

El estudio de los objetos hallados en contexto arqueológico se puede realizar de muchas formas. En primer lugar, tras su hallazgo se llevan a cabo registros cuidadosos del objeto, de su ubicación en el sitio y se estudia su contenido y significado. Enseguida, debido a que el objeto cuenta con un aspecto material que tiene implícita, entre otras cosas, su temporalidad y su estado de deterioro, se realiza el fechamiento de sus materiales, una de las informaciones más valiosas para un arqueólogo, ya que le permite inferir la cronología de un sitio, de una ofrenda o un artefacto y cómo se relaciona con otros sitios, objetos y culturas.

No obstante, los materiales arqueológicos encierran otro tipo de informaciones de la mayor relevancia, como el uso de materiales en su manufactura, el tipo de pigmentos de una pintura mural o las aleaciones en los artefactos metálicos, a las cuales se llega por medio del estudio de las características y la composición de sus materiales. También es factible establecer la probable procedencia de dichos materiales por medio de la medición de los elementos químicos que son característicos de un yacimiento, como es el caso de las obsidianas y las turquesas. Asimismo, se puede conocer y rescatar del olvido el tipo de tecnología que se empleó en su manufactura y la temporalidad relativa del objeto de estudio, ya que los ma-

teriales y las tecnologías cambian a lo largo de los siglos y con los intercambios culturales. Además, con base en las interpretaciones de todas estas informaciones, se puede inferir el intercambio de materiales, objetos terminados y tecnologías. Por ejemplo, para la cerámica es posible comprobar si en un sitio arqueológico se producían piezas con arcillas locales, si se copiaban los estilos y las formas de otras regiones, o bien si se intercambian piezas con otros sitios y regiones cuyas composiciones y formas son diferentes a las locales. Es así como se sabe que las piezas metálicas halladas en el área Maya proceden de las culturas Diquis y Veraguas de Costa Rica y Panamá, ya que en ella no existen evidencias de su producción, ni fuentes de metales, y los estilos de las piezas corresponden a los objetos elaborados en esas regiones de Centroamérica, lo que demuestra la existencia de un intercambio entre ambas regiones. Por ello decimos que los estudios materiales de nuestro patrimonio cultural logran que los objetos nos cuenten su historia y sus secretos, y nos digan cosas que no pueden ser conocidas de otra manera, pues se hallan guardadas y escondidas en sus elementos químicos y en los compuestos que los constituyen.

Por otra parte, el estudio de la composición de los materiales permite determinar su estado de deterioro, lo cual lleva a dilucidar en buena medida las



José Luis Ruvalcaba Sil

Los artefactos nos cuentan su historia

la caracterización de los materiales arqueológicos





cualidades originales del material u objeto, algo muy útil para la interpretación arqueológica y para proponer estrategias de conservación preventiva o bien procesos de conservación y restauración más adecuados para la preservación. Esto es de la mayor relevancia para un país como el nuestro, con una vasta riqueza cultural, además de tener una importancia económica cada vez mayor en todas las regiones de nuestro país por cuestiones de turismo cultural. En países desarrollados con patrimonio cultural notable, como Francia, Italia y España, el estudio y la conservación del patrimonio cultural reciben la debida atención por ser motores económicos relevantes.

Prácticamente, todo tipo de objetos y materiales históricos pueden ser estudiados, desde una cerámica, un

objeto hecho en piedra, artefactos metálicos, pinturas y pigmentos, textiles y colores orgánicos, hasta manuscritos, libros antiguos, fotografías, vidrios y restos óseos. De hecho, podemos hacer que los diferentes materiales nos cuenten un poco de ellos y, al reunir la información de los diversos materiales presentes en el contexto arqueológico, es posible reconstruir de una manera más precisa cómo eran las culturas del pasado, los hábitos, las formas de vida, las costumbres, e inferir cómo se relacionaban entre sí.

Materiales mexicanos

Este tipo de estudios se lleva a cabo desde hace tiempo en Europa y otros países desarrollados con una destacada riqueza cultural. En México, sólo apenas hace poco más

de una década que se realizan investigaciones sistemáticas para lograr un conocimiento profundo del patrimonio cultural e histórico, e incluyen todo tipo de piezas arqueológicas, objetos históricos y obras de arte.

