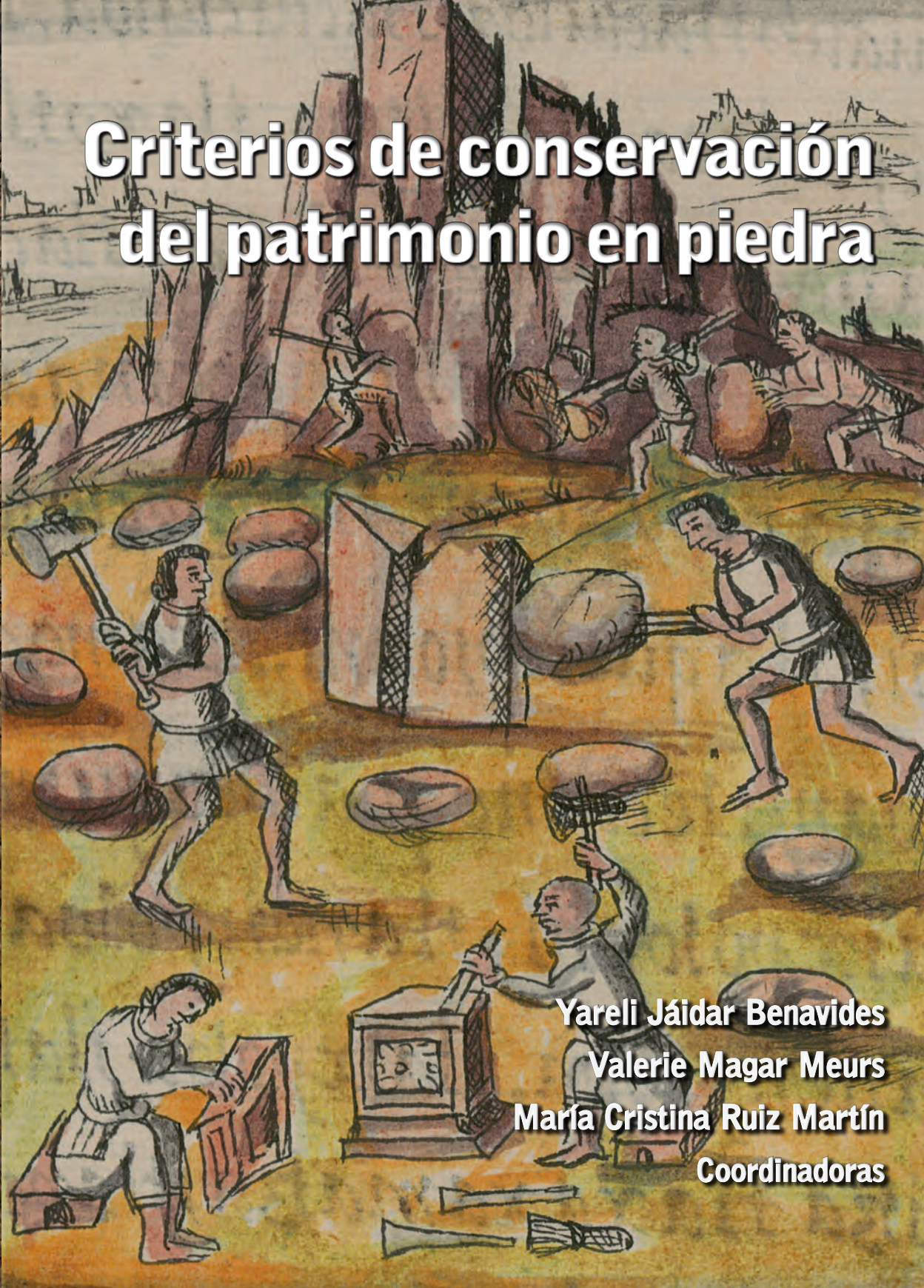
Criterios de conservación del patrimonio en piedra



Yareli Jáidar Benavides
Valerie Magar Meurs
María Cristina Ruiz Martín
Coordinadoras

Criterios de conservación del patrimonio en piedra

Colección Conservación y
Restauración del Patrimonio

•

serie memorias

CRITERIOS DE CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO EN PIEDRA

Yareli Jáidar Benavides
Valerie Magar Meurs
María Cristina Ruiz Martín

Coordinadoras

SECRETARÍA DE CULTURA
INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ESTÉTICAS
CENTRO INTERNACIONAL DE ESTUDIOS PARA LA CONSERVACIÓN
Y LA RESTAURACIÓN DE LOS BIENES CULTURALES

Jáidar Benavides, Yareli, Valerie Magar Meurs y María Cristina Ruiz Martín (coords.)
Criterios de conservación del patrimonio en piedra [recurso electrónico] / coord. de Yareli Jáidar Benavides, Valerie Magar Meurs, María Cristina Ruiz Martín; introd. de María del Carmen Castro Barrera. - México : Secretaría de Cultura, INAH, UNAM-IIE, ICCROM, 2025
488 p. : ilus. ; 23 × 17 cm – (Colec. Conservación y Restauración del Patrimonio, Ser. Memorias)

ISBN INAH: 978-607-2634-13-8
ISBN UNAM: 978-607-587-053-3

1. Monumentos históricos – Conservación y restauración 2. Sitios históricos – Conservación y restauración 3. Degradación ambiental 4. Patrimonio cultural – Protección 5. Patrimonio cultural – Políticas gubernamentales I. Magar Meurs, Valerie, coord. II. Ruiz Martín, María Cristina, coord. III. Castro Barrera, María del Carmen, introd. IV. t. V. Ser.

LC N8849

Primera edición electrónica: 2025

Producción: Secretaría de Cultura / Instituto Nacional de Antropología e Historia

Imagen de portada: Códice Florentino Digital editado por Kim N. Richter y Alicia Maria Houtrouw, "Libro 10: La gente", fol. 17v, Getty Research Institute, 2023. Ms. Med. Palat. 220, f. 17v, Biblioteca Medicea Laurenziana, Florencia
Con el permiso de MiCE. Queda prohibida cualquier reproducción posterior por cualquier medio.

D. R. © 2025 Instituto Nacional de Antropología e Historia
Córdoba 45, col. Roma, C.P. 06700, alcaldía Cuauhtémoc, Ciudad de México
informes_publicaciones_inah@inah.gob.mx

D.R. © 2025 Universidad Nacional Autónoma de México
Avenida Universidad 3000, Ciudad Universitaria
alcaldía Coyoacán, C.P. 04510 Ciudad de México

Instituto de Investigaciones Estéticas
Circuito Mario de la Cueva, Ciudad Universitaria
alcaldía Coyoacán, C.P. 04510 Ciudad de México
libroest@unam.mx

D.R. © 2025 International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property ICCROM
Via di San Michele, 13 00153 Roma, Italia

Las características gráficas y tipográficas de esta edición son propiedad del Instituto Nacional de Antropología e Historia de la Secretaría de Cultura

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, la fotocopia o la grabación, sin la previa autorización por escrito de las entidades editoras.

ISBN INAH: 978-607-2634-13-8
ISBN UNAM: 978-607-587-053-3

Hecho en México

Cultura
Secretaría de Cultura
85 INAH
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ESTÉTICAS - UNAM
ICCROM

DIRECTORIO

SECRETARÍA DE CULTURA

Claudia Curiel de Icaza
Secretaria

INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA

Diego Prieto Hernández
Director General

José Luis Perea González
Secretario Técnico

Beatriz Quintanar Hinojosa
Coordinadora Nacional de Difusión

Jaime Daniel Jaramillo Jaramillo
Encargado de la Dirección de Publicaciones

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Leonardo Lomelí Vanegas
Rector

Patricia Dolores Dávila Aranda
Secretaria General

COORDINACIÓN DE HUMANIDADES

Miguel Armando López Leyva
Coordinador

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ESTÉTICAS

Angélica Velázquez Guadarrama
Directora

Luis Vargas Santiago
Secretario Académico

Jaime Soler Frost
Coordinador de Publicaciones

CENTRO INTERNACIONAL DE ESTUDIOS DE CONSERVACIÓN
Y RESTAURACIÓN DE LOS BIENES CULTURALES

Aruna Francesca Maria Gujral
Directora General

Valerie Magar
Responsable de la Unidad de Programas

Tomás Meraz Castano
Responsable de Patrimonio Mueble

Índice

Introducción 13
María del Carmen Castro Barrera

La conservación de piedra en México: una visión histórica 21
Valerie Magar Meurs, Yareli Jáidar Benavides y María Cristina Ruiz Martín

Criterios y principios para la conservación de piedra: confrontación de teoría y práctica en México 69
María Cristina Ruiz Martín, Yareli Jáidar Benavides y Valerie Magar Meurs

Propuestas de normalización de criterios y metodología para la conservación de los materiales pétreos 119
Ana Laborde Marqueze

La relación entre teoría, metodología y normativa en la conservación de los Asentamientos Cacicales del Diquís, Costa Rica 137
Isabel Medina-González y Javier Fallas Fallas

Cleaning Historic Stonework: Assessment, Options and Implications 157
David Odgers

Limpieza en piedra: evaluación, opciones e implicaciones 171
David Odgers

Patrimonio lítico del Centro Histórico de Lima. Limpieza de elementos en mármol como parte de la gestión de gobiernos locales 185
Ingrid García Miranda

Metodología para evaluar materiales consolidantes de tipo alcoxisilanos y criterios para su aplicación en piedra 197
Nora Ariadna Pérez Castellanos

Estabilización de soportes pétreos silíceos en patrimonio gráfico-rupestre en México: procesos de consolidación y resane 211
Sandra Cruz Flores, Néstor Omar Torres Cuervo, Anacaren Morales Ortiz y Rodrigo Ruiz Herrera

La consolidación por biomineralización de materiales inorgánicos en el patrimonio cultural mesoamericano: el caso de Honduras y Guatemala 235
Carlos Rodríguez Navarro, Alberto de Tagle, Griselda Pérez, Barbara Fash, William Fash, Nieves Valentín, Juan Carlos Pérez, Edwin Pérez, María Teresa González Muñoz, Fadwa Jroundi, Encarnación Ruiz Agudo y Kerstin Elert

Evaluación de la humedad relativa y la temperatura como factores en el proceso sol-gel de nanomateriales para conservación de roca 251
Daniel Meléndez, Juan F. Illescas, Nora Ariadna Pérez Castellanos y Julia Aguilar

Evaluación y selección de un consolidante para la consolidación de toba: la fuente ceremonial del parque arqueológico de San Agustín 269
Helen Jacobsen

Criterios y consideraciones para la aplicación de sílice coloidal en la elaboración de pastas de resane para reintegración formal y morteros de sacrificio 291
Nora Ariadna Pérez Castellanos, Iván Gómez Murillo y Denise Charúa Ayala

Prevention, Moisture and Salts: A Story of Cooperation or Conflict? 309
David Odgers

La prevención de humedad y las sales: ¿una historia de cooperación o de conflicto? 329
David Odgers

El deterioro de los elementos pétreos con color de la Subestructura de Guerreros en Chichén Itzá: lineamientos prácticos para el control de sales 349
Claudia A. García-Solís, Yareli Jáidar Benavides, Patricia Quintana Owen, Javier Reyes Trujeque y María Fernanda Escalante Hernández

La reintegración cromática en superficies pétreas expuestas a luz natural 373
Juan Manuel Rocha Reyes y Ana Jose Ruigómez Correa

Criterios y experiencias recientes sobre la rehabilitación estructural de edificios patrimoniales construidos con mampostería de piedra 399
Roberto Meli Piralla y Abraham Roberto Sánchez Ramírez

Desarrollo del protocolo para la evaluación de los tratamientos de restauración en soporte pétreo 417
Livio Ferrazza, Ana Laborde Marqueze, María Antonia García Rodríguez, Consuelo Ímaz Villar y Pedro Pablo Pérez

Metodología de intervención de piedra caliza en sitios del sur de Campeche. Una visión retrospectiva a trabajos hechos entre 1996-2003 por la CNCPC-INAH 433
Valeria Amparo García Vierna

Una réplica de la Escalera Jeroglífica del Palacio de Palenque como alternativa para su conservación 451
Luz de Lourdes Herbert Pesquera, Martha Cuevas García, Claudia Zehrt y Ana Somohano Eres

Reflexiones a manera de síntesis 471
Haydeé Orea Magaña

Conclusiones 487
Yareli Jáidar Benavides, Valerie Magar Meurs y María Cristina Ruiz Martín

Introducción

*María del Carmen Castro Barrera**

En 2010, el Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM) y el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) firmaron un convenio de colaboración para echar a andar dos Programas para la Conservación del Patrimonio Cultural en América Latina y el Caribe, dirigidos a la conservación de papel y piedra en nuestro país. Para planear los contenidos y las actividades del programa de conservación de piedra en la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC), se llevó a cabo un seminario con un grupo de especialistas de Europa y América. En 2013 se aplicó una encuesta a profesionales en la materia y se organizó otro seminario para establecer los contenidos de cursos para especialistas de América Latina durante 2014, 2015 y 2016.

La zona arqueológica de Tula, en el estado de Hidalgo, se propuso como estudio de caso en los dos primeros cursos, debido a su cercanía con la Ciudad de México y por el problema de conservación que presenta la piedra volcánica. Tula se visualizó como un laboratorio ideal, sobre todo por el grado de afectación de sus materiales pétreos de origen silíceo, causado en gran medida por la refinería de petróleo y otras industrias que contaminan sin clemencia el ambiente de la ciudad. En México se tiene relativamente poca experiencia en este tipo de materiales y no existen muchas opciones para su conservación; hasta hace unos años, había menos experiencia en la conservación de materiales silíceos, en particular para diferentes tipos de tobas. En general, se ha puesto mayor

* Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural, INAH.

interés en proyectos e investigaciones en zonas y monumentos arqueológicos en los que el material constructivo es piedra caliza. Gracias al conocimiento que se tiene hoy del manejo de la cal y sus derivados, se han dado grandes pasos en los tratamientos y se han obtenido mejores resultados. En 2016, el caso de estudio fue la zona arqueológica de Chicanná, en el estado de Campeche, donde el problema principal es que la roca caliza presenta una elevada disgregación por su naturaleza y por las condiciones geoclimáticas del sureste de la República mexicana.

Desde mi punto de vista, uno de los aciertos de los cursos fue el proceso de diagnóstico. Los participantes tuvieron un acercamiento *a priori* libre de conjeturas y observaron de manera escrupulosa para establecer un diálogo profundo con el objeto de estudio, su contexto y otros factores que interactúan con su estado de conservación. Para nosotros es muy importante, entre otras cosas, estar preparados técnicamente para tomar decisiones asertivas que conduzcan a intervenciones adecuadas. Con esta intención, en el marco del mismo convenio de colaboración con el ICCROM, en 2018 se logró traer por primera vez a México el Curso Internacional sobre Conservación en Piedra, que se ha llevado a cabo en Italia, primero en Venecia y después en Roma, en la sede del ICCROM. El curso tuvo lugar en la Ciudad de México y en la zona arqueológica de Chicanná.

En la actualidad, se busca abrir las puertas a otras colaboraciones y reforzar el vínculo con otros profesionales por medio de la capacitación, difusión, sensibilización e investigación. Ahora contamos con la participación del Instituto de Investigaciones Estéticas (IIE) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); algunos de sus investigadores han participado en el curso de piedra, primero como personal de la CNCPC y hoy como trabajadores de la UNAM. Ha sido muy importante tener el apoyo del Laboratorio de Diagnóstico de Obras de Arte, centrado en la investigación de procedimientos y técnicas, con nuevas tecnologías y métodos de análisis más exactos. También se contó con el valioso apoyo del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y la Conservación del Patrimonio Cultural (LANCIC), tanto en la UNAM como en el Centro de Investigaciones en Corrosión de la Universidad Autónoma de Campeche.

Para entender con claridad cómo se ha desarrollado la conservación de piedra en México y establecer criterios adecuados para su intervención, es indispensable hacer una revisión de su uso y conservación en nuestro país. Hasta ahora no hay un documento que establezca

cómo debe tratarse la piedra; pocos materiales se han publicado y sólo algunos contemplan los principios y criterios para la conservación y restauración de estos bienes. Consideramos necesario compartir nuestras experiencias y reunir textos que conformen una base teórica más sólida; por este motivo, invitamos a un conjunto de especialistas mexicanos y extranjeros para que expusieran sus vivencias sobre la conservación de la piedra.

Valerie Magar Meurs, Yareli Jáidar Benavides y Cristina Ruiz Martín hacen un recuento histórico del uso de la piedra y los criterios utilizados para su conservación en México. Ponen de relieve la importancia de los materiales pétreos en el patrimonio cultural mexicano en edificaciones y objetos decorativos desde el periodo prehispánico hasta el siglo xx. También revisan la legislación mexicana, el papel de las instituciones y las medidas normativas de protección del patrimonio cultural adoptadas en nuestro país. En el segundo texto de su autoría, destacan los principios y criterios de intervención de los bienes culturales con ejemplos de tratamientos en diferentes tipos de patrimonio arqueológico e histórico.

Las autoras nos hacen reflexionar sobre la necesidad imperiosa de contar con un corpus normativo y técnico, estudios de caso y datos comparativos para enfrentar los problemas de conservación existentes y prever los retos planteados por los cambios climáticos y la urbanización creciente. Estos dos textos ofrecen un primer análisis histórico amplio de la conservación en México que propicia confrontar esta visión con casos nacionales e internacionales.

Ana Laborde Marqueze, conservadora-restauradora del Instituto del Patrimonio Cultural de España, describe el contexto de los bienes hechos en piedra y su equilibrio con el medio. Recomienda no obviar el deterioro de estos bienes, que son un documento en sí mismos. La información que aportan sobre su historia, las transformaciones que han sufrido y su caracterización es crucial para diagnosticar y valorar lo que se quiere conservar. La especialista española, al igual que las restauradoras mexicanas, pone énfasis en la importancia de los lineamientos y criterios de intervención en materiales pétreos, así como en la construcción de un lenguaje común para el registro y la documentación de estos bienes.

La restauradora Isabel Medina-González y el arqueólogo Javier Fallas Fallas ofrecen un estudio de caso muy peculiar, en el que participaron alumnos de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Mu-

seografía (ENCRYM) en colaboración con el Museo Nacional de Costa Rica. Cabe destacar el privilegio de intervenir el patrimonio de otra nación, obras pétreas de gran singularidad técnica y significación. Este proyecto integral se desarrolla en los sitios cacicales del Diquís, que resguardan las esculturas esféricas. Se propuso un plan de manejo que considera la relación entre la teoría, la metodología, la tecnología y la responsabilidad social con la comunidad y su influencia en la toma de decisiones.

La limpieza es una de las intervenciones que más pueden afectar los valores estéticos del patrimonio en piedra. David Odgers, conservador del Reino Unido, considera que en la limpieza no se pueden ignorar las probables implicaciones en la futura conservación de la piedra y sus valores patrimoniales. Una limpieza adecuada debe permitir observar sus volúmenes y calidad plástica. Debemos definir qué tipo de suciedad se asienta en las superficies pétreas y si es necesario eliminarla. Odgers establece una relación entre los métodos de limpieza, con sus ventajas y desventajas, además del uso de biocidas.

Ingrid García Miranda plantea la compleja situación del patrimonio escultórico del centro histórico de Lima, Perú, donde la conservación de un gran número de esculturas de mármol se ha tornado problemática porque han sido intervenidas de manera inadecuada. Esto es consecuencia de la falta de normatividad que proteja esos bienes, sean o no propiedad del Estado, la ausencia de una metodología para su intervención y la escasez de especialistas formados en el campo de la conservación de materiales pétreos.

Nora Ariadna Pérez Castellanos, doctora en Ciencia e Ingeniería de Materiales por la UNAM, ha concentrado sus conocimientos en el desarrollo de materiales ex profeso para nuestra disciplina con muy buenos resultados. Se basa en el principio de mantener el equilibrio entre los criterios de conservación y los criterios utilizados en física y química. Una de sus principales colaboraciones con restauradores es la consolidación de soportes pétreos silíceos con productos formados a partir del dióxido de silicio amorfo y un alcohol. El consolidante se forma *in situ* por una reacción química entre el ambiente y la piedra silícea.

El silicato de etilo (TEOS) se ha aplicado en los proyectos de El Vallecito y La Pintada, liderados por la restauradora Sandra Cruz Flores, a cargo del Programa Nacional de Conservación de Patrimonio Gráfico-Rupestre de la CNCPC. En todo el territorio nacional encontramos este

tipo de patrimonio, pero hay un número reducido de especialistas interesados en su conservación. Entre los mayores retos que la restauradora Cruz y su equipo han enfrentado están la estabilización del soporte rocoso y la conservación de la imagen y sus significados en su contexto. En su colaboración, escrita con Néstor Omar Torres Cuervo, Anacaren Morales Ortiz y Rodrigo Ruiz Herrera, se centra en los procesos de consolidación y resane. Una de las principales aportaciones de estos proyectos ha sido adaptar las normatividades nacional e internacional a las características de este patrimonio, que es un elemento natural y cultural que requiere conservación integral *in situ*.

Carlos Rodríguez-Navarro, Alberto de Tagle, Griselda Pérez, Barbara Fash, William Fash, Nieves Valentín, Juan Carlos Pérez, Edwin Pérez, María Teresa González Muñoz, Fadwa Jroundi, Encarnación Ruiz-Agudo y Kerstin Elert demuestran una gran capacidad de trabajo interdisciplinario para la conservación del patrimonio prehispánico en Honduras y Guatemala. Su aportación para la consolidación de piedra calcárea y piedra silícea por medio de la biomineralización producida con carbonato de calcio bacteriano se basa en una serie de análisis con equipo de laboratorio de alta tecnología de lo más novedosa. Su valor radica en que puede producirse de manera natural y no es nociva para la piedra.

El equipo científico integrado por Daniel Meléndez, Juan F. Illescas, Nora Ariadna Pérez Castellanos y Julia Aguilar resalta la importancia del trabajo interdisciplinario entre la conservación y la ciencia en el estudio de productos de tipo alcoxisilano (TEOS) para consolidación e hidrofugación de materiales pétreos. El análisis integral de los resultados desde distintas perspectivas le da herramientas al conservador para tomar decisiones. La metodología propuesta se basa en los criterios de compatibilidad física y química, así como en la estabilidad a largo plazo de los materiales. Se presentan resultados de la evaluación del comportamiento de estos productos en diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa para seleccionar los productos aplicables en México, en función de la eficacia del tratamiento y su compatibilidad con la piedra y el entorno.

La restauradora especialista en conservación de piedra Helen Jacobsen comparte el estudio de caso de la fuente ceremonial coloquialmente llamada "Lavapatas", ubicada en el parque arqueológico de San Agustín, en el departamento del Huila, al sur de Colombia. La fuente fue declarada patrimonio mundial en 1995. Con representaciones de figuras antropo-

morfas y zoomorfas, este lugar excepcional ha convocado a profesionales que están pendientes de los tratamientos aplicados para su conservación. Dado que no todas las intervenciones han sido adecuadas, se sugiere que se lleven a cabo estudios periódicos y sistemáticos para entender mejor las necesidades de conservación de este sitio tan complejo.

Como alternativas al uso de la cal, sobre todo en materiales pétreos silíceos, se ha propuesto el uso de sílice coloidal como cementante para pastas de resane y capas de sacrificio. Estas pastas han sido aplicadas en investigaciones previas. Iván Gómez Murillo, Denise Charúa Ayala y Nora Ariadna Pérez Castellanos presentan algunos criterios y consideraciones para la aplicación del sílice coloidal y mezclas con diferentes cargas. Para obtener mejores resultados, consideran variables en la elaboración y aplicación de morteros en condiciones medioambientales, sustratos y proporciones diversos.

Muchos de nosotros hemos lidiado con el control y la eliminación de eflorescencias salinas sobre materiales pétreos, más aún en superficies policromadas. En la mayoría de los casos es inevitable llevar a cabo tratamientos para eliminar los velos salinos. Para evitar esta situación, David Odgers considera que es de suma importancia implementar acciones preventivas, como el control de humedad y temperatura, para minimizar el deterioro futuro y conocer el comportamiento cíclico de las sales y sus mecanismos en presencia de humedad. El texto presenta algunos casos y las estrategias utilizadas para la remoción de sales.

Otro ejemplo interesante con respecto a la eliminación de sales es el que ofrecen los especialistas Claudia A. García-Solís, Yareli Jáidar Benavides, Patricia Quintana-Owen, Javier Reyes Trujeque y María Fernanda Escalante Hernández, quienes trabajaron en las columnas policromadas de la Subestructura de Guerreros en la zona arqueológica de Chichén Itzá. El hecho de que estén protegidas de la intemperie ha permitido la conservación de la capa pictórica; sin embargo, el uso de concreto y cemento ha provocado la presencia de sales solubles, en particular, sulfatos. Este grupo interdisciplinario propone una metodología que incluye el monitoreo de la humedad y la temperatura para controlar las eflorescencias salinas, su eliminación y posible tratamiento. La metodología propuesta puede utilizarse en otros casos con características similares.

Como ya vimos, la piedra es uno de los principales materiales para construir, decorar superficies y manufacturar objetos. Debido a su exposición al ambiente, su deterioro puede llegar a provocar la pérdida de

material, es decir, faltantes o lagunas sobre las portadas de las edificaciones. Los restauradores Juan Manuel Rocha Reyes y Ana Jose Ruigómez Correa comentan que la recuperación de estos elementos o su reintegración cromática, en muchos casos, han sido desafortunadas porque no se hacen estudios previos que consideren tanto los criterios y conocimientos en conservación como los valores estéticos de los bienes culturales. Su propuesta es muy pertinente y con posibilidades de desarrollo para el futuro.

La colaboración de Roberto Meli Piralla y Abraham Roberto Sánchez Ramírez es de gran relevancia para entender el comportamiento estructural de los inmuebles históricos y el comportamiento del suelo en el que se edificaron. Además de conocer las técnicas constructivas originales, sería deseable contar con procesos que añadieran estabilidad estructural a los inmuebles afectados. Estos conocimientos son de gran utilidad en un país con alta actividad sísmica como México, hecho evidenciado por los sismos de 2017.

El Instituto del Patrimonio Cultural de España y el Instituto Valenciano de Conservación, Restauración e Investigación han desarrollado, desde 2011, una metodología centrada en la evaluación de los tratamientos de estabilización y limpieza de materiales inorgánicos porosos. Han considerado criterios de evaluación, como la aplicabilidad, la naturaleza del material a intervenir y su estado de conservación. Su propuesta metodológica se acompaña de diversas técnicas de análisis, desde las más básicas no destructivas, hasta las más complejas con muestras en laboratorio. El valor de esta propuesta radica en la posibilidad de convertir el protocolo en norma nacional por medio de AENOR y en estándar europeo validado por el European Committee for Standardization.

Valeria Amparo García Vierna expone su experiencia en la valoración de los tratamientos que ella y su equipo de trabajo llevaron a cabo hace más de dos décadas en zonas arqueológicas del estado de Campeche. Recubrimientos, consolidaciones y reposición de elementos son fundamentales para proteger y conservar los materiales originales, y evaluar los resultados es la mejor forma de justificar su aplicación en casos similares o la búsqueda de alternativas viables que se apeguen a lineamientos que permitan mejorar las intervenciones.

Las condiciones ambientales y el deterioro de elementos expuestos a la intemperie hacen necesario plantear la conveniencia de hacer réplicas para colocarlas *in situ*, ya sea para proteger o sustituir el original.

Este tipo de intervenciones intrusivas deberán tener el respaldo de los lineamientos normativos que los justifiquen. La restauradora Luz de Lourdes Herbert y la arqueóloga Martha Cuevas, con el apoyo de Claudia Zehrt y Ana Somohano Eres del Museo Británico, comparten su experiencia y metodología en la creación de la réplica de la Escalera Jeroglífica de El Palacio, en la zona arqueológica de Palenque.

El amplio panorama que presenta esta obra, que abarca aspectos de gestión, conservación y presentación de sitios y bienes en piedra, muestra la conexión indisoluble entre teoría y práctica desde la perspectiva de los principios y criterios de la disciplina, y señala los avances de la conservación de los bienes culturales en piedra para conocer mejor la práctica y normarla. Este volumen es un primer paso para colmar el vacío de publicaciones sobre este tipo de patrimonio que, esperamos, sentará las bases para otros estudios en el futuro próximo.

La conservación de piedra en México: una visión histórica

*Valerie Magar Meurs**
*Yareli Jáidar Benavides***
*María Cristina Ruiz Martín****

Resumen
Esta revisión histórica de la protección del patrimonio cultural en México muestra la evolución de los conceptos y la forma de concebir y valorar el patrimonio. Se buscaron ejemplos para comprender el caso particular del patrimonio en piedra. Este recorrido por leyes, normas y acontecimientos pretende explicar los cambios que se sucedieron y resultaron en la creación de áreas dedicadas a la conservación y la formación en esta disciplina dentro del Instituto Nacional de Antropología e Historia. Se muestran también las reflexiones que han definido criterios, así como las discusiones y lecciones aprendidas en el camino.

Palabras clave: revisión histórica, México, legislación, criterios, normatividad, INAH

* ICCROM International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property
** Instituto de Investigaciones Estéticas, Universidad Nacional Autónoma de México
*** Centro INAH Colima

Abstract
This historic review of cultural heritage protection in Mexico allows us to show the evolution of concepts, and the ways of conceiving and appreciating heritage; the examples try to illustrate the specific case of stone heritage. This text, therefore, offers a historic overview of legislation, guidelines, and events, which allow a better understanding of the changes over time that slowly led to the creation of departments specifically dedicated to conservation and training in this area within the National Institute of Anthropology and History (INAH). The discussions which led to the definition of criteria are also described, as well as the reflections and lessons learned along the way.

Keywords: historic review, Mexico, legislation, criteria, guidelines, INAH

PREÁMBULO. LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL EN PIEDRA

La piedra desempeñó un papel fundamental en las sociedades que habitaron el territorio que hoy es México. Fue un material ampliamente utilizado para la elaboración de diversos bienes muebles y arquitectónicos con fines utilitarios, rituales o decorativos. Se encuentra en numerosos tamaños y formas, en función de la materia prima disponible en la zona u obtenida por comercio, intercambio o tributo; es por eso que los bienes pétreos conforman un conjunto extenso, importante y diverso del patrimonio cultural.

La mirada con la que cada sociedad ve y valora sus bienes o aquellos producidos en el pasado ha variado de un grupo a otro y de una época a otra. Este texto busca justamente comprender esas miradas; cómo derivaron y derivan en prácticas y medidas de protección, y finalmente, el papel que jugaron para el establecimiento de las normas y leyes que han regido la conservación de lo que hoy se considera patrimonio.

A pesar de la importancia del patrimonio en piedra, en México existen relativamente pocas publicaciones dedicadas a su conservación, y las hay en mucha menor cantidad sobre los principios y criterios empleados para ello. Por este motivo, consideramos que era necesario revisar la historia de la conservación y trazar un primer esbozo de esta evolución, para enfrentar con más información los numerosos retos que plantea este material y afianzar la práctica sobre bases teóricas cada vez

más sólidas y fundamentadas. Esta es la primera de dos partes de una investigación sobre la conservación de la piedra en México. En la segunda, "Criterios y principios para la conservación de piedra: confrontación de teoría y práctica en México", incluida en este volumen, se analiza el papel de la valoración del patrimonio en su conservación y cómo ha derivado en la conformación de los principios, lineamientos y criterios que conducen las intervenciones en el patrimonio pétreo. Asimismo, se complementa con ejemplos de decisiones sobre bienes arqueológicos e históricos, tanto *in situ* como en colecciones de museos. El propósito de estos textos es lanzar una primera mirada para determinar las tendencias que han emergido, los cambios en la terminología y los enfoques, así como las lecciones que se han aprendido en el transcurso del tiempo.

¿QUÉ SABEMOS HISTÓRICAMENTE DE LA CONSERVACIÓN DE PIEDRA?

Época prehispánica

La escasez de fuentes escritas[1] provenientes de las civilizaciones prehispánicas que habitaron México hace que la tarea de descifrar cómo se concebía el cuidado de bienes en piedra no sea sencilla. Los códices y las crónicas con que contamos revelan que existieron oficios especializados para explotar recursos de piedra y que los conocimientos por lo general se transmitían de padres a hijos y en escuelas de oficios (Sahagún 1829-30, 3: 16-17; López Austin 1985: 27-29, citado en Melgar 2013: 98). Esto permitió que se crearan obras de enorme calidad, a pesar de no contar con herramientas de metal ni animales de carga (Mirambell 1968; Melgar y Solís 2008). Además de la pericia en la talla y el uso de piedra, en el mundo prehispánico había un alto grado de conocimiento para elaborar morteros a base de cal, empleados en mampostería y para hacer aplanados y enlucidos, relieves y pisos, que iban de la mano con la manufactura y conservación de edificaciones y relieves en piedra. La información se deriva en parte de algunos códices –*Códice Azcatitlán*,

[1] Esto se debe en parte a la destrucción de códices, pero también a la tradición oral predominante entre las sociedades prehispánicas (Chavero 1882, IV).

Códice Telleriano-Remensis, *Códice Mendocino*, *Códice Florentino*– y, sobre todo, de la observación directa y los análisis que se han hecho de distintos materiales arqueológicos (Barba 2013; Melgar y Solís 2008).

Si bien abunda evidencia de levantamiento y ampliaciones periódicas de edificios en mampostería, en particular en las construcciones mesoamericanas, también hay indicios de reparaciones, casos en los que la construcción inicial parece haber tenido problemas. Un ejemplo se puede ver en la actual zona arqueológica de Tulum, en la que los antiguos habitantes reforzaron muros agrietados en el Templo XVI, también conocido como "Templo de las Pinturas". Estas acciones no se asocian a lo que hoy se entiende por restauración; se trata más bien de reparaciones en una edificación de tipo ritual que estaba en uso. En esa misma región, la Costa Oriental de Quintana Roo, se advierten numerosas acciones de mantenimiento en los templos, con decenas de capas sobrepuestas de enlucido, muchas de ellas decoradas, de las cuales las más notables se conservan en la zona arqueológica de Calica. Aquí pudo tratarse de mantenimiento para proteger las edificaciones de piedra caliza con los aplanados y enlucidos, pero también de modificaciones en el gusto en ciertos periodos, pues la policromía es distinta en cada capa.

Lo más común es encontrar reedificaciones que cubren por completo las etapas constructivas anteriores y dan lugar a edificios nuevos, similares, pero de mayores dimensiones, como en el caso del Templo Mayor de Tenochtitlán (López Luján *et al.* 2003: 138), con siete niveles sobrepuestos visibles hoy en el sitio. Asociadas a estos casos de reedificaciones, se han encontrado evidencias de preservación de algunos elementos antiguos. En uno de los templos de la plaza principal de la zona arqueológica Kohunlich, los antiguos habitantes de la ciudad protegieron parte de un friso en la parte superior del edificio anterior –elementos decorativos de piedra caliza y argamasa de cal– antes de empezar la nueva etapa constructiva. Si bien no se trata de una acción directa de conservación, puede inferirse la voluntad de preservar elementos relevantes, aunque no quedaran visibles. Se pueden encontrar prácticas similares en muchos otros sitios de Mesoamérica.[2]

[2] Ejemplos conocidos son la Estructura II y el conjunto de Chiik Nahb en la zona arqueológica de Calakmul; el friso de la Casa de los Cuatro Reyes en Balamkú, ambos en el estado de Campeche, México; las subestructuras completas en Copán, Honduras (Fash 2011); las múltiples superposiciones en la pirámide de Tenayuca, en el edificio A-I de Uaxactún o en la gran pirámide de Cholula, México (Robina 1988: 634), entre muchos casos más (Schávelzon 1990: 13-14).

En la época prehispánica también se atribuía valor simbólico a culturas pasadas; había interés en vincularse con ellas por su aura de grandeza y un claro deseo de legitimación. Eduardo Matos Moctezuma y Leonardo López Luján han mostrado que los mexicas condujeron excavaciones en Teotihuacán para extraer objetos de ofrendas y sustituirlos por nuevos objetos mexicas. Las piezas teotihuacanas obtenidas de ese modo eran luego colocadas en sus propias ofrendas en el Templo Mayor de Tenochtitlán (López Luján 1989: 27; Matos 2017: 22). En ese mismo edificio, en una de las ofrendas, se encontró una máscara olmeca de piedra verde y se interpretó que su presencia perseguía el mismo fin de legitimación (Matos 1979; 2017: 22).

Aunque no contemos con elementos para determinar si había reglas o mecanismos específicos para proteger los vestigios del pasado –o cuidar objetos y edificios contemporáneos–, hay indicios suficientes para establecer que ciertos bienes tenían un carácter especial y recibían un trato diferente que garantizaba su permanencia, aunque ésta no siempre fuera visible.

Época virreinal

Durante la Conquista y la época virreinal que siguió se vivió un choque cultural profundo, con una visión europea predominante a la que se sumaron numerosos elementos del Nuevo Mundo. El contacto implicó a la vez la destrucción masiva de templos y edificaciones antiguas, así como la creación de espacios arquitectónicos defensivos, habitacionales y religiosos (Sánchez 1877: 2; Toussaint 1974: 1; Kubler 1990; Díaz Berrio 1990: 21; Tovar y de Teresa 1990). Las nuevas construcciones en mampostería fueron el resultado de la adaptación de modelos arquitectónicos europeos y mudéjares, de la introducción de herramientas metálicas con mano de obra indígena y, en ocasiones, también de la aplicación de conocimientos locales en la utilización de materiales y técnicas constructivas, por ejemplo, para edificar en los terrenos fangosos del centro del Valle de México (Chanfón 1997: 169-270; Guerrero 2013: 58). El empleo de técnicas y conocimientos locales explica, de acuerdo con Reyes-Valerio (1982), la aparición del arte indocristiano o tequitqui, término acuñado por José Moreno Villa en 1942 (Vargaslugo 1982: 710). En las nuevas construcciones se reutilizaron con frecuencia basamentos y materiales de las edificaciones prehispánicas demolidas, como lo describió fray Toribio de Benavente "Motolinía" en su *Historia de los indios de la Nueva España*:

> Para hacer las iglesias comenzaron a echar mano de sus *teocalis* para sacar de ellos piedra y madera, y de esta manera quedaron desollados y derribados; y los ídolos de piedra, de los cuales había infinito, no sólo escaparon quebrados y hechos pedazos, pero vinieron a servir de cimientos para las iglesias; y como había algunos muy grandes, venían lo mejor del mundo para cimiento de tan grande y santa obra (1558, tratado primero, capítulo III).

Gracias a los cronistas del siglo XVI, en particular a la obra monumental de fray Bernardino de Sahagún y las crónicas de Diego Durán y Bernal Díaz del Castillo, llegaron a nosotros noticias de algunos de los primeros intentos por rescatar vestigios prehispánicos, con la finalidad de comprender ese mundo anterior desde una perspectiva europea y cristiana. La motivación era tanto descifrar los orígenes del poblamiento de América y el desarrollo de las culturas, como tener herramientas para evangelizar mejor. Estos relatos contienen algunas referencias a la extracción y talla de piedra, así como a la preparación y los usos de morteros a base de cal; no obstante, la mayor información está emergiendo de los análisis contemporáneos de técnicas antiguas. Las fuentes también incluyen datos sobre el aprendizaje de las características de materiales locales para mejorar las técnicas constructivas. Un ejemplo es el tezontle, ampliamente utilizado en la arquitectura religiosa de Tenochtitlán (López Luján *et al.* 2003: 142) por su abundancia, pero también por sus características de ligereza, resistencia y porosidad. Los jesuitas describieron el redescubrimiento de este material en el siglo XVI, idóneo en particular para las nuevas construcciones en los terrenos húmedos de la Cuenca de México (Rodríguez 2011: 159).

Desde la llegada de los españoles a América y durante su colonización progresiva, los conquistadores enviaron objetos de todo tipo de materiales como testimonio de lo que encontraban en el Nuevo Mundo. Con frecuencia, estos objetos eran regalados a parientes (reinantes o no) en toda Europa, que tenían gran interés por conocer más de las nuevas tierras. Como relata Alcina Franch, la "costumbre de los 'regalos' de estas piezas excepcionales, que llegaban a la corte española desde las tierras americanas, se prolongó hasta el siglo XVIII, en que se inician las colecciones tanto bibliográficas como de especímenes de plantas, animales y objetos arqueológicos o etnográficos" (1988: 83). Esto explica la presencia de muchos de los objetos prehispánicos en numerosas

colecciones europeas. Con el descubrimiento del Nuevo Mundo y la apertura de nuevas rutas hacia Asia, se intensificó el intercambio de productos, entre ellos, objetos de las culturas prehispánicas (Gruzinski 2010).

En el siglo XVII, la figura más destacada para el tema que nos ocupa fue la de Carlos de Sigüenza y Góngora, científico, historiador y literato novohispano atraído por el pasado prehispánico, quien buscó comprender la historia de los antiguos mexicas y descifrar su escritura (Chanfón 1988: 50; Alcina 1995: 50-52; Matos 2010: 93). A él se atribuye la primera excavación arqueológica, realizada en Teotihuacán en la pirámide del Sol para esclarecer su estructura y construcción (Bernal 1979; Alcina 1995: 50-53; Matos 1998: 15; 2017: 146). Sigüenza fue, además, amigo cercano de Juan de Alva Ixtlilxóchitl, quien le obsequió la rica colección de documentos de sus ancestros, entre ellos Fernando de Alva Cortés Ixtlilxóchitl y los gobernantes de Texcoco, con relatos de la historia antigua de México y de la Conquista vista desde la mirada americana (Lesbre 2016). Sigüenza se centró en "conocer el pasado prehispánico como parte de los orígenes del pueblo mestizo que conforma la Nueva España" (Matos 2017: 152); esto lo llevó a revalorar el pasado mexicano, como se aprecia en la elección de la iconografía para el arco triunfal, encargado por el nuevo virrey conde de Paredes, en el que las figuras de los monarcas mexicas reemplazaron el uso "tan trillado", a decir de Sigüenza, de personajes de la mitología clásica (Sigüenza 1680; Matos 2017: 147). Una parte de los materiales recolectados por Sigüenza sería recuperada por Lorenzo Boturini Benaduci en la primera mitad del siguiente siglo (Chanfón 1988: 50; Matos 2017: 143-146, 165). Boturini buscó situar la historia de los grupos mesoamericanos en la historia general de las naciones y amplió su colección con otros códices, objetos y mapas.

Con la llegada de los Borbones al trono de España, se efectuaron cambios profundos en muchos campos, incluyendo el interés por el pasado. El reinado de Carlos III (1759-1788) estuvo marcado por el desarrollo de ideas novedosas sobre la educación y el establecimiento de instituciones en la Nueva España. En la Ciudad de México se fundaron la Real Academia de San Carlos de las Nobles Artes de la Nueva España, en 1781 –primera academia de su género en el continente americano–, el Real Jardín Botánico, en 1788, y el Real Seminario de Minería, lo que promovió un clima de renovación cultural que alcanzó a los vestigios del

pasado. En Madrid se había creado el Gabinete Real de Historia Natural, en 1771, con instrucciones precisas para la recolección de materiales botánicos, objetos y materiales arqueológicos (Matos 2010: 93; 2017: 179-180). Se financiaron las primeras expediciones científicas a zonas arqueológicas, sin duda como efecto del vivo interés que despertó la arqueología después de los descubrimientos de las ciudades de Herculano y Pompeya, cerca de Nápoles (Camardo 2007; 2013; López Luján 2008: 78-79).

En ese sentido, Leonardo López Luján retoma un extracto del informe sobre las exploraciones en Xochicalco de Alzate y Ramírez, en 1777:

> La conservación de las antigüedades es una de las maximas de todo gobierno en q' florecen las ciencias, los caudales q' se erogaron y advitrios q' se plantearon para extraer y conservar las de Herculano en el tiempo q' nuestro Soberano reynó en Napoles compruevan esta verdad. Y aun realsara mas esto mismo, si nos hasemos cargo, q' de notoriedad publica consta, q' luego q' el sabio Monarca estuvo para servir ã Reynar en España, se despojo generosamente de un cintillo enrriquesido de una piedra preciosa hallada en aquellas ruinas con el fin de q' nada se desmembrase del precioso gabinete (2008: 79).

Varias exploraciones se encaminaron a Palenque;[3] la tercera y más completa fue dirigida por Antonio del Río. Otra expedición, conducida por José Antonio Alzate y Ramírez, fue a Xochicalco para recolectar objetos para el Gabinete Real (Alcina 1995: 80; Cook 1969; Olivé y Cottom 1995: 23). La comunidad científica e intelectual que se desarrolló en esta época, sobre todo entre criollos de la Nueva España, fue fundamental para determinar el interés creciente por las culturas del pasado. Alzate y Ramírez en particular fue un pionero al poner énfasis en la importancia de los conocimientos autóctonos antiguos (Rutsch 2004: 91).

[3] La primera expedición estuvo encabezada por José Antonio Calderón, quien hizo una visita corta y entregó un informe en 1784, considerado insuficiente. El informe de una segunda expedición, a cargo de Antonio Bernasconi, propició el interés por nuevas investigaciones (García-Bárcena 2009: 38-39).

Francisco Javier Clavijero, criollo jesuita expulsado de la Nueva España, publicó su *Historia antigua de México* desde el destierro en Italia, en 1780, con el propósito de corregir descripciones de la Nueva España publicadas en aquella época, y alentó la conservación de las antigüedades:

> Yo espero que VV. SS., que son en ese reino los custodios de las ciencias, tratarán de conservar los restos de la antigüedad de nuestra patria, formando en el mismo magnífico edificio de la Universidad un no menos vital que curioso museo en donde se recojan las estatuas antiguas que se conservan o las que se descubran en las excavaciones, las armas, las obras de mosaico y otras antiguallas de esta naturaleza, las pinturas mexicanas de toda clase que andan esparcidas por varias partes y, sobre todo, los manuscritos, así los de los misioneros y otros antiguos españoles como los de los mismos indios, que se hallan en las librerías de algunos monasterios, de donde se podrán sacar copias antes de que los consuma la polilla o se pierdan por otra desgracia (Clavijero 1976: 21-22).

Bajo el reinado de Carlos IV (1788-1808), continuaron el estudio y la protección de los monumentos; en 1808 se creó la Junta de Antigüedades, primer "órgano encargado de conservar y estudiar los monumentos del pasado" (Cottom 2008: 71-72), cobijada por la sede de la Real y Pontificia Universidad de México. Ahí se reunieron objetos de diversa naturaleza, incluyendo los bienes expropiados de la colección Boturini y los grandes monolitos: la escultura monumental de la Coatlicue y la Piedra del Sol o Calendario Azteca encontrados durante los trabajos de nivelación de la Plaza Mayor de la Ciudad de México, en 1790 (León y Gama 1792; Lorenzo 1998: 136). Si bien estas dos piezas no parecen haber recibido tratamientos de restauración, más allá de una muy probable limpieza, su destino habla del significado que se les atribuía: el Calendario se colocó a un costado de la catedral, al pie de una de las torres, mientras que la Coatlicue se llevó al patio de la universidad, como se aprecia en varias pinturas de la época. La Piedra del Sol permaneció en ese lugar casi un siglo. En el caso de la Coatlicue, al encontrar evidencias de repetidas ofrendas a sus pies, se tomó la decisión de enterrarla de nuevo en el patio de la universidad (Matos 1998: 38-39; 2017: 219-222). Saldría a la luz sólo una vez, a petición

de Alexander von Humboldt, en 1804; sería desenterrada hasta 1821 o 1824 para formar parte de la colección del Conservatorio de Antigüedades (Matos 1998: 41).

La escultura en piedra del pasado prehispánico era motivo de asombro y permitía reafirmar la importancia de las civilizaciones antiguas, al mismo tiempo que la iconografía generaba perplejidad porque no coincidía con los cánones clásicos (Matos 1998: 38). No se han encontrado datos sobre tratamientos de conservación que las piezas hubieran recibido. Resulta claro el valor que se le otorgó a los objetos del pasado en las críticas que surgieron por la destrucción de esculturas y bienes prehispánicos que aún sucedía en ese momento (Matos 2017: 240). Se abrieron debates sobre la relevancia y el destino de estas piezas en el país. Alexander von Humboldt dio a conocer México a Europa en su *Vues des Cordillères, et monumens des peuples indigènes de l'Amérique* (Matos 1999).

En los últimos años de la Colonia, Guillermo Dupaix, por encargo de Carlos IV, encabezó la Real Expedición Anticuaria, en compañía del dibujante Luciano Castañeda. Documentaron varias expediciones por diferentes regiones e hicieron algunas excavaciones (López Luján 2015). Resulta interesante la descripción de Dupaix acerca de las causas del deterioro de los monumentos:

> Bien sabidas son las causas principales de la aniquilación de los edificios, en particular los antiguos. La serie de los siglos que todo lo roye; las aguas que insensiblemente por varios conductos se introducen en el interior de las paredes mas macizas ó compactas, con el auxilio de las raíces de los árboles mayores y menores que se injertan en ellas, las que después de haber desquiciado la junta de las piedras y ocupar aquella raja, con el tiempo se pudren dejando unos conductos, los que facilitan la filtración; y así es como las raíces vivas y muertas destrozan las [obras] de cantería; coopera al mismo fin, el robo de materiales (1831: 49).

La mirada al pasado prehispánico fue mutando a lo largo del periodo colonial en México. De la curiosidad inicial para conocer a los habitantes del Nuevo Mundo desde una perspectiva europea y el interés de evangelizarlos e incorporarlos a la empresa colonial, se pasó poco a poco a una atracción más profunda para conocer las culturas antiguas, en especial por medio de códices, documentos escritos y vestigios de piedra, tanto edificados como esculpidos. Con la Ilustración y las expe-

diciones se dio a conocer con más detalle este mundo antiguo, y nuevos viajeros y exploradores estaban deseosos de colocar estas civilizaciones en el mapa mundial.

Las construcciones creadas durante los trescientos años del periodo virreinal también sufrieron modificaciones importantes: fueron destruidas o remodeladas conforme al gusto de cada época, en particular con los cambios dictados por la Contrarreforma, que transformaron fachadas, retablos decorativos interiores y altares, para adaptarse al frenesí constructor del Barroco y del estilo churrigueresco, en el que se exploraron nuevas formas gracias a las posibilidades materiales de las piedras locales.

México independiente

A partir de la Independencia contamos con más datos sobre las nociones de protección de las "antigüedades mexicanas" y los monumentos de la época virreinal, como parte de un movimiento que buscó exaltar el sentimiento nacional (Chanfón 1988: 51). Vistas en perspectiva, muchas de las acciones del siglo XIX tendieron a construir y reafirmar una identidad nacional con elementos de modernidad y del pasado prehispánico para diferenciarse del periodo colonial. Se recurrió al uso de piezas o representaciones de piezas en los nuevos símbolos nacionales, y hasta el propio nombre del país tomó una parte del nombre náhuatl de la capital prehispánica (Matos 2009). Esto tendría consecuencias importantes en la valoración y conservación de determinados vestigios del pasado. Una primera secuela fue la exhumación y exhibición de la escultura de la Coatlicue en el patio de la Universidad de México, así como el traslado de la escultura de Carlos IV, obra de Manuel Tolsá, de la Plaza Mayor también al patio de la misma universidad (Matos 2017: 278).

En 1822, Agustín de Iturbide creó el Conservatorio de Antigüedades, localizado en la Universidad de México (Castillo Ledón 1924: 9), que estuvo a cargo de Ignacio de Cubas: "Fue don Ignacio de Cubas a quien comisionó el Sr. Alamán para que 'procurase cuantas obras de estatuaria y piedras esculpidas por la gentilidad de este país pudieran colectarse para el museo'" (Castillo Ledón 1924: 11).

Es factible que se hayan hecho intervenciones en algunos objetos, pero no hay datos que permitan inferir los criterios que las guiaban. Tres años después, por decreto del presidente Guadalupe Victoria, se

fundó el Museo Nacional Mexicano, que reunió lo que quedaba del Gabinete de 1790 e incorporó las colecciones del Conservatorio de Antigüedades (Castillo Ledón 1924: 10). Este museo fue reconocido por el Congreso Nacional en 1831. Fue dirigido por Isidro Ignacio de Icaza (Castillo Ledón 1924: 12; Olivé y Cottom 1995: 24), quien publicó su reglamento en 1826 y su catálogo, *Colección de las antigüedades mexicanas que existen en el Museo Nacional*, con Isidro Rafael Gondra, en 1827. El museo se creó con carácter público, para cumplir funciones de enseñanza (Cottom 2008: 80). Tampoco tenemos datos sobre los principios que pudieron regir las intervenciones en los elementos de la colección.

En 1827, se emitió la Ley de Aranceles de Aduanas Marítimas y de Frontera de la República Mexicana, que prohibía exportar antigüedades mexicanas (Lombardo y Solís 1988: 39-41). Un dato curioso fue la llegada a México del inglés William Bullock, en 1823, con el interés específico de conocer la cultura nacional. Obtuvo permiso para hacer los primeros moldes en yeso de piezas locales (Matos 2017: 283), que serían expuestos el año siguiente en el Egyptian Hall de Picadilly, en Londres, acompañados de un catálogo (Bullock 1824).[4]

En 1833, se creó el Instituto Mexicano de Geografía y Estadística, más adelante Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, que integró en 1858 una Comisión de Monumentos que:

> Expresa la necesidad de conservar los monumentos prehispánicos y coloniales. La decisión de formar la Comisión se tomó en ocasión de haberse recibido una solicitud de intervención –durante una de las sesiones de la Sociedad– para evitar la destrucción de los Arcos de Zempoala[5] y los Monumentos de Otumba. El acuerdo dice textualmente: "Se nombrará una comisión permanente de arqueología, la que en término de quince días propondrá a la Sociedad las medidas para la conservación de todos los antiguos monumentos históricos del país" (Chanfón 1988: 51).

[4] Más adelante, Bullock vendió gran parte de su colección al Museo Británico.

[5] Hoy reconocido como el acueducto del Padre Tembleque, sitio inscrito en la Lista del Patrimonio Mundial de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) en 2015.

Los primeros años del México independiente fueron también el momento de numerosas expediciones de viajeros extranjeros –muchos de ellos interesados en estudiar los vestigios de civilizaciones prehispánicas– que dejaron documentación, de calidad muy variable, con sus observaciones de estructuras y objetos en piedra. La mayoría de las publicaciones de estos viajeros, entre ellos Jean-Frédéric Maximilien de Waldeck y Carl Nebel,[6] muestran visiones fantasiosas o idealizadas de lo que observaron. Otros, en cambio, como John Lloyd Stephens, y en particular Frederick Catherwood, reprodujeron de manera fiel el estado de los monumentos que visitaron en sus viajes gracias al uso de la cámara lúcida. Esos registros permiten rastrear hoy los cambios ocurridos en algunos sitios. Todos estos relatos fueron importantes para impulsar el estudio y, en cierta medida, el cuidado de los vestigios de las civilizaciones del México antiguo.

De acuerdo con Matos Moctezuma, el análisis de los permisos otorgados a estos viajeros muestra el interés del Gobierno mexicano por el cuidado de los monumentos arqueológicos (Matos 2017: 289-290). Los resultados de las expediciones publicados por estos viajeros y exploradores dieron a conocer las culturas prehispánicas, pero las detalladas descripciones de Stephens y sus conclusiones condujeron al reconocimiento de las culturas locales como responsables de erigir las antiguas ciudades.

Otro cambio importante en la mirada hacia el pasado tuvo lugar durante la presidencia de Benito Juárez, como consecuencia de la Ley de Nacionalización de los Bienes Eclesiásticos, de 1859. Se nombró una comisión encabezada por José Fernando Ramírez,[7] quien se encargó de hacer un inventario (Velasco 2012: 88); sin embargo, no todo el patrimonio colonial se consideraba importante, y las siguientes décadas fueron el escenario de numerosas destrucciones (Lombardo 2004). Muchos de los antiguos conventos y edificaciones que habían pertenecido a la

[6] Waldeck se preocupa por la conservación de las ruinas. Al referirse a Uxmal, en una carta a su mecenas lord Kingsborough, menciona: "si hubiera llegado un año más tarde a Uxmal no habría podido dar un dibujo completo de él; el centro había sido menoscabado a consecuencia de la extracción de algunas piedras necesarias para la solidez de esta parte del edificio. Traté de reemplazarlas para evitar un desplome, y hasta tuve la intención, en mi segundo viaje de exploración, de llevar uno o dos albañiles para reparar sólidamente la parte perjudicada y conservar a los viajeros del porvenir esta ruina" (Matos 2017: 295).

[7] Además de desempeñar otros cargos públicos, fue director del Museo Nacional en dos ocasiones, de 1852 a 1854 y de 1857 a 1864.

Figura 1. Frederick Caterwood. Vista de Tulum (Castillo Tulum), ca. *1844. Lám. 23. Litografía. CC1.0.*

Iglesia se vendieron, enteros o en lotes, lo cual con frecuencia implicó su demolición. La Secretaría de Hacienda y Crédito Público asumió la responsabilidad de estos bienes, y su Sección Técnica era la "encargada de vigilar y autorizar las obras de intervención" (Guzmán y Rodríguez 2018: 7).

En 1861, el presidente Juárez presentó la propuesta para una Ley de Monumentos que protegía el patrimonio considerado de interés nacional, en especial el arqueológico. Esta ley partió de un análisis profundo, elaborado por la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, del que resultó un dictamen (Cottom 2008: 94). Aunque la ley no se promulgó por el arribo al poder de Maximiliano de Habsburgo, mencionamos algunos aspectos que señalaba:

> Todas las autoridades políticas y judiciales vigilarán cuidadosamente, dentro de su respectivo territorio, la conservación de los monumentos […] y haciendo ejecutar las obras de reparo que se necesiten sin deformarlos. Si estas fueran costosas o necesitaren de una dirección científica,

Figura 2. Désiré Charnay. Segundo palacio de Mitla. *México, ca. 1860. Impresión en plata a partir de negativo en vidrio. 33.3 × 42.9 cm. Museo Metropolitano de Nueva York. CC1.0.*

> darán cuenta al Ministerio de Fomento para que disponga lo conveniente (Civeira, 1968: 69-70, citado en Chanfón 1988: 52-53).

Los términos empleados, "conservación y reparo" en lugar de "restauración", resultan interesantes.

En los años siguientes continuaron las exploraciones y los viajes científicos en diversas regiones de México que sacaron a la luz documentos olvidados o nuevos testimonios. Destacan el *Popol Vuh* (1861) y la *Relación de cosas de Yucatán* (1863), esta última de Diego de Landa. Desiré Charnay merece una mención especial porque documentó y fotografió varios sitios en Oaxaca, Chiapas y Yucatán. Expuso su trabajo en sus numerosas publicaciones, entre ellas *Le Mexique, souvenirs et impressions de voyage* (1863), cuyo prólogo fue escrito por Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc (Magar 2017: 5-8). Los materiales recabados por Charnay suscitaron en su momento una gran polémica en la Cámara de Diputados, tras la petición de exportación de algunos de ellos (Díaz de Ovando 1990).

En 1865, se fundó la Academia Imperial de Ciencias y Literatura para cumplir con los objetivos culturales de la Sociedad, que quedó suprimida temporalmente. En su discurso inaugural, el emperador Maximiliano dejó claro su desprecio por el régimen colonial hispano y su marcado interés por ennoblecer el pasado prehispánico: "las grandes tradiciones de la parte de nuestra población, que es una de las más antiguas e ilustres del globo. Las pirámides de Teotihuacán, las gigantescas ruinas de Uxmal, el admirable calendario que existe en nuestra hermosa capital" (Civeira 1968: 93, citado en Chanfón 1988: 52-53). Esta apreciación del pasado prehispánico, visto con fines políticos para diferenciarse del pasado virreinal, continuaría por muchos años. También en 1865, se creó el Museo Público de Historia Natural, Arqueología e Historia, en la antigua Casa de Moneda. En una nota enviada a su ministro de Instrucción Pública y Cultos, Maximiliano expresó:

> Deseo que se establezca en el Palacio Nacional un museo público de historia natural, arqueología e historia, formando parte de él una biblioteca en que se reúnan los libros ya existentes que pertenecieron a la Universidad y a los extinguidos conventos. Reunido en este establecimiento, que estará bajo mi inmediata protección, todo lo que de interesante para las ciencias existe en nuestro país, y que por desgracia no es bastante conocido, llegaremos a formar un museo que eleve a nuestra patria a la altura que le es debida (Castillo Ledón 1924: 21).

Con ello se le dio continuidad y se amplió el proyecto anterior de Museo Nacional. El cambio de sede implicó mover las piezas; la documentación sobre el traslado de las esculturas de grandes dimensiones resulta valiosa para comprender la envergadura de cada operación, así como el decreto de creación y los reglamentos asociados al museo (Cottom 2008: 98-99). En 1866 se fundó, también por decreto del emperador, el Museo de Arqueología de Mérida (Matos 2017: 341).

En 1877 asumió el poder el general Porfirio Díaz, quien mostraría una marcada tendencia hacia la protección, exploración y conservación de los bienes del pasado. El mismo año comenzó la publicación de los *Anales del Museo Nacional*, que muestran los intereses de los estudiosos en cada momento. Entre 1880 y 1881 se publicó la obra en tres tomos de Manuel Orozco y Berra, *Historia antigua y de la conquista de México*, que reunió los datos producidos sobre el mundo prehispánico mexicano hasta ese mo-

Figura 3. Patio del Museo Nacional, ca. *1884. Fotografía: William Henry Jackson. Fototeca Nacional-*SINAFO©*. Núm. inv. 455567. Secretaría de Cultura-*INAH*-Méx. Reproducción autorizada por el* INAH*.*

mento. Presidente de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, además de director del Museo Nacional en dos ocasiones, se le considera el pionero de la historiografía mexicana. A esta obra siguió *México a través de los siglos*, coordinada por Vicente Riva Palacio, con contribuciones de Alfredo Chavero, Juan de Dios Arias, Enrique de Olavarría y Ferrari, José María Vigil y Julio Zárate. El primer tomo, a cargo de Alfredo Chavero, incluyó una extensa descripción de las culturas prehispánicas basada en información derivada de códices, inscripciones, crónicas e información de expediciones arqueológicas, que culmina con la toma de México-Tenochtitlán. Resulta de particular interés ver cómo Chavero extendió las descripciones más allá de las fronteras de México, hasta las civilizaciones del sureste de Estados Unidos y los vestigios mayas en Guatemala y Honduras. Chavero destacaba la importancia de la conservación de los vestigios del pasado antiguo de México, en especial de los registros en códices o esculpidos en piedra (Chavero 1882, IX). En 1887 se creó el Gran Salón de Monolitos en el Museo Nacional, con una amplia galería en la que se exhibían las esculturas en piedra más importantes, incluyendo el Calendario Azteca o Piedra del Sol.

El creciente interés por los monumentos del pasado llevó a la creación, en 1885, de la Inspección de Monumentos Arqueológicos de la República, un modelo de protección pública utilizado en varios países europeos en el siglo XIX. El primer inspector fue Leopoldo Batres, quien ocupó el cargo hasta 1911 (Lorenzo 1998: 137; Matos 1998: 53). El mismo año Batres fue nombrado colector y ayudante interino de la Sección de Arqueología del Museo Nacional, al mismo tiempo que llevaba adelante los proyectos de excavación en Xochicalco y Teotihuacán (Matos 1998: 53). Mucho se ha discutido sobre los métodos que empleó Batres; no obstante, entre sus publicaciones y documentos se han encontrado elementos que muestran su preocupación por comprender los materiales que excavaba para conservarlos y también para conocer los "distintos sistemas de construcción, entrando aquí la parte de ingeniería en sus materiales y sistemas de construcción, entre estos, sus argamasas y ligamentos de las partes por medio de morteros y arcillas de cal y arena y los niveles y plomos que aseguran la estabilidad de los edificios" (Acervo Batres, Sitios Arqueológicos, Documento 58, s/f, citado en López y Pruneda 2015).

Las funciones de inspector incluían:

> La conservación de los monumentos y ruinas arqueológicas del país, además de que podía, en caso de que fuese necesario, nombrar vigilantes de dichas zonas; impedir excavaciones o traslado de monumentos; remitir al Museo Nacional piezas que fueran por compra o donación; dar aviso a las autoridades en caso de hallazgos e intervenir en caso de exportación de piezas (Hernández 2004: 21).

El arqueólogo británico Alfred Percival Maudslay fue otro de los exploradores interesados en las culturas prehispánicas y trabajó en regiones de Guatemala, Honduras y México. Fue el primero en publicar una descripción de Yaxchilán. Con el arqueólogo Teobert Maler, Maudslay exploró Chichén Itzá en 1889. En 1902 publicó su *Biologia Centrali-Americana*, en cinco volúmenes, con numerosos dibujos y fotografías que ayudaron a conocer mejor estos sitios. En 1892 se llevó a cabo la Exposición Histórico-Americana en Madrid, para celebrar los cuatrocientos años del descubrimiento de América, y un año más tarde, la Exposición Universal de Chicago, que incluyó una sección dedicada a la historia precolombina. México creó comisiones especiales para ambas exposiciones; en la de Madrid, la Junta Colombina,

como se denominaron sus miembros, estuvo encabezada por Joaquín García Icazbalceta, acompañado de Alfredo Chavero, José María Vigil, José María de Agreda y Sánchez, Francisco del Paso y Troncoso y Francisco Sosa (Castillo Ledón 1924: 25-26; Ramírez 2009: 277).

Como parte del proyecto para enviar piezas nuevas, el Museo Nacional puso en marcha un proyecto para la adquisición de objetos etnográficos, arqueológicos y del periodo virreinal de colecciones particulares. También se hicieron expediciones para recolectar objetos nuevos; destacan las exploraciones en Veracruz, que permitieron localizar los sitios de Cempoala y la Villa Rica, así como en Palenque y Paquimé (Ramírez 2009: 280-281). En el Museo Nacional se habilitaron "talleres de imprenta, dibujo, litografía, carpintería y vaciados", para fabricar réplicas de catorce de los monolitos prehispánicos más imponentes del museo por medio de vaciados, que serían donados al Gobierno de España una vez concluida la exhibición (279). Se recurrió a una extensa documentación fotográfica de los sitios arqueológicos, los elementos botánicos y geológicos, y otros elementos de interés que serían utilizados como parte de la museografía en el Museo Nacional. Éste se reorganizó, después de las exploraciones y publicaciones derivadas de dichas exposiciones internacionales, con una nueva museografía dedicada a la antropología y la etnografía, presentada en 1895 con motivo del XI Congreso Internacional de Americanistas, cuya sede fue la Ciudad de México (Castillo Ledón 1924: 26; Ramírez 2009: 299).

En 1897 se expidió la primera Ley Federal sobre Monumentos Arqueológicos (Cottom 2008: 105), la cual estableció de manera inequívoca que el patrimonio arqueológico es un bien de la nación. A partir de entonces, los dueños de terrenos con vestigios podían ser expropiados para fines científicos. La ley señalaba que cualquier deterioro o destrucción se consideraría delito federal. Para remarcar la importancia atribuida a los monumentos arqueológicos, se especificaba que "nadie podrá explorarlos, removerlos ni restaurarlos, sin autorización expresa del Ejecutivo de la Nación".[8] Esta ley también marcó el comienzo de la documentación de los sitios por medio de la "Carta arqueológica de la república" (art. 4).

[8] Artículo 1 de la Ley Federal sobre Monumentos Arqueológicos (1987), disponible en https://en.unesco.org/sites/default/files/natlaws/ley_sobre_monumentos_arqueologicos_1897.pdf (consultado el 12 de noviembre de 2020).

Además del creciente interés por la arqueología, arquitectos formados en la Academia de Bellas Artes replanteaban la necesidad de conservar los bienes virreinales. En 1899, el arquitecto Nicolás Mariscal creó la revista *El Arte y la Ciencia*, que editaría hasta 1911; en ella se publicaron varios artículos con opiniones sobre proyectos de restauración (Chávez 1899), además de textos sobre los materiales de construcción disponibles en México y sus propiedades, los tipos de piedras, cales y cementos, y las cargas para los morteros. En la publicación se reseñaban los resultados de los congresos internacionales de arquitectos a los que asistían comisiones de México, tema que retomaremos más adelante.

Es poco lo que se sabe de las restauraciones realizadas en objetos de piedra durante el siglo XIX pertenecientes a las colecciones, pero los estudios de algunas piezas en el actual Museo Nacional de Antropología han mostrado que hubo interés por mostrar piezas completas, con restauraciones miméticas (Filloy y Ramírez 2012: 71), una acción que continuaría en las primeras décadas del siglo XX.

Comienzos del siglo XX

En 1902, el presidente Porfirio Díaz expidió la Ley de Clasificación y Régimen de los Bienes Inmuebles Federales que, si bien permitía el uso de los bienes religiosos, establecía que no podían sufrir cambios que afectaran sus cualidades históricas o artísticas. Diferentes ideas en torno a la conservación de estos bienes se empezaban a discutir entre los arquitectos de la época. La revista *El Arte y la Ciencia* publicó reseñas de congresos internacionales de arquitectura que muestran una evolución en el pensamiento y los enfoques. La primera reseña fue la del VI Congreso Internacional de Arquitectos, que se llevó a cabo en Madrid, en 1904, en el que participó una amplia delegación de arquitectos mexicanos. Uno de los temas fue la conservación y restauración de monumentos. Las conclusiones de dicho congreso, aprobadas por unanimidad, se transcribieron en la revista *El Arte y la Ciencia*:

1ª. Hay que distinguir los monumentos muertos (los pertenecientes a civilizaciones y destinos que no han de volver) y los vivos (los que pueden seguir aplicándose al fin para que fueron levantados).
2ª. Los monumentos muertos deben conservarse solamente consolidando las partes indispensables para evitar su ruina, puesto

que la importancia del monumento está en su valor histórico y técnico, que desaparecería con el monumento.

3ª. Los monumentos vivos deben restaurarse para que sigan sirviendo, puesto que la utilidad es una base de belleza en arquitectura.

4ª. Estas restauraciones deben hacerse en el estilo primitivo del monumento, puesto que con ello se conserva la unidad, que es base de belleza arquitectónica, y las formas geométricas son perfectamente reproducibles. Deben respetarse las partes hechas en otros estilos, siempre que tengan mérito en sí y no destrocen bárbaramente el equilibrio del monumento.

5ª. Se encomendará la conservación y restauración de los monumentos a los arquitectos con título o a los especialmente autorizados, y con la intervención artístico-arqueológica y técnica del Estado.

6ª. Se crearán en cada país sociedades defensoras de los monumentos históricos y artísticos; éstas podrán agruparse para un esfuerzo común y colaborar al establecimiento del inventario general de las riquezas nacionales y locales (*El Arte y la Ciencia* 1905: 72).

Esta división entre monumentos vivos y muertos se mantuvo vigente por décadas. Es interesante que se fomentara la restauración estilística de edificios en uso, impulsada años antes por Eugène Viollet-le-Duc, que había sido ampliamente debatida, incluso cuestionada. Publicada en 1883, la "Carta del restauro" italiana, basada en las ideas de Camillo Boito, recomendaba una opción intermedia entre las restauraciones estilísticas y la postura del movimiento antirrestauración promovido por William Morris a partir de las ideas de John Ruskin. El texto de Boito, sin embargo, no se menciona en la revista (Boito 2000).

La segunda reseña relevante para nuestro tema fue sobre el VIII Congreso Internacional de Arquitectos, celebrado en Viena en 1908, en el que se retomaron varias posturas discutidas durante las sesiones:

> El arquitecto Trelat asienta desde luego el principio de que, en el caso de restaurar un monumento, no se debe hacer en el mismo estilo en que se construyó, sino en el de la época en que se hace la restauración, buscando tan sólo la armonía. Aconseja también hacer las reparaciones a tiempo antes de que los edificios pierdan sus mejores elementos,

> y teniendo siempre presente que el objeto perseguido al hacer la restauración no es otro que la belleza; que se formen comisiones que hagan inventarios y recojan todos los datos posibles y hagan moldajes, antes de hacer el proyecto de restauración.
>
> [...]
>
> Por último, el profesor arquitecto Deininger expresa sus ideas que completan y resumen las de los demás: dice que conservar es siempre mejor que restaurar no sólo por la belleza, sino por la historia y por la especial impresión que producen los objetos auténticos; que la idea de las restauraciones hechas en el mismo estilo del edificio era la idea del siglo pasado; y que, sobre todo, cuando se trate de agregar una parte a un edificio, no siempre es necesario que se haga en el mismo estilo, pues aun cuando hay diferentes opiniones en esa materia, siempre una imitación muy precisa, es una falsificación. Que es necesaria, en fin, una ley especial para la conservación de los monumentos, pues, en la mayor parte de los países, los reglamentos que hay establecidos son insuficientes (*El Arte y la Ciencia* 1908: 86).

Debemos resaltar la recomendación de no hacer restauraciones estilísticas, sino de diferenciar cualquier adición a los monumentos; sin embargo, como veremos más adelante, ésta no sería la práctica en los años siguientes. Comenzaron proyectos de exploración, consolidación y reconstrucción de monumentos arqueológicos que continuarían por muchos años. Respecto de los monumentos virreinales, las modificaciones para adaptar los edificios a nuevos usos en muchos casos presentarían intervenciones para emular formas y materiales originales, lo que llevó a la creación del estilo neocolonial.

Con motivo de las celebraciones del centenario de la Independencia, Porfirio Díaz apoyó las excavaciones de Leopoldo Batres en Teotihuacán, entre 1905 y 1910 (Lorenzo 1998: 137). Se construyó el primer museo de sitio y se ejecutaron los primeros tratamientos de conservación en las pinturas murales descubiertas a raíz de las excavaciones. En este periodo, Batres hizo excavaciones en el Templo de la Agricultura. En 1908, mencionaba: "consulté la opinión de reputados arquitectos extranjeros y nacionales, sobre si mi método era bueno y no perjudicaba en nada el carácter de autenticidad de los monumentos" (Batres 1908: 4). Batres se había formado en París, y es muy probable que conociera las discusiones en torno a la conser-

vación de monumentos en el continente europeo. Batres se enfrentaba a una nueva disciplina en México, con edificaciones cuyos sistemas de construcción no se conocían a fondo. Así, emprendió las consolidaciones con el uso de morteros de cemento y la reconstrucción de elementos arquitectónicos.

Con el incremento de colecciones de materiales arqueológicos debido a los nuevos descubrimientos, Justo Sierra, ministro de Instrucción Pública en 1906, decretó la división de las colecciones del Museo Nacional, presumiblemente para mejorar su gestión. El Museo Nacional tenía una sección de arte industrial retrospectivo que marcó el comienzo decisivo de la revaloración de la arquitectura colonial. En 1907, Genaro García formuló un nuevo reglamento para el museo, que indicaba entre sus objetivos "la recolección, conservación y exhibición de los objetos relativos a la Historia, la Arqueología, Etnología y Arte Industrial Retrospectivo de México, y el estudio y la enseñanza de estas materias" (Castillo Ledón 1924: 29). Esto condujo, en 1909, a la división del Museo Nacional en dos secciones, una separación entre el patrimonio natural y el cultural: el Museo de Historia Natural[9] y el Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnografía. Ambos museos se reorganizaron con vistas a las celebraciones del centenario de la Independencia (31).

En 1908, Genaro García envió un informe a Justo Sierra en el que sintetizaba los resultados de la sesión dedicada a la "responsabilidad de los gobiernos en la conservación de sus monumentos", publicados en los Acuerdos del Congreso Internacional de Arquitectos, celebrado en Londres, en 1906. García incluyó la traducción de la presentación del arquitecto francés A. Besnard sobre la legislación para la conservación de los monumentos en diez países europeos, que señalaba la obligación de los Estados de vigilar los bienes considerados de interés artístico o histórico, conservar los monumentos con medidas adecuadas, hacer inventarios y catalogar los monumentos (Besnard 1908; Paz 2018: 69).

En 1910, México fue sede del VII Congreso Internacional de Americanistas. Con este impulso se creó la Escuela Internacional de Arqueología y Etnografía Americanas, que abrió sus puertas a principios de 1911 en el

[9] Esta colección se trasladó al pabellón de hierro en el Chopo, para crear un museo nuevo.

Museo Nacional,[10] con el apoyo de los gobiernos de México, Prusia, Francia y Estados Unidos, por medio de las Universidades de Columbia, Harvard y Pennsylvania.

La Escuela Internacional –más tarde, Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH)– fue fundamental como espacio de formación para arqueólogos y para abrir la vía a la antropología mexicana. Manuel Gamio, que formó parte de la primera generación de la Escuela, ocuparía el cargo de inspector general de Monumentos Arqueológicos, encabezaría el proyecto de Teotihuacán y más tarde asumiría la dirección general del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH).

Con la celebración del centenario de la Independencia, el pasado prehispánico cobró auge como parte de un proyecto político que buscaba reafirmar el nacionalismo y la identidad mexicana. En la *Crónica oficial de las fiestas del centenario de la Independencia en México*, publicada en 1911, resulta significativo que se incluyera una fotografía de Porfirio Díaz al pie de la Piedra del Sol. Se impulsaba una política pública de apoyo económico para excavaciones, restauración de edificios prehispánicos y para el cuidado de los objetos encontrados (Rutsch 2004: 108). La creación de la Escuela le confirió reconocimiento internacional a los trabajos de arqueología en México.

En 1914, se promulgó la Ley sobre Conservación de Monumentos Históricos y Artísticos y Bellezas Naturales, que incluía un reglamento para la investigación y restauración (Schávelzon 1990: 78). En 1916 se redactó la Ley de Conservación de Monumentos, Edificios, Templos y Objetos Históricos o Artísticos. Ambas mantuvieron el énfasis en que los monumentos eran propiedad de la nación e imponían la obligación de cuidarlos y conservarlos, para evitar "'aun la restauración' que pueda afectar su autenticidad" (Chanfón 1988: 57). Con estas leyes, la responsabilidad de la conservación del patrimonio edificado en el territorio nacional se le atribuyó a la Secretaría de Instrucción Pública y Bellas Artes, con acento en la necesidad de hacer un inventario de ese patrimonio. En 1913 se creó la Inspección de Monumentos Históricos, y en

[10] Desde 1906 se impartieron otros cursos en el Museo Nacional –etnología, arqueología e historia, entre otras disciplinas–, lo que reforzó su función como espacio con una fuerte vocación educativa (Galindo y Villa 1913: 186). Los alumnos recibían una beca del Museo Nacional. Entre los primeros estuvieron Porfirio Aguirre y Manuel Gamio, en arqueología, e Isabel Ramírez y Nemesio García Naranjo, en historia.

1915, la de Monumentos Artísticos, con una clara intención de procurar la "revalorización de los bienes muebles e inmuebles producidos en la etapa virreinal, así como de los relacionados con hechos y personajes históricos de la etapa independentista" (Arboleyda y Rodríguez 2004: 5). Esto dio impulso al catálogo de bienes inmuebles históricos. Resulta interesante la definición de monumento de Jesús Galindo y Villa, de 1913, en un amplio sentido:

> Algunos etimologistas estrechan los límites del concepto reduciendo la arqueología al estudio de los monumentos de la antigüedad; entendiendo por monumento toda obra material levantada o hecha en memoria u honor de acciones heroicas o de personas; definición poco completa, puesto que, por extensión, se aplica el término "monumento" a las mismas obras literarias de alta valía o de universal renombre; y tan monumento es la obra inmortal de Cervantes, como los pasmosos manuscritos de los indios mexicanos (191).

En 1916, a solicitud de Jorge Enciso, inspector de Monumentos, se propuso el nombramiento de arquitectos conservadores que serían inspectores honoríficos en los estados de la república –modelo que emulaba el de Francia– (Guzmán y Rodríguez 2018: 17-18), con el fin de verificar que los edificios no perdieran "su carácter y originalidad, sino por el contrario, al verificarse alguna reparación, ésta se lleve a efecto de una manera acorde con el estilo de tal o cual edificio, respetando siempre el carácter de la época en que fue construido" (Archivo General de la Nación, Instrucción Pública y Bellas Artes, caja 119, exp. 57, f. 1, citado en Guzmán y Rodríguez 2018: 18).

La Sociedad de Arquitectos de México, fundada en 1905 por reconocidos arquitectos de la época (formada en 1905, se constituyó legalmente hasta 1919), tendría un papel importante para apoyar las decisiones de la Inspección de Monumentos. Entre 1923 y 1934, la Sociedad publicó la revista *El Arquitecto*, que contaba con una sección de "Conservación de monumentos" (Noelle 2009: 13; Guzmán y Rodríguez 2018: 28). En 1917, con el establecimiento de la nueva Constitución, se creó la Dirección de Estudios Arqueológicos y Etnográficos, que en un comienzo formaba parte de la Secretaría de Agricultura y Fomento. Al año siguiente cambió de nombre a Dirección de Antropología.

El proyecto de Manuel Gamio en el valle de Teotihuacán había comenzado en 1916 con un enfoque integral que replanteaba la idea de patrimonio e incorporaba el carácter antropológico a la investigación del pasado. En cuestiones de conservación y restauración, el proyecto condujo importantes trabajos en la Ciudadela, como la excavación y reconstrucción de una parte del Templo de Quetzalcóatl, en 1917. Resulta interesante el intercambio epistolar entre Gamio, entonces director de Antropología, y la Sociedad de Arquitectos de México, entre 1922 y 1923, en torno a las intervenciones de restauración en Teotihuacán, publicado en el *Anuario* de la Sociedad. En las cartas, los arquitectos Luis MacGregor, Benjamín Orvañanos y Antonio Muñoz (1923) manifestaron que no avalaban las reconstrucciones en la Ciudadela y sugirieron hacer sólo intervenciones de conservación con miras a la estabilización de los vestigios. A su juicio, las reconstrucciones debían planearse con maquetas, para apoyar la comprensión de las edificaciones en ruina. Estos consejos no tuvieron impacto en los trabajos de consolidación y reconstrucción en Teotihuacán ni en otros sitios arqueológicos durante muchos años.

En 1923 tuvo lugar el II Congreso Panamericano de Arquitectura, con sede en Santiago de Chile. En las conclusiones de este evento, se definió el concepto de conservación de monumentos y se especificaron las nociones de valor arquitectónico, histórico y arqueológico (Derecho Internacional Público 2014). En 1925, la tutela de la Dirección de Antropología pasó a la Secretaría de Educación Pública, lo que reforzó su carácter eminentemente instructivo, influenciado también por los proyectos educativos de Justo Sierra y José Vasconcelos. En 1930, se fusionaron el Departamento de Arqueología y la Inspección General de Monumentos para formar el Departamento de Monumentos Artísticos, Arqueológicos e Históricos, con el objetivo de cumplir con la nueva Ley de Protección y Conservación de Monumentos y Bellezas Naturales,[11] cuyo mandato abarcaba la exploración de las zonas arqueológicas; la vigilancia, conservación y restauración de monumentos arqueológicos, históricos y artísticos, así como de los objetos contenidos en éstos; las investigaciones científicas y artísticas que interesaron a la arqueología e

[11] Ambas entidades habían tenido conflictos por la falta de claridad en sus responsabilidades y el amplio presupuesto otorgado a la inspección en años anteriores, en particular durante el Porfiriato (Rutsch 2004, 107-108).

historia de México, antropológicas y etnográficas, principalmente de la población indígena del país, y la publicación de obras. Esta ley añadió el concepto de interés público del patrimonio, similar al empleado un año después en la "Carta de Atenas".

También en 1930 se creó la Comisión de Monumentos, con un mandato sobre las acciones de conservación del patrimonio mueble, inmueble y las bellezas naturales (Guzmán 2018a: 33-34). La Comisión estaba conformada por doce miembros, incluyendo representantes de las entidades federales responsables del patrimonio y de las obras, así como integrantes de la Facultad de Arquitectura y la Escuela de Pintura y Escultura de la Universidad Nacional, de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística y de la Sociedad de Arquitectos Mexicanos. En 1932, la Comisión de Monumentos emitió un "reglamento que coadyuve a la conservación de los bienes muebles (actas del 7 de julio y 4 de agosto)" (Guzmán 2018a: 41). Las funciones de la Comisión incluían las declaratorias de monumentos, la catalogación y descatalogación de inmuebles –en caso de que por modificaciones hubieran perdido su carácter–, y la revisión de proyectos de intervención, tanto en inmuebles antiguos, como obras en contextos históricos (54).

En 1934, se emitió la Ley sobre Protección y Conservación de Monumentos Arqueológicos e Históricos, Poblaciones Típicas y Lugares de Belleza Natural (35), que redefinió a la Comisión –reducida a diez miembros– y sus facultades. En 1934, el anterior Departamento de Monumentos Artísticos, Arqueológicos e Históricos se dividió de nuevo y dio origen a la Dirección de Monumentos Prehispánicos y la Dirección de Monumentos Históricos y de la República (Guzmán y Rodríguez 2018: 29).

En las décadas de 1920 y 1930, el patrimonio se siguió usando para crear y definir la identidad nacional, con énfasis en las culturas prehispánicas. El estudio de la arqueología y las edificaciones virreinales también fue inspiración para la nueva arquitectura –reconocida como profundamente mexicana–, la escultura y la pintura (Drago 2017: 122). A partir de la década de 1930 dieron inicio nuevos proyectos de exploración arqueológica, como el de Alfonso Caso en Monte Albán, que incluyeron trabajos de consolidación y restauración monumental de estructuras. De esta época datan las restauraciones de la Pirámide del Adivino de Uxmal, por Manuel Cirerol Sansores, y del Castillo de Tulum, por Miguel Ángel Fernández.

En 1939, durante la presidencia de Lázaro Cárdenas, se creó el INAH, bajo la dirección de Alfonso Caso. La institución reagrupó a los departamentos que habían existido hasta entonces. El proyecto implicó no sólo una revaloración del pasado prehispánico, sino también del pasado virreinal. Se planteó una visión amplia de la cultura en México, en la que el patrimonio cultural jugaría un importante papel político. Hay relativamente poca información publicada sobre los principios que guiaron la conservación y restauración en los primeros años del INAH, se necesita hacer más investigación en archivos. Hasta el momento, sólo podemos inferir datos con base en las intervenciones en vestigios y edificios arqueológicos e históricos, así como en los objetos expuestos en los museos.

En 1935 se creó la Escuela de Antropología en el Instituto Politécnico Nacional, bajo los auspicios de Daniel Rubín de la Borbolla, Alfonso Caso y Paul Kirchhoff. Ésta sería absorbida por el INAH en 1942, con la creación de la Escuela de Arqueología en el Museo Nacional –heredera de la Escuela Internacional–, la que más tarde se transformaría en la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH).

El mundo de la posguerra

Al concluir la Segunda Guerra Mundial, México ocupó un papel importante en la definición de políticas para la cultura y la fundación de nuevas instituciones, como la UNESCO, creada en 1945, cuyo segundo director fue Jaime Torres Bodet (Torres 1971; Díaz Berrio 1990; Magar 2019). La UNESCO buscó apoyar a los países arrasados por la guerra y muy pronto se orientó también en fomentar medidas para la conservación del patrimonio a escala global. En este marco, a instancias de la UNESCO, se creó en 1956 lo que se llamaría inicialmente Centro Internacional de Roma, conocido hoy como Centro Internacional de Estudios de Conservación y Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM), organismo intergubernamental dedicado a la conservación del patrimonio cultural en el mundo (Jokilehto 2011). El ICCROM empezó a impulsar la creación de centros nacionales para la conservación de museos, archivos y monumentos. En las décadas de 1940 y 1950 México participó activamente en los llamados de la UNESCO, tomó parte en iniciativas para exposiciones itinerantes y envió información sobre el estado de conservación de los monumentos, con ejemplos específicos de intervenciones hechas en esa época (Pane 1953; Magar, en prensa).

En el ámbito nacional, se emprendieron grandes proyectos de exploración arqueológica, en los cuales hubo restauraciones y reconstrucciones importantes de patrimonio en piedra, por ejemplo, los trabajos en Teotihuacán, Tula, Palenque, Uxmal, Xochicalco, Cholula y Monte Albán. En muchas de estas restauraciones y reconstrucciones monumentales se recurrió al uso del cemento y el concreto armado para reforzar partes de las estructuras prehispánicas. Cabe recordar que la "Carta de Atenas", en 1931, había sancionado su uso en cierto modo, aunque no se han encontrado referencias a este documento en los informes de trabajos realizados en México. Tomaría un largo tiempo cuestionar el uso de cemento para la conservación y restauración de mampostería antigua.

En 1946 se creó el Instituto Nacional de Bellas Artes (INBA), que completaba con el INAH el panorama del estudio y cuidado del patrimonio cultural en México. Era claro el interés del Estado por tener un papel activo en el conocimiento y la conservación del pasado. En las décadas siguientes, a partir de 1950, hubo un sostenido crecimiento urbano en México, no siempre regulado, que generó una fuerte presión en los centros históricos, que no eran adecuados para el número creciente de habitantes y el transporte motorizado. Este es un problema común en muchos países y ha generado numerosos debates sobre el desarrollo de las ciudades y la integración entre elementos nuevos y antiguos. Durante la administración de Adolfo López Mateos, se manifestó un marcado interés por proyectos de arqueología monumental, que propiciaron un gran número de reconstrucciones.

La institucionalización de la conservación en México

En 1961 se generaron dos proyectos paralelos de gran relevancia para la conservación en México. El primero fue la creación de una sección de conservación en el Departamento de Prehistoria del INAH, dirigido por José Luis Lorenzo, cuyo propósito era formar nuevos cuadros para desarrollar la conservación con un enfoque científico. El segundo, mucho más ambicioso y con resultados más duraderos, impulsado por Manuel del Castillo Negrete, fue la fundación del Departamento de Catálogo y Restauración del Patrimonio Artístico, cuyo nombre se modificó varias veces hasta convertirse en la actual Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural, localizada en el exconvento de Churubusco. Castillo Negrete tuvo la visión de abrir un espacio de trabajo y aprendizaje, con el apoyo inicial de la UNESCO, que llevó a la

creación de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, en donde hoy día se imparten una licenciatura y varios posgrados en la conservación de patrimonio mueble e inmueble (Arroyo 2008; Gándara 2019). Cabe mencionar que en estos programas no existe un taller específico para la enseñanza de la conservación de la piedra. Las diferentes entidades creadas en el exconvento de Churubusco serían conocidas a nivel mundial como el centro Churubusco por muchos años.

Castillo Negrete jugó un papel fundamental para atraer a reconocidos profesionales de la conservación de la época y establecer las instancias para que se aprendieran las bases teóricas y prácticas de la conservación en México (Magar 2019). Las ideas generadas a lo largo de numerosos años de práctica, en especial en el Istituto Centrale del Restauro con Cesare Brandi y el Institut Royal du Patrimoine Artistique con Paul Coremans, entre otros, se debatieron en el centro Churubusco, así como los aspectos controversiales en la conferencia de Venecia de 1964, que contó con la participación de los arquitectos mexicanos Ruth Rivera, Salvador Aceves y Carlos Flores Marini. Castillo Negrete tradujo de inmediato al español la "Carta de Venecia", documento derivado de la conferencia, que se convirtió en el referente internacional en temas de conservación (Castillo Negrete 1964; Magar 2014). Se puede ver que las ideas, sobre todo europeas, presentadas en los cursos y las conferencias en Churubusco –ninguno especializado en patrimonio en piedra– se debatieron y moldearon para crear enfoques adaptados al patrimonio mexicano o latinoamericano (Espinosa 1981; Cruz y Magar 1998; 1999; Schneider 2009; Cruz-Lara 2011). Otro aporte relevante para la conservación arquitectónica fue la propuesta de una axiología para el estudio de la arquitectura –centrada en los valores de lo útil, lo verdadero, lo estético y lo social– de José Villagrán García (1967), quien lo difundió en sus cátedras en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El desarrollo de los dos espacios de conservación y la creación de cursos de formación coincidieron con un cambio en el tratamiento de la piedra. Se empezaron a utilizar productos nuevos, en particular para la consolidación de piedra, relieves y aplanados de estuco. Se experimentó con tratamientos directos en contextos diversos –por ejemplo, el uso de silicato de etilo y resinas sintéticas, como el Paraloid B72® y el Primal AC33® así como con silicones–, basados en los aplicados a patrimonio europeo (Cedillo 1991; Castro y Tapia 1993).

En 1967, especialistas latinoamericanos se reunieron en Ecuador para tratar de responder a la solicitud de la "Carta de Venecia" de adaptar sus principios a las situaciones de cada región. El resultado fue un documento conocido como "Normas de Quito", de 1967, que contiene una reflexión acerca de las principales preocupaciones en torno al patrimonio, los cambios importantes en los entornos urbanos y el impacto del turismo creciente, en el que se pone énfasis en la importancia de integrar elementos sociales al considerar el patrimonio cultural.

El desarrollo de los modelos teóricos para la conservación del patrimonio en México debe buscarse en una serie de publicaciones editadas entre finales de la década de 1960 y comienzos de la siguiente. Allí se cuestiona la terminología (Cama 1973), se reflexiona sobre los límites de la conservación y se hacen análisis sumamente críticos a intervenciones en patrimonio, tanto arqueológico como histórico. La publicación de una conferencia del Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS, por sus siglas en inglés), de 1972, y otra del Seminario Regional de Conservación y Restauración (SERLACOR), celebrado en Churubusco en 1973, mostró la crítica enérgica a prácticas desarrolladas durante varias décadas que requerían serios cuestionamientos. Preocupaban aspectos como la reconstrucción excesiva en sitios arqueológicos, las destrucciones causadas por planes de renovación urbana y la tendencia a eliminar aplanados y revoques para exponer la piedra de construcción –la "tezontlización"– o el recubrimiento de zonas de monumentos y edificios históricos con un color blanco homogéneo, ajeno a la historia de las paletas anteriores –el "blanco colonial"– (Díaz Berrio 1973: 7; Gasparini 1973; Lee 2008).

Al mismo tiempo, hubo dos acontecimientos importantes para la protección legal del patrimonio. En 1972, se emitió en México la Ley Federal de Zonas y Monumentos Arqueológicos, Artísticos e Históricos, aún vigente, que ha determinado la manera de concebir, valorar y proteger el patrimonio cultural en México. El mismo año, la UNESCO aprobó la Convención para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural, un documento normativo internacional sustancial en la definición y evolución de conceptos fundamentales para la valoración, gestión y conservación del patrimonio. A estos documentos se sumó otro menos conocido, la "Carta de México", de 1976, que retomó la importancia del carácter social del patrimonio cultural.

Así empezaría un nuevo periodo para la conservación en México, con el robustecimiento de los programas de enseñanza en conservación

del INAH, la licenciatura en Conservación de Bienes Muebles y la maestría en Conservación de Bienes Inmuebles. Los métodos y la teoría impartidos se apoyaron en la práctica adquirida en campo, con la adaptación de materiales y métodos europeos a las condiciones y materiales locales. Las experiencias, sobre todo en la conservación de elementos decorativos en estuco y en piedra en contextos arqueológicos, mostraron poco a poco la necesidad de revisar conceptos, materiales y métodos. Resulta de particular interés la postura crítica de Augusto Molina, quien dedicó su investigación a la consolidación de estructuras arqueológicas y levantó la voz contra muchas de las reconstrucciones excesivas (Molina 1975). La reflexión sobre los tratamientos de conservación se intensificaría en los años siguientes, en especial a partir de mediados de la década de 1980. Se plantearon cuestionamientos sobre el uso de productos sintéticos y se repensaron los criterios en los tratamientos del patrimonio en piedra y de elementos decorativos en estuco (Corzo y Hodges 1986; Cedillo 1991; Gándara 2002: 129; Alonso y García 2005; Medina González *et al.* 2009).

En este periodo, el área de arqueología del INAH lanzó los doce grandes proyectos especiales orientados a profundizar conocimientos en algunos sitios emblemáticos y a explorar y dar a conocer otros sitios y tipos de patrimonio (Gándara 2003: 12). Como parte de estos proyectos se organizaron mesas de discusión para definir los métodos de excavación, conservación y presentación del patrimonio en piedra. Algunos proyectos mantuvieron objetivos vinculados a la arquitectura monumental y restauraciones a gran escala. Otros empezaron a considerar la importancia de la conservación preventiva y la gestión y conservación a largo plazo de los sitios, con una mirada nueva hacia la compatibilidad y continuidad en el comportamiento de los materiales de conservación con los originales, con interesantes investigaciones sobre el uso de materiales y conocimientos tradicionales (Jáidar 2006; Ruiz 2007; Alonso y Meehan 2009; Cruz 2009; García Solís 2009; García Vierna *et al.* 2009). En el campo de la conservación de objetos en piedra en museos, hubo proyectos de desrestauración y de volver a realizar la restauración interesantes, que motivaron una reevaluación de cómo se valora e interpreta el patrimonio en piedra (Filloy 2010; Filloy y Velandia 2011).

En el área de monumentos históricos se ha debatido mucho sobre los proyectos desarrollados entre finales del siglo XX y comienzos del XXI, con sonados casos de dudosas reconstrucciones estilísticas y los pro-

blemas de adaptación en edificios históricos, que en ocasiones se han ocupado de la mera conservación de las fachadas y han desvirtuado el interior de los edificios de mampostería.

Las discusiones teóricas que se originaron en la década de 1990 llevaron a nuevas consideraciones e investigaciones sobre el patrimonio en piedra, que se retomarán en la segunda parte de esta investigación. Para hacerle frente a la falta de formación específica en conservación de patrimonio pétreo, se empezaron a impartir seminarios temáticos. A partir de 2012, la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural del INAH y el ICCROM organizaron cursos sobre conservación de piedra, en el marco del Programa de Conservación para América Latina y el Caribe (LATAM) (Jáidar *et al.* 2017). Los cursos y seminarios cubrieron la necesidad de contar con espacios para discutir entre pares principios y criterios, y para confrontar la práctica de la conservación de piedra en México con experiencias en otros países.

Los "Lineamientos institucionales generales en materia de conservación del patrimonio cultural", emitidos por el INAH en 2014, sintetizan la importancia de conservar la autenticidad e integridad del patrimonio, de respetar principios éticos claros que permitan su uso actual y su transmisión al futuro. Estos lineamientos se aplican a todo tipo de patrimonio bajo responsabilidad del INAH, incluyendo el pétreo. Las reflexiones sobre cómo acercarse al patrimonio en piedra de periodos diversos para conservar los materiales, su autenticidad e integridad, y considerar al mismo tiempo su contexto, siguen siendo objeto de debates e investigación.

CONSIDERACIONES FINALES

Este primer capítulo de *Criterios de conservación del patrimonio en piedra* ofreció el marco histórico para comprender la conformación del enfoque hacia este tipo de patrimonio en México y, en particular, la evolución del contexto normativo. La concepción de la conservación y la restauración se ha transformado a través del tiempo y también ha sido determinada por factores diversos, como los intereses generados en las esferas social, política y económica; el conocimiento de técnicas de manufactura y constructivas, de materiales y procesos de restauración y deterioro, y la existencia o no de especialistas formados de manera

profesional para enfrentarse al reto de la conservación de los bienes culturales pétreos.

Observamos que, desde etapas relativamente tempranas, para proteger el patrimonio en México se eligió el uso del término "monumento", que abarca los bienes tanto edificados como muebles. Pudimos conocer el interés por el pasado en varios momentos y las discusiones que surgieron desde finales del siglo XIX sobre la manera de tratar las tipologías de patrimonio, así como la importancia de participar en congresos internacionales, en ocasiones celebrados en México, donde se discutía el tema de la conservación. Esto se refleja en la legislación de cada época. El término "monumento", enunciado en la Ley Federal de Monumentos y Zonas Arqueológicos, Artísticos e Históricos de 1972, sigue vigente. Esta ley sintetiza la visión sobre el pasado prehispánico en el territorio mexicano que prevalece por encima del patrimonio histórico –posterior a la llegada de los europeos– y artístico, y atribuye funciones específicas de investigación, conservación y difusión del patrimonio a instituciones estatales, en las que se han creado espacios de investigación e intervención del patrimonio, así como programas para la enseñanza especializada en conservación. Sin embargo, este instrumento no incluye elementos específicos que guíen la naturaleza de las intervenciones.

Los tratamientos para el patrimonio en piedra, tanto estructural como de objetos, se desarrollaron en gran medida sobre la marcha, con pruebas y errores a cada paso; esto implicó considerar y discutir los principios y criterios de autenticidad, integridad, compatibilidad y mínima intervención que se detallarán en la segunda parte de esta investigación. En fechas más recientes, dentro del INAH se reanimó el interés por plasmar en lineamientos los principios y criterios para la toma de decisiones de los profesionales de la conservación. Las discusiones continúan en seminarios y coloquios para seguir refinando la práctica.

Este análisis histórico conduce a la segunda parte, en la que se hablará de las consecuencias positivas y negativas de la conservación de piedra en México en los siglos XX y XXI, y de cómo se toman decisiones para respetar la autenticidad e integridad del patrimonio, en consideración a los valores y el significado que se identifiquen en información recabada de distintos sectores. La manera en la que se percibe el patrimonio y cómo se articula su significado son fundamentales para la actuación de los profesionales de la conservación, y los marcos normativos nacional e internacional dan las pautas para ejercer la conservación con ética.

Nos encontramos en un proceso de aprendizaje constante en el campo de la conservación de piedra para definir mejor los principios y criterios que guían la práctica.

BIBLIOGRAFÍA

Alcina Franch, José. 1988. *El descubrimiento científico de América*. Barcelona: Anthropos.

—. 1995. *Arqueólogos o anticuarios. Historia antigua de la arqueología en la América española*. Barcelona: Ediciones del Serbal.

Alonso Olvera, Alejandra y Valeria A. García Vierna. 2005. "Análisis sobre los lineamientos teórico prácticos para la práctica de la conservación de bienes arqueológicos. Algunas propuestas de la Subdirección de Conservación Arqueológica del INAH". En *Lineamientos y limitaciones en la conservación: pasado y futuro del patrimonio*, Diana Magaloni (ed.), 43-84. México: Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Investigaciones Estéticas.

Alonso Olvera, Alejandra y Patricia Meehan Hermanson. 2009. "Programa de conservación e investigación de la zona arqueológica maya de Ek' Balam, Yucatán. Un proyecto integral de preservación de los elementos decorativos de estuco y pintura mural". En *Conservación de bienes culturales: acciones y reflexiones*, Luis Fernando Guerrero Baca (coord.), 71-92. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Arboleyda Castro, Ruth e Ignacio Rodríguez García. 2004. "El INAH, tiempo y nación. El Instituto Nacional de Antropología e Historia a través de sus disciplinas, actores y proyectos". *Diario de Campo* (supl.), núm. 30: 2-9.

Arroyo Lemus, Elsa Minerva. 2008. *Pintura novohispana. Conservación y restauración en el INAH: 1961-2004*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Barba Pingarrón, Luis. 2013. "El uso de la cal en el mundo prehispánico mesoamericano". En *La cal. Historia, propiedades y usos*, Luis Barba Pingarrón e Isabel Villaseñor Alonso (eds.), 21-47. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Batres, Leopoldo. 1908. *Exploraciones y consolidación de los monumentos arqueológicos de Teotihuacán*. México: Imprenta de Bugneno y León.

Benavente, Toribio de, "Motolinía". 1558 [1555]. *Historia de los indios de la Nueva España*. México: Librería de J. M. Andrade.

Bernal, Ignacio. 1979. *Historia de la arqueología en México*. México: Porrúa.

Besnard, A. 1908. "De la responsabilité des gouvernements dans la conservation des monuments nationaux". En *International Congress of Architects, Seventh Session, Transactions, London 16-21 July 1906*, 458-460. Londres: The Royal Institute of British Architects.

Boito, Camillo. 2000. *Conserver ou restaurer: les dilemmes du patrimoine*. Besançon: Editions de l'Imprimeur.

Bullock, William. 1824. *Six Month's Residence and Travel in Mexico*. Londres: John Murray.

Cama Villafranca, Jaime. 1973. "La obligación de conservar". CEDOCLA. *Boletín Informativo*, núm. 2: 1-3.

Camardo, Domenico. 2007. "Archaeology and Conservation at Herculaneum: from the Maiuri Campaign to the Herculaneum Conservation Project". *Conservation and Management of Archaeological Sites*, núm. 8: 205-214.

___ . 2013. "Herculaneum from the AD 79 Eruption to the Medieval Period: Analysis of the Documentary, Iconographic and Archaeological Sources, with New Data on the Beginning of Exploration at the Ancient Town". *Papers of the British School at Rome*, núm. 81: 303-340, 414.

"Carta de Atenas". 1931. https://ocw.uniovi.es/mod/resource/view.php?id=1722 (consultado el 15 de noviembre de 2020).

"Carta de México en defensa del patrimonio cultural". 2018 [1976]. *Conversaciones con…*, núm. 6: 348-349.

"Carta de Venecia". 1964. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/venice_sp.pdf (consultado el 15 de noviembre de 2020).

"Carta del restauro". 1883. https://denkmalpflege.tuwien.ac.at/wp-content/uploads/2014/11/Boito-Carta-del-restauro-1883-ital.-u.-engl..pdf (consultado el 15 de noviembre de 2020).

Castillo Ledón, Luis. 1924. *El Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnografía. 1825-1925. Reseña histórica escrita para la celebración de su Primer Centenario*. México: Talleres Gráficos del Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnografía.

Castillo Negrete, Manuel del (trad.). 1964. *Carta de Venecia*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Castro, María del Carmen y Martha Tapia. 1993. "Palenque. Intervenciones anteriores en conservación: seguimiento y evaluación". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía.

Cedillo Álvarez, Luciano. 1991. "La conservación en zonas arqueológicas. Tres décadas de trabajo". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía.

Chanfón Olmos, Carlos. 1988. *Fundamentos teóricos de la restauración*. México: Universidad Nacional Autónoma de México-Facultad de Arquitectura.

___ (coord.). 1997. *Historia de la arquitectura y el urbanismo mexicanos*, vol. 2,t. I. México: Fondo de Cultura Económica.

Charnay, Désiré. 1863. *Le Mexique, souvenirs et impressions de voyage*. París: E. Dentu.

Chavero, Alfredo. 1882. *Historia antigua y de la conquista*. En *México a través de los siglos*, t. 1., Vicente Riva Palacio (dir.). México/Barcelona: Ballescá y Compañía/Espasa y Compañía.

Chávez, Samuel. 1899. "Restauraciones en el Hotel Iturbide". *El Arte y la Ciencia*, vol. 1, núm. 1: 4-6.

Civeira, Miguel. 1968. *Benito Juárez en la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística*. México: B. Costa-Amic Editor.

Clavijero, Francisco Javier. 1976. *Historia antigua de México*. México: Porrúa.

Cook de Leonard, Carmen. 1969. "Cien años de arqueología mexicana". *México Antiguo. Revista Internacional de Arqueología, Etnología, Folklore, Historia Antigua y Lingüística Mexicanas*, tomo XI: XX-XLVI.

Corzo, Miguel Ángel y Henry W. M. Hodges (coords.). 1986. *In Situ. Archaeological Conservation. Proceedings of Meetings, April 6-13*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia/Getty Conservation Institute.

Cottom, Bolfy. 2008. *Nación, patrimonio cultural y legislación: los debates parlamentarios y la construcción del marco jurídico federal sobre monumentos en México, siglo* XX. México: Miguel Ángel Porrúa.

Cruz Flores, Sandra. 2009. "Oxtotitlán: consideraciones teóricas sobre la conservación de un sitio arqueológico y ritual en la montaña de Guerrero". En *La conservación-restauración en el* INAH. *El debate teórico*, Renata Schneider (coord.), 117-136. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Cruz Lara Silva, Adriana. 2011. *El nacionalismo como eje interpretativo del objeto prehispánico. La restauración de tres urnas zapotecas durante los siglos* XIX *y* XX. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Cruz Lara, Adriana y Valerie Magar. 1998. "Algunos aspectos de la historia de la restauración de los objetos cerámicos en México: materiales, procesos y criterios". En *Historia del arte y restauración*, Clara Bargellini (ed.), 39-73. México: Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Investigaciones Estéticas.

___ . 1999. "Conservation in Mexico". En ICOM *Committee for Conservation*.

12th Triennial Meeting, Lyon, 29 August-3 September 1999, vol. 1, Janet Bridgeland y Jessica Brown (eds.), 177-182. Londres: James & James.

Derecho Internacional Público. 2014. "Segundo Congreso Panamericano de Arquitectos. Santiago de Chile 10-20 de Septiembre 1923". https://www.dipublico.org/100973/segundo-congreso-panamericano-de-arquitectos-santiago-de-chile-10-20-de-septiembre-1923 (consultado el 15 de noviembre de 2020).

Díaz Berrio, Salvador. 1973. "Límites de las operaciones de restauración". En *1er. Seminario Regional Latinoamericano de Conservación y Restauración. Documentos de trabajo*. México: Centro Regional Latinoamericano de Estudios para la Conservación y Restauración de Bienes Culturales.

___ . 1990. *Conservación del patrimonio cultural en México*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Díaz del Castillo, Bernal. 1950 [1568]. *Historia verdadera de la conquista de Nueva España*. México: Espasa-Calpe.

Díaz de Ovando, Clementina. 1990. *Memoria de un debate. La postura de México frente al patrimonio arqueológico nacional*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

"Documento de Nara sobre autenticidad". 1994. https://www.iccrom.org/sites/default/files/publications/2020-05/convern8_06_docudenara_esp.pdf (consultado el 15 de noviembre de 2020).

Drago Quaglia, Elisa. 2017. "Edificios antiguos, ciudades modernas, problemas nuevos: la restauración arquitectónica en México". En *R50. Restauración UNAM 50 años. Medio siglo de contribuciones de la Maestría en Restauración de Monumentos*, Mónica Cejudo (comp.), 116-131. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Dupaix, Guillermo. 1831. *Antiquités mexicaines. Relation des trois expéditions du Capitaine Dupaix ordonnées en 1805, 1806 et 1807 pour la recherche des antiquités du pays*. París: Imprimerie de Jules Didot l'Ainé.

Durán, Diego. 1867 [1581]. *Historia de las Indias de Nueva España y islas de Tierra Firme*. México: Imprenta de J. M. Andrade y F. Escalante.

El Arte y la Ciencia. 1905. Vol. 6, núm. 5.

___ . 1908. Vol. 10, núm. 4.

Espinosa Chávez, Agustín. 1981. "La restauración. Aspectos teóricos e históricos". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía.

___ . 2011. "Breve historia de la restauración en México". *Arqueología Mexicana*, núm. 108: 28-32.

Fash, Barbara. 2011. *The Copan Sculpture Museum. Ancient Maya Artistry in Stucco and Stone*. Cambridge: Peabody Museum Press.

Filloy Nadal, Laura (coord.). 2010. *Misterios de un rostro maya. La máscara funeraria de K'inich Janaab' Pakal de Palenque*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Filloy Nadal, Laura y José Roberto Ramírez Vega. 2012. "El tablero del Templo de la Cruz de Palenque. Historia de una restauración aplazada". *Arqueología Mexicana*, núm. 113: 70-77.

Filloy Nadal, Laura y Tadeo Velandia Silva. 2011. "La restauración del pectoral o 'máscara' de murciélago del Museo Nacional de Antropología". *Arqueología Mexicana*, núm. 108: 48-51.

Galindo y Villa, Jesús. 1911. "Las ruinas de Cempoala y del templo del Tajín (estado de Veracruz), exploradas por el director del Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnología en misión en Europa, don Francisco del Paso y Troncoso". *Anales del Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnología*, t. III: XCV-CLXI.

___ . 1913. "Exposición general sobre arqueología mexicana". *Anales del Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnología*, 3ª época, t. 5: 183-198.

Gándara, Manuel. 2002. "Historia de la arqueología en México. La época moderna (1968-2002). Primera parte". *Arqueología Mexicana*, núm. 58: 8-17.

___ . 2003. "Historia de la arqueología en México. La época moderna (1968-2002). Segunda parte". *Arqueología Mexicana*, núm. 59: 8-15.

___ . 2019. "Las escuelas del INAH". En *Instituto Nacional de Antropología e Historia, 80 años*, Jaime Bali y Adriana Konzevik (coords.), 77-96. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

García Bárcena, Joaquín. 2009. "Los gobiernos de México y la arqueología (1810-2010)". *Arqueología Mexicana*, núm. 100: 36-45.

García Solís, Claudia. 2009. "La práctica de la conservación arqueológica en Chichén Itzá. El reto de una actuación integral". En *La conservación-restauración en el INAH. El debate teórico*, Renata Schneider (coord.), 181-202. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

García Vierna, Valeria, Yareli Jáidar Benavides y María Cristina Ruiz Martín. 2009. "Recuperando una historia. Una década de trabajos de preservación en el Friso de la Casa de los Cuatro Reyes, Balamkú, Campeche". En *Conservación de bienes culturales: acciones y reflexiones*, Luis Fernando Guerrero Baca (coord.), 121-154. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Gasparini, Graziano. 1973. "Situación y necesidades de la conservación de los monumentos históricos en América Latina". En *1er. Seminario Regional Lati-*

noamericano de Conservación y Restauración. Documentos de trabajo, 1-10. México: Centro Regional Latinoamericano de Estudios para la Conservación y Restauración de Bienes Culturales.

Gruzinski, Serge. 2010. *Las cuatro partes del mundo. Historia de una mundialización*. México: Fondo de Cultura Económica.

Guerrero, Luis. 2013. "La cal y los sistemas constructivos". En *La cal. Historia, propiedades y usos*, Luis Barba Pingarrón e Isabel Villaseñor Alonso (eds.), 49-72. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Guzmán Monroy, Virginia. 2018a. "La comisión de monumentos". *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 44: 32-54.

___ . 2018b. "Documentos para la creación del Instituto Nacional de Antropología a Historia". *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 44: 204-216.

Guzmán Monroy, Virginia y Leopoldo Rodríguez Morales. 2018. "Inspección general de monumentos históricos y artísticos y de bellezas naturales, 1914-1930". *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 44: 6-31.

Hernández Sánchez, Alberto. 2004. "La inspección general de monumentos arqueológicos de la República Mexicana, 1885-1913". *Diario de Campo* (supl.), núm. 30: 20-24.

Humboldt, Alexander von. 1810. *Vues des cordillères et monumens des peuples indigènes de l'Amérique*. París: F. Schoell.

Icaza, Isidro Ignacio de e Isidro Rafael Gondra. 1827. *Colección de las Antigüedades Mexicanas que existen en el Museo Nacional*. México: Museo Nacional.

Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). 2014. "Lineamientos institucionales en materia de conservación del patrimonio cultural". México: Instituto Nacional de Antropología e Historia. http://www.mener.inah.gob.mx/archivos/17-1418402721.pdf (consultado el 10 de enero de 2020).

Instituto Nacional de Bellas Artes (INBA) e Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). 1972. *Considerandos y recomendaciones. Coloquio Icomos, octubre de 1972*. México: Instituto Nacional de Bellas Artes/Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Jáidar Benavides, Yareli. 2006. "Los extractos vegetales usados como aditivos en los morteros de cal con fines de conservación". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Conservación Restauración y Museografía/Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Jáidar, Yareli, Tomás Meraz, Cristina Ruiz y Valerie Magar. 2017. "Curso LATAM de Observación, Documentación y Diagnóstico". CR. *Conservación y Restauración*, núms. 13-14: 89-100. https://revistas.inah.gob.mx/index.php/cr/issue/view/890 (consultado el 15 de mayo de 2020).

Jokilehto, Jukka. 2011. *ICCROM and the Conservation of Cultural Heritage. A History of the Organization's First Fifty Years, 1959-2009*. Roma: Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales.

Kubler, George. 1990 [1982]. *Arquitectura mexicana del siglo XVI*. México: Fondo de Cultura Económica.

Landa, Diego de. 2017 [1863]. *Relación de las cosas de Yucatán*. Madrid: Alianza.

Lee Albardín, Gabriela. 2008. "Apuntes sobre la conservación y restauración del patrimonio en México". *Revista CPC*, núm. 6: 7-20.

León-Portilla, Miguel. 2002. "Historia de la arqueología en México. V. La época de la Revolución (1910-1939)". *Arqueología Mexicana*, núm. 56: 10-17.

León y Gama, Antonio de. 1792. *Descripción histórica y cronológica de las dos piedras que con ocasión del nuevo empedrado que se está formando en la plaza principal de México, se hallaron en ella en el año 1790*. México: Imprenta de Zúñiga y Ontiveros.

Lesbre, Patrick. 2016. *La construcción del pasado indígena de Tezcoco de Nezahualcóyotl a Alva Ixtlilxóchitl*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia/El Colegio de Michoacán/Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos.

"Ley de Aranceles de Aduanas Marítimas y de Frontera de la República Mexicana". 1827. https://en.unesco.org/sites/default/files/natlaws/arancel_para_las_aduanas_maritimas_y_de_frontera_de_la_republica_mexicana.pdf (consultado el 10 de enero de 2020).

"Ley de Clasificación y Régimen de los Bienes Inmuebles Federales". 1902. http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1080042593_C/1080046984_T34/1080046984_212.pdf (consultado el 10 de enero de 2020).

"Ley de Nacionalización de los Bienes Eclesiásticos". 1859. https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/12/5625/23.pdf (consultado el 10 de enero de 2020).

"Ley de Protección y Conservación de Monumentos y Bellezas Naturales". 1930. http://congresocol.gob.mx/web/Sistema/uploads/LegislacionEstatal/LeyesEstatales/Protecci%C3%B3n_Conservaci%C3%B3n.pdf (consultado el 10 de enero de 2020).

"Ley Federal sobre Monumentos Arqueológicos". 1897. https://en.unesco.org/sites/default/files/natlaws/ley_sobre_monumentos_arqueologicos_1897.pdf (consultado el 12 de noviembre de 2020).

"Ley Federal de Monumentos y Zonas Arqueológicos, Artísticos e Históricos". 1972. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/131_160218.pdf (consultado el 10 de enero de 2020).

"Ley sobre Conservación de Monumentos Históricos y Artísticos y Bellezas Naturales". 1914. https://mediateca.inah.gob.mx/repositorio/islandora/object/articulo:9719 (consultado el 10 de enero de 2020).

"Ley sobre Protección y Conservación de Monumentos Arqueológicos e Históricos, Poblaciones Típicas y Lugares de Belleza Natural". 1934. https://en.unesco.org/sites/default/files/natlaws/ley_sobre_proteccion_y_conservacion_de_monumentos_arqueologicos_e_historicos_poblaciones_tipicas_y_lugares_de_belleza_natural__1.pdf (consultado el 10 de enero de 2020).

Litvak King, Jaime. 2000. *Todas las piedras tienen 2000 años*. México: Trillas.

Lombardo, Sonia. 2004 [1997]. "El patrimonio cultural arquitectónico y urbano (de 1521 a 1900)". En *El patrimonio cultural de México*, t. II, Enrique Florescano (coord.), 198-240. México: Fondo de Cultura Económica/ Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.

Lombardo, Sonia y Ruth Solís. 1988. *Antecedentes de las leyes sobre Monumentos Históricos (1536-1910)*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

López Austin, Alfredo. 1985. *La educación de los antiguos nahuas*, t. 1. México: Ediciones El Caballito.

López Hernández, Haydée y Elvira Pruneda Gallegos. 2015. "Dimes y diretes: polémicas sobre la práctica arqueológica en México". *Trace*, núm. 67: 39-61.

López Luján, Leonardo. 1989. *La recuperación mexica del pasado teotihuacano*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

___ . 2008. "Noticias de Herculano. Las primeras publicaciones mexicanas de arqueología". *Arqueología Mexicana*, núm. 90: 74-80.

___ . 2015. *El capitán Guillermo Dupaix y su álbum arqueológico de 1794*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

López Luján, Leonardo, Jaime Torres y Aurora Montúfar. 2003. "Los materiales constructivos del Templo Mayor de Tenochtitlan". *Estudios de Cultura Náhuatl*, núm. 34: 137-166.

Lorenzo, José Luis. 1998. "Salvar el arte". En *La arqueología y México*, Lorena Mirambell S. y Jaime Litvak King (comps.), 125-132. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

MacGregor, Luis, Benjamín Orvañanos y Antonio Muñoz. 1923. "La reconstrucción de los monumentos arqueológicos en nuestro país". En *Anuario SAM 1922-1923*, 38-49. México: Sociedad de Arquitectos Mexicanos.

Magar, Valerie. 2014. "Revisión histórica de la Carta de Venecia y su impacto en su 50 aniversario". En *Los nuevos paradigmas de la conservación del patrimonio cultural. 50 años de la Carta de Venecia*, Francisco Javier López Morales y

Francisco Vidargas (eds.), 121-175. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

___ . 2017. "Editorial. Viollet-le-Duc y Mérimée". *Conversaciones con…*, núm. 3: 5-8.

___ . 2019. "Conservación de los bienes culturales en el INAH". En *Instituto Nacional de Antropología e Historia, 80 años*, Jaime Bali y Adriana Konzevik (coords.), 213-228. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

___ . En prensa. "El contexto internacional en los inicios del Centro Churubusco. 1945-1979". En *Conservación del patrimonio cultural en Churubusco. 55 años, historia y perspectivas*, Thalía Velasco Castelán (coord). México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Magar Meurs, Valerie y Renata Schneider Glantz. 2018. *Construir teoría. Memoria del segundo y tercer Simposio de Teoría de la Conservación-Restauración*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Mariscal, Federico. 1915. *La patria y la arquitectura nacional*. México: Stephan & Torres.

Martínez del Campo Lanz, Sofía. 2011. "Las máscaras mayas de mosaico de jade. Imágenes de una restauración". *Arqueología Mexicana*, núm. 108: 42-47.

Matos Moctezuma, Eduardo. 1979. "Una máscara olmeca en el Templo Mayor de Tenochtitlan". *Anales de Antropología*, vol. 16: 11-19.

___ . 1998. *Las piedras negadas. De la Coatlicue al Templo Mayor*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

___ . 1999. "Alejandro de Humboldt o Europa descubre México". En *Humboldt, ciudadano universal*, Jaime Labastida (coord.), IX-XVIII. México: Secretaría de Educación Pública/Fondo de Cultura Económica/El Colegio Nacional/Siglo XXI Editores.

___ . 2009. "El México prehispánico y los símbolos nacionales". *Arqueología Mexicana*, núm. 100: 46-53.

___ . 2010. *Arqueología del México Antiguo*. México/Milán: Instituto Nacional de Antropología e Historia/Jaca Book.

___ . 2011. "De conservaciones y restauraciones". *Arqueología Mexicana*, núm. 108: 24-27.

___ . 2017. *Historia de la arqueología del México antiguo* (2 ts.). México: El Colegio Nacional.

Maudslay, Alfred Percival. 1889-1902. *Biologia Centrali-Americana. Archaeology*, vols. I-IV. Londres: R. H. Porter. https://www.biodiversityli-

brary.org/item/105791#page/9/mode/1up (consultado el 20 de mayo de 2020).

Medina-González, Isabel, María del Carmen Castro Barrera, Valeria García Vierna, María Eugenia Marín Benito y Patricia Meehan Hermanson. 2009. "Una primera aproximación a la normativa en materia de conservación del patrimonio cultural de México". En *La conservación-restauración en el* INAH*. El debate teórico*, Renata Schneider (coord.), 137-152. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Melgar Tísoc, Emiliano Ricardo. 2013. "Los secretos artesanales de los lapidarios: instrumentos y técnicas de trabajo en Mesoamérica y China". En *La nueva nao: de Formosa a América Latina. Bicentenario del nombramiento de Simón Bolívar como libertador*, t. 1, Lucía Chen [Hsiao-Chuan Chen] y Alberto Saladino García (comps.), 93-119. Taipei: Universidad de Tamkang.

Melgar Tísoc, Emiliano Ricardo y Reyna Beatriz Solís Ciriaco. 2008. "Los estudios de la lapidaria en México". En *Memorias del XI Congreso Mexicano de Historia de la Ciencia y de la Tecnología* (CD-ROM). México: Sociedad Mexicana de la Historia de la Ciencia y la Tecnología.

Mirambell, Lorena. 1968. *Técnicas lapidarias prehispánicas*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Molina Montes, Augusto. 1975. *La restauración arquitectónica de edificios arqueológicos*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Montes Recinas, Thalia. 2004. "La continuidad de un grupo y sus ideas como antecedente del Instituto Nacional de Antropología e Historia, 1913-1939". *Diario de Campo* (supl.), núm. 30: 32-36.

___ . 2006. "Antecedentes de la Inspección General de Monumentos Históricos de la República: Antonio Cortés Vázquez 1904-1938". *Diario de Campo* (supl.), núm. 37: 151-157.

Nebel, Carl. 1836. *Voyage pittoresque et archéologique dans la partie la plus intéressante du Mexique*. París: M. Gau.

Noelle, Louise. 2009. "La arquitectura mexicana en las publicaciones periódicas del siglo xx". *Bitácora Arquitectura*, núm. 19: 12-17.

"Normas de Quito". 1967. https://www.icomos.org/en/resources/charters-and-texts/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/168-the-norms-of-quito (consultado el 25 de mayo de 2019).

Olivé Negrete, Julio César y Bolfy Cottom (coords.). 1995. *INAH, una historia, I: Antecedentes, organización, funcionamiento y servicios*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 1972. *Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural*. París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

Orozco y Berra, Manuel. 1880. *Historia antigua y de la Conquista de México*. México: Tipografía de Gonzalo A. Esteva.

Pane, Roberto. 1953. "Considérations sur la réunion d'experts tenue au siège de l'UNESCO du 17 au 21 octobre 1949. Première réunion d'experts sur les sites et monuments historiques. Paris, 17-21 octobre 1949". En *Monuments et sites d'art et d'histoire et fouilles archéologiques: problèmes actuels. Monuments and Sites of History and Art and Archaeological Excavations: Problems of Today*, 8-48; 49-100. París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

Paso y Troncoso, Francisco del. 1892. *Catálogo de la Sección de México. Exposición histórico-americana de Madrid*, t. II. Madrid: Establecimiento Tipográfico Sucesores de Rivadeneyra.

Paz Arellano, Pedro. 2011. "Origen del discurso sobre la conservación de monumentos históricos y artísticos de México". *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 21: 158-176.

___ . 2018. "Significación espacial de los monumentos históricos de interés nacional". *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 44: 55-74.

Ramírez Losada, Dení. 2009. "La Exposición histórico-americana de Madrid de 1892 y la ¿ausencia? de México". *Revista de Indias*, vol. 69, núm. 246: 273-306.

Reyes-Valerio, Constantino. 1982. "El arte indocristiano o tequitqui". En *Historia del arte mexicano, 5: Arte colonial I*, 706-725. México: Secretaría de Educación Pública/Salvat.

Riva Palacio, Vicente. 1882. *México a través de los siglos*. México/Barcelona: Ballescá y Compañía/Espasa y Compañía.

Robina, Ricardo de. 1988. "La arquitectura". En *Esplendor del México antiguo*, t. I, 607-650. México: Editorial del Valle de México.

Robles García, Nelly (ed.). 2012. *Homenaje a Ignacio Bernal*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Rodríguez Morales, Leopoldo. 2011. "La práctica constructiva en la ciudad de México. El caso del tezontle, siglos XVIII-XIX". *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 22: 157-180.

Ruiz Martín, Ma. Cristina. 2007. "El uso del pixoy como *fijativo* de capas pictóricas al seco en pintura mural prehispánica: el caso de la Estructura 1 de Ek'Balam,

Yucatán". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía/Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Ruskin, John. 1849. *The Seven Lamps of Architecture*. Londres: Smith, Elder & Co.

Rutsch, Mechthild. 2000. "Enlazando al pasado con el presente: reflexiones en torno a los inicios de la enseñanza de la antropología en México (primera de dos partes)". *Ciencia Ergo Sum*, vol. 7, núm. 3: 308-317.

___ . 2001a. "Enlazando al pasado con el presente: reflexiones en torno a los inicios de la enseñanza de la antropología en México (segunda de dos partes)". *Ciencia Ergo Sum*, vol. 8, núm. 1: 95-98.

___ . 2001b. "Ramón Mena y Manuel Gamio. Una mirada oblicua sobre la antropología mexicana de los años veinte del siglo pasado". *Relaciones. Estudios de Historia y Sociedad*, vol. XXII, núm. 88: 81-118.

___ . 2004. "Natural History, National Museum and Anthropology in Mexico. Some Reference Points in the Forging and Re-Forging of National Identity". *Perspectivas Latinoamericanas*, núm. 1: 89-122.

Sahagún, Bernardino de. 1829-30 [1569]. *Historia general de las cosas de Nueva España* (3 ts.). México: Imprenta del Ciudadano Alejandro Valdés.

Sánchez, Jesús. 1877. "Reseña histórica del Museo Nacional". *Anales del Museo Nacional de México*, núm. 1: 1-2.

Schávelzon, Daniel. 1990. *La conservación del patrimonio cultural en América Latina: restauración de edificios prehispánicos en Mesoamérica: 1750-1980*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires-Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas "Mario J. Buschiazzo".

Schneider Glantz, Renata (coord.). 2009. *La conservación-restauración en el* INAH. *El debate teórico*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Seminario Regional Latinoamericano de Conservación y Restauración (SERLACOR). 1973. "Conclusiones del Primer Seminario regional latinoamericano de conservación y restauración". En *1er. Seminario regional latinoamericano de conservación y restauración. Documentos de trabajo*. México: Centro Regional Latinoamericano de Estudios para la Conservación y Restauración de Bienes Culturales.

Sigüenza y Góngora, Carlos de. 1680. *Teatro de virtudes políticas*. México: Viuda de Bernardo Calderón. http://www.cervantesvirtual.com/obra-visor/teatro-de-virtudes-politicas-que-constituyen-a-un-principe-advertidas-en-los-monarcas-antiguos-del-0/html/b9749496-625a-41c6-a948-0f747ca27c03_5.html (consultado el 16 de marzo de 2020).

Stephens, John Lloyd y Frederick Catherwood. 1841. *Incidents of Travel in Central America, Chiapas and Yucatan*. Nueva York: Harper & Brothers.

Torres Bodet, Jaime. 1971. *Memorias. El desierto internacional*. México: Porrúa.

Toussaint, Manuel. 1974. *Arte colonial en México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Investigaciones Estéticas.

Tovar y de Teresa, Guillermo. 1990. *La Ciudad de los Palacios: crónica de un patrimonio perdido* (2 ts.). México: Fundación Cultural Televisa/Espejo de Obsidiana.

Vargaslugo, Elisa. 1982. "Sobre el concepto tequitqui". En *Historia del arte mexicano, 5: Arte colonial I*, 710-711. México: Secretaría de Educación Pública/Salvat.

Velasco Castelán, Thalía Edith. 2012. "La construcción y el valor del patrimonio documental en el marco legislativo e institucional mexicano (1914-2012)". Tesis de maestría. Heredia: Universidad Nacional.

Villagrán García, José. 1967. "Arquitectura y restauración de monumentos". En *Memoria del Colegio Nacional*, 87-126. México: El Colegio Nacional.

Waldeck, Frédéric de. 1838. *Voyage pittoresque et archéologique dans la province d'Yucatan, Amérique Centrale, pendant les années 1834 et 1836*. París: Bellizard Dufour et Co.

Criterios y principios para la conservación de piedra: confrontación de teoría y práctica en México

María Cristina Ruiz Martín[*]
Yareli Jáidar Benavides[**]
Valerie Magar Meurs[***]

Resumen
A partir de la valoración de los bienes culturales y de los principios y criterios que se han desarrollado en la disciplina de la conservación, se muestran ejemplos; en particular, las lecciones aprendidas de experiencias en campo que han derivado en enfoques específicos, en función de los factores que afectan el patrimonio en piedra en contextos arqueológicos e históricos. Los ejemplos ilustran la complejidad y la evolución en la aplicación de los principios y criterios.

Palabras clave: principios, criterios, valoración, autenticidad, integridad, toma de decisiones, niveles de intervención

Abstract
Starting from the assessment of values of cultural heritage, and from the principles and criteria that have been developed in the discipline of conservation, this text offers examples, and particularly lessons learned from field experience, which have led to specific approaches, based on

[*] Centro INAH Colima
[**] Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM
[***] ICCROM, International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property

the factors affecting stone heritage in archaeological and historic contexts. These show the complexity and evolution in the application and use of the principles and criteria.

Keywords: principles, criteria, values, authenticity, integrity, decision-making, levels of intervention

PREÁMBULO

La primera parte de esta investigación se centró en la evolución histórica de la protección del patrimonio en México, y permitió ver cómo se establecieron leyes y normas para inventariarlo, catalogarlo y protegerlo. En este proceso influyó en gran medida la percepción y valoración de los bienes culturales, en particular a partir de la etapa del México independiente. La mirada hacia el pasado, muchas veces con una fuerte carga política, forjó la forma de proteger los tipos de patrimonio y ha permeado hasta la actualidad en las leyes vigentes en México.

Esta segunda parte se centrará en comprender cómo se confrontan la teoría y la práctica de la conservación de patrimonio en piedra. Se retoma una revisión de la valoración del patrimonio y los principios y criterios que la disciplina de la conservación ha adoptado para normar y guiar su quehacer, y cómo esto ha incidido o no en las intervenciones directas en diferentes tipos de bienes en piedra.

EL PATRIMONIO CULTURAL Y SU VALORACIÓN

A lo largo de la historia, el hombre ha expresado interés por preservar los objetos y los espacios construidos que tienen valor y significado. En el caso particular de México, este proceso cultural está documentado desde la época prehispánica hasta nuestros días, y se aprecia de forma directa en objetos y edificios que han sido reparados y protegidos; en acciones como recolectar, resguardar, agrupar y catalogar objetos en espacios específicos, y en los múltiples esfuerzos por establecer reglas que determinen cómo proteger y conservar esos bienes.

Los bienes patrimoniales tienen cualidades que les confieren su carácter específico: su forma, manufactura, construcción, autor o autores,

simbolismo e iconografía, intención, uso y función –que pueden variar en el tiempo–, historicidad y transformaciones formarán parte de esos objetos o espacios y son referentes constantes. A estas características materiales e inmateriales se suman los valores que se le atribuyen al patrimonio, los cuales se modifican ante la mirada de cada cultura y contexto social y temporal. La valoración cambiante determina qué se conserva y para quién, y en consecuencia, qué se hace para conservarlo.

Como se expuso en la primera parte de esta investigación, la manera de proteger –o destruir– los vestigios del pasado ha cambiado a lo largo del tiempo. Lo que en un momento fue protegido y conservado por motivos cosmológicos y rituales, hoy se preserva por ser la evidencia de una cultura pasada y de una sociedad que se ha transformado de manera radical (Litvak 1983; Díaz 1990; Schnapp 1993; Aplin 2002; Berducou 2010; Matos 2011). La noción de patrimonio cultural actual y los motivos para preservarlo se han construido en el ideario social: creencias, rituales, curiosidad, poder, identidad, nación, destrucción, recuperación, protección, investigación y difusión son algunos de los factores que se han implicado en la definición e identificación de los atributos y perspectivas (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties 2021; Magar *et al.* 2021). El valor que se le atribuye al patrimonio y la forma en la que se prioriza dependerán de la visión de quien o quienes se lo confieren (Avrami *et al.* 2000; Zanchetti *et al.* 2009; Wijesuriya 2010; Velasco, 2012; Peñuelas 2015).

El deseo de preservar el patrimonio ha derivado en procesos de análisis, discusión y acuerdos que se reflejan en normativas internacionales y nacionales para determinar qué y para quién se debe conservar. Las normas son indispensables para evitar intervenciones que no se consideren adecuadas o éticas, para proteger las características y los valores del bien, y guiar el proceso de toma de decisiones para que las intervenciones consideren y resguarden todos los valores que se le atribuyen a ese patrimonio y las cualidades asociadas. México ha participado activamente en la creación de políticas culturales nacionales e internacionales, y ha creado instituciones para salvaguardar el patrimonio y escuelas para formar profesionales en conservación, fundamentales para enfrentar la variedad del patrimonio existente en el país (Gándara 2019; Magar 2019). En este texto, el análisis se enfocará en casos del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH).

PRINCIPIOS Y CRITERIOS DE LA RESTAURACIÓN

A lo largo del siglo xx, sobre todo en la segunda mitad, se esbozaron y revisaron los elementos teóricos de la disciplina. No retomaremos cómo se definieron los principios y criterios específicos, hoy aceptados, aunque con acepciones en ocasiones diferentes; más bien, veremos su puesta en práctica y discutiremos cuál ha sido el balance en la conservación de piedra en México. Los ejemplos se desarrollan con mayor detalle en los estudios de caso de los siguientes capítulos de este volumen.

Los principios determinan qué se debe conservar cuando se habla de patrimonio cultural, y se han considerado cuatro principales: autenticidad, integridad, estabilidad y legibilidad. El especialista debe ejecutar acciones específicas –englobadas en lineamientos definidos con claridad– en las que varía el nivel de intervención del patrimonio de acuerdo con una serie de factores, como materialidad, causas y efectos de alteración y deterioro, valores atribuidos, contexto social, contexto ambiental y contexto de gobernanza. Esto puede incluir procesos en el entorno inmediato del bien, como acciones de conservación preventiva, sin que se requiera necesariamente tocarlo; intervenciones de conservación y restauración, y en ocasiones excepcionales, una reconstrucción parcial o total. Los criterios son los que guían cómo se llevarán a cabo estas acciones y marcan los límites en función de los factores antes mencionados.

Dado que aún no existe un consenso sobre la terminología empleada en la disciplina, antes de adentrarnos en los principios y criterios de conservación y su puesta en práctica, se presenta la acepción que será utilizada en este texto para cada tipo de intervención. Se retomaron en su mayoría las definiciones de los *Lineamientos institucionales generales en materia de conservación* (INAH 2014) y se añadieron otros términos que se emplearán más adelante:

- Conservación preventiva: todas las acciones y medidas que controlan, retardan o mitigan el deterioro sin que se requiera necesariamente una intervención directa.
- Conservación directa: acciones aplicadas de manera directa sobre un monumento que tengan como objetivo estabilizar, detener o limitar el deterioro que sufre. La conservación incluye las acciones de mantenimiento,

necesarias para garantizar la sostenibilidad de las intervenciones a largo plazo.
- Restauración: acciones aplicadas de manera directa a un monumento estable, que tengan como objetivo facilitar su apreciación, comprensión y uso.
- Reconstrucción arquitectónica: acción de construir de nuevo elementos arquitectónicos de un edificio o monumento. Esta acción es la más penalizada por las cartas y normas internacionales. Se establece que sólo deberá realizarse cuando existan elementos para ello, por medio de anastilosis, y sólo cuando no implique una falsificación. Se considera una acción extrema ("Carta de Venecia" 1964).
- Rehabilitación: habilitar de nuevo o restituir a alguien o algo a su antiguo estado (RAE 2011). De acuerdo con la "Carta de Burra", en el proceso de rehabilitación, el inmueble se adapta para su nuevo uso y se busca que se respete la significación cultural del contexto patrimonial (Australia ICOMOS 2013).

La autenticidad se entiende como la capacidad de un bien de transmitir verazmente su significado o un mensaje (UNESCO 2012: 2; 2019). La forma de concebir y comprender la autenticidad ha cambiado con el tiempo y ha sido motivo de un sinfín de discusiones (LeBlanc 2005; Rojas 2005; Stovel 2008; Rigol 2012). El "Documento de Nara sobre autenticidad" (1994) establece:

> Dependiendo de la naturaleza del patrimonio y de su contexto cultural, los juicios de autenticidad pueden vincularse al valor de una gran variedad de fuentes de información. Los aspectos de las fuentes pueden incluir forma y diseño, materiales y sustancia, uso y función, tradiciones y técnicas, localización y ambiente, espíritu y sentimieto, entre otros aspectos internos y externos de las fuentes de información.

La integridad, por su parte, se entiende como el hecho de que el bien contenga todos los elementos que son fundamentales para transmitir el significado y los valores que se le atribuyen (UNESCO 2019). Se ha definido que se "debe respetar la integridad del patrimonio cultural

basándose en la comprensión y consideración tanto de su materia, factura, aspecto o imagen, valores, significados, usos, asociaciones y contexto como de los actores sociales vinculados con él" (INAH 2014).

El principio de estabilidad tiene como objetivo que las intervenciones sobre el patrimonio le devuelvan esta cualidad o la mantengan, es decir, que se alcance el estado de menor alteración fisicoquímica, formal y estructural de sus materiales constitutivos. El punto de partida es el conocimiento a detalle de la materialidad y la técnica de manufactura del bien, su historicidad, los procesos por los que ha pasado y el entendimiento del estado de conservación en el que se encuentra (Medina-González, Castro *et al*. 2009: 145). En años recientes, a este concepto se han añadido los de resiliencia y adaptación ante cambios, con niveles aceptables, en el entendido de que no todas las causas y los efectos de alteración y deterioro pueden eliminarse de manera permanente, sino que el patrimonio y su entorno se encuentran en evolución constante. Por último, la legibilidad se refiere a favorecer la comprensión del bien en cuestión (Brandi 1963). Se busca "promover el entendimiento en el sentido de la apreciación de sus características formales, atributos, rasgos perceptibles y huellas materiales adquiridos durante su historia de vida" (Medina-González *et al*. 2009: 147).

A lo largo de la historia, según las tendencias y necesidades, ha habido varias aproximaciones de conservación de patrimonio manufacturado en piedra que dieron pie a su regulación para definir con claridad sus alcances y denotar que las decisiones al intervenir pueden tener diferentes niveles de acercamiento. A veces la restauración no es la solución inmediata y sólo puede llevarse a cabo si se considera indispensable, después de aplicar medidas de conservación preventiva y mantenimiento necesarias, lo que favorece la preservación del patrimonio y extiende la vida útil de los procesos empleados. Se debe tomar en cuenta también el papel que juega ese bien patrimonial en la sociedad, y que las decisiones permitan que siga cumpliendo con ese rol social activo ("Normas de Quito" 1967; "Carta de México en defensa del patrimonio cultural" 2018). Los criterios de conservación se han definido desde hace varias décadas. Incluyen la mínima intervención, la compatibilidad, la reversibilidad y retratabilidad, así como la visibilidad de las intervenciones de conservación. Su propósito es proteger los aspectos material e intangible del patrimonio al momento de su intervención.

Las intervenciones deberán observar el criterio de mínima intervención, es decir, "dar preferencia a los métodos y técnicas que impliquen la menor intrusión o afectación posible al bien" (Medina-González *et al.* 2009: 148; INAH 2014). Las intervenciones deberán ser exactamente proporcionales a las necesidades inmediatas y modificar lo menos posible la información tangible e intangible. Si a la par de la menor intervención necesaria se implementan procesos de seguimiento, monitoreo y mantenimiento, se garantizará que el mínimo problema que surja pueda solucionarse a tiempo, sin necesidad de grandes intervenciones (Torraca 1991: 5).

Cualquier material que se emplee para intervenir debe cumplir con el criterio de compatibilidad fisicoquímica. Por compatibilidad se entiende que los materiales de conservación no tengan consecuencias negativas sobre el original (Teutonico *et al.* 1997: 294). Esto significa que sus propiedades físicas, mecánicas, químicas y biológicas deben ser iguales o similares a las del material original para no alterar su naturaleza (Torraca 1991: 225). Es fundamental utilizar materiales cuya composición, comportamiento y envejecimiento se conozcan con detalle; de igual manera, es necesario hacer una serie de pruebas antes de utilizar cualquier material nuevo sobre bienes culturales. El material y el tratamiento seleccionados deben cumplir con el criterio de reversibilidad y retratabilidad, es decir, tener la posibilidad de remover un material aplicado o de hacer otras intervenciones con el uso de nuevos productos (Torraca y Carbonara 1984). Es indispensable considerar que los materiales de restauración también sufren procesos de deterioro que pueden alterar el original en los aspectos materiales y visuales, o pueden perder su función. También es esencial que toda intervención de restauración se integre visualmente con el original y sea reconocible, sin que esto implique la interrupción de su lectura. Las intervenciones deben identificarse con facilidad para no generar falsa información sobre la historicidad del patrimonio (Brandi 1963).

Debido a la importancia de contar con datos veraces y puntales del patrimonio, en este texto se considera a la documentación[1] como otro

[1] La documentación es una fuente de información que permite comparar el estado de conservación de un bien a lo largo del tiempo, evidenciar las intervenciones que se hacen en el patrimonio y llevar a cabo procesos de monitoreo, evaluación y seguimiento, ya que permite saber qué hay, en dónde y en qué condiciones; por lo tanto, documentar es el primer paso para proteger. En la actualidad, se emplean herramientas que permiten tener un registro detallado de los bienes culturales

de los criterios fundamentales en conservación, entendiéndose que cualquier acción de conservación, directa o indirecta, que se ejecute sobre el patrimonio cultural deberá realizarse después de su documentación[2] con un registro visual –dibujos, fotografías, nube de puntos, plantas, alzados– y un registro escrito –fichas, bases de datos, catálogos–,[3] en el que se plasme la información mínima necesaria para que sus atributos formales, materiales –técnica de manufactura/construcción y estado de conservación– y de contexto puedan ser identificados. Por otro lado, como se señala en los "Lineamientos institucionales generales en materia de conservación del patrimonio cultural" del INAH (2014), "toda acción de conservación deberá documentarse, procurando que sus resultados sean socializados, publicados y difundidos". Estos principios y criterios deben regir las intervenciones de conservación y restauración de cualquier bien cultural. Su aplicación adecuada en el marco cultural y ambiental del bien es la única manera de conservar los valores por los que el patrimonio se considera único e irremplazable.

EL PATRIMONIO CULTURAL PÉTREO MEXICANO

En México, el INAH tiene el mandato de investigar, conservar y difundir el patrimonio paleontológico, arqueológico e histórico (Ley Federal de Monumentos y Zonas Arqueológicos, Artísticos e Históricos 1972; Ley Orgánica del Instituto Nacional sde Antropología e Historia 1939; Olivé y Cottom 1995; Bali y Konzevik 2019). El patrimonio cultural en piedra se ha clasificado en tres categorías: mueble, inmueble y mueble

–fotografía digital, fotogrametría, escáner 3D, dibujos digitales realizados con software especializado, mapeo con detección de luz a distancia (Light Detection and Ranging, LiDAR), etcétera–, así como fichas, bases de datos y catálogos que contienen la información básica del bien.

[2] La información que se genere en papel o en formato digital también debe conservarse y organizarse para asegurar su uso a mediano y largo plazo. En este sentido, será fundamental acudir a los especialistas en conservación de acervos documentales.

[3] El INAH cuenta con sistemas para registrar el patrimonio cultural, como el Sistema Único de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicos e Históricos (SUR) de la Dirección de Registro Público, el de la Subdirección de Inventarios de la Coordinación Nacional de Museos y Exposiciones, y el Sistema de Información de Intervenciones de Conservación de Bienes Culturales Muebles e Inmuebles por Destino (SIINCO) de la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC), en el que además se registran las intervenciones de conservación. Las herramientas ya existen, sólo es necesario fortalecer el proceso de documentación dentro de la institución.

asociado a inmueble (según el INAH, se trata de elementos decorativos asociados a los inmuebles –pinturas murales, relieves, retablos, entre otros– y conservados por restauradores de bienes muebles). En función de su temporalidad también puede ser arqueológico e histórico. Respecto del espacio en el que se encuentran, son llamados bienes *in situ* los que permanecen en su lugar original, mientras que los bienes que han sido retirados de su contexto y se exhiben o resguardan en museos y depósitos son considerados *ex situ*.

La piedra fue ampliamente utilizada para la arquitectura y la elaboración de bienes rituales o sagrados, decorativos y utilitarios en las sociedades que habitaron lo que hoy es el territorio mexicano. En función de la disponibilidad del material pétreo local o del comercio, intercambio o tributo es posible encontrar bienes manufacturados con caliza, basalto, toba, tezontle, mármol, andesita, arenisca, obsidiana, sílex y alabastro, etcétera; en muchos casos, éstos se asocian, complementan, decoran o protegen con otro tipo de materiales. En el caso de inmuebles y bienes muebles asociados a inmuebles, se trata por lo general de capas pictóricas aplicadas directamente a la piedra, aplanados, pinturas murales o relieves en estuco. Los bienes muebles pueden ir acompañados por elementos de madera, concha, hueso, pirita, resinas y pintura, entre otros. Es así que el conjunto patrimonial pétreo engloba elementos tan pequeños y delicados como un excéntrico manufacturado en finas lascas de obsidiana o herramientas domésticas, como navajas, puntas de flecha o metates, así como imponentes fachadas de piedra que decoran estructuras prehispánicas en los antiguos centros urbanos; esculturas y gárgolas labradas en piedra en las fachadas de templos, catedrales y edificios civiles en los centros históricos; y los vestigios gráfico-rupestres –pinturas y petrograbados– conservados en contextos naturales.

Ante un patrimonio que presenta tantas variables, como composición (naturaleza de la roca o piedra), forma (mueble, inmueble, mueble asociado a inmueble), temporalidad (arqueológico e histórico), espacio (*in situ*, *ex situ*), contexto social (uso y función) y contexto geoclimático (urbano o rural), sin dejar de lado los valores atribuidos que determinan qué, por qué y para quién se conserva, su conservación implica necesariamente procesos tan complejos como diversos, que se regulan sólo cuando las decisiones se sustentan en los principios y criterios aceptados para la disciplina; son éstos los que determinan qué se debe alcanzar y/o preservar –su estabilidad, legibilidad, autenticidad, integridad–, a

través de qué acciones –conservación preventiva, conservación directa, restauración, rehabilitación, reconstrucción–, y también guían el cómo –mínima intervención, reversibilidad, retratabilidad e integración/identificación de la intervención.

TOMA DE DECISIONES

El proceso de toma de decisiones, basado en el corpus teórico de la disciplina, es uno de los puntos medulares en la conservación. Como señaló Paul Philippot (1985), la conservación es un acto cultural antes que una cuestión técnica. Sin embargo, la relevancia de este proceso no siempre ha sido evidente (Clark 2001; Heritage y Copithorne 2007). Aunque en la práctica se toman decisiones *de facto*, éstas no siempre se han explicado o plasmado de manera escrita; de ahí que descifrar las acciones del pasado en conservación de piedra resulte tan complejo. No es común encontrar informes o publicaciones que detallen y justifiquen los principios y criterios que guiaron y sustentaron las acciones, y con ello, la elección de procesos y materiales de conservación y sus alcances. Con frecuencia debe interpretarse el aspecto teórico a partir de lo que se observa directamente en el patrimonio intervenido, así como en la revisión de las tendencias de restauración y conservación de la época en que fueron hechas.

La toma de decisiones es un proceso analítico que integra la experiencia del profesional o grupo de especialistas que lo desarrollan, y considera factores que faciliten comprender qué es importante y para quién, cuáles son los mecanismos tácitos y oficiales de toma de decisiones, quién tiene derechos sobre el bien, cuáles son sus funciones actuales y futuras, a qué factores activos o potenciales está expuesto y cuáles son las posibilidades para su conservación, presentación, uso e interpretación de manera sostenible y relevante para la sociedad.

Sin perder de vista que la conservación es un proceso iterativo, el análisis de factores para la toma de decisiones no puede ser lineal ni predeterminado. El diagrama 1 señala la información que debe incluirse antes de comenzar una intervención de conservación y a lo largo de ella. En este proceso se considera el bien patrimonial, pero también sus contextos, usuarios y, por supuesto, los principios y criterios de conservación.

Diagrama 1
Elementos iterativos para la toma de decisiones en conservación

Es relevante que el proceso de toma de decisiones quede plasmado en los proyectos e informes; debe publicarse y difundirse cuando sea posible para explicar cómo se desarrolló, facilitar la comprensión de la intervención realizada y sus resultados, y servir como una referencia para futuros trabajos de conservación de ese mismo bien patrimonial, además de enriquecer el desarrollo y la evolución de la disciplina.

REVISIÓN HISTÓRICA. TEORÍA *VS.* PRÁCTICA

Conocer la historia de las intervenciones de conservación y restauración del patrimonio pétreo arqueológico e histórico permite entender el desenvolvimiento de la disciplina en la toma de decisiones, la aplicación de los principios y criterios de conservación, y los resultados. Para analizar las intervenciones en piedra, debe tomarse en cuenta el momento en que se hicieron, la concepción de la conservación y restauración en esa etapa de la historia de México, las tendencias y necesidades derivadas del contexto histórico y político, el nivel de profesionalización existente, el conocimiento técnico-científico y la existencia de instrumentos para hacer diagnósticos, caracterizar materiales constitutivos y evaluar procesos y productos de conservación.

Este análisis para conocer, comprender y valorar las decisiones tomadas en cada momento, sumado a los resultados de esas intervenciones, dará pie a la construcción de una evaluación crítica y propositiva, de la que derivarán propuestas que mejoren el quehacer de la conservación del material pétreo. Es determinante preguntarse qué se ha querido conservar, por qué se decidió hacerlo y quién o quiénes fueron los interesados en ello. A continuación, se presenta una síntesis de los procesos más comunes en la intervención del patrimonio en piedra y cómo han evolucionado a partir de un proceso de toma de decisiones más analítico, interdisciplinario y consensuado, y en particular bajo la guía de los principios y criterios de conservación. Es importante señalar que se observa una diferencia en la toma de decisiones en intervenciones en patrimonio arqueológico y patrimonio histórico en sus tres categorías.

En el caso del patrimonio arqueológico, debido a la falta de fuentes escritas que hablen del contexto de creación y uso original, las intervenciones que se llevan a cabo por lo general se encuentran en el delicado límite de la interpretación. Si consideramos que esos bienes son la fuente primaria de información, esto puede derivar en la falsificación de sus valores materiales e intangibles. La toma de decisiones y la aplicación de los lineamientos y criterios en este tipo de bienes implica límites específicos y diferenciaciones claras entre el original y las acciones de conservación. Al momento de analizar sus valores, se le da un gran peso a su materialidad. En el caso de los inmuebles arqueológicos y los bienes muebles asociados a ellos, en los que prevalece el concepto de ruina, porque han perdido gran parte de los elementos funcionales, estructurales y de protección con los que fueron creados –cubiertas, sistemas de canalización de agua, recubrimientos y muros, entre otros–, su conservación es un reto enorme, porque es necesario encontrar las medidas mínimas necesarias para su estabilización y preservación sin caer en interpretaciones falsas (Alonso y García 2005; Ashurst 2007; Stanley-Price 2009, 2020).

En cambio, al contar en muchos casos con registros gráficos y escritos sobre el diseño, la técnica de manufactura, el uso original, las modificaciones o transformaciones en el tiempo del patrimonio histórico, el proceso de toma de decisiones se sustenta de manera importante en esa información. En el caso particular de los bienes inmuebles, son espacios que actualmente se encuentran en uso, e idealmente su sistema

constructivo está en funcionamiento y cuentan con trabajos de mantenimiento constante, lo que influye para decidir las acciones de conservación que se van a realizar (Feilden 2008). A continuación, se presentan ejemplos de tipos de intervención.

Consolidación arquitectónica

La consolidación arquitectónica, realizada por arqueólogos y arquitectos restauradores, es uno de los procesos de intervención más importantes en la conservación del patrimonio inmueble arqueológico e histórico, pues es lo que le confiere estabilidad estructural al edificio y, por lo tanto, a los bienes muebles y bienes muebles asociados que se preservan en él. Esta cualidad es fundamental para el estudio y disfrute de los edificios en las zonas arqueológicas, así como para el uso y rehabilitación de inmuebles históricos.

Desde el comienzo del siglo xx, el cemento gris y el concreto armado fueron los materiales más empleados en las consolidaciones de muros y cubiertas de las estructuras edificadas. Además de que esta práctica era avalada por la "Carta de Atenas" (1931) –por el fácil uso de estos materiales, menos complejos que los morteros a base de cal–, se difundió ampliamente su uso, tanto en estructuras arqueológicas como históricas. Años más tarde, a partir de la segunda mitad del siglo xx, se recurrió también al uso de resinas expansivas para rellenar y estabilizar grietas, en particular en estructuras históricas.

La incompatibilidad de estos elementos con los materiales y los sistemas constructivos originales generó trabajos fisicomecánicos diferenciales que se reflejan hasta la fecha en grietas, fisuras y fracturas que desestabilizan los edificios. Además, la naturaleza constitutiva de los nuevos productos favoreció la contaminación de la piedra y sus acabados arquitectónicos con compuestos minerales que, ante procesos de disolución y cristalización, provocaron su disgregación y resultaron en pérdidas parciales y totales.

Ante estos efectos, en la década de 1980, en particular en sitios arqueológicos, se empezó a agregar cal a los morteros de cemento gris con la intención de reducir la cantidad del cemento –morteros terciados–, pero sin eliminarlo de las mezclas. La falta de confianza en la resistencia de las argamasas de cal reflejaba gran desconocimiento de sus propiedades y usos, así como de las formas de trabajarla (Barba y Villaseñor 2013). Finalmente, se demostró que estos morteros tampoco eran adecuados ni

compatibles con los sistemas constructivos originales (Teutonico *et al*. 1993; Magar 2013a).

En la década siguiente incrementó la colaboración interdisciplinaria entre los especialistas del área de conservación de bienes muebles y los arquitectos restauradores y arqueólogos (Cedillo 1991), y se profundizó en la investigación y el conocimiento de la cal y sus propiedades para la intervención de acabados arquitectónicos (García y Lozano 2000; Jáidar y Ruiz 2004). Esto permitió una reevaluación gradual del uso del cemento y los morteros terciados, y planteó la necesidad de conocer la naturaleza de los materiales constitutivos y los sistemas constructivos originales para seleccionar de manera adecuada los productos de restauración. Si bien el proceso fue paulatino, en 2012 el Consejo de Arqueología del INAH emitió una circular que prohibía el uso de cemento en las consolidaciones arquitectónicas y fomentaba el de morteros de cal o tierra, de acuerdo con la tradición arquitectónica de las zonas y los sitios arqueológicos. Este fue un paso enorme en el seguimiento de los criterios de conservación y de compatibilidad, en particular.

En el ámbito de la intervención de inmuebles históricos, no se ha logrado eliminar el uso de argamasas de cemento, varillas metálicas y resinas expansivas en la consolidación arquitectónica. Sus efectos negativos fueron patentes en los daños causados por los sismos de 2017 en México. La falta de compatibilidad fisicomecánica entre estos materiales y la mampostería tradicional generó pérdidas parciales y totales de edificios históricos importantes en varios estados del país, lo que dañó bienes muebles y asociados a inmuebles que se conservaban en estos espacios. Aunque todavía no es una práctica recurrente retomar el uso de materiales y sistemas constructivos originales en la arquitectura novohispana y de finales del siglo XIX, se ha logrado desarrollar proyectos de conservación interdisciplinarios con el apoyo de estudios integrales que han desembocado en consolidaciones arquitectónicas bajo el criterio de compatibilidad al retomar las técnicas arquitectónicas originales, como el trabajo realizado en el Museo Exconvento de Tepoztlán, en Morelos (Sandoval 2011).

En la década de 1980 se hicieron cambios paulatinos en la selección de los materiales y procesos para la consolidación arquitectónica; no obstante, en 1964, en la "Carta de Venecia" se había resaltado la necesidad de la compatibilidad de los productos a emplearse en las intervenciones de conservación. En 1966, en el Centro Churubusco, se

empezaron a impartir clases de Teoría de la Conservación de Bienes Muebles en la recién instaurada licenciatura en Restauración de Bienes Muebles, que se extendió a Bienes Inmuebles en 1973, con la apertura de la maestría en Restauración Arquitectónica. En la década de 1970 hubo numerosas discusiones, muchas muy críticas, sobre las intervenciones realizadas en México (INBA e INAH 1972; SERLACOR 1973), que insistían en los principios y criterios de conservación; sin embargo, las intervenciones continuaron siendo excesivas y con materiales poco o nada compatibles hasta la década de 1990 y principios del siglo XXI.

Reconstrucción arquitectónica

La reconstrucción arquitectónica ha sido una constante en la conservación y restauración de monumentos arqueológicos (Molina 1975, 1982; Schávelzon 1990) e históricos. Hay criterios definidos para ambos, principalmente por el uso y la función de los inmuebles. Las primeras intervenciones que se llevaron a cabo en zonas arqueológicas se basaron en la reconstrucción de las estructuras, con la finalidad de recuperar formas y volúmenes para hacer evidente que las civilizaciones prehispánicas fueron de gran importancia y reforzar la identidad nacional a partir de la imagen de un México con un pasado glorioso.

Un ejemplo claro es el trabajo de Leopoldo Batres hacia principios del siglo XX en Teotihuacán, con intervenciones basadas en la reconstrucción masiva de las estructuras, como la pirámide del Sol, trabajada entre 1905-1910. En los años subsecuentes, Manuel Gamio e Ignacio Marquina continuaron con reconstrucciones importantes y reinterpretaron los inmuebles arqueológicos en la Ciudadela y el Templo de Quetzalcóatl. En varios casos, siguieron el proceso de anastilosis, pero también rehicieron elementos faltantes con materiales recuperados de los escombros, lo cual generó críticas en su momento (MacGregor *et al.* 1923; Schávelzon 1990).

Estas acciones se replicaron en otras zonas arqueológicas del país entre las décadas de 1950 y 1960, como Cholula, Puebla; Tula, Hidalgo; y Uxmal y Chichén Itzá, Yucatán, entre otras, en las que se llevó a cabo un intenso trabajo arqueológico sin un sustento teórico adecuado y con la finalidad primordial de reconstruir los monumentos arqueológicos para presentarlos al público (Molina 1975; Schávelzon 1990; Lee 2008: 13-14), a pesar de que la "Carta de Venecia" (1964) destacaba la importancia de la autenticidad y marcaba un límite rotundo en la reconstruc-

ción y el uso de materiales modernos en el proceso. Estas intervenciones no sólo han sido cuestionadas por la falta de información sobre el estado original de los edificios al momento de la reconstrucción –lo que genera falsos arqueológicos–; también se han criticado por la aplicación de procesos y materiales incompatibles. Por otro lado, la falta de técnicas o sistemas que permitieran distinguir las áreas en pie de las reconstruidas ha hecho sumamente complejo saber dónde termina el original y dónde comienza la intervención.

El trabajo de reconstrucción en la arqueología mexicana comenzó a regularse y controlarse con la conformación del Consejo de Arqueología en la década de 1970, aunque en sus primeros años se siguieron haciendo reconstrucciones en algunos sitios.[4] Este órgano consultivo del INAH, de manera paulatina desde la década de 1990, estableció los momentos y las condiciones en que puede llevarse a cabo la reconstrucción, con el fin de favorecer la mínima intervención sólo cuando es necesario para la estabilidad del inmueble o de los bienes muebles asociados, y sólo cuando existan huellas claras y definidas que permitan dar continuidad a los elementos arquitectónicos. Se pusieron en práctica técnicas como el rajueleado,[5] con el cual se diferencia el área que fue consolidada de la que fue reconstruida.

Una intervención exitosa fue la reconstrucción de la Estructura X de la zona arqueológica de Becán, complejo arquitectónico habitacional y ceremonial en el que la reconstrucción y consolidación de las crujías de la fachada poniente resultaron indispensables para asegurar la estabilidad del inmueble, en particular del templo superior, decorado con una imponente fachada teratomorfa (Campaña 2000, 2001).

Los límites de la reconstrucción de estructuras arqueológicas siguen siendo tema de debate, pues es difícil tener una visión por completo objetiva tanto de la necesidad de la intervención como de la suficiencia de evidencia arquitectónica para hacer una reconstrucción sin generar un falso arqueológico. En el caso de los monumentos históricos, el exconvento de San Bernardo, en el centro histórico de la Ciudad de México,

[4] Manuel Gándara (2002, 2003) menciona que esta evolución paradójicamente causó la pérdida de conocimientos para la intervención de estructuras arqueológicas, que se tuvieron que recuperar años más tarde.

[5] Consiste en colocar un marcador visual, por lo general pequeñas lascas de piedra, que distingue la parte original de los muros de la que se reconstruye.

Figura 1. Uso de la técnica de rajueleado para identificar procesos de reconstrucción y consolidación arquitectónica en monumentos arqueológicos. Edificio 3-2, zona arqueológica de Cholula, Puebla; y Estructura X, zona arqueológica de Becán, Campeche. Fotografías: Cristina Ruiz, 2019; Yareli Jáidar 2016. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

Figura 2. Reconstrucción arquitectónica de la fachada poniente de la Estructura X de la zona arqueológica de Becán, Campeche. Fotografía: Yareli Jáidar, 2016. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

es un caso interesante de reconstrucción que respondió a la transformación urbana. La portada oriente de la fachada norte del exconvento –que ya había sufrido una demolición para la apertura de la calle La Perla, luego Ocampo, en 1861– quedaba en la traza de la avenida 20 de Noviembre. En 1934, con motivo de la apertura de esta vía, el arquitecto Vicente Urquiaga planteó un proyecto para desmantelar parcialmente la fachada, demoler parte del extremo oriente del inmueble, y reconstruir y volver a colocar la portada en ese espacio. El trabajo se ejecutó en 1935 (Toussaint 1938).

Sustitución de elementos arquitectónicos

Durante la consolidación arquitectónica y las reconstrucciones, se ha recurrido a la sustitución de elementos en la búsqueda de la estabilidad de los inmuebles patrimoniales que, por su mal estado de conservación, ya no cumplen con su función estructural y ponen en riesgo la permanencia del edificio. Por ejemplo, se hizo este tipo de intervención de estructuras en la zona arqueológica de Becán, en la región maya de Río Bec, en el estado de Campeche, porque la piedra sufre procesos severos de disgregación y pérdida por su naturaleza. En el caso particular de algunos muros de las Estructuras IV y VIII, el deterioro era tan intenso que afectaba de manera importante la estabilidad de sus desplantes. Se decidió retirar los restos de los sillares originales y reemplazarlos con nuevas piedras calizas careadas para garantizar su permanencia a mediano y largo plazo, y con ello, la estabilidad de los inmuebles. Estos trabajos se llevaron a cabo en 2003 y 2004 (Campaña 2004).

Este trabajo es común en los inmuebles históricos, tal vez más frecuente que en el patrimonio arqueológico, si se considera que los procesos de reconstrucción son mucho más masivos. Hasta la fecha, uno de los criterios que han predominado es el de reemplazar o sustituir sillares y elementos tallados originales que presentan deterioro por piezas nuevas. Por lo regular se trabaja con piedra extraída de las mismas canteras históricas o bien con material que se asemeja al original. Podemos apreciar este tipo de intervenciones en la fachada del Museo Nacional de las Culturas, en el centro histórico de la Ciudad de México, en el que casi todos los elementos decorativos en piedra de la fachada se sustituyeron sin criterios establecidos ni homogeneidad, al parecer porque la intervención fue progresiva, pues comenzó en la década de 1980 y duró cerca de treinta años (Juan Manuel Rocha Reyes, CNCPC-INAH, comunicación personal, marzo 2021).

Estas decisiones se han sustentado en la recuperación del funcionamiento del conjunto arquitectónico, desde los elementos de soporte, como los muros, hasta los sistemas de protección y canalización de agua, como cornisas, molduras y gárgolas, y se han justificado por la necesidad e interés de rescatar las cualidades estilísticas y los discursos iconográficos de fachadas y otros elementos ornamentales en el interior de los edificios civiles y religiosos. En fechas recientes se hizo una intervención de este tipo en el soporte de piedra en el que se desplanta la escultura ecuestre de Carlos IV, conocida como *El Caballito*. Se decidió retirar las piedras que ya no cumplían su función estructural por su alto nivel de deterioro y sustituirlas con sillares nuevos (Giorguli y Balandrano 2017).

En las últimas décadas ha sido más frecuente que el proceso de restitución de elementos arquitectónicos quede plasmado y documentado en los informes correspondientes; sin embargo, esta no era una práctica común, lo que complica identificar las intervenciones, en especial cuando se usó material de la misma cantera que en la construcción o manufactura del original. Si bien este tipo de medidas son indispensables para estabilizar el inmueble, en particular cuando el riesgo de desplomes y derrumbes es evidente, la intervención deberá mantenerse reconocible y los materiales y sistemas constructivos deberán ser compatibles. A pesar de ser intervenciones amplias e intensivas, tendrán que mantenerse bajo el criterio de mínima intervención necesaria.

Desprendimientos, desmontaje y reubicación

En algunos casos ha sido inevitable tomar decisiones sobre el desprendimiento o desmontaje de elementos estructurales o decorativos elaborados en piedra por cuestiones de conservación o seguridad, por la imposibilidad de colocarlos en su lugar original o porque el inmueble al que pertenecían ya no se encuentra en pie. Si bien esta ha sido una constante tanto en los monumentos arqueológicos como en los históricos, sus contextos inmediatos, su uso y función han llevado a proceder de varias maneras.

En los trabajos arqueológicos, muchas veces desde la excavación se considera pertinente desmontar y desprender elementos decorativos. Principalmente en las décadas de 1960 y 1970, este trabajo era ejecutado por el área de conservación de bienes muebles del INAH. Una cantidad importante de acabados arquitectónicos y tallas decoradas, tanto exentos como

adosados a la arquitectura, se retiraron de su contexto original y se conservaron en el sitio o se trasladaron a depósitos o museos. Esto incluyó un gran número de desprendimientos de pintura mural –los casos más ilustrativos provienen de los sitios de Teotihuacán y Las Higueras (Santaella 2005; Ontiveros 2017)–, pero también se retiraron estelas, columnas, altares y hasta fachadas de edificios.

Dado que la reconstrucción fue uno de los procesos de intervención más restringidos en sitios y zonas arqueológicas a partir de la década de 1990, los grandes volúmenes de material, como sillares careados de los muros, piedras labradas de los mosaicos que decoraban las fachadas o relieves exentos de remates y cresterías de edificios que no fue posible reintegrar a su lugar original, se convirtieron en un problema de conservación en estos espacios. En algunos casos se han acumulado cerca de los edificios intervenidos o dentro de los cuartos o recintos de las mismas estructuras, si los hay. En el mejor de los casos, en particular cuando se trata de relieves o esculturas, se resguardan en bodegas. En las situaciones más desafortunadas, los sillares se utilizan para construir grandes maceteros o delimitaciones espaciales para el turismo en las zonas y sitios arqueológicos.

Otra constante es la decisión de remover los elementos de piedra original para protegerlos e integrarlos a los espacios de exhibición de los museos. Uno de los ejemplos más claros es el de los Atlantes de Tula. Algunos de los que se observan en el sitio arqueológico son originales, pero otros se reemplazaron por réplicas para exhibir las columnas toltecas en el Museo Nacional de Antropología. En el Templo Mayor de Tenochtitlán, un gran número de los bienes labrados en piedra que se observan *in situ*, como los guerreros estelares –esculturas antropomorfas portaestandartes– son réplicas elaboradas en fibra de vidrio, pues las piezas procedentes del contexto arqueológico se exhiben en el museo de sitio. En este caso, la decisión responde a necesidades de conservación para preservar la capa pictórica que decora estos relieves (Leonardo López Luján, Proyecto Templo Mayor INAH, comunicación personal, abril 2019).

En los inmuebles históricos, el desmontaje y desprendimiento de elementos arquitectónicos estructurales y decorativos también ha sido una constante. En algunos casos, es consecuencia de la demolición total de los edificios, como ocurrió entre las décadas de 1970 y 1980 en el cuadrante que hoy ocupan la zona arqueológica y el museo de sitio del Templo Mayor. En ese momento se decidió privilegiar la evidencia arqueológica

sobre la histórica y se demolieron los inmuebles que se desplantaban sobre la arquitectura mexica.

También en el centro histórico de la Ciudad de México, se desprendió la hornacina labrada en piedra que decoraba la fachada del Edificio de las Ajaracas o Casa del Mayorazgo Nava Chávez, que fue demolido en 1993 debido a la inestabilidad de la estructura. La pieza se restauró en 2015 y se resguardó en las bodegas del Proyecto de Arqueología Urbana (PAU) (Sánchez 2011; Herrera *et al.* 2015). En los depósitos de una gran cantidad de museos en el país se resguardan los bienes arqueológicos e históricos pétreos desprendidos o desmontados, que se han convertido en parte importante de estos acervos y requieren medidas de protección y conservación más acordes a los bienes muebles.

Estos procesos se llevan a cabo cada vez en menor medida, en particular en contextos arqueológicos. Sin embargo, aún se presentan situaciones en las que son necesarios, en especial si el inmueble está en riesgo o tiene un deterioro o una pérdida importantes. Algunos casos desafortunados son ciertos edificios severamente afectados por los sismos de 2017, a los que no se podrán reintegrar los elementos arquitectónicos que se desprendieron. En estas intervenciones es fundamental considerar la mínima intervención necesaria en la toma de decisiones, pues su ejecución descontrolada ha afectado con gravedad la autenticidad, legibilidad e integridad de inmuebles arqueológicos e históricos. Por otro lado, cuando los bienes desprendidos son reubicados en otros espacios, se descontextualizan y se favorece la pérdida de información, además de dejar vacíos materiales e inmateriales en los inmuebles a los que pertenecían, en particular cuando no se sustituyen con una réplica o no se detalla el proceso en un informe o documento.

Cubiertas

Ha sido común recurrir al uso de cubiertas para favorecer la conservación o protección de elementos y edificaciones en piedra. Existe una amplia diversidad en los diseños y recursos utilizados (Agnew 2002; Aslan *et al.* 2018). En los inmuebles históricos se intervienen las cubiertas originales. En el caso del patrimonio arqueológico, las cubiertas no sólo se colocan en los edificios o sobre los bienes muebles asociados, también se utilizan para proteger elementos exentos como estelas y altares que se ubican en las plazas.

En las zonas y los sitios arqueológicos, a partir de la década de 1980 y durante la de 1990, se experimentó con cubiertas para proteger los elementos decorativos que quedaron *in situ*. En sitios como Teotihuacán, Templo Mayor, Kohunlich, Palenque, Yaxchilán, Bonampak y Cacaxtla se observa una diversidad de criterios en los formatos o diseños, las dimensiones y los materiales empleados en las cubiertas, logrando resultados muy variables en términos de su conservación e impacto. El objetivo primordial es proteger los bienes arqueológicos *in situ* de los factores ambientales; sin embargo, en muchas ocasiones se colocaron sin seguir criterios claros, sin entender el problema y sin considerar plenamente los cambios que se generarían tras su colocación. Existen algunas excepciones, con proyectos a más largo plazo, como Yaxchilán, donde se utilizaron y evaluaron varios tipos de cubiertas (Herbert 1995; Magar y Orea 2005).

Las cubiertas van desde techos de madera y guano (hojas de palma) o pasto, hasta reconstrucciones de etapas constructivas arqueológicas superiores en las que se utilizan materiales modernos, como estructuras de acero, cemento o impermeabilizantes sintéticos, como en la Subestructura 1-A de la zona arqueológica de Balamkú, en el estado de Campeche.

Es importante señalar que, al hacer estas techumbres o cubiertas, no siempre se consideraron su propio deterioro, la necesidad de darles mantenimiento ni su impacto o posibilidad de integración a la visibilidad y lectura del sitio. La ausencia de propuestas interdisciplinarias en la toma de decisiones se refleja en la ineficiencia de estas protecciones en un gran número de casos.

Figura 3. Cubiertas de protección de los relieves en piedra de la escalinata de la Estructura 33 de la zona arqueológica de Yaxchilán, Chiapas. Fotografía: Cristina Ruiz. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

Figura 4. Reconstrucción de la última etapa constructiva para la protección de la Subestructura 1-A de la zona arqueológica de Balamkú, Campeche. Fotografías: Yareli Jáidar y Cristina Ruiz. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

La mayoría de los inmuebles históricos tiene la ventaja de que se conservan sus cubiertas originales; por lo tanto, su intervención se orienta a la recuperación de su funcionamiento para garantizar su protección y permanencia, así como la de los bienes muebles asociados. Una de las tendencias ha sido recuperar las técnicas tradicionales de impermeabilización, como el uso de jabón y alumbre (Orea 2013), además de rehabilitar los sistemas de canalización de agua.

Debido al cambio de uso de los inmuebles, en ocasiones se ha decidido colocar cubiertas en espacios que se crearon para estar abiertos, como los patios centrales de los claustros de conventos o palacios virreinales. Algunos ejemplos son el actual Museo de la Ciudad de México, el antiguo Palacio de los Condes de Santiago de Calimaya y el Museo José Luis Cuevas, antes convento de Santa Inés, en los que se han colocado estructuras metálicas con hojas de diversos materiales que impiden el paso de la lluvia y de aves, pero permiten la entrada de la luz. En algunos casos, como el exconvento de La Merced, este tipo de intervenciones ha desatado importantes críticas por las alteraciones hechas al espacio, la infraestructura y la historicidad del edificio.

Este es un tema complejo que requiere atención y el desarrollo de lineamientos para que las cubiertas cumplan los principios y criterios de conservación, y para que no causen afectaciones estructurales, alteraciones en la apreciación visual de los espacios ni generen productos y procesos de deterioro adicionales. La compatibilidad de los materiales y el diseño serán fundamentales, así como su reversibilidad. Las cubiertas tendrán que ser de mantenimiento fácil y sostenible con el contexto y el patrimonio.

Rehabilitación

La rehabilitación de los monumentos patrimoniales es una intervención exclusiva de los inmuebles históricos. Tanto por su tenencia como por su uso continuo desde su creación, algunos con periodos de abandono temporal, la habitabilidad de los espacios es posible y a la vez necesaria para favorecer la permanencia del inmueble. A lo largo de la historia, a estos edificios se les han conferido diversas funciones. Se han usado como iglesia, convento, hospital, cuartel militar, casa habitación, escuela o museo, lo que se ve reflejado en cambios y adaptaciones de los espacios. Su estructura y acabados arquitectónicos sufren múltiples modificaciones a las que se suma la adaptación de las tecnologías e infraestructura: modernización de los sistemas hidráulicos, de electricidad, telefonía, internet, entre otros.

Las tendencias derivadas de programas políticos también influyeron en los cambios en este tipo de patrimonio. Encontramos algunos ejemplos en la década de 1960, en el Estado de México, donde se desarrollaron proyectos para revitalizar algunas poblaciones. En muchos monumentos históricos se aplicaron aplanados sobre mampostería que no los había tenido nunca, lo que dio pie al surgimiento del llamado "blanco colonial", que da prioridad al aspecto estético a expensas de la evidencia histórica (Díaz 1973).

Por el contrario, en numerosos centros históricos se eliminaron los aplanados exteriores de los edificios y se dejó a la vista la mampostería original, que no fue diseñada para estar expuesta a la intemperie y comenzó a deteriorarse. Esta tendencia privilegiaba las características de la mampostería sobre la de los aplanados y las capas de color, y a mediados del siglo xx se eliminaron numerosos aplanados sin hacer un análisis teórico, material, histórico y de conservación (Díaz 1973; Wright 1998), en clara contravención de la autenticidad e integridad de los sitios.

En la década de 1990 y los primeros años del siglo xxi hubo numerosas intervenciones en patrimonio histórico con base en conjeturas, en particular en edificaciones conventuales en Oaxaca. Se buscaba recuperar y evidenciar dentro de un contexto museístico supuestos periodos anteriores a partir de la remoción y conservación de acabados arquitectónicos en piedra. Sin la evidencia o documentación que justificara esas intervenciones, se crearon falsos históricos absolutos (Noval 2014; Guillén 2014).

Entre 1960 y 1980, la destrucción de monumentos en centros históricos con el fin de tener espacios abiertos y crear plazas públicas fue frecuente, como sucedió en las ciudades de Guadalajara y Monterrey. En algunos centros históricos se recurrió en exceso a la intervención denominada fachadismo (Schávelzon 1990; Lee 2008: 17-18), una modificación extrema en la que se destruyen edificios para construir edificaciones modernas detrás de su fachada principal. Desafortunadamente, este tipo de intervención de inmuebles es muy común en numerosos centros históricos en México. En el proceso de rehabilitación de los inmuebles históricos es fundamental tener en consideración las observaciones de la "Carta de Burra" (Australia ICOMOS 2013), en la que se define la importancia de que el uso de estos espacios sea compatible con el significado cultural original.

Limpieza y eliminación de sales

Algunos de los objetivos de la limpieza del patrimonio cultural son eliminar el material depositado que es o puede ser una fuente de alteración y deterioro como tratamiento previo a otro proceso de intervención, y recuperar la lectura y apreciación estética del bien. Por lo general, durante una limpieza se retiran materiales ajenos al original, como el polvo acumulado en la superficie, o bien los productos de alteración resultado de procesos de deterioro del patrimonio, como las sales. Esta intervención requiere el juicio crítico del restaurador para decidir el tipo y la profundidad de la limpieza, que dependerá de la naturaleza del material a eliminar, la escala del bien, su estado de conservación y los recursos disponibles (Moncrieff *et al.* 2012; "Limpieza en piedra: evaluación, opciones e implicaciones", David Odgers, en este volumen).

Los mecanismos de limpieza son tan diversos como el tipo de material que se busca eliminar. Algunos implican sólo procesos físicomecánicos en seco, como pinceles, brochas o bisturí; en otros casos se requiere el uso de disolventes, como agua, alcohol o xilol, entre otros, o tensoactivos. En los más complejos se utilizan tecnologías y equipos especializados, como la criogenia, el láser o la limpieza a presión por medio de abrasivos sólidos y líquidos. Hay herramientas, como las papetas, geles y microemulsiones, que ayudan a remover los materiales de forma paulatina, más controlada o selectiva, de acuerdo con el tiempo de acción de los disolventes. En el caso particular de la conservación del patrimonio arqueológico, la limpieza se concentra principalmente en retirar tierra,

microorganismos, plantas superiores y sales, y se han usado herramientas sencillas, como brochas y pinceles, o bien biocidas, para eliminar organismos vivos, como algas, briofitas, hongos o líquenes que se desarrollan en la superficie pétrea o plantas que crecen en las juntas de mampostería.

El retiro de microorganismos y plantas superiores fue un proceso bastante generalizado durante varias décadas, y se emplearon para ello sustancias frecuentemente tóxicas y técnicas muy agresivas. A partir de la década de 1990 se tomó consciencia del efecto nocivo de estas limpiezas en la superficie de la piedra y en el entorno, lo cual resultaba más perjudicial que conservar las capas de microorganismos; se pudo comprobar que, a pesar de la modificación de las características visuales del material pétreo, tienen un efecto protector. Sobre el retiro de las plantas superiores, su eliminación de manera fisicomecánica, la reposición de juntas y el mantenimiento constante constituyen la metodología más adecuada para el patrimonio y su contexto.

Debido a su diversidad y a su comportamiento fisicoquímico, el retiro de sales requiere de diferentes tratamientos. Algunas veces basta una limpieza superficial con brocha, mientras en otras ocasiones se utilizan productos químicos que transforman la naturaleza de las sales y se retiran con la aplicación de papetas y disolventes. Cuando la limpieza de sales no se ejecuta de manera metódica, controlada y con un diagnóstico profundo, y si no se han estabilizado las causas de la disolución-cristalización, el proceso de limpieza puede convertirse en un agente que favorece el deterioro, en particular cuando implica la disolución de las sales para su eliminación.

En la arquitectura histórica y los relieves de piedra que la complementan y decoran, el tipo de productos que son eliminados se vinculan al contexto urbano o a intervenciones de restauración previas. Por lo general, se busca eliminar las manchas generadas por la combustión de hidrocarburos, las deyecciones de aves que hacen sus nidos en las fachadas y cornisas de los inmuebles, y las consecuencias de acciones vandálicas. Con frecuencia, la limpieza también se utiliza para la remoción de materiales envejecidos en la superficie, tales como hidrofugantes, capas de protección y consolidantes aplicados en la superficie en intervenciones previas.

Un caso de proceso de limpieza de patrimonio histórico documentados es la intervención realizada en la Casa del Adelantado Francisco de Montejo, en Mérida, Yucatán. El inmueble fue restaurado por primera

vez en 1981 por Juan Antonio Siller y Jaime Abundis (1985) "siguiendo métodos tradicionales". En 1999 fue objeto de la primera limpieza con láser en patrimonio histórico en México, y sirvió para eliminar costras negras y residuos de un hidrofugante derivado de silicón, que no fue posible retirar con otros materiales, de acuerdo con las pruebas realizadas (Siller y Abundis 1985; Román 2008).

La limpieza de la piedra en bienes muebles es más sencilla y controlada porque suelen estar protegidos de los agentes a los que se exponen los inmuebles y sus bienes asociados. Se intervienen por lo general en espacios adecuados, como talleres y laboratorios de conservación, y es posible hacer un seguimiento constante de su estado de conservación porque están resguardados.

Es importante señalar que la limpieza es un proceso no reversible. La mínima intervención debe imperar en su ejecución y debe tenerse presente que todo lo que se retire no puede reintegrarse a la obra. Además, los efectos que se generen, principalmente en la superficie –como abrasión, eliminación de pátina o de estratos pictóricos, o formación de huellas de herramientas–, afectarán las características visuales del bien y podrán favorecer mecanismos de deterioro. El proceso de toma de decisiones, además de observar el criterio de la mínima intervención, necesitará información sobre los posibles efectos secundarios que el mecanismo, producto de limpieza o ejecución podrán dejar en el patrimonio.

Consolidación y fijado

La consolidación se lleva a cabo cuando es necesario dotar o devolver resistencia estructural a un material. Por lo regular, este proceso se divide en dos etapas, de acuerdo con el material: consolidación profunda, cuando se interviene el soporte o la estructura del bien, y consolidación superficial o fijado, que sólo interviene en la superficie, por lo general, en capas pulverulentas o escamadas (Ruiz 2007). A partir de la década de 1960 se introdujeron al mercado productos consolidantes industriales, algunos de los cuales se habían utilizado con éxito en Europa. En México se empezaron a utilizar como consolidantes polímeros sintéticos (Paraloid B72®, Primal AC33® y resinas epóxicas), silicones, silicatos, hidróxido de bario y formiato de bario, entre otros.

En numerosas ocasiones, los resultados de estos productos fueron negativos en procesos de consolidación *in situ* debido a su incompatibilidad con los bienes y las condiciones del contexto, y porque la degradación

de los consolidantes causó deterioros en la piedra tratada. En otros momentos, se debió a su uso indiscriminado –sin una comprensión clara de sus propiedades, comportamiento y envejecimiento–, al desconocimiento de las técnicas de aplicación, a la mezcla sin protocolos claros con otros tratamientos de conservación y a la falta de un monitoreo de los resultados (Villaseñor 2003). En el caso de los bienes pétreos en condiciones más controladas, como las de los museos, los mismos consolidantes no causaron degradaciones aceleradas y tuvieron mejores resultados en la estabilización de problemas de disgregación, pulverulencia y escamas.

Desde finales de la década de 1980 y principios de la siguiente se hicieron evidentes los efectos contraproducentes de las consolidaciones de las décadas anteriores, ya que muchos de los bienes intervenidos mostraban condiciones avanzadas de deterioro. Se replanteó su práctica y hubo aproximaciones nuevas al proceso. Lo más relevante fue que el criterio de compatibilidad cobró fuerza y se buscó que los productos consolidantes tuvieran una composición química igual o similar al original y el mismo comportamiento fisicomecánico. Desde entonces, la cal o hidróxido de calcio se volvió el material más importante en el tratamiento de piedra caliza –esto se retomará más adelante–, y productos como el silicato de etilo se emplearon en la intervención de piedras volcánicas de naturaleza silícea –esta práctica se mantiene hasta la fecha. Lo anterior es un ejemplo claro de la importancia de evaluar la estabilidad, eficacia y apariencia final de estos productos antes de utilizarlos en intervenciones de conservación, de seguir el criterio de compatibilidad y de considerar la naturaleza de los consolidantes. Además, se hizo evidente la retratabilidad –más que la reversibilidad– de los procesos de consolidación.

Unión de fragmentos

Este proceso se lleva a cabo cuando se enfrenta la fragmentación de un bien pétreo, siendo la escala de éste y su materialidad lo que determina la selección del mecanismo y/o producto de unión. Al igual que los consolidantes, los materiales empleados en la unión de fragmentos son variados: materiales inorgánicos como derivados de la cal, materiales poliméricos como las resinas epóxicas y las resinas acrílicas, además de que en algunos casos se emplean refuerzos físicos, como pernos –de diferentes tipos de metales–, estructuras y grapas de metal, en ocasiones

acompañados de adhesivos. Estos procesos se observan tanto *in situ* como en museos y depósitos.

Las estelas de la zona arqueológica de Bonampak son un ejemplo del proceso de unión de grandes fragmentos con pernos de acero inoxidable y resinas epóxicas Araldite®. Con esta intervención se logró no sólo integrar los elementos y devolverles su lectura, también fue posible regresarlos a su posición original.

En particular en los espacios museísticos, los fragmentos se unen con el apoyo de soportes museográficos y se recupera la integridad de la pieza al colocar los fragmentos sin usar adhesivos o elementos de unión, como en el caso del relieve de piedra de la Tlaltecuhtli, en el museo de sitio del Templo Mayor.

En los bienes muebles, la utilización de cianoacrilatos (KolaLoka®), acetatos de polivinilo (Resistol 850®) y policloropreno (Resistol 5000®), entre otros productos comerciales, fue una práctica común, sobre todo en proyectos de arqueología. Debido al envejecimiento y consecuente aumento de su rigidez y fuerza, en particular los cianoacrilatos y poli-

Figura 5. Estela 1 de la zona arqueológica de Bonampak después de la unión de fragmentos. Fotografía: Cristina Ruiz, 2008. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

cloroprenos, utilizados por arqueólogos sin asesoría de conservadores, generaron un trabajo diferencial con los materiales originales y provocaron nuevas fracturas en los perímetros del área de unión. La remoción de estos productos es compleja y a veces imposible sin poner en riesgo el material original.

En particular, en la unión de fragmentos ha imperado la compatibilidad fisicomecánica, mas no la química, ya que aun en la intervención de bienes pétreos este proceso se realiza principalmente con polímeros sintéticos orgánicos, además de que también se emplean sistemas sin adhesivos, siendo la reversibilidad uno de los criterios más importantes a considerar.

Reintegración de volúmenes, formas y color

El objetivo de la reintegración es restablecer la lectura, las cualidades formales y estéticas del volumen, y la forma o el color que se han perdido. Estos procedimientos se ejecutan cuando se ha logrado la estabilidad del bien y se cuenta con información suficiente para hacerlo. Los materiales empleados en estos procesos van de la mano con la naturaleza de la piedra, en particular en el patrimonio *in situ*, para garantizar la estabilidad y permanencia de la intervención.

En la reintegración de volúmenes y formas se utilizan morteros o tallas en piedra. En las primeras intervenciones, las argamasas se hacían con cemento. Poco a poco empezaron a usarse morteros a base de cal, sobre todo en bienes manufacturados en piedra caliza. En los últimos años se han utilizado morteros a base de sílice coloidal con polvo de piedra para reintegrar elementos de origen silíceo con el fin de favorecer la compatibilidad entre los materiales.

En particular en la intervención de monumentos arqueológicos, se ha puesto énfasis en conocer la composición y las propiedades de los materiales pétreos y de los procesos de manufactura. Esto ha permitido recuperar y retomar el uso de materiales y técnicas tradicionales en las intervenciones de restauración. Un ejemplo es el uso de los extractos vegetales combinados con cal para potenciar algunas de sus propiedades al usarla como mortero (Jáidar 2006; García y Jáidar 2013).

En cuanto al uso de piedra, uno de los procesos de reintegración empleados en patrimonio histórico es el laminado, es decir, la eliminación del material disgregado de la superficie pétrea hasta llegar a material sano y la adhesión de una lámina de piedra que aporta el volumen per-

Figura 6. Pedestal de la escultura ecuestre de Carlos IV, El Caballito. *Injerto de piedra para reintegración de faltante. Fotografía: Yareli Jáidar, 2021. Secretaría de Cultura-*INAH*-Méx. Reproducción autorizada por el* INAH.

dido. En el caso de pequeños faltantes, se reponen con piedra tallada a la medida adheridos con adhesivos, resinas o cemento (comunicación personal, Juan Manuel Rocha Reyes, CNCPC-INAH, marzo 2021).

Además de los mismos materiales con los que se interviene *in situ*, en el patrimonio pétreo mueble que se conserva en museos se han utilizado materiales como la pasta cerámica,[6] Araldite® y otras resinas sintéticas que, si bien no tienen compatibilidad química con la piedra, logran acabados con textura, color y apariencia similares al original sin efectos negativos en la conservación del patrimonio.

La reintegración cromática busca darle continuidad visual al elemento a partir de simular la textura, el color y la apariencia de la piedra intervenida con pigmentos minerales, pinturas al barniz, acuarelas y otros materiales, dependiendo de la naturaleza del resane y el acabado que se quiere lograr (véase Juan Manuel Rocha Reyes y Ana Jose Ruigómez Correa, en este volumen). Aunque las reintegraciones deben acoplarse de manera que se recuperen la lectura y los valores estéticos

[6] Constituida principalmente por fibra de vidrio, blanco de España (carbonato de calcio), caolín, Mowilith 50® y acetona como disolvente. Se emplea sobre todo para reintegrar faltantes –colocada por lo general sobre la denominada pasta costilla– y resanar grietas y fisuras en piezas cerámicas o en materiales de origen inorgánico, como la piedra.

del bien, deben distinguirse del original. La aplicación de este criterio puede variar entre el patrimonio arqueológico y el histórico. Los materiales utilizados deberán ser compatibles y reversibles.

Capas de protección

El objetivo de aplicar una capa de protección en la superficie de la piedra es generar un estrato que separe la superficie del original de posibles agentes de intemperismo y deterioro, como humedad, agua y acciones antropogénicas, además de facilitar la remoción de agregados no deseados sin afectar la integridad del material pétreo. Hidrofugantes, antigrafitti y otro tipo de productos se han aplicado como parte del mantenimiento tradicional y en intervenciones de conservación. Este proceso es recurrente en edificios virreinales y del siglo xix, aunque se ha utilizado también en sitios arqueológicos.

Durante varias décadas se emplearon estos productos en superficies pétreas sin evaluar su comportamiento a corto, mediano y largo plazo. Con el paso del tiempo, las capas que se forman cambian la apariencia de la roca en color y textura, además de que bloquean su porosidad, lo que da pie a ciclos diferenciales de evaporación de agua, cristalización de sales, disgregación y pérdida del material original.

Cuando se aplica una capa de protección, es fundamental considerar la compatibilidad de los materiales y del proceso porque suele abarcar grandes

*Figura 7. Aplicación de capa de protección (engobe) en la parte baja de los muros del Palacio de Correos en 2021. Fotografía: Yareli Jáidar, 2021. Secretaría de Cultura-*INAH*-Méx. Reproducción autorizada por el* INAH*.*

superficies que pueden verse afectadas de manera negativa y en ocasiones heterogénea. Muchas veces estos productos son ineficaces e insolubles, e impiden la reversibilidad o retratabilidad, lo que deteriora el patrimonio en aspectos visuales y estructurales.

Recubrimientos de sacrificio

Esta herramienta se emplea para aislar los elementos originales de los factores externos de alteración o para ser la capa que se altere o deteriore, lo que asegura una mayor permanencia del bien a conservar. El recubrimiento es una capa hecha con materiales compatibles que se aplica sobre la superficie del original una vez que se ha estabilizado. A diferencia de otras capas de protección, ésta reproduce la forma, el volumen, la apariencia y la textura de los elementos que recubre. El material seleccionado dependerá de la naturaleza de la piedra, su deterioro y los riesgos y las condiciones a que estará expuesto.

El uso de los recubrimientos de sacrificio es más común en la intervención de patrimonio arqueológico porque el acceso a los sitios es menos frecuente, sólo durante temporadas cortas de trabajo en campo, lo que hace necesario llevar a cabo intervenciones que garanticen la conservación de los bienes por un mayor periodo de tiempo.

En el sureste de Campeche, la piedra caliza presenta problemas de deterioro complejos. A partir de la década de 1990 se comenzaron a utilizar estos recubrimientos, elaborados con morteros de cal, que simulaban las características formales del bien y eran compatibles con la roca caliza. Los recubrimientos se aplicaron en las áreas con mayor problema de disgregación, como los sillares de los desplantes de los muros y los relieves que decoran las fachadas. Los objetivos eran proteger la piedra de los agentes de intemperismo y frenar su deterioro, y que el proceso de cristalización de sales solubles ocurriera sobre el material de sacrificio. Este procedimiento compatible se encuentra a prueba y en constante evaluación (véase García Vierna, en este volumen). Los resultados de su aplicación han variado en cada sitio, porque la textura, los acabados, el espesor, la porosidad y la selección de materiales, entre otros recursos técnicos, no han sido los mismos.

En los últimos años, se han usado los recubrimientos de sacrificio en los inmuebles y bienes muebles asociados históricos como consecuencia del uso de sus superficies para la expresión de ideas y mensajes resultantes del contexto social y político actual. En 2019 se aplicaron

Figura 8. Aplicación de recubrimiento de sacrificio en pedestales de las esculturas de bronce de la avenida Paseo de la Reforma, en la Ciudad de México. Fotografías: Juan Manuel Rocha y Diego Jáuregui, 2019. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

recubrimientos de sacrificio en los pedestales de cantera de las esculturas a lo largo de la avenida Paseo de la Reforma, en la Ciudad de México. Estos estratos reciben las capas de color, lo que ha reducido la necesidad de ejecutar procesos de limpieza en la superficie de la piedra y evita procesos adicionales de abrasión.

A pesar de que colocar un nuevo estrato sobre la superficie original puede ser una intervención invasiva, cuando el deterioro es acelerado y difícil de controlar, ha sido el proceso con el que se ha conseguido estabilizar material pétreo a mediano y largo plazo. La compatibilidad material, el respeto y el seguimiento de las formas, texturas y colores originales son fundamentales. Reiteramos que antes de realizar este proceso es indispensable haberse alcanzado la mayor estabilidad posible del bien.

Reenterramientos

Es la práctica de volver a enterrar o cubrir elementos expuestos con la intención de preservarlos. Se persigue reinstaurar el ambiente original de enterramiento de un sitio excavado para restablecer un estado cercano al que existía antes de su liberación. En particular, se evita el con-

tacto de la piedra con variaciones de humedad y temperatura, y se limita el acceso de oxígeno. En ocasiones, se recurre a los reenterramientos con el fin de crear un ambiente nuevo y más estable para elementos frágiles, para los que no se cuenta, en el momento de la intervención, con otras alternativas de conservación (Demas 2004: 137).

El reenterramiento es una estrategia importante de conservación y una práctica común para reducir la destrucción de bienes arqueológicos o históricos que se liberan. La decisión de reenterrar puede basarse en la prevención de robo o saqueo, el control de los factores de deterioro que afectan a un elemento o estructura, el aumento excesivo de la visita pública, el vandalismo, la escasez de recursos para dar tratamientos de intervención o mantenimiento adecuados, modificaciones en infraestructura o construcciones nuevas de desarrollo urbano. Esta práctica puede ser parcial (bienes muebles asociados a inmuebles) o total (estructuras completas), y temporal o definitiva. En ocasiones, una réplica es colocada en el sitio de la pieza original para mostrar al público los elementos existentes (Alonso 2018; CR. *Conservación y restauración* 2017).

En 2019, se reenterró la Tumba 1 de Santiago Tillo, en Oaxaca, espacio funerario construido bajo el nivel del terreno natural con varios tipos de piedra, en el que se conservan relieves y pintura mural. La decisión se tomó para asegurar la estabilidad del espacio, porque no era posible darle seguimiento y atención continua (Ruiz 2020). Con anterioridad, en 2009, durante el salvamento arqueológico en el patio oriente del Palacio de Bellas Artes, en la Ciudad de México, se encontraron vestigios del antiguo convento de La Visitación de María Santísima a su prima Santa Isabel, del que se conservaban restos de columnas de piedra, una fuente y muros con pintura mural. Con el objetivo de mantener la evidencia *in situ*, se decidió hacer un reenterramiento para proteger, estabilizar y asegurar la conservación de los elementos arquitectónicos (INAH 2014).

El proceso de reenterramiento se encuentra en el límite entre la conservación directa y la conservación preventiva; si bien incide de manera directa sobre la materialidad del patrimonio, no ejerce necesariamente una transformación de éste, como cuando se hace una limpieza, una consolidación o una reintegración. La compatibilidad deberá primar en la selección de los materiales que formarán los estratos del relleno, las capas aislantes que estarán en contacto con la superficie del original (cuando se considere pertinente colocarlas), y las capas de contención que darán estructura y separación al material de relleno (cuando se usan distintas

naturalezas y/o granulometrías), cuyas cualidades físicas ayudan a controlar el paso de humedad. El material y el sistema constructivo del muro de contención y del cierre del sistema deberán ser compatibles con el original y con las condiciones a las que quedará expuesto. En este caso particular, la mínima intervención no sólo se deberá evaluar con respecto al bien que se reenterrará, sino que es fundamental considerar el edificio en el que se ubica el elemento decorativo y/o arquitectónico, así como el espacio urbano y/o conjunto arquitectónico en el que se localiza el inmueble. Una de las cualidades de este proceso es su reversibilidad.

Réplicas

Una réplica es la reproducción exacta o lo más parecida posible de un bien cultural original. Puede ser total o parcial, de distinto material y escala, y se usa en el campo de la conservación de bienes muebles, muebles asociados a inmuebles e inmuebles históricos y arqueológicos. Son muchas las razones por las que se elaboran réplicas, como los fines de estudio o divulgación, el reemplazo de una obra de gran valor para evitar que sufra deterioros, o la exhibición de obras escultóricas, arqueológicas o arquitectónicas al público en general que no pueden ser expuestas. Muchas réplicas se hacen a partir de moldes; uno de los materiales más usados fue el yeso, que después se sustituyó por látex natural y, más adelante, por caucho de silicón. Para los contramoldes se han utilizado resinas de poliéster y fibra de vidrio. También se han hecho copias de copias, al tallar o esculpir directamente sobre una piedra nueva.

La arqueología ha empleado réplicas *in situ* desde hace muchos años para mostrar el emplazamiento de las piezas originales que se han trasladado a museos; por ejemplo, los Danzantes de Monte Albán, en Oaxaca, o los tableros del Templo de las Inscripciones en Palenque, Chiapas. En algunos reenterramientos, los bienes quedan ocultos y se colocan réplicas para permitir su exhibición, como la del sitio de Muyil, Quintana Roo (Meehan *et al.* 2019). En los museos hay reproducciones de fachadas, estructuras, estelas y tumbas de varias zonas arqueológicas, como Hochob, en Campeche, o la conocida lápida de Pakal de Palenque, Chiapas, que se encuentran en el Museo Nacional de Antropología.

Después del sismo de 1985 se hicieron réplicas de las esculturas que coronaban la fachada de la Catedral Metropolitana, en la Ciudad de México, pues se consideró que el área del inmueble en la que se apoyaba

este patrimonio histórico no tenía la capacidad para soportarlo. Después de una evaluación más profunda, se decidió conservarlas en su lugar original y las réplicas se colocaron en el atrio de la catedral, lo que permite al público conocer la escala real y las características de estos bienes muebles asociados a inmuebles. Este recurso facilita el acceso al patrimonio, en particular cuando los bienes son desmontados o reenterrados por cuestiones de conservación.

Las réplicas del siglo XIX permiten conocer las condiciones en las que se encontraban relieves en piedra que se han deteriorado por su exposición *in situ*, como la Escalinata Jeroglífica de la Casa C en el Palacio de Palenque, Chiapas. Gracias a los moldes de papel y las fotografías del explorador Alfred Percival Maudslay, de finales del siglo XIX, tenemos información sobre los glifos labrados en ella (Herbert y Cuevas, en este volumen). Los métodos y procedimientos para elaborar una réplica deben garantizar la integridad del bien cultural y los materiales utilizados no deben afectar el original. Con las nuevas tecnologías, como el escáner 3D o la fotogrametría, es posible obtener registros detallados de los bienes sin necesidad de tocarlos y producir réplicas con sistemas como las impresiones en 3D.

Conservación preventiva

La conservación preventiva se refiere a todas las acciones y medidas que controlan o retardan el deterioro sin que se requiera una intervención directa (INAH 2014). Su cualidad principal es generar condiciones adecuadas para la preservación de los bienes en su contexto espacial inmediato, favoreciendo con esto el criterio de mínima intervención. En este sentido, existe una gran cantidad de estrategias y procesos, muchos de ellos complementarios, que ayudan a controlar o eliminar las causas y los mecanismos de deterioro: barreras de protección, canalización de agua, impermeabilización de cubiertas, drenes de ventilación, generación de frentes de secado, control de humedad y temperatura, entre otros.

Todo el patrimonio se beneficia cuando se llevan a cabo estrategias preventivas, no sólo por el control de su deterioro a corto, mediano y largo plazo, sino porque se logra extender la vida útil de las intervenciones de conservación directa y restauración. No obstante, no fue sino hasta la década de 1990 cuando se comenzó a considerar el valor y la necesidad de la conservación preventiva tanto para evitar acciones de conservación directa o de restauración, como para fortalecer y extender la durabilidad de las intervenciones realizadas.

Para hacer el diseño y la selección de las acciones de conservación preventiva es necesario realizar el análisis del contexto inmediato del patrimonio cultural, ya sea *in situ* o en acervos y/o salas de exhibición, así como del contexto ambiental. Un buen diagnóstico del estado de conservación es indispensable, además de que se deberá tener claridad sobre el uso y la función de los bienes, de su vínculo con el público, así como de los recursos con los que se cuenta para atenderlo en el futuro.

El control de las condiciones de humedad relativa, temperatura e iluminación, así como de agentes como la lluvia, la insolación y el viento son indispensables en la conservación de los monumentos arqueológicos e históricos *in situ*. Por lo tanto, las acciones vinculadas a este control son parte clave de la conservación preventiva: canalización de agua, impermeabilización de cubiertas, drenes de ventilación, generación de frentes de secado, entre otras.

En el caso específico de depósitos y salas de exhibición en los museos, el correcto mantenimiento del edificio, el uso de sistemas de ventilación pasiva y mecánica, de sistemas de iluminación adecuados y de materiales desecantes para objetos pétreos sensibles a la humedad, son los recursos que más se emplean para la conservación de los bienes muebles que ahí se resguardan y exhiben.

Otra medida de prevención es colocar barreras de protección en los vanos y las fachadas de los inmuebles arqueológicos e históricos para controlar el paso y la permanencia de insectos y animales superiores cuyas deyecciones o nidos afectan el patrimonio. Estas barreras también funcionan como límites y control para visitantes. Su diseño responde al nivel de protección que se quiere lograr, a las características de los vanos a cerrar y al uso de los materiales más adecuados tanto para el edificio, como para el contexto ambiental. Bastidores con mallas, redes, barandales y andadores son los más comunes.

La enorme cantidad de material pétreo y la idea de que la piedra resiste el deterioro hacen que estos bienes sean los menos protegidos en los acervos, tanto en las colecciones, por la carencia de espacio y mobiliario adecuado, como en el registro, lo que conlleva un enorme vacío en su documentación. La excepción en esta situación son los objetos que se encuentran documentados, embalados y almacenados de forma adecuada por sus dimensiones, unicidad o fragilidad.

CONSIDERACIONES FINALES

Esta revisión general muestra el interés por la conservación del patrimonio en los ochenta años del INAH y los más de cincuenta años de lo que hoy es la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC), con aproximaciones y enfoques que han variado a lo largo del tiempo. No se puede observar una evolución lineal en la aplicación de los criterios y principios, pero hay tendencias claras.

Para la toma de decisiones en materia de conservación, en particular del patrimonio manufacturado en piedra, ha sido necesario adaptar las normas al problema específico de los bienes pétreos y el tipo de contexto social y natural en el que se encuentran. Si bien estos factores siempre han sido relevantes, en la actualidad el cambio climático juega un papel innegable en el deterioro del patrimonio y el entorno de los bienes conservados *in situ*, como sitios arqueológicos y centros históricos, la gran mayoría manufacturado y construido en piedra. Fenómenos naturales de mayor intensidad, modificaciones en los ciclos de lluvia y sequía, y transformaciones en el estado y la extensión de las reservas naturales que rodean el patrimonio han acelerado los mecanismos y efectos de deterioro en lapsos muy cortos, situación que debe considerarse en primer lugar en la toma de decisiones.

Gracias al trabajo interdisciplinario y al avance de la ciencia y la tecnología aplicada, se ha alcanzado mayor comprensión de los problemas de conservación a nivel de la materia, pero también del contexto social en que está inmerso el patrimonio. De este modo, en el proceso de toma de decisiones se consideran cuestiones teóricas y prácticas, que abarcan lo técnico-científico, pero también lo social; esto permite identificar y entender los valores atribuidos a los bienes culturales a lo largo de su historia, sumándolos en este proceso analítico y crítico sobre decidir qué y cómo conservar.

Hoy es claro que el proceso de toma de decisiones con base en juicios críticos e informados es fundamental. Los días 2 y 3 de febrero de 2017 se llevó a cabo el primer Coloquio sobre Toma de Decisiones en Conservación y Restauración, organizado por la CNCPC del INAH, cuyas memorias están en preparación. Cuestionarse para quién, cómo, cuándo y por qué debe hacerse una intervención determinará la comprensión del bien y su valoración en diferentes grupos de interés. El diagnóstico y la documentación; la propuesta de intervenciones en función de la ve-

locidad e importancia de las alteraciones y los deterioros; el conocimiento de la composición, las propiedades y el comportamiento de los materiales constitutivos y los de intervención; la revisión por pares; el monitoreo y la evaluación, así como la comunicación de los resultados deben vincularse con el marco teórico, ético, normativo y legal. La divulgación de las reflexiones teóricas y las acciones teórico-prácticas es esencial para el avance de la disciplina. Se requieren discusiones abiertas y análisis de estudios de caso para tener elementos comparativos y un corpus que refuerce la experiencia y los conocimientos de los profesionales de la conservación, sujetos a retos cada vez más complejos, ocasionados por el cambio climático, la urbanización creciente y las amenazas derivadas de cambios sociales, políticos y económicos. Estas bases sólidas otorgan reconocimiento a la profesión y nos permiten actuar de manera sostenible en un mundo en cambio constante.

Las intervenciones en piedra proporcionan datos sobre el momento en el que se ejecutaron, la concepción de la conservación y restauración en esa etapa de la historia de México, las tendencias y necesidades del contexto histórico, político y económico, el nivel de profesionalización existente, el conocimiento técnico-científico y los instrumentos disponibles para hacer diagnósticos, caracterizar materiales constitutivos y evaluar procesos y productos de conservación. Esta información, vista a la luz de los resultados de esas intervenciones, dará pie a la construcción de una evaluación crítica para hacer propuestas que mejoren el quehacer de la conservación del material pétreo.

Ante la gran diversidad y complejidad del patrimonio en piedra, además de la participación de los conservadores es necesario el involucramiento de otros profesionales –arqueólogos, arquitectos, geólogos, biólogos, antropólogos, historiadores del arte y científicos– en el proceso de toma de decisiones; pero es en la aplicación práctica donde los profesionales de la conservación-restauración deben ejercer las acciones que, sustentadas en los principios y criterios de la disciplina, en las experiencias previas y en un trabajo interdisciplinario objetivo, analítico y crítico, llevarán a la conservación del patrimonio facturado en piedra.

BIBLIOGRAFÍA

Agnew, Neville. 2002. "Methodology, Conservation Criteria and Performance Evaluation for Archaeological Site Shelters". *Conservation and Management of Archaeological Sites*, vol. 5, núms. 1-2: 7-18.

Alonso Olvera, Alejandra. 2018. "Re-enterramiento como sistema de protección de patrimonio arqueológico sujeto a riesgos y deterioro: evaluación crítica de los sistemas utilizados en los elementos decorativos de la Acrópolis de la zona arqueológica de Ek Balam, Yucatán". CR. *Conservación y Restauración*, núms. 13-14: 159-173.

Alonso Olvera, Alejandra y Valeria A. García Vierna. 2005. "Propuesta de lineamientos teóricos y prácticos de la Subdirección de Conservación Arqueológica de la Coordinación Nacional de Conservaciones del Instituto Nacional de Antropología e Historia". En *Lineamientos y limitaciones en la conservación: pasado y futuro del patrimonio*, Diana Magaloni (ed.), 43-84. México: Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Investigaciones Estéticas.

Aplin, Graeme. 2002. *Heritage. Identification, Conservation and Management*. Melbourne: Oxford University Press.

Arroyo Lemus, Elsa y Sandra Zetina Ocaña. 2020. "La reconstrucción de monumentos coloniales en las décadas de 1920 y 1930 en México". *Conversaciones con…*, núm. 9: 119-139.

Ashley-Smith, Jonathan y Helen Wilks (eds.). 2012. *La ciencia para los restauradores. Materiales, limpieza, adhesivos y recubrimientos*. Londres: Archetype.

Ashurst, John (ed.). 2007. *Conservation of Ruins*. Londres: Butterworth-Heinemann.

Ashurst, John y Francis G. Dimes (eds.). 2006. *Conservation of Buildings and Decorative Stone*. Rushden: Reed Book Services, Ltd.

Aslan, Zaki, Sarah Court, Jeanne Marie Teutonico y Jane Thompson (eds.). 2018. *Protective Shelters for Archaeological Sites. Proceedings of A Symposium, Herculaneum, Italy, 23-27 September 2013*. Londres: The British School at Rome.

Avrami, Erica, Randall Mason y Marta de la Torre (eds.). 2000. *Values and Heritage Conservation: Research Report*. Los Ángeles: Getty Conservation Institute.

Bali, Jaime y Adriana Konzevik (coords.). 2019. *Instituto Nacional de Antropología e Historia, 80 años*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Barajas, María, Pedro Bosch, Claudia Malvaez, Cristina Barragán y Enrique Lima. 2010. "Stabilization of the Tlaltecuhtli Monolith Pigments". *Journal of Archaeological Science*, vol. 37, núm. 11: 2881-2886.

Barajas Rocha, María. 2012. "El relieve monumental de la diosa Tlaltecuhtli del Templo Mayor: estudio para la estabilización de su policromía". *Intervención. Revista Internacional de Conservación, Restauración y Museología*, vol. 3, núm. 5: 23-33.

Barba Pingarrón, Luis e Isabel Villaseñor Alonso (eds.). 2013. *La cal. Historia, propiedades y usos*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Berducou, Marie. 2010. "Bref voyage dans le passé du passé. Continuité et ruptures dans l'histoire de la conservation du patrimoine". *Techné*, núm. 32: 11-17.

Brandi, Cesare. 1963. *Teoria del restauro*. Turín: Einaudi.

"Burra Charter, The. The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance" ("Carta de Burra"). 2013. https://australia.icomos.org/publications/burra-charter-practice-notes/#bc (consultado el 10 de enero de 2020).

Campaña Valenzuela, Luz E., Victoria Bojórquez Diego, Claudia García Solís, Valeria García Vierna, Paola Lozano Vega, Leonardo Santoyo Alonso y Laura Solar Valverde. 2000. "Proyecto arqueológico Becán: informe anual de la temporada de campo 1999-2000". Manuscrito. Luz E. Campaña V. (coord.). Archivo del Consejo de Arqueología. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Campaña Valenzuela, Luz E., Edwin Angulo Torres, Sara Dzul Góngora y Claudia García Solís. 2001. "Proyecto arqueológico Becán: informe anual de la temporada de campo 2000-2001". Manuscrito. Luz E. Campaña V. (coord.). Archivo del Consejo de Arqueología. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Campaña Valenzuela, Luz E., Edwin Angulo Torres, Kenichiro Tsukamoto y Yareli Jáidar Benavides. 2004. "Proyecto arqueológico Becán: informe anual de la temporada de campo 2003-2004". Manuscrito. Luz E. Campaña V. (coord.). Archivo del Consejo de Arqueología. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

"Carta de Atenas". 1931. https://ocw.uniovi.es/mod/resource/view.php?id=1722 (consultado el 10 de enero de 2020).

"Carta de México en defensa del patrimonio cultural". 2018 [1976]. *Conversaciones con…*, núm. 6: 348-349.

"Carta de Venecia". 1964. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/venice_sp.pdf (consultado el 10 de enero de 2020).

Cedillo Álvarez, Luciano. 1991. "La conservación en zonas arqueológicas. Tres décadas de trabajo". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía.

Clark, Kate. 2001. *Informed Conservation. Understanding Historic Buildings and their Landscapes for Conservation*. Londres: English Heritage.

CR. *Conservación y restauración*. 2017. Núms. 13-14. https://revistas.inah.gob.mx/index.php/cr/issue/view/890 (consultado el 15 de mayo de 2020).

Demas, Martha. 2004. "Site Unseen, the Case for Reburial of Archaeological Sites". *Conservation and Management of Archaeological Sites*, vol. 6, núms. 3-4: 137-154.

Díaz Berrio, Salvador. 1973. "Límites de las operaciones de restauración". En *1er. Seminario Regional Latinoamericano de Conservación y Restauración. Documentos de trabajo*. México: Centro Regional Latinoamericano de Estudios para la Conservación y Restauración de Bienes Culturales.

___ . 1990. *Conservación del patrimonio cultural en México*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

"Documento de Nara sobre autenticidad". 1994. https://www.iccrom.org/sites/default/files/publications/2020-05/convern8_06_docudenara_esp.pdf (consultado el 15 de mayo de 2020).

Feilden, Bernard. 2008. *Conservation of Historic Buildings*. Londres: Elsevier.

Gándara, Manuel. 2002. "Historia de la arqueología en México. La época moderna (1968-2002). Primera parte". *Arqueología Mexicana*, núm. 58: 8-17.

___ . 2003. "Historia de la arqueología en México. La época moderna (1968-2002). Segunda parte". *Arqueología Mexicana*, núm. 59: 8-15.

___ . 2019. "Las escuelas del INAH". En *Instituto Nacional de Antropología e Historia, 80 años*, Jaime Bali y Adriana Konzevik (coords.), 77-96. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

García Solís, Claudia y Yareli Jáidar Benavides. 2013. "El uso de aditivos orgánicos en mezclas de morteros de cal en el área maya". En *La cal. Historia, propiedades y usos*, Luis Barba Pingarrón e Isabel Villaseñor Alonso (eds.), 115-138. México: Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Investigaciones Antropológicas.

García Solís, Claudia y Paola Lozano Vega. 2000. "Restauración en Becán y Chicanná. Informe de las actividades realizadas de noviembre de 1999 a febrero de 2000". En "Proyecto Arqueológico Becán Campeche. Informe Anual de la Temporada de Campo 1999-2000". Manuscrito. Luz E. Campaña V. (coord.). Archivo del Consejo de Arqueología. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

García Vierna, Valeria, Yareli Jáidar Benavides y María Cristina Ruiz Martín. 2009. "Recuperando una historia. Una década de trabajos de preservación en el Friso de la Casa de los Cuatro Reyes, Balamkú, Campeche". En *Conservación de bienes culturales: acciones y reflexiones*, Luis Fernando Guerrero Baca (coord.), 121-154. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Giorguli Chávez, Liliana y Arturo Balandrano Campos. 2017. "Proyecto de conservación y restauración de la escultura ecuestre de Carlos IV y su pedestal". Informe. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Guerrero Baca, Luis Fernando (coord.). 2009. *Conservación de bienes culturales: acciones y reflexiones*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

___ . 2018. "Certificación de materiales sostenibles para la conservación arquitectónica". CR. *Conservación y Restauración*, núm. 10: 15-20.

Guillén Jiménez, Salvador. 2014. "Cincuenta años de la Carta de Venecia. Una reflexión dentro del conjunto arquitectónico de Santo Domingo de Guzmán, Oaxaca". CR. *Conservación y Restauración*, núm. 4: 24-27.

Herbert Pesquera, Luz de Lourdes. 1995. "Preservación de una zona: Yaxchilán, Chiapas". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía.

Heritage, Alison y Jennifer Copithorne (eds.). 2007. *Sharing Conservation Decisions*. Roma: International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property.

Herrera Romero, Dolores, Isabel Ritter Miller, Baruch López Lozano, Arcadio Marín Marín y Ascensión Muñoz Vázquez. 2015. "Informe del proyecto de restauración de la obra 'Hornacina'". Manuscrito. Archivo de la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). 2014. "Lineamientos institucionales en materia de conservación del patrimonio cultural". México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Instituto Nacional de Bellas Artes (INBA) e Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). 1972. *Considerandos y recomendaciones. Coloquicomos, octubre de 1972*. México: Instituto Nacional de Bellas Artes/Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Jáidar Benavides, Yareli. 2006. "Los extractos vegetales usados como aditivos en los morteros de cal con fines de conservación". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Conservación Restauración y Museografía.

Jáidar Benavides, Yareli, Tomás Meraz Castaño, Valerie Magar Meurs y Cristina Ruiz Martín. 2017. "Curso LATAM de Observación, Documentación y Diagnóstico". CR. *Conservación y Restauración*, núms. 13-14: 89-100.

Jáidar Benavides, Yareli y Cristina Ruiz Martín. 2004. "Restauración en Becán. Informe de las actividades realizadas de noviembre de 2003 a abril de 2004". En "Proyecto Arqueológico Becán, Campeche". Manuscrito. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

LeBlanc, François. 2005. "Values, Authenticity and Integrity for Good Management". En *Nuevas miradas sobre la autenticidad e integridad en el Patrimonio Mundial de las Américas/New Views on Authenticity and Integrity in the World Heritage of the Americas*, Francisco Javier López Morales (ed.), 71-76. México: Consejo Internacional de Monumentos y Sitios.

Lee Albardín, Gabriela. 2008. "Apuntes sobre la conservación y restauración del patrimonio en México". *Revista* CPC, núm. 6: 7-20.

"Ley Federal de Monumentos y Zonas Arqueológicos, Artísticos e Históricos". 1972. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/131_160218.pdf (consultado el 10 de enero de 2020).

"Ley Orgánica del Instituto Nacional de Antropología e Historia". 1939. https://www.gobiernodigital.inah.gob.mx/transparencia/images/ley-organica-inah-2002.pdf (consultado el 10 de enero de 2020).

Litvak King, Jaime. 1983. "Conservación: un punto de vista". En *Encuentro Nacional de Conservadores 1983*, Dirección de Restauración del Patrimonio Cultural, 17-23. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

MacGregor, Luis, Benjamín Orvañanos y Antonio Muñoz. 1923. "La reconstrucción de los monumentos arqueológicos en nuestro país". En *Anuario SAM 1922-1923*, 38-49. México: Sociedad de Arquitectos Mexicanos.

Magar, Valerie. 2013a. "El uso de la cal en conservación: la experiencia internacional". En *La cal. Historia, propiedades y usos*, Luis Barba Pingarrón e Isabel Villaseñor Alonso (eds.), 161-184. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

___ . 2013b. "Seminario Internacional de Conservación de Piedra en América Latina". CR. *Conservación y Restauración*, núm. 1: 37.

___ . 2016. "Sostenibilidad y conservación del patrimonio cultural". CR. *Conservación y Restauración*, núm. 10: 8-14.

___ . 2019. "Conservación de los bienes culturales en el INAH". En *Instituto Nacional de Antropología e Historia, 80 años*, Jaime Bali y Adriana Konzevik (coords.), 213-228. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Magar, Valerie, Joseph King y Eugene Jo. 2021. "World Heritage: The Definition of Outstanding Universal Value and the Role of Attributes". En *Attributes, A Way of Understanding* OUV. Tokio: National Research Institute for Cultural Properties/Japan Center for International Cooperation in Conservation.

Magar, Valerie y Haydeé Orea. 2005. "Manejo de sitios arqueológicos: Yaxchilán, Chiapas, y la Sierra de San Francisco, Baja California Sur". En *Lineamientos y limitaciones en la conservación: pasado y futuro del patrimonio*, Diana Magaloni (ed.), 307-331. México: Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Investigaciones Estéticas.

Magar Meurs, Valerie y Renata Schneider Glantz. 2018. *Construir teoría. Memoria del segundo y tercer Simposio de Teoría de la Conservación-Restauración*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Matos Moctezuma, Eduardo. 2011. "De conservaciones y restauraciones". *Arqueología Mexicana*, núm. 108: 24-27.

Maudslay, Alfred Percival. 1902. *Biologia Centrali-Americana*. Londres: R. H. Porter.

Medina-González, Isabel, María del Carmen Castro Barrera, Valeria García Vierna, María Eugenia Marín Benito y Patricia Meehan Hermanson. 2009. "Una primera aproximación a la normativa en materia de conservación del patrimonio cultural de México". En *La conservación-restauración en el* INAH*. El debate teórico*, Renata Schneider (coord.), 137-152. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Meehan Hermanson, Patricia, Gabriel Severiano Flores y Vianey Durán Ortiz. 2019. "Zona arqueológica de Muyil, Quintana Roo. Proyecto de diagnóstico, conservación e investigación de bienes muebles asociados a inmuebles arqueológicos de la Costa Oriental y Sur de Quintana Roo". Recurso electrónico. México: Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural. https://conservacion.inah.gob.mx/public/proyecto.php?id=MjI2 (consultado el 17 de noviembre de 2019).

Molina Montes, Augusto. 1975. *La restauración arquitectónica de edificios arqueológicos*. México Instituto Nacional de Antropología e Historia.

___ . 1982. "Archaeological Buildings: Restoration or Misrepresentation". En *Falsifications and Misreconstructions of Pre-Columbian Art: A Conference at Dumbarton Oaks, October 14th and 15th, 1978*, Elizabeth H. Boone (ed.), 125-141. Washington, D. C.: Dumbarton Oaks.

Moncrief, Anne, Graham Weaver, Charles Newey, Ruth Boff, Vicent Daniels, Michael Pascoea y Norman Tennant. 2012. *Ciencia para restauradores*. Londres: Archetype Publications.

"Normas de Quito". 1967. https://www.icomos.org/en/resources/charters-and-texts/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/168-the-norms-of-quito (consultado el 25 de mayo de 2019).

Noval Vilar, Blanca. 2014. "Retablo principal de Santo Domingo de Yanhuitlán. Análisis de su conservación y restauración en el marco de los cincuenta años de la Carta de Venecia". CR. *Conservación y Restauración*, núm. 4: 28-36. https://revistas.inah.gob.mx/index.php/cr/issue/view/878 (consultado el 15 de mayo de 2020).

Olivé Negrete, Julio César y Bolfy Cottom (coords.). 1995. *INAH, una historia. I: Antecedentes, organización, funcionamiento y servicios*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Ontiveros Ramírez, Debora Yatzojara. 2017. "Testimonio en color: 18 dibujos de fragmentos de pintura mural del sitio arqueológico Las Higueras, Veracruz, conservados en el archivo histórico de la CNCPC". CR. *Conservación y Restauración*, núms. 13-14: 324-337.

Orea Magaña, Haydeé. 2013. "El uso de la cal en la conservación de los monumentos arqueológicos e históricos: de la teoría a la práctica". En *La cal. Historia, propiedades y usos*, Luis Barba Pingarrón e Isabel Villaseñor Alonso (eds.), 141-160. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

___ . 2014. "La fachada barroca del templo de Santo Domingo de San Cristóbal de las Casas (México) y su reintegración pictórica: una intervención polémica". *Intervención. Revista Internacional de Conservación, Restauración y Museología*, vol. 5, núm. 9: 34-42.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 2012. "Reporte del Encuentro Internacional de Expertos sobre Integridad del Patrimonio Cultural". Informe. París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. https://whc.unesco.org/document/121727 (consultado el 20 de abril de 2019).

___ . 2019. *Operational Guidelines for the Implementation of the* World Heritage Convention. París: UNESCO World Heritage Centre. https://whc.unesco.org/en/guidelines (consultado el 20 de abril de 2019).

Peñuelas Guerrero, Gabriela. 2015. "La valoración del patrimonio cultural en el campo de la restauración mexicana: estudio de caso ENCRyM-INAH". Tesis de maestría. México: Instituto de Investigación en Comunicación y Cultura.

Philippot, Paul. 1985. "La conservation des œuvres d'art, problème de politique culturelle". *Annales d'Histoire de l'Art et d'Archéologie de l'ULB*, núm. VII: 7-14.

Real Academia Española (RAE). 2011. *Diccionario de la lengua española*, 22ª. ed. http://www.rae.es/rae.html (consultado el 8 de mayo de 2020).

Rigol, Isabel. 2012. "Sobre autenticidad". En *Conservación patrimonial: teoría y crítica*, Isabel Rigol y Ángela Rojas (eds.), 219-226. La Habana, Cuba: Editorial UH.

Rojas, Ángela. 2005. "Para leer el tiempo: la autenticidad en las ciudades cubanas". En *Nuevas miradas sobre la autenticidad e integridad en el Patrimonio Mundial de las Américas/New Views on Authenticity and Integrity in the World Heritage of the Americas*, Francisco Javier López Morales (ed.), 119-126. México: Consejo Internacional de Monumentos y Sitios.

Román Kalisch, Manuel Arturo. 2008. "Restauración de la portada de la Casa del Adelantado Francisco de Montejo en Mérida, Yucatán". *Boletín de Monumentos históricos*, núm. 13: 16-26.

Ruiz Martín, María Cristina. 2007. "El uso del pixoy como fijativo de capas pictóricas pulverulentas al seco en pintura mural prehispánica. El caso de la Estructura 1 de Ek'Balam, Yucatán". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía.

___ , (comp. y ed.). 2020. "Informe final del Proyecto de salvamento, documentación, estudio, conservación, protección y difusión de la pintura mural, acabados pétreos y bienes culturales asociados a la Tumba 1 Loma Tendoma, Santiago Tillo, Nochixtlán, Oaxaca". México: Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural/Embajada de Suiza en México.

Sánchez Reyes, Gabriela. 2011. "La reedificación de las casas del mayorazgo Nava Chávez: materiales y práctica constructiva en la ciudad de México. 1704 y 1708". *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 22: 112-130.

Sandoval Zarauz, Beatriz. 2011. *Manual de conservación preventiva del antiguo convento de Tepoztlán*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Santaella, Yolanda. 2005. "Los sesentas y la restauración en Churubusco". *Restaura. Revista Electrónica de Conservación*. https://www.mener.inah.gob.mx/archivos/restaura_losesentas.pdf (consultado el 10 de abril de 2020).

Schávelzon, Daniel. 1990. *La conservación del patrimonio cultural en América Latina: restauración de edificios prehispánicos en Mesoamérica: 1750-1980*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires-Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas "Mario J. Buschiazzo".

Schnapp, Alain. 1993. *La conquête du passé. Aux origines de l'archéologie*. París: Éditions Carré.

Schneider Glantz, Renata (coord.). 2009. *La conservación-restauración en el INAH. El debate teórico*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Seminario Regional Latinoamericano de Conservación y Restauración (SERLACOR). 1973. "Conclusiones del Primer Seminario regional latinoamericano de conservación y restauración". En *1er Seminario Regional Latinoamericano de Conservación y Restauración. Documentos de trabajo*. México: Centro Regional Latinoamericano de Estudios para la Conservación y Restauración del Bienes Culturales.

Siller, Juan Antonio C. y Jaime Abundis Canales. 1985. "La casa del adelantado Francisco Montejo en Mérida". *Cuadernos de Arquitectura Virreinal*, núm. 1: 24-47.

Stanley-Price, Nicholas. 2009. "The Reconstruction of Ruins: Principles and Practice". En *Conservation. Principles, Dilemmas and Uncomfortable Truths*, Alison Richmond y Alison Bracker (eds.), 32-46. Londres: Butterworth-Heinemann/Victoria and Albert Museum.

___ . 2020. "La reconstrucción de ruinas: principios y práctica", *Conversaciones con…*, núm. 9: 25-36.

Stovel, Herb. 2008. "Origins and Influence of the *Nara Document on Authenticity*". APT *Bulletin*, vol. 39, núms. 2-3: 9-17.

Teutonico, Jeanne Marie, A. Elena Charola, Eddy de Witte, Gabriele Grassegger, Robert J. Koestler, Marissa Laurenzi Tabasso, H. R. Sasse y Rolf Snethlage. 1997. "Group Report: How Can We Ensure the Responsible and Effective Use of Treatments (Cleaning, Consolidation, Protection)?". En *Saving Our Architectural Heritage: The Conservation of Historic Stone Structures*, Norbert S. Baer y Rolf Snethlage (eds.), 293-313. Nueva York: John Willey and Sons Ltd.

Teutonico, Jeanne Marie, Iain McCaig, Colin Burns y John Ashurst. 1993. "The Smeaton Project: Factors Affecting the Properties of Lime-Based Mortars". APT *Bulletin*, vol. 25, núms. 3-4: 32-49.

Tokyo National Research Institute for Cultural Properties. 2021. *Attributes, A Way of Understanding* OUV. Tokio: Japan Center for International Cooperation in Conservation/Tokyo National Research Institute for Cultural Properties.

Torraca, Giorgio. 1982. "The Scientist's Role in Historic Preservation (with Particular Reference to Stone Conservation)". En *Conservation of Historic Stone Buildings and Monuments*, National Research Council, 13-21. Washington, D. C.: The National Academies Press.

___ . 1991. "The Application of Science and Technology to Conservation Practice". En *Science, Technology, and European Cultural Heritage: Proceedings of the European Symposium, Bologna, Italy, 13-16 June 1989*, Norbert

S. Baer, Cristina Sabbioni y André I. Sors (eds.), 221-232. Guildford: Butterworth-Heinemann.

___ . 1998. "I materiali e il restauro: il ritorno della calce". *Le dimore storiche*, año 14, núm. 3: 9-10.

Torraca, Giorgio y Giovanni Carbonara. 1984. "Materiali cementizi e tecnologie: scelta dei materiali in funzione del tipo d'intervento". En *Restoration and Cement in Architecture/Restauro e cemento in architettura*, vol. 2, Giovanni Carbonara (ed.), 174-180. Roma: Associazione Italiana Tecnico Economica del Cemento.

Toussaint, Manuel. 1938. "El Convento y la Iglesia de San Bernardo". *Arquitectura y Decoración. Órgano de la Sociedad de Arquitectos Mexicanos*, vol. II, núm. 7: 29-48.

Velasco Castelán, Thalía Edith. 2012. "La construcción y el valor del patrimonio documental en el marco legislativo e institucional mexicano (1914-2012)". Tesis de maestría. Heredia: Universidad Nacional.

Villaseñor Alonso, Isabel. 2003. "Estudio del deterioro de la piedra del Templo Viejo de Quetzalcóatl y una propuesta para su conservación". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional Conservación, Restauración y Museografía.

Wijesuriya, Gamini. 2010. "Conservation in Context". En *Conservation and Preservation. Interactions between Theory and Practice. In memoriam Alois Riegl (1858-1905). Proceedings of the International Conference of the* ICOMOS *International Scientific Committee for the Theory and the Philosophy of Conservation and Restoration. 23-27 April 2008 (Vienna, Austria)*, Michael S. Falser, Wilfried Lipp y Andrzej Tomaszewski (eds.), 233-247. Florencia: Edizioni Polistampa.

Wright Carr, David Charles. 1998. "Los acabados de los monumentos novohispanos y la petrofilia al final del siglo xx". En *La abolición del arte, XXI Coloquio Internacional de Historia del Arte*, Alberto Dallal (ed.), 143-180. México: Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Investigaciones Estéticas.

Zanchetti, Silvio, Lúcia Tone Ferreira Hidaka, Cecilia Ribeiro y Barbara Aguiar. 2009. "Judgement and Validation in the Burra Charter Process: Introducing Feedback in Assessing the Cultural Significance of Heritage Sites". *City and Time*, vol. 4, núm. 2: 47-53

Propuestas de normalización de criterios y metodología para la conservación de los materiales pétreos

Ana Laborde Marqueze[*]

Resumen

En este artículo se exploran varios documentos normativos y protocolos de trabajo emitidos por el Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE), la Asociación Española (AENOR) y el Comité Europeo de Normalización (CEN) en relación con la conservación de los materiales pétreos, con especial énfasis en las actuaciones de limpieza y estabilización de sales, ya que constituyen las fases más determinantes del proceso de intervención. Estas iniciativas ponen de manifiesto la importancia de sistematizar los procedimientos para lograr la calidad y las buenas prácticas en las actuaciones. Se presenta también una propuesta normalizadora de gestión de datos documentales, que incluye un registro gráfico georreferenciado. Se trata de un sistema colaborativo en el que han participado la World Monuments Fund y la Fundación Catedral Santa María de Vitoria para el proyecto de conservación del Pórtico de la Gloria en la catedral de Santiago de Compostela.

Palabras clave: conservación, restauración, materiales pétreos, norma, protocolo, limpieza

Abstract

This text explores different normative documents and work protocols issued by the Spanish Institute of Cultural Heritage, the Spanish Association for Standardization, and the European Committee for Standardization, related to the treatment of stone materials, with emphasis

[*] Instituto del Patrimonio Cultural de España, Ministerio de Cultura y Deporte

on cleaning methods and stabilization of salts, considering that they constitute the most decisive phases of the intervention process. These initiatives highlight the importance of systematizing procedures to achieve quality and good practices in intervention treatments. A documentary data management initiative that includes a georeferenced graphic record is also presented. The result is a collaborative system in which the World Monuments Fund and the Santa María de Vitoria Cathedral Foundation have participated for the Pórtico de la Gloria project.

Keywords: conservation, restoration, stone materials, standard, protocol, cleaning

INTRODUCCIÓN

Los materiales pétreos son muy variados; componen edificios, conjuntos monumentales, esculturas y pequeños objetos prehistóricos sometidos todos ellos a una serie de procesos de deterioro como consecuencia de su tendencia natural a restablecer el equilibrio entre las rocas y su entorno. Además de esta variabilidad, la epidermis de la piedra guarda el registro de los eventos, naturales o intencionados, acaecidos desde su puesta en obra, pero no todos tienen la misma consideración desde el punto de vista de su conservación. Algunos vestigios señalan las intervenciones aplicadas, nos transmiten su historia material (acabados, decoraciones, inscripciones, restauraciones, etcétera), y su documentación y conservación son determinantes para comprender las transformaciones que han sufrido a lo largo del tiempo, así como el estado en que se encuentra la obra en nuestros días (véanse las figuras 1 y 2).

El momento de la intervención y todas sus fases serán, por tanto, decisivos y constituirán una oportunidad única para profundizar en el conocimiento de la obra y documentarla en todos sus aspectos, independientemente del alcance del proyecto. Por este motivo, cuando nos planteamos una actuación de conservación-restauración, debemos considerar una serie de objetivos generales:

- Procurar la estabilización de los materiales y la remoción de elementos "no deseados" que generen daño y/o impi-

Figura 1. Estado de conservación de una portada medieval afectada por procesos de erosión y disolución. Fotografía: IPCE.

Figura 2. Alteración de las pátinas aplicadas sobre un capitel. Fotografía: IPCE.

dan el reconocimiento de la obra. Es necesario definir cuáles son esos elementos en cada situación.
- Llevar a cabo una intervención restauradora mínima, orientada en todos los casos hacia la conservación preventiva.
- Procurar la compatibilidad, estabilidad y retratabilidad de los materiales añadidos.
- Tener en cuenta la diversidad, heterogeneidad e inestabilidad de las superficies.
- Emplear en todos los casos procesos controlados, selectivos y precisos.
- Utilizar sistemas que permitan evaluar los procesos durante todo el desarrollo de la intervención.
- Emplear una metodología de trabajo científica y contrastada.
- Sistematizar los procedimientos para procurar la unificación terminológica y un lenguaje común entre los profesionales.
- Documentar de manera exhaustiva todos los procesos.
- Facilitar la accesibilidad, el uso y el disfrute de la sociedad, pues las personas y las comunidades son las depositarias últimas de nuestro trabajo, por encima de la materialidad de los bienes a conservar.

ANTECEDENTES

Aunque los criterios generales de intervención y la metodología de trabajo a seguir están descritos con detalle en cartas y documentos emitidos por las instituciones y los organismos internacionales que velan por la conservación del patrimonio cultural, cada actuación precisa de una reflexión propia y un diseño específico. Además, muchos conceptos y enunciados son susceptibles de interpretaciones diversas, lo que da pie a intervenciones controvertidas que pueden suponer la devaluación o incluso la destrucción de los bienes.

Ante esta situación, los profesionales de la conservación-restauración demandábamos un documento de consenso que estableciera unos requisitos mínimos a la hora de plantear los trabajos y aplicar los trata-

mientos; unos lineamientos que pudiéramos incluir en los proyectos al contratar empresas y hacerlos valer desde las direcciones de obra para frenar las actuaciones abusivas y poco respetuosas con nuestro patrimonio.

La primera iniciativa desarrollada fue el documento de "Criterios de intervención en materiales pétreos", publicado en 2003 por el entonces denominado Instituto del Patrimonio Histórico Español (IPHE), coordinado por José María Losada Aranguren y Rosa María Esbert Alemany. El texto se presentó en 2004, en México, durante una mesa de trabajo con expertos coordinada por Salvador Aceves, del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), y Luis Torres, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con el objetivo de enriquecerlo con la experiencia de ese país y como un primer paso para su difusión en Iberoamérica.

El texto no llegó a editarse y el proyecto de internacionalización no pudo materializarse; no obstante, en España tuvo una gran acogida entre los profesionales y puso de manifiesto la importancia de sistematizar los procedimientos. Resultó una herramienta muy útil para promover unos criterios de intervención y una metodología de trabajo acordes con las recomendaciones de las cartas, además de formular un lenguaje común y facilitar el diálogo entre los agentes implicados en la conservación del patrimonio cultural (véase la figura 3).

Figura 3. Examen superficial de elementos escultóricos. Fotografía: IPCE.

Organismos normalizadores

Más adelante surgieron otras iniciativas y textos normalizadores promovidos por la Asociación Española de Normalización (AENOR 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2015e, 2015f, 2016, 2017, 2018a, 2018b, 2019, 2020),[1] que no sólo elabora sus propias normas UNE, sino que también traduce y difunde los estándares europeos emitidos por el Comité Europeo de Normalización (CEN), una organización sin ánimo de lucro integrada por treinta y tres países, que cuenta con cuatrocientos sesenta millones de miembros y más de sesenta mil profesionales expertos, entre federaciones de negocios, consumidores y otras organizaciones sociales. Su objetivo principal es promover el mercado único europeo y la economía global. Estas normas contribuyen a:

- Promover un criterio científico común y unificado frente a la conservación del patrimonio cultural.
- Armonizar y consensuar las metodologías y los procedimientos.
- Crear redes y fomentar el intercambio de información entre los profesionales.
- Desarrollar una herramienta útil para el ejercicio de la profesión, tanto en la investigación como en las actuaciones sobre los bienes.
- Poner a punto los sistemas científicos de identificación de materiales y alteraciones.
- Validar los productos, los métodos y las tecnologías para la intervención.

El CEN se organiza mediante grupos de trabajo, y existe uno específico para la "Evaluación de los métodos y productos de conservación de materiales inorgánicos porosos que conforman el patrimonio cultural", coordinado por el investigador italiano Vasco Fassina, que se encarga de elaborar los estándares relacionados con el tratamiento de estos mate-

[1] Menciono tan sólo los documentos relacionados con el proceso de restauración, pues existen numerosas normas sobre métodos de ensayo en el laboratorio, como la determinación de la permeabilidad al vapor de agua, la absorción de agua por capilaridad, la absorción de agua por el método de la pipeta, sobre prestaciones de los productos hidrófugos, de propiedades del secado, etcétera.

riales que luego son traducidos por las asociaciones normalizadoras de cada país.

Proyecto Coremans y Planes Nacionales de Patrimonio Cultural

En 2012, el IPCE puso en marcha el proyecto Coremans, "un esfuerzo colectivo para actualizar y renovar los criterios y métodos de intervención sobre los bienes culturales",[2] al que se sumó más tarde la Red Técnica de Institutos de Patrimonio y Centros de Conservación de España. Su objetivo es redactar documentos de criterios y métodos de actuación en los diversos campos de la conservación de los bienes culturales, que sean referencia para el quehacer de otras instituciones, empresas y profesionales. Los grupos de trabajo encargados de su desarrollo están integrados por técnicos de los institutos de la Red y por especialistas independientes que revisan los documentos existentes, formulan criterios de actuación, describen la metodología de intervención y evalúan las técnicas para señalar las más adecuadas en cada caso.

La primera publicación de la serie es la revisión y actualización de los *Criterios de intervención en materiales pétreos* (Laborde 2013). El texto fue promovido como norma "UNE 41810:2017. Conservación del Patrimonio Cultural. Criterios de intervención en materiales pétreos" (AENOR 2017) y abarca el marco normativo, las consideraciones y recomendaciones generales, así como la descripción de las fases de una actuación: documentación, investigación, diagnóstico, elaboración de la propuesta, sistemas de limpieza, desbiotización, desalinización, consolidación, rejuntado, reintegración, sustitución, protección, hidrofugación, conservación preventiva y mantenimiento. Como anexo, se incluye un glosario ilustrado y descriptivo de términos sobre los indicadores de deterioro, coordinado por el Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, que es una actualización y adaptación a los materiales de nuestro país del glosario publicado por el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS, por sus siglas en inglés), en 2011. Otros títulos de interés sobre el tema que nos ocupa son los documentos de *Criterios*

[2] Llamado así en homenaje a Paul Coremans, científico y conservador belga, designado en 1961 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) para llevar a cabo una misión en nuestro país, que dio origen al primer Instituto de Conservación siguiendo los modelos europeos.

Figura 4. Limpieza mecánica de un sillar. Fotografía: IPCE.

de intervención en retablos y escultura policromada (Ceballos 2017) y *Criterios de intervención en la arquitectura de tierra* (Mileto y Vegas 2017), que complementan aspectos metodológicos y de actuación.[3]

En estos años, en el IPCE se implementan también los Planes Nacionales de Patrimonio Cultural, instrumentos de gestión compartidos por las diversas administraciones autonómicas en los que participan otras entidades públicas y privadas. Su objetivo es formular criterios de actuación y métodos de intervención comunes, con un carácter interdisciplinario y transversal, para hacer posible la programación coordinada de actividades y proyectos, así como establecer prioridades en función de las necesidades del patrimonio en cada territorio (véase la figura 4).

Otros documentos de referencia

Se han emitido, asimismo, estándares que complementan los anteriormente mencionados. Considerando que los tratamientos de limpieza y estabilización de sales son las fases más determinantes del proceso de intervención, destacamos la norma "UNE-EN 16782:2018. Conservación del Patrimonio Cultural. Limpieza de materiales inorgánicos porosos. Técnicas de limpieza láser para el patrimonio cultural" (AENOR 2018b), que describe de manera pormenorizada los requisitos a tener en cuenta

[3] Todos los documentos del proyecto Coremans incluyen un glosario de términos con sus equivalencias en varias lenguas.

cuando utilizamos equipos láser para la limpieza de los soportes pétreos. Consta de los siguientes apartados:

- Introducción.
- Objeto y campo de aplicación.
- Normas relacionadas para consulta.
- Términos y definiciones.
- Símbolos y abreviaturas.
- Características del sistema láser para la limpieza: generalidades, longitud de onda, duración del pulso, régimen de la emisión pulsada, estabilidad de la emisión, sistema de transmisión de la radiación, pieza de mano, zona irradiada, sistema de focalización.
- Ensayos preliminares para la selección de los parámetros de uso: establecimiento de la distancia de trabajo y de la superficie del área irradiada, duración de la radiación (en función de la frecuencia y la fluencia) y variación de la energía de salida para el siguiente ensayo.
- Modelo de informe del ensayo de limpieza, con la descripción de las características del equipo, los parámetros seleccionados y la documentación gráfica correspondiente.
- Anexos informativos sobre parámetros, efectos dañinos, seguridad y salud.
- Bibliografía.

Otra norma europea de gran utilidad, que completa y actualiza el documento Coremans, es la "UNE-EN 17138:2019. Conservación del Patrimonio Cultural. Métodos y materiales para la limpieza de materiales inorgánicos porosos" (AENOR 2019), que establece una serie de requisitos para estos tratamientos, entre los que destacan:

- Los sistemas de limpieza deben buscar un equilibrio
- entre la eficacia y el riesgo.
- No deben provocar reacciones químicas.
- No deben generar residuos.
- No deben ocasionar daños fisicomecánicos.
- Deben respetar la superficie original y los acabados y/o decoraciones.

- Deben mantener y, si es posible, recuperar la topografía superficial, sin caer en reinterpretaciones.
- No deben poner en riesgo la seguridad de las personas ni del medio ambiente ni del patrimonio cultural.
- Los sistemas a utilizar pueden ser variados para adaptarse a las necesidades de cada zona.
- Los depósitos que no se puedan eliminar de forma segura no se retirarán, sin que por ello pueda considerarse un tratamiento fallido.
- Los tratamientos deben ser controlados y evaluables.
- Los ensayos preliminares y su valoración científica son un requisito imprescindible en todas las intervenciones.

En el texto se describen las opciones de tratamientos, sus especificaciones técnicas, los parámetros a considerar, así como las ventajas y desventajas de cada sistema, con ejemplos de aplicación y recomendaciones relativas a la seguridad y la salud, tanto para el entorno como para las personas y los usuarios. Los procedimientos se clasifican en cuatro grupos:

- Limpieza acuosa (nebulizada, con *spray* a baja presión, con compresas absorbentes, mediante inyección-extracción, con vapor de agua).
- Limpieza mecánica (con microproyección en seco o en húmedo, con esponjas abrasivas, criogénica con hielo seco, mediante sistemas de pelado).
- Limpieza química (con disolventes orgánicos, con soluciones acuosas o mediante formulaciones, pudiendo emplear agentes quelantes, surfactantes, espesantes y resinas intercambiadoras de iones). Se incluyen también los tratamientos biocidas y las biolimpiezas.
- Limpieza física con equipos láser.

Se incluyen varios anexos complementarios sobre poulticidas acuosos, materiales abrasivos, parámetros de solubilidad de los disolventes orgánicos, sustancias alcalinas y ácidas, agentes quelantes y surfactantes (véase la figura 5).

Figura 5. Pruebas de limpieza. Fotografía: IPCE.

Evaluación de tratamientos

Otra iniciativa que merece destacarse es el "Protocolo de evaluación del riesgo para la intervención en conjuntos escultóricos de piedra policromada", promovida por el IPCE en el marco de los trabajos de conservación y restauración del Pórtico de la Gloria y del Plan Nacional de Investigación en Conservación (PNIC). Con la colaboración de diversas instituciones y empresas para su implementación, el objetivo principal era diseñar una herramienta sencilla y práctica para valorar los tratamientos aplicados a los soportes pétreos con presencia de decoraciones y controlar a lo largo de toda la intervención la eficacia y el riesgo de los sistemas propuestos. El documento desarrolla la metodología de trabajo enunciada en el proyecto Coremans y la norma "UNE 41806:2009. Conservación de edificios. Limpieza de elementos constructivos" (AENOR 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2015e, 2015f), que facilita el control de calidad y promueve las buenas prácticas. El texto está en vías de adoptarse como norma nacional y europea.

Los trabajos llevados a cabo en el Pórtico de la Gloria y en otros conjuntos de piedra policromada han puesto de manifiesto la importancia de coordinar la actividad entre los restauradores y los investigadores, tanto en la obra como en el laboratorio, para hacer una evaluación correcta de los tratamientos seleccionados. Se plantea por este motivo un método de control de la eficacia y el riesgo de los sistemas en fases progresivas –la primera en obra, que puede llevarla a cabo el propio restaurador y

completarla en una segunda fase en el laboratorio. Se ha constatado además lo indispensable de la asistencia científica y el seguimiento durante todo el proceso de intervención, debido a la variabilidad y heterogeneidad de las condiciones de conservación de este tipo de soportes. El documento resultante de este proyecto se ha centrado en los tratamientos de limpieza y fijación; no obstante, sería necesario seguir elaborando protocolos y evaluaciones de otras fases determinantes de las actuaciones, como la consolidación y los tratamientos de protección.

Sistematización documental

La intervención en la catedral de Santiago de Compostela permitió asimismo la puesta a punto de una base de datos colaborativa de código abierto denominada Sandstone, Heritage Documentation Software (Koroso 2017). Se trata de un programa creado por la World Monuments Fund y desarrollado por la Fundación Catedral Santa María de Vitoria, con el fin de crear una herramienta común para la documentación del patrimonio cultural.

El programa almacena la documentación gráfica y alfanumérica (formularios, ortoimágenes y polígonos) en las bases de datos espaciales PostgreSQL y PostGIS, gestiona la introducción y la edición de todos estos datos, y los clasifica por proyectos y objetos a los que se asignan los archivos de texto y gráficos. Estas acciones permiten realizar búsquedas temáticas sin perder la visión integral de la obra. La aplicación se está empleando para documentar diversos conjuntos monumentales, aunque en cada caso resulta necesario hacer un ajuste a partir de las fichas diseñadas para cada elemento y los campos genéricos preestablecidos sobre materiales, decoraciones, técnicas, indicadores de deterioro y tratamientos (véanse las figuras 6 y 7).[4]

CONCLUSIONES

A la vista de lo expuesto anteriormente y con base en la experiencia derivada del desarrollo de proyectos y actuaciones sobre materiales

[4] El tutorial de la aplicación puede verse en "Santiago Library. Resumen general de la aplicación", http://bit.ly/2SiVfFH.

Figura 6. Ortofoto para registro de documentación. Fotografía: IPCE.

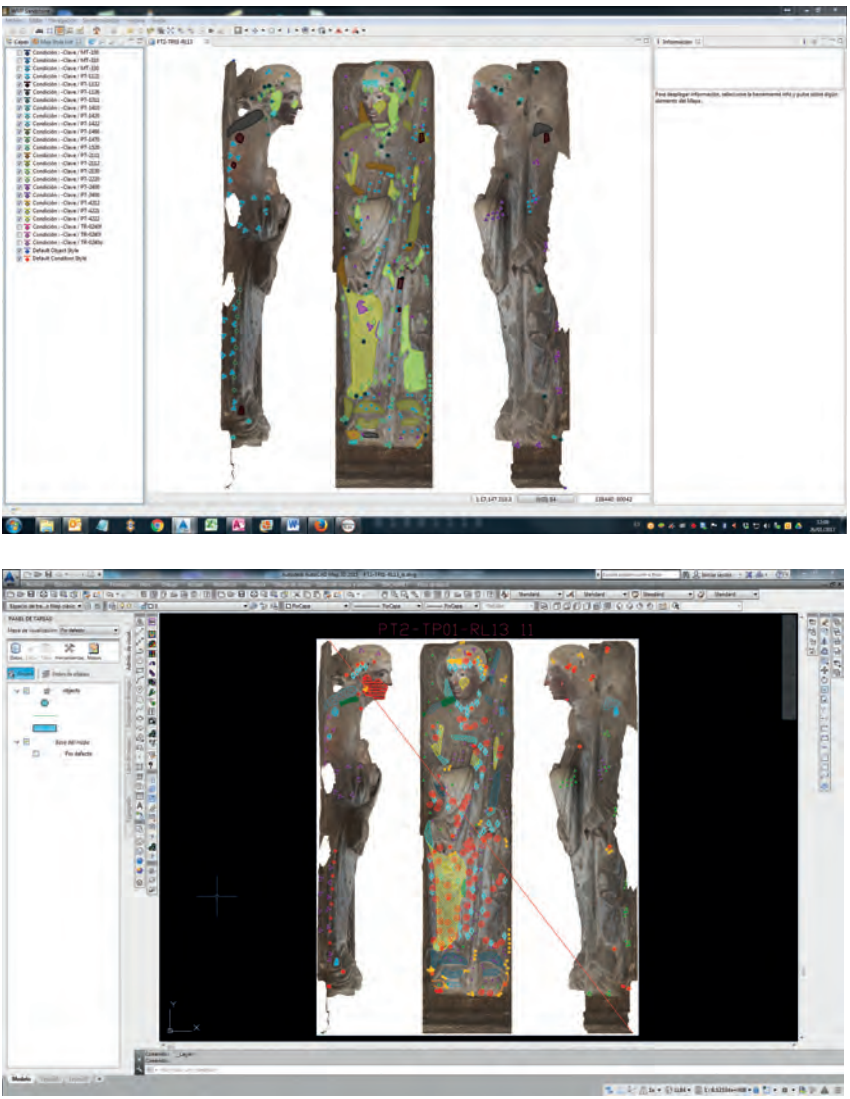


Figura 7. Sandstone HDS. Ficha de indicadores de deterioro en un elemento escultórico. Fotografía: Programa Catedral.

pétreos integrantes, tanto del patrimonio mueble como asociado a edificaciones, podemos enunciar una serie de conclusiones:

- La sistematización de los procedimientos es necesaria, ya que contribuye al control de la calidad y a las buenas prácticas en las intervenciones.
- El empleo de estándares y normas es una herramienta de utilidad que permite el empleo de un lenguaje común entre los técnicos y fomenta la transferencia del conocimiento.
- Las normas son documentos abiertos que precisan ser actualizados y completados de manera periódica.
- Es fundamental desarrollar protocolos de trabajo que puedan aplicarse de forma sencilla y universal, adaptándose a los recursos de cada proyecto, y que permitan evaluar los tratamientos seleccionados durante todo el proceso de intervención, mediante un trabajo en equipo de restauradores con investigadores.
- En necesaria una mayor comunicación y puesta en común entre los profesionales de la conservación mediante la convocatoria de foros de debate.

BIBLIOGRAFÍA

Alonso, Francisco Javier, Jorge Ordaz y Rosa María Esbert. 2013. "Indicadores del deterioro en los materiales pétreos de edificación. Clasificación y análisis de los daños". En *Proyecto Coremans. Criterios de intervención en materiales pétreos*, Ana Laborde Marqueze (coord.), 111-142. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

Asociación Española de Normalización (AENOR). 2020. "UNE-EN 15898:2020. Conservación del patrimonio cultural. Principales términos generales y definiciones". Madrid: Asociación Española de Normalización.

___ . 2015a. "UNE 41806-1:2009. Conservación de edificios. Limpieza de elementos constructivos. Parte 1: Clasificación de los métodos de limpieza". Madrid: Asociación Española de Normalización.

___ . 2015b. "UNE 41806-2:2009. Conservación de edificios. Limpieza de elementos constructivos. Parte 2: Técnicas de limpieza con agua". Madrid: Asociación Española de Normalización.

___ . 2015c. "UNE 41806-3:2009. Conservación de edificios. Limpieza de elementos constructivos. Parte 3: Técnicas de limpieza mecánica". Madrid: Asociación Española de Normalización.

___ . 2015d. "UNE 41806-4:2009. Conservación de edificios. Limpieza de elementos constructivos. Parte 4: Técnicas de limpieza con láser". Madrid: Asociación Española de Normalización.

___ . 2015e. "UNE 41806-5-1:2009. Conservación de edificios. Limpieza de elementos constructivos. Parte 5-1: Técnicas de limpieza química. Aplicación en forma de solución". Madrid: Asociación Española de Normalización.

___ . 2015f. "UNE 41806-5-2:2009. Conservación de edificios. Limpieza de elementos constructivos. Parte 5-2: Técnicas de limpieza química. Aplicación en forma de apósitos". Madrid: Asociación Española de Normalización.

___ . 2016. "UNE-EN 16455:2016. Conservación del patrimonio cultural. Extracción y determinación de sales solubles en la piedra natural y materiales afines utilizados en el patrimonio cultural". Madrid: Asociación Española de Normalización.

___ . 2017. "UNE 41810:2017. Conservación del Patrimonio Cultural. Criterios de intervención en materiales pétreos". Madrid: Asociación Española de Normalización.

___ . 2018. "UNE-EN 16085:2014. Conservación del patrimonio cultural. Metodología para la toma de muestras de materiales del patrimonio cultural. Reglas generales". Madrid: Asociación Española de Normalización.

___ . 2018. "UNE-EN 16782:2018. Conservación del Patrimonio Cultural. Limpieza de materiales inorgánicos porosos. Técnicas de limpieza láser para el patrimonio cultural". Madrid: Asociación Española de Normalización.

___ . 2019. "UNE-EN 17138:2019. Conservación del Patrimonio Cultural. Métodos y materiales para la limpieza de materiales inorgánicos porosos". Madrid: Asociación Española de Normalización.

___ . 2020. "UNE-EN 15886:2011. Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición del color de superficies". Madrid: Asociación Española de Normalización.

Ceballos Enríquez, Laura (coord.). 2017. *Proyecto Coremans. Criterios de intervención en retablos y escultura policromada*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

Consejo Internacional de Monumentos y Sitios-International Scientific Committee for Stone (ICOMOS-ISCS). 2011. *Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns. Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra*. París: Consejo Internacional de Monumentos y Sitios.

Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE). S. f. "Planes Nacionales de Patrimonio Cultural". http://www.culturaydeporte.gob.es/planes-nacionales/inicio-recuperar.html (consultado el 20-10-2019).

Koroso, Iñaki. 2017. "Sandstone, Heritage Documentation Software. Aplicación a la restauración del Pórtico de la Gloria de la catedral de Santiago de Compostela". En *La ciencia y el arte. VI. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio*, Miriam Bueso (dir.), 208-220. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

Laborde Marqueze, Ana (coord.). 2013. *Proyecto Coremans. Criterios de intervención en materiales pétreos*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

Laborde Marqueze, Ana, Livio Ferrazza, María Antonia García Rodríguez, Consuelo Ímaz Villar, Noelia Yanguas Jiménez, Pedro Pablo Pérez García y Andrés Sánchez Ledesma. 2020. "Protocolo de evaluación del riesgo para la intervención de limpieza en conjuntos escultóricos en piedra policromada". En *La ciencia y el arte. VII. Ciencias y tecnologías aplicadas a la conservación del patrimonio*, 504-526. Madrid: Ministerio de Cultura y Deporte.

Losada Aranguren, José María y Rosa María Esbert Alemany (coords.). 2003. *Bienes Culturales. Revista del Instituto del Patrimonio Histórico Español*, núm. 2: "Criterios de intervención en materiales pétreos". Madrid: Ministerio de Cultura y Deporte.

Mileto, Camila y Fernando Vegas López-Manzanares (coords.). 2017. *Proyecto Coremans. Criterios de intervención en la arquitectura de tierra*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

La relación entre teoría, metodología y normativa en la conservación de los Asentamientos Cacicales del Diquís, Costa Rica

Isabel Medina-González[*]
Javier Fallas Fallas[**]

Resumen

En junio de 2019 concluyó la intervención de conservación del empedrado y la esfera A del sitio arqueológico El Silencio, el monumento escultórico en piedra de origen precolombino de mayores dimensiones en Costa Rica, que forma parte del conjunto de Asentamientos Cacicales Diquís (ACD), Patrimonio de la Humanidad, en el sur de Costa Rica. En este capítulo se analizan la concepción teórica, la metodología y las normas que han primado en la conservación arqueológica de los ACD. Se discuten las nociones de varios documentos normativos en torno al criterio de integridad, incorporado a las perspectivas conceptuales de la conservación, los procedimientos de diagnóstico de conservación y, en concreto, a la toma de decisiones y la ejecución de tratamientos durante la colaboración entre el Museo Nacional de Costa Rica y la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía de México.

Palabras clave: conservación, Diquís, piedra, integridad, criterios

Abstract

June 2019 witnessed the conclusion of the intervention for the conservation of the cobblestone pathway and Sphere 1 of the El Silencio archaeological site, the largest sculptural stone monument of Pre-Columbian origin in Costa Rica, which is part of the set of Diquís

[*] Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, INAH
[**] Museo Nacional de Costa Rica

Chiefdom Settlements (DCS) declared World Heritage Cultural Properties. This chapter seeks to analyze the theoretical conception, methodology, and criteria that have been applied in the archaeological conservation of the DCS, and particularly in the El Silencio archaeological site. The discussion focuses on the notions raised by various normative documents regarding the criterion of integrity, which was incorporated into the conceptual perspectives of conservation, in the procedures of conservation diagnosis and, specifically, in decision-making and execution of intervention treatments carried out during this international collaboration initiative between the National Museum of Costa Rica and the National School of Conservation, Restoration and Museography of the National Institute of Anthropology and History of Mexico.

Keywords: conservation, Diquis, stone, integrity, criteria

INTRODUCCIÓN

Algunas definiciones del campo o la disciplina de la conservación y la restauración se construyen en referencia al objeto de atención, su finalidad y hasta sus métodos, como lo formuló Cesare Brandi (1963) en su *Teoría del restauro*, obra que describe la restauración como cualquier intervención dirigida a devolver la eficiencia a un producto de la actividad humana, y la restauración de la obra de arte como el momento metodológico de su reconocimiento en su doble polaridad estética e histórica.

Este enfoque, basado en el objeto, los propósitos y los procedimientos, fue adoptado por la "Carta de Burra" (2013), que no sólo se refiere a la conservación como "todos los procesos de cuidado a un lugar que sirven para mantener su relevancia cultural", sino también ofrece una guía metodológica para lograr ese cometido. Un texto más reciente, denominado "A Brief Guide to the Principles of Archaeological Conservation" (ICON Archaeology Group 2009), también parte de las intenciones para definir la conservación arqueológica, que "investiga y ayuda a preservar la evidencia inherente en los restos excavados del pasado".

Estos documentos acompañan las definiciones con una declaratoria de principios y criterios. La finalidad de este cuerpo normativo es gobernar,

normar, fundamentar o dirigir la práctica de la conservación-restauración. Debido a su naturaleza regulatoria, proponemos que los principios y criterios constituyen no sólo una forma de "hacer", sino también de concebir, construir y constituir la conservación-restauración. Los aspectos conceptuales derivados de la teoría, el posicionamiento metodológico y la orientación normativa aparecen como ámbitos interrelacionados al momento de pensar y actuar la conservación-restauración.

A partir de esta interrelación, en este capítulo se analizan la concepción teórica, la metodología y las normas que han primado en la conservación arqueológica de los Asentamientos Cacicales del Diquís (ACD), en particular de la esfera A y el sitio arqueológico El Silencio. El Proyecto de Conservación Arqueológica Integrada de los ACD es una iniciativa de colaboración, desde hace ocho años, entre el Museo Nacional de Costa Rica (MNCR) y la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía (ENCRYM), del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), de México. Hemos delimitado la discusión a un solo criterio normativo, la integridad, incorporado a las perspectivas conceptuales de la conservación, los procedimientos de diagnóstico de conservación y los tratamientos de intervención.

EL CASO DE ESTUDIO

El Delta del Diquís, en el sureste de la actual República de Costa Rica, comprende un territorio aluvial de 500 km^2 de gran diversidad y riqueza ecológica. Estas condiciones han favorecido la ocupación humana desde el 1500 a. C., hasta nuestros días. Mucha de la arqueología de este territorio se ha centrado en comprender la gestación y el desarrollo de los ACD, un conjunto de sitios precolombinos que se establecieron en las planicies y terrazas aluviales entre 10 y 80 msnm, y florecieron en los periodos Aguas Buenas (300 a. C.-800 d. C.) y Chiriquí (800-1500 d. C.) (MNCR 2017: 13-20). Producto del crecimiento, la complejidad y la jerarquización de las poblaciones aldeanas, los ACD se caracterizan por la presencia de arquitectura formalizada hecha en piedra (cantos rodados de río o calizas) y esculturas en piedra en gran formato, como figuras zoomorfas y antropomorfas, y notorias esferas, elaboradas en diversos tipos de roca, por ejemplo, gabro, gabrodiorita, arenisca y caliza (MNCR 2017: 13-20).

El "descubrimiento arqueológico" de los ACD y sus esferas se remonta a la década de 1930, un momento de gran transformación del territorio Diquís, que hasta entonces había permanecido marginado del desarrollo de la Costa Rica colonial e histórica. Justo en la coyuntura generada por la construcción de infraestructura para el cultivo extensivo de banano, por parte de la United Fruit Company, Doris Stone (1943; 1958) y Samuel Lothrop (1963) registraron y documentaron parte de la arquitectura de los ACD y reportaron el hallazgo de objetos en cerámica, oro, piedra y esferas (véase la figura 1). Desde ese momento, las esferas del Diquís ganaron notoriedad, lo que en ocasiones significó su movilización y la consecuente descontextualización (Corrales y Badilla 2015: 57). Durante la segunda mitad del siglo XX, las esferas del Diquís fueron objeto de fama y orgullo nacional, pero destaca que se consolidaron en el imaginario colectivo como piezas ajenas a los asentamientos arqueológicos de los que proceden.

A partir de la década de 1970, el gobierno de Costa Rica, por medio del MNCR, asumió la responsabilidad de estudiar, proteger y conservar los ACD y sus esferas, bajo el amparo del marco jurídico nacional (MNCR 2017). Desde entonces, se han desarrollado proyectos de investigación arqueológica en la región del Diquís. Destacan los estudios prospectivos de Quintanilla (1992), que condujeron al descubrimiento de la esfera de mayores dimensiones del Diquís, de 2.6 m de diámetro y más de 26 toneladas, conocida como la esfera A del sitio El Silencio. Desde 2000, Corrales y Badilla (2015) coordinaron una serie de excavaciones en los sitios, incluyendo El Silencio. Adyacente a la esfera, encontraron un empedrado de cantos rodados de río y piedras calizas, de aproximadamente 12 m de largo y de 1.5 a 2 m de ancho, asociado a usos restringidos de tipo cívico y ceremonial (Corrales y Badilla 2012: 54, 68).[1]

A la par, y desde la década de 1990, el Departamento de Protección de Patrimonio Cultural (DPPC) del MNCR asumió la catalogación, la custodia y el cuidado de una colección considerable de esferas precolombinas ubicadas en los acervos y espacios de exhibición del propio museo, y en espacios públicos del sureste del país. Como parte de esta labor, su

[1] Corrales y Badilla (2015: 24, 54) definieron los límites espaciales y temporales de la antigua área de ocupación de El Silencio, de al menos veinte hectáreas, vinculada a los periodos Aguas Buenas (300 a. C.-800 d. C.) y Chiriquí (800-1550 d. C.)

Figura 1. Remoción de esferas de piedra en la construcción de infraestructura para el cultivo de banano por la United Fruit Company, a mediados del siglo XX*, en la zona sur de Costa Rica. Fotografía: Thomas Dunn (tomada de Stone 1943: 76).*

personal ha emprendido campañas de recuperación, catalogación, rescate y mantenimiento de esferas. Una de las iniciativas más destacadas, que demuestra el ligamen de las esferas con los pueblos indígenas del Diquís, tuvo lugar en 2011, cuando el MNCR atendió las gestiones del Museo Comunitario Boruca para un convenio de traslado y custodia de esferas, petición que se enmarca en el ya largo proceso de emancipación del territorio indígena de Boruca-Térraba. Durante la ceremonia de entrega y recepción de los monumentos, en 2013, se habló del "retorno de las abuelas", y una lideresa boruca declaró: "Hemos recuperado el 100% de nuestra propia identidad, ya que [las esferas] fueron elaboradas por manos de nuestros antepasados" (Representantes de los Museos Comunitarios 2016: 258).

Estos datos sirven para plantear un punto importante: las esferas y los ACD son parte de un sistema patrimonial territorial y cultural amplio, en el que se interceptan variables geográficas, históricas, arqueológicas, sociales, culturales y simbólicas, algunas veces de manera interdependiente, que

Figura 2. Ubicación de los Asentamientos Cacicales Diquís con esferas de piedra declarados patrimonio de la humanidad. Imagen: Francisco Corrales, 2017.

se desprenden de su historia y se manifiestan con energía en la actualidad. Conservar este sistema patrimonial de forma íntegra es un gran desafío teórico, metodológico y práctico para la disciplina de la conservación-restauración.

Los primeros pasos definitivos para comprender y tratar este sistema patrimonial se registraron en el expediente de candidatura a la Lista de Patrimonio Mundial de los sitios arqueológicos Finca 6, Batambal, Grijalba-2 y El Silencio, elaborado en 2013 (Corrales y Badilla 2015: 20) (véase la figura 2). Sin embargo, la inscripción lograda en 2014 detonó que el MNCR y la ENCRYM trazaran los planteamientos metodológicos para la conservación de los ACD, en particular para atender su arquitectura y las esferas *in situ*.

En esta coyuntura también se unieron arqueólogos y conservadores costarricenses en capacitación. Las temporadas de 2017 y 2018 se dedicaron a tareas de diagnóstico del estado de conservación de las esferas de Finca 6 y El Silencio, al mismo tiempo que se afinaron algunos aspectos normativos para su intervención. Los criterios de actuación se consolidaron y aplicaron en marzo de 2019, cuando se llevó a cabo la intervención del sitio arqueológico de El Silencio y su esfera A, que constituyó un hito en la conservación arqueológica de Costa Rica (Medina-González *et al.* 2019). Hoy queremos exponer y someter a discusión algunas de nuestras bases de teoría, metodología y normativa.

REVISIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS CONCEPTOS, LA METODOLOGÍA Y LA NORMATIVA PARA CONSERVACIÓN DE LOS ASENTAMIENTOS CACICALES DIQUÍS

Desde la elaboración del expediente de nominación de los ACD, se ha trabajado en la conceptualización de su demarcación y conservación. El proceso ha sido consecuente con un proceso paulatino de afinación y apertura. En un comienzo, los ACD se definieron con base en la delimitación de los sitios arqueológicos; sin embargo, esta concepción ha transitado al complejo sistema patrimonial, que comprende una escala territorial y humana. La conservación de los ACD fue comprendida como una serie de estrategias dirigidas a preservar su materialidad y sus valores.

Conforme la concepción del sistema patrimonial adquirió complejidad, su dimensión material y valorativa, así como las estrategias dirigidas a su conservación y manejo, evolucionaron. Un momento clave en el proceso de planeación estratégica, por lo tanto, en la concepción teórica-metodológica, fue la elaboración del Plan de Manejo de los Asentamientos Cacicales Diquís (MNCR 2017), en 2015. Este documento estableció un marco conceptual que delimitó el ámbito de atención: el territorio Diquís. Su estructura se definió a partir de las orientaciones desarrolladas por el "Plan de Acción para el Patrimonio Mundial en América Latina y El Caribe 2014-2024" (UNESCO 2014) y abarcó cinco líneas estratégicas: credibilidad, conservación, capacitación, comunicación y comunidad.

Sobre esta base se diseñaron varios programas, incluyendo el de conservación. En sintonía con la estrategia de credibilidad, el Programa de Conservación estableció una metodología general de ocho fases: *1)* documentación y valoración; *2)* diagnosis; *3)* investigación (en materialidad, alteraciones y materiales de intervención); *4)* toma de decisiones; *5)* atención preventiva; *6)* intervención curativa, correctiva e interpretativa; *7)* monitoreo, y *8)* mantenimiento, revisión y ajuste. Con referencia en normas internacionales, nacionales y mexicanas ("Carta de Venecia" 1964; "The Laussane Charter" 1990; "Carta de Burra" 2013; INAH 2014; Medina-González *et al.* 2009), se establecieron algunos principios rectores, a saber:

- La conservación se realizará mediante el proceso metodológico definido y se basará en el trabajo de un equipo interdisciplinario, con la finalidad de contribuir a la comprensión, preservación y transmisión de los valores de los ACD.
- Las decisiones de conservación se fundamentarán en la experiencia, los saberes, los juicios y la pericia de profesionales especializados en la materia.
- La conservación del patrimonio cultural dará preferencia a las acciones preventivas sobre las curativas, correctivas o directas.
- Todas las acciones de conservación habrán de documentarse y se procurará que sus resultados sean socializados, publicados y difundidos.
- Todas las acciones de conservación habrán de realizarse con la más alta calidad posible.
- Todas las acciones ejecutadas habrán de ser socialmente responsables y, de preferencia, propiciar la capacitación y proceder con esquemas de participación comunitaria (Medina-González *et al.* 2019).

Como complemento, se determinaron algunos criterios de intervención básicos:

- Respetar la integridad de los asentamientos y las esferas.
- Emplear materiales compatibles en términos fisicoquímicos respecto de los correspondientes a la factura (véase la figura 3).
- Proceder conforme a la mínima intrusión requerida.
- Favorecer la lectura sin crear falsos históricos o estéticos.
- Preferir procesos reversibles o retratables.
- Permitir la denotación de la intervención (Medina-González *et al.* 2019).

Vale la pena subrayar que el hilo conductor de nuestra conceptualización, metodología y normativa fue la noción de integridad. Ahora queremos emprender una discusión sobre su inclusión en la toma de decisiones y las acciones del Programa de Conservación de los ACD de Costa Rica.

Figura 3. Esfera del sitio El Silencio: a) *antes* y b) *después de la intervención del sector suroeste. Fotografías: Javier Fallas, agosto de 2019.*

La palabra integridad deriva del vocablo latino *integer*, que significa "todo" o "completo". Se refiere a algo que no está dividido, roto o falto de un fragmento (Talebian 2005: 55). Por lo general, el término se asocia a calificar objetos en el sentido de su unidad, unión, unificación, coherencia y cohesión; es decir, la integridad es polisémica. Esta diversidad de concepciones está incorporada, de manera explícita o implícita, en varios documentos normativos.

Por ejemplo, aunque la "Carta de Venecia" no menciona la palabra "integridad", una serie de artículos enuncia aspectos que los profesionales consideramos para comprender y conservar la totalidad del monumento o sitio por intervenir. El primero es la indivisibilidad del monumento o sitio con respecto a su historia y su contexto: "El monumento es inseparable de la historia de que es testigo y del lugar en el que está ubicado" ("Carta de Venecia" 1964, art. 7). De ahí se desprende un segundo rubro acerca de la consistencia histórica, que alude al respeto a "las valiosas aportaciones de todas las épocas en la edificación de un monumento" (art. 11). Una tercera rúbrica se relaciona con la cohesión de las partes: "los elementos de escultura, pintura o decoración […] son parte integrante de un monumento" (art. 8).

Estas variables de integridad han sido esenciales en la conservación de los ACD. Hemos apostado por una visión integrada en cuanto al espacio, de manera que el contexto arqueológico comprende las estructuras arquitectónicas, las esculturas (esferas), su emplazamiento y las relaciones significantes entre ellos. Esta interrelación queda patente en la toma de decisiones de la última campaña de conservación en el sitio El Silencio, en la que se planteó la intervención conjunta e interdependiente de la

Figura 4. Vista de la esfera y el sector expuesto del empedrado del sitio El Silencio. Fotografía: Isabel Medina, abril de 2019.

Esfera Monumental, el empedrado adyacente y el manejo de la flora del entorno natural (véase la figura 4).

Comprendemos que la integridad de los sitios depende de la comprensión de una escala temporal que incorpora sus momentos históricos: la preservación de evidencias de infraestructura, modificaciones del terreno y huellas de maquinaria que intentó trasladar las esferas durante la época bananera. Se ha decidido mantener el enlace entre los tipos de evidencias: los restos materiales precolombinos, los testimonios materiales de las transformaciones en el terreno y los bienes arqueológicos del periodo histórico. Por estas razones, no sólo se ha mantenido el nombre del sitio arqueológico, indicio de la división territorial de la United Fruit Company en el Diquís, sino que Finca 6 también conserva el sistema de diques y la infraestructura de la época bananera, lo que significa el manejo conjunto del patrimonio arqueológico e industrial. Hemos documentado las huellas de la maquinaria que trató de desplazar las esferas del sitio como una evidencia de su historicidad.

Es importante mencionar que, aunque la noción de integridad de la "Carta de Venecia" parezca similar a la teoría de restauración de Cesare Brandi (2005), en realidad hay una diferencia. Brandi desarrolla un argumento explicativo, abstracto y complejo sobre el tema en el capítulo

"La unicidad potencial de la obra de arte". No obstante, dada la dificultad para sintetizar el pensamiento de Brandi debido a su complejidad, lanzamos la provocación de que la concepción de unicidad se sostiene en dos ideas: que la totalidad (de la imagen) es un sistema mayor que la suma de las partes y que, para apreciar esa totalidad, es fundamental considerar la contextualización de la obra. Hemos abrazado estas ideas en la conservación de los ACD, al estimar que cada uno de sus bienes arquitectónicos y escultóricos debe comprenderse en la totalidad de sus relaciones entre sí y en sus contextos. Sin embargo, subrayamos que los sitios contemplados en la declaratoria de Patrimonio Mundial comprenden manifestaciones distintivas de la realidad cacical del Diquís, testimonio de su unicidad cultural.

Esto representa un reto en términos de conservación, que se piensa como una totalidad, cuya riqueza depende de su diversidad. Hay que comprender que cada sitio ha tenido su historia propia, por ejemplo, ante la conformación de la historicidad bananera. Por ello tomamos la decisión de conservar la esfera A de El Silencio para su exhibición íntegra, mientras las esferas de Finca 6 se preservarán semienterradas, lo cual ha implicado establecer estrategias de reenterramiento. Desde el punto de vista del manejo y la interpretación pública, el Centro de Interpretación de Finca 6 no sólo se dedica a este sitio, sino a retratar el conjunto de sitios en su integridad.

Es claro que Brandi (2005) apela a una noción compleja de la integridad cuando habla de la individualidad y unicidad de la obra en términos de lo que representa. En nuestra interpretación, esta frase no sólo revela el peso de la inmaterialidad de la obra en el desarrollo del argumento de Brandi, sino también el papel que juegan las dinámicas de recepción que participan en el círculo hermenéutico. En el caso de los ACD, estas ideas han reforzado la imagen o idea de que el valor de los sitios arqueológicos incluidos en la declaratoria radica no sólo en su conjunto, sino en que representan una muestra particular y variable de las sociedades cacicales, poco conocidas. En otra escala, valoramos que en la comprensión y percepción de la unicidad de la esfera se reúnan muchas variables, pero una fundamental es la consideración de las relaciones espaciales de estos monumentos con la arquitectura antigua, el emplazamiento y el paisaje, porque justo estas interacciones son las que dan los significados y los simbolismos que deben conservarse y hacerse comprensibles para el visitante.

De esta manera, se ha propuesto que la conservación del sitio Batambal se oriente a la apreciación del paisaje hidrológico y topográfico, que incluye el río Grande de Térraba, visible desde su ubicación en un punto elevado del territorio. En el caso de Finca 6, se ha detonado un espacio de observación hacia una zona en la que el contacto directo del río con el sitio es evidente. Un ejemplo que muestra cómo las estrategias de conservación han transitado hacia una perspectiva contextual es la techumbre del sitio El Silencio. La de protección inicial fue diseñada para resguardar sólo la esfera; hoy hemos propuesto su rediseño para que propicie una apreciación conjunta de ésta, el empedrado conservado para su exposición y la interpretación arqueológica de su relación significativa como espacio posible para actividades cívico-rituales.

Como complemento y en el contexto de los sitios de Patrimonio Mundial, es inevitable referirse a las *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention*, que hablan de manera explícita de la noción de integridad como una medida del carácter unitario del patrimonio cultural y sus atributos (UNESCO 2019: art. 88). En el artículo 89 se señalan algunos rasgos indispensables a tomar en cuenta en la evaluación de la integridad, como la condición de la fábrica y sus rasgos significativos, y las relaciones y funciones dinámicas que hacen distintivo al bien patrimonial. Como mencionamos, este ideario sobre la integridad está en el centro del "Plan de Manejo: Asentamientos Precolombinos Cacicales con Esferas de Piedra del Diquís 2017-2020" (MNCR 2017), que caracteriza al territorio del Diquís por sus atributos geográficos, arqueológicos e históricos, y con base en ello da testimonio de las actividades culturales que se desarrollaron en ese espacio tanto en general, como en la escala de sitio.

En el Programa de Conservación quisimos contribuir a esta perspectiva con la investigación sobre la tecnología de las esferas, pues acomete la consideración de diversos espacios, como canteras, algunos no incorporados en la Declaratoria de Patrimonio Mundial, en los que tuvieron lugar actividades de extracción de materiales constitutivos. Asimismo, hemos intentado plantear preguntas sobre la transformación de la roca en la cadena operativa de conformación de las esferas. En consonancia con lo anterior, la conservación ha privilegiado la documentación y la preservación de las huellas tecnológicas.

Exploremos ahora otra acepción de la palabra "integridad", relacionada con acciones y con los atributos de honestidad, pureza y nobleza.

Muchas veces la integridad se entiende como la práctica de mostrar lealtad a ciertos principios y valores. Esta aproximación se expresa también en algunos documentos normativos, aunque no siempre de forma explícita; por ejemplo, la "Carta de Venecia" indica tres horizontes, o límites, que guían la acción de restauración para que se mantenga íntegra, es decir, leal a la preservación del monumento. En primer lugar, se subraya como base de la acción la importancia de la documentación e investigación: "la restauración estará siempre precedida y acompañada de un estudio arqueológico e histórico del monumento" (art. 9). En segundo término, se indican la finalidad y el soporte de la acción: la restauración se destina a "revelar los valores estéticos e históricos del monumento y se fundamenta en el respeto a la esencia antigua y a los documentos auténticos. Su límite está allí donde comienza la hipótesis" (art. 9). En tercera instancia, se señalan los requerimientos de la intervención de integración: "los elementos destinados a reemplazar las partes inexistentes deben integrarse armoniosamente en el conjunto, distinguiéndose claramente de las originales" (art. 12). Sobre este aspecto, Brandi (2005: 55-57) propone cuatro principios normativos para las intervenciones integrativas: que siempre sean reconocibles, que no interfieran la unicidad que han de restablecer, que no añadan materiales que contribuyan a la apariencia figurativa y que no prevengan futuras restauraciones.

Estos fundamentos se han incluido en los principios y criterios normativos de los ACD. Tuvimos la oportunidad de aplicarlos en 2019, en la intervención de la esfera A de El Silencio. Su tratamiento estuvo precedido por un proceso de documentación riguroso, basado en bibliografía histórica y arqueológica que permitió comprender el estado de conservación de la esfera desde su descubrimiento y los usos agrícolas de los terrenos donde se encuentra, seguido por un diagnóstico de documentación de alteraciones y estudios científicos sobre su materialidad y deterioro.

Parte del estudio consistió en documentar los fragmentos de la esfera recuperados por funcionarios del MNCR, sometidos a pruebas para determinar si era posible reintegrarlos y restablecer la unicidad de la escultura. Algunas partes se recuperaron de la excavación del empedrado adyacente y se integraron a la esfera, lo que confirmó los beneficios de la atención integral del sitio.

Cabe señalar que no se buscó recuperar la cualidad esférica de la escultura como un original prehispánico, sino crear una interpretación sobre su unicidad en términos de su esencia antigua y su imagen actual.

También se hizo una investigación sobre materiales compatibles y retratables para emplearlos en tratamientos de estabilización, sobre todo en la unión de fragmentos, ribeteo y resane, que no comprometieran en lo mínimo indispensable la integridad material de la esfera. Todas las actividades integrativas se mantuvieron en el límite de la hipótesis y nunca se buscó una reconstrucción. Los procesos de reintegración cromática facultaron y favorecieron la integración armónica; sin embargo, son reconocibles y distinguibles. Se documentaron las intervenciones para favorecer el monitoreo y las futuras intervenciones.

Por último, queremos complementar nuestra idea de integridad con los "Lineamientos institucionales generales en materia de conservación del patrimonio cultural", que plantean que "toda acción de conservación deberá respetar la integridad del patrimonio cultural, basándose en la comprensión y el respeto de su materia, factura, sistema constructivo, aspecto o imagen, valores, significados, usos, asociaciones y contexto, así como considerar a los actores sociales vinculados con dicho patrimonio" (INAH 2014).

La idea de que la noción de integridad es valorativa resulta central en la conservación de los ACD y se expresa en dos instancias: por un lado, la metodología establece un momento de valoración del bien arqueológico; por el otro, las acciones de conservación deben cumplir con "la finalidad de contribuir a la comprensión, preservación y transmisión de los valores de los Asentamientos Cacicales Diquís" (Medina-González *et al.* 2019: 7, 54-55). Cabe resaltar que la valoración de los ACD se ha fundamentado en el trabajo de un equipo interdisciplinario que ha perfilado valores históricos, arqueológicos, artísticos y sociales.

Aunado a lo anterior, debemos mencionar que las *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention* proponen que la integridad debe considerarse en conjunto con la autenticidad, un concepto amplio y complejo que deriva, entre otros aspectos, de los "juicios sobre el valor atribuido al patrimonio cultural" expresado por un valor único y excepcional (UNESCO 2019: art. 81). No es objetivo de este documento profundizar en los debates de los últimos veinte años en torno al concepto de autenticidad en el ámbito patrimonial. Basta mencionar que las discusiones relativistas planteadas en el "Documento de Nara sobre autenticidad" (1994) han sido subsumidas por las *Operational Guidelines*, que señalan: "respecto a todas las culturas requiere que el patrimonio cultural sea considerado y juzgado primariamente dentro

Figura 5. Diálogo con la comunidad indígena Boruca en el sector de las esferas del sitio Batambal. Fotografía: Isabel Medina, abril de 2019.

del contexto cultural al que pertenece" (UNESCO 2019: art. 81) (véase la figura 5).

Según este ideario, la conceptualización territorial del Diquís ha incorporado su dimensión humana, es decir, a sus actuales habitantes, los pobladores de Palmar Norte y la comunidad indígena boruca, cuyos miembros han declarado una continuidad cultural en relación con los pueblos originarios que habitaron los ACD. Por esta razón, se ha buscado recuperar las percepciones y valoraciones de estos actores sociales a partir de estrategias de comunicación y comunidad. Por ejemplo, en 2018 se organizaron talleres para recuperar los valores y significados de estas comunidades en relación con la esfera A de El Silencio, así como para comunicar las conclusiones de los especialistas sobre ella. También comenzó un diálogo sobre los resultados del diagnóstico para tomar en consideración expectativas comunitarias en torno a su intervención. Así, apelamos a una noción de integridad cultural y socialmente relevante.

CONCLUSIONES

El cuerpo normativo internacional en el que se fundamenta la práctica de la conservación-restauración del patrimonio cultural ha sido un referente para las acciones del Programa de Conservación de los Asentamientos Cacicales con Esferas de Costa Rica, en particular en los trabajos de intervención efectuados en la Esfera Monumental del sitio arqueológico El Silencio.

Las discusiones en términos de integridad y autenticidad son extensas. En fechas recientes, Hayden (1997, 287) ha expuesto que las nociones sobre la autenticidad están en juego en las prácticas de conservación y ha apelado a la necesidad de preparar un campo más reflexivo sobre su conceptualización. Creemos que la noción de integridad también debe llevarse a un territorio que propicie el análisis y la reflexión sobre la forma en que lo concebimos y lo ponemos en juego en las prácticas de conservación de sitios y bienes arqueológicos elaborados con base en materiales pétreos. Con este espíritu, señalamos que las *Operational Guidelines* conciben que la noción de integridad se asocia a la idea de lo "intacto", un adjetivo que se refiere a lo no transformado, por lo tanto, estático (UNESCO 2019: art. 88).

Preferimos apelar a un concepto dinámico de integridad, como el propuesto por Eshrati *et al.* (2016: 280): "la habilidad de cada bien de garantizar, mantener y continuar su relevancia cultural a través del tiempo". La pregunta es cómo lograr esto. En la actualidad se han planteado nuevos enfoques sobre la conservación integrada, que se fundamentan en procesos de conservación participativa (Spiridon y Sandu, 2015). El Programa de Conservación de los ACD ha buscado seguir este camino de integración y transmitir los valores de los sitios y sus monumentos en visitas de escolares y pláticas a jóvenes de educación media del cantón de Osa. No sólo se comunican los resultados de la intervención, también se propician diálogos sobre los procesos de intervención con las comunidades locales. La intervención en la esfera A del sitio El Silencio se convirtió en el escenario propicio.

Durante talleres de consulta, preguntamos las percepciones de los miembros de las comunidades con respecto al aspecto o la imagen que se va logrando durante las intervenciones. Para nuestra sorpresa, los miembros de las comunidades debaten entre sí distintas posturas: que el monumento se mantenga incompleto, que preserven las marcas deriva-

das del paso del tiempo, que se recupere su esfericidad. También se han traído a colación tradiciones orales que muestran significados acumulados en torno a este patrimonio cultural en particular. Hemos tratado de explicar los criterios implícitos en estas posturas, lo que nos ha llevado a fundamentar la nuestra. Consideramos que es necesario dejar que pase el tiempo para retomar esta conversación.

Reconocemos que el estado de la esfera y del sitio El Silencio, así como el estatus de nuestras percepciones y las de los miembros de la comunidad, no son estáticos. El tiempo abrirá la puerta a oportunidades para valorar si nuestro trabajo ha favorecido que los ACD continúen siendo relevantes culturalmente. Tenemos presente que la conservación no alcanza un estado final, sino que es un proceso de trabajo en el que continuamente reflexionamos sobre la manera en que se entrelazan nuestros conceptos teóricos, métodos y criterios. Como parte de los procesos de evaluación a largo plazo, proponemos que se abra la posibilidad de hacer monitoreos valorativos y de percepción de aplicación normativa, cuyas metodologías se perfilan hoy como un reto sin parangón en la conservación del patrimonio arqueológico en América Latina.

BIBLIOGRAFÍA

Brandi, Cesare. 2005 [1963]. *Teoría de la restauración*. Madrid: Alianza.

"Burra Charter, The. The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance" ("Carta de Burra"). 2013. https://australia.icomos.org/publications/burra-charter-practice-notes/#bc (consultado el 10 de enero de 2020).

"Carta de Venecia". 1964. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/venice_sp.pdf (consultado el 10 de enero de 2020).

"Charter for the Protection and Management of the Archaeological Heritage [The Laussane Charter]". 1990. http://wp.icahm.icomos.org/wp-content/uploads/2017/01/1990-Lausanne-Charter-for-Protection-and-Management-of-Archaeological-Heritage.pdf.

Corrales, Francisