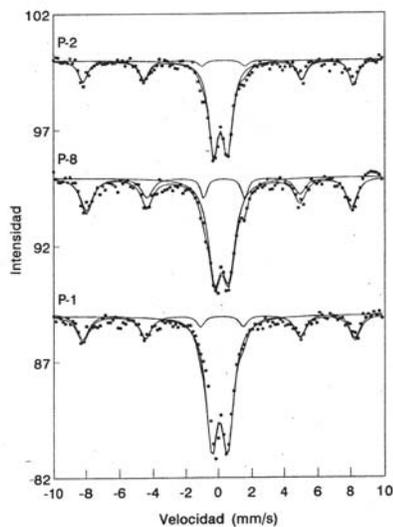
obsidianas (verdes y negra) es que sus espectros Mössbauer no muestran espectros de tipo magnético, que es usual observarlos patrones magnéticos en obsidianas. Una posible explicación de este hecho es que probablemente el proceso de vitrificación se dio bajo condiciones reductoras (sin oxígeno).

### Cerámica de San Luis Potosí

En términos generales, uno de los materiales



**Figura 4. Espectros Mössbauer de las cerámicas modernas**



**Figura 5. Espectros Mössbauer de grupo de cerámicas prehispánicas**

más antiguos utilizados por el ser humano con claras implicaciones tecnológicas, es la cerámica. Un estudio sistemático de cerámicas antiguas por medio de las técnicas analíticas apropiadas ofrece información de gran valía para los arqueólogos. Puesto que el proceso de manufactura de la cerámica comprende varias etapas, bien podría utilizarse como indicador del grado de desarrollo tecnológico de una cultura.

Las figuras 4 y 5 muestran los espectros Mössbauer de cerámicas actuales y prehispánicas de San Luis Potosí, respectivamente. De las diferencias visuales entre estos dos espectros, se puede observar que el tipo de material para ambas cerámicas es diferente. De un análisis más detallado de estos espectros se puede determinar las temperaturas de cocción y el origen del material utilizados para realizarlas.

Las diferencias espectrales obtenidas por medio del análisis de los parámetros Mössbauer son muy útiles para juzgar el tipo de tratamiento térmico a que pudo haber sido sometida la cerámica, información difícil de obtener por medio de otras técnicas. Así, por ejemplo, a través de los espectros mejor definidos se infiere un tratamiento térmico homogéneo y bien realizado.

### Conclusiones

Se puede concluir que la información que se obtiene a partir de la espectroscopia Mössbauer aplicada a la arqueometría es muy valiosa para el arqueólogo. De hecho, es notorio que haya cada vez más publicaciones sobre temas arqueológicos que utilicen la EM. El tema de fechado que no se expuso en este artículo puede también abordarse utilizando EM. Valga entonces decir que la arqueometría es un área del conocimiento que atrae a cada vez más científicos de ambas ciencias: las naturales y las sociales. Un aspecto de interdisciplina científica que se debe cultivar en aras del conocimiento. ❖