Una de sus características es la participación de diversas especialidades para su realización e interpretación, por lo que en nuestro grupo colaboran tanto institutos de ciencias como de humanidades de la Universidad Nacional Autónoma de México —el Instituto de Física, el Instituto de Investigaciones Estéticas y el Instituto de Investigaciones Antropológicas, entre otros— en conjunción con el Instituto Nacional de Antropología e Historia y el Instituto Nacional de Bellas Artes, con el propósito de desarrollar metodologías específicas e infraestructura experimental para la caracterización no destructiva de nuestro patrimonio, conformar bases de información de los materiales mexicanos, formar recursos humanos en esta línea de investigación y la integración de grupos de investigación interdisciplinarios. Para tal fin se ha integrado recientemente la red Análisis





no destructivo para el estudio en arte, arqueología e historia (ANDREAH), en la cual participan arqueólogos, restauradores, historiadores, físicos, químicos, ingenieros y otros especialistas. Es claro que la colaboración con las instituciones que resguardan y conservan el patrimonio del país es muy importante para alcanzar las metas de ANDREAH.

Entre los principales estudios desarrollados por la red se encuentra el de piezas arqueológicas de lítica y metal, cerámica prehispánica y colonial, manuscritos y documentos antiguos —incluyendo códices, pigmentos, pintura mural, pintura de caballete colonial, del siglo XIX y moderna. La metodología general para el estudio de un objeto o una colección de piezas implica tres fases: la primera consiste en un examen global por medio del uso de técnicas de imagen con luz visible, infrarroja y ultravioleta, así como de un análisis con microscopía óptica. De esta manera se observan las características generales de los materiales, ya que la opacidad y fluorescencia similares implican el uso de materiales semejantes en las diversas regiones en estudio.

En una segunda etapa en los acervos o sitios arqueológicos, se emplean espectrómetros portátiles de luz visible, láseres (*Raman*), luz infrarroja (FTIR) y fluorescencia de rayos X (XRF) con el fin de determinar la composición química de los objetos en las regiones seleccionadas durante la primera fase de prospección en el examen global de los objetos. De hecho, en esta fase el laboratorio se traslada, literalmente, al sitio donde se encuentran las piezas.

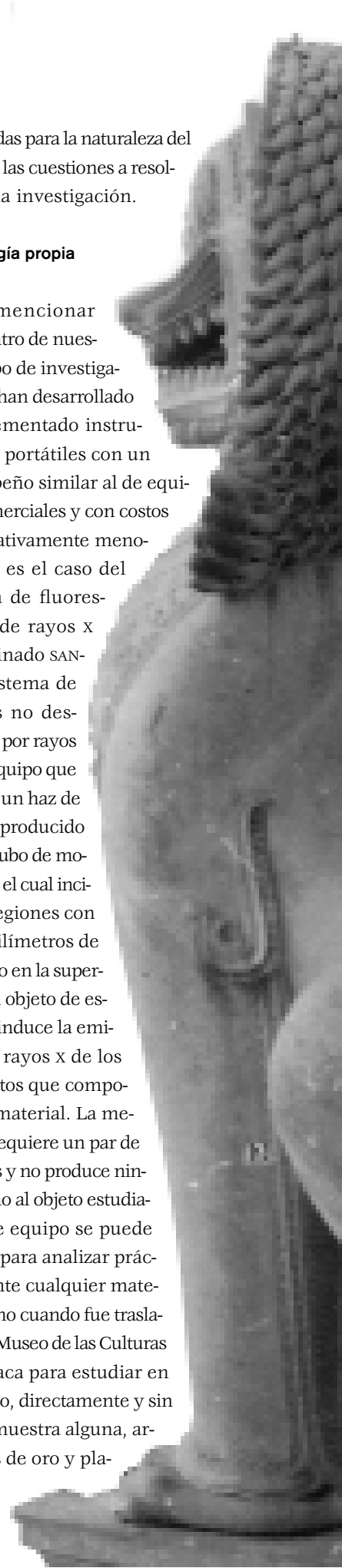
La información que se obtiene con las técnicas espectroscópicas permite determinar en buena medida la composición de los materiales de los objetos estudiados, a tal grado que se puede dar respuestas a las interrogantes arqueológicas o bien seleccionar objetos representativos para su estudio en laboratorio empleando equipos tan sofisticados como los aceleradores de partículas —el Pelletron del Instituto de Física de la UNAM— y los microscopios electrónicos. Esto complementa el estudio material de las piezas con técnicas de análisis más sensibles, y es apropiado para piezas únicas o de gran valor. Por ello el análisis *in situ* constituye una estrategia muy importante para los estudios de colecciones en acervos. Por otra parte, de esta manera se obtienen datos relevantes para establecer, si fuese necesario, una estrategia de muestreo que sea mínima y representativa de la composición original de las piezas, es decir, se toma el menor número de muestras de las piezas en aquellas partes no restauradas o en las menos deterioradas.

Finalmente, en la tercera fase del estudio, y con base en los estudios previos, las muestras tomadas del objeto pueden ser llevadas a laboratorios de análisis de microscopía electrónica o de análisis químicos, e incluso a laboratorios de aceleradores, como los sincrotrones, aplicando las técnicas más

apropiadas para la naturaleza del objeto y las cuestiones a resolver de la investigación.

Tecnología propia

Cabe mencionar que dentro de nuestro grupo de investigación se han desarrollado e implementado instrumentos portátiles con un desempeño similar al de equipos comerciales y con costos significativamente menores. Tal es el caso del sistema de fluorescencia de rayos X denominado SANDRA (Sistema de análisis no destructivo por rayos X), un equipo que emplea un haz de rayos X producido por un tubo de molibdeno, el cual incide en regiones con 1 a 2 milímetros de diámetro en la superficie del objeto de estudio e induce la emisión de rayos X de los elementos que componen el material. La medición requiere un par de minutos y no produce ningún daño al objeto estudiado. Este equipo se puede utilizar para analizar prácticamente cualquier material, como cuando fue trasladado al Museo de las Culturas de Oaxaca para estudiar en el acervo, directamente y sin tomar muestra alguna, artefactos de oro y pla-



IMÁGENES DE LA TERCERA DE FORROS

Figura 1. Análisis no destructivo por fluorescencia de rayos x de una cerámica policroma del Occidente de México. Museo Nacional de Antropología, INAH.

Figura 2. Estudio no destructivo *in situ* por espectroscopia Raman de una figura zoomorfa teotihuacana. Museo Nacional de Antropología, INAH.

Figura 3. Caracterización *in situ* de las teselas azules de la máscara de Malinaltepec (Guerrero) por espectroscopia infrarroja (FTIR). Museo Nacional de Antropología, INAH.

Figura 4. Estudio de la composición del códice mixteco colombino (Oaxaca) en la Biblioteca Nacional de Antropología e Historia del INAH.

Figura 6. Análisis no destructivo con técnicas de haces de iones de la composición de una cerámica maya jaina con el haz externo del acelerador Pelletron del Instituto de Física de la UNAM.

ta descubiertos en la Tumba 7 de Monte Albán, uno de los hallazgos arqueológicos más importantes en nuestro país, y se obtuvieron datos relevantes de las aleaciones y tecnologías empleadas en la manufactura de las piezas —por cierto, hasta el momento del análisis existían muy pocos datos sobre la plata prehispánica.

En el grupo de investigación se cuenta con otros equipos portátiles como espectrómetros Raman e infrarrojos, que proporcionan espectros característicos de los compuestos principales de los materiales, los cuales se identifican comparando con una base de datos de materiales conocidos. Tales equipos han sido utilizados para estudiar colecciones de piezas relevantes en los museos del país, entre las que se destacan códices prehispánicos y coloniales de la Biblioteca Nacional de Antropología e

Historia del INAH, los artefactos metálicos y lítica (piedras verdes y turquesas) del Museo del Templo Mayor del INAH, la pintura colonial (Concha y Echave), del siglo XIX (Velasco y Bustos) y moderna (Siquieros) del Museo Nacional de Arte del INBA, así como de sitios arqueológicos —Teotihuacan, Palenque y otros de la península de Yucatán, Oaxaca y Occidente. También se ha estudiado piezas únicas como la máscara de Malinaltepec, con el fin de determinar la composición de sus materiales y sus teselas azules (los pequeños fragmentos que conforman el mosaico que la cubre) e inferir su procedencia, el ajuar de jade de Pakal, descubierto en el Templo de las Inscripciones en Palenque, para realizar estudios de procedencia, y los pigmentos de la cerámica policroma de Teotihuacan —todas de la colección del Museo Nacional de Antropología.

En el caso de la máscara de Malinaltepec, Guerrero, los estudios revelaron que las teselas azules que componen el mosaico dispuesto sobre la

máscara de piedra verde son de amazonita y turquesa, y que proceden probablemente del suroeste de los Estados Unidos, donde las culturas locales realizaban su explotación en la época prehispánica y la intercambiaban por largas rutas. Las teselas de color naranja son de una concha marina de las costas del Océano Pacífico, *Spondylus princeps*, y la esclerótica de los ojos de otra concha, *Pinctada mazatlanica*, y las pupilas de los ojos son de hematita especular. Esta información concuerda con la hipótesis de que la pieza es originaria de Teotihuacan y fue reutilizada y decorada con el mosaico unos siglos después.

También se han desarrollado dispositivos para el análisis en laboratorio. En el acelerador Pelletron del Instituto de Física se construyó una línea de irradiación especializada para estudios de materiales arqueológicos; en este sistema, el rayo de protones producido por el acelerador atraviesa una ventana delgada de aluminio e incide en zonas específicas del objeto para de-





Zouche-Nuttall) o bien de piezas precolombinas como el Tesoro de los Quimbayas del Museo de América. Lo anterior muestra los alcances de la investigación realizada en nuestro país cuando es de buena calidad.

Conclusiones

El estudio de los materiales arqueológicos tiene la mayor relevancia para México. Gracias al trabajo conjunto y a una investigación sistemática y seria se ha integrado un grupo que emplea metodologías y equipos de pun-

terminar su composición química hasta con cinco detectores de rayos x, rayos gamma, partículas y luz que funcionan de manera simultánea. El análisis es muy completo y sensible y se utiliza sobre todo para identificar materiales, realizar estudios de procedencia y de tecnología. Entre las piezas estudiadas se destacan las piedras verdes y pizarras de Teotihuacán, las obsidias mayas de Campeche, artefactos metálicos de Oaxaca, restos óseos de Tlaxcala, así como manuscritos y libros antiguos de bibliotecas de Puebla, Campeche, Oaxaca y la Ciudad de México.

Para el estudio de piezas metálicas procedentes del cenote de Chichen-Itzá, por ejemplo, el uso del acelerador de iones y sus técnicas constituyen un instrumento único que permitió observar que algunas de las piezas laminares, encontradas a principios del siglo pasado bajo el agua por los arqueólogos, eran de cobre con una fina capa de dorado de

un espesor menor a un micrómetro, una tecnología que sólo se ha reportado en culturas del Perú. Lo anterior indica que probablemente dichas piezas llegaron desde las distantes regiones sudamericanas por medio de intercambio.

Cabe señalar que, para el estudio de sus colecciones, los museos de primer orden, como el Louvre de París, cuentan con un acelerador de partículas en sus laboratorios, y otros como el Museo Metropolitano de Nueva York y el Museo Británico tienen laboratorios dotados de todo tipo de espectrómetros y microscopios electrónicos.

El impacto de nuestro trabajo en los museos nacionales y regionales ha abierto paso a la colaboración con algunos acervos en el extranjero que contienen piezas y colecciones procedentes de México. Es el caso de los códices prehispánicos y coloniales del Museo de América (códices Trocortesiano y Tudela) y del Museo Británico (códice



ta para llevar a cabo tales estudios de manera exitosa. Si bien los instrumentos para realizar estas investigaciones son importantes, la integración de los equipos dentro de un marco de trabajo interdisciplinario, el interés de los investigadores y estudiantes, y los apoyos institucionales ponen en eviden-

cia que es factible trabajar de manera conjunta en este ámbito en nuestro país y así generar investigación de calidad con resultados originales y novedosos,

con un impacto directo aquí y en el extranjero. Es una línea de investigación consolidada, con grupos líderes en este ámbito, un ejemplo de cómo trabajando juntos podemos alcanzar las metas que se propongan para el estudio y la conservación de nuestro patrimonio cultural en beneficio del país. 🐢



José Luis Ruvalcaba Sil

Instituto de Física,
Universidad Nacional Autónoma de México.

AGRADECIMIENTOS

A los proyectos CONACYT MOVIL I 131944 y MOVIL II U49839-R, Proyecto PAPIIT UNAM IN403210 y proyecto ICYTDF PICCO10-57.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ciliberto, E. y Spoto G. (eds.). 2000. *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology*. Chemical Analysis, Series of Monographs on Analytical Chemistry and its Applications, vol. 155, J. D. Winefordner Series Ed. John Wiley and Sons, Nueva York.

Del Egido, M. A. y T. Calderón (eds.). 2008. *La Ciencia del Arte. Ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico*. Instituto del Patrimonio Histórico Español, Madrid.

Del Egido, M. A. y D. Juanes (eds.). 2010. *La Ciencia del Arte II. Ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico*. Instituto del Patrimonio Cultural de España, Madrid.

Goffer, Z. 1980. *Archaeological Chemistry*. Chemical Analysis Series, vol. 55. John Wiley and Sons, Nueva York.

Martínez, C., J. L. Ruvalcaba, M. A. Ontalba y L. Manzanilla. 2002. "Caracterización mediante haces de partículas: estudios interdisciplinarios de pintura mural teotihuacana", en *XXIV Coloquio Internacional de Historia del Arte: Arte y Ciencia*, P. Krieger (ed.). Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM, pp. 239-263.

Ruvalcaba Sil, J. L., L. Filloy, M. Vaggi, L.H. Tapia Gálvez y R. Sánchez Becerra. 2010. "Estudio no destructivo *in situ* de la Máscara de Malinaltepec", en *La Máscara de Malinaltepec*, S. Martínez del Campo (coord.). CONACULTA/INAH, México, pp. 153-168.

_____, G. Peñuelas, J. Contreras, E. Ortiz y E. Hernández. 2009. "Technological and Material Features of the Gold Work of Mesoamerica", en *Archeosciences-Revue d'Archéométrie*, núm. 33, pp. 299-302.

_____, D. Ramírez, V. Aguilar y F. Picazo. 2010. "SANDRA: A Portable XRF System for the Study of Mexi-

can Cultural Heritage", en *X-ray Spectrometry*, núm. 39, pp. 338-345.

_____, S. Zetina, H. Calvo del Castillo, E. Arroyo, E. Hernández, M. Van der Meeren y L. Sotelo. 2008. "The Grolier Codex: A Non Destructive Study of a Possible Maya Document using PIXE and RBS", en *Materials Issues in Art and Archaeology VIII* (Materials Research Society, Boston), vol. 1047, pp. 299-306.

Van Grieken, R. y K.Janssens (eds.). 2005. *Cultural Heritage Conservation and Environmental Impact Assessment by Non-destructive Testing and Microanalysis*. A. A. Balkema Publishers, Londres.

Zetina S., J. L. Ruvalcaba, T. Falcón, E. Hernández, C. González y E. Arroyo. 2009. "Painting Syncretism: a Non Destructive Analysis of the Badiano Codex", en *9th International Conference on NDT of Art, ART2008*. Jerusalem.

IMÁGENES

Ignacio Chávez, pp. 70-71: Angkor, Camboya; pp. 72-75: Bangkok, Tailandia; p. 76: Ciudad prohibida, Beijing, China, 1966.

ARTIFACTS TELL US THEIR STORIES: THE CHARACTERIZATION OF ARCHEOLOGICAL MATERIALS

Palabras clave: materiales, procedencia, tecnología, deterioro, arqueometría.

Key words: Materials, origin, technology, deterioration, Archeometry.

Resumen: El análisis de los objetos arqueológicos permite inferir aspectos de uso de materiales, procedencia de las piezas, tecnología, intercambio, cronologías y deterioro, y se realiza en laboratorios e *in situ*, en la mayoría de los casos de manera no destructiva y sin tomar muestras. La metodología de estudio empleada dentro de un marco interdisciplinario arroja luz sobre varios materiales arqueológicos e históricos de México.

Abstract: Analysis of archeological objects allows us to infer aspects of use of materials, the origins of pieces, technology, exchange, chronology, and deterioration. This characterization can be carried out in laboratories and *in situ* with portable equipment, in most cases using non-destructive methods and without taking samples. This article describes the research methodology employed in numerous studies conducted from an interdisciplinary perspective on a wide variety of archeological and historical materials from various regions in Mexico.

José Luis Ruvalcaba Sil es físico por la Facultad de Ciencias de la UNAM y Doctor en Ciencias por les Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix de Bélgica. Desde hace más de diez años desarrolla metodologías y dispositivos experimentales empleando diversas radiaciones para el análisis no destructivo del patrimonio cultural del país en colaboración con diversas instituciones nacionales y extranjeras.

Recibido el 24 de agosto de 2011, aceptado el 9 de septiembre de 2011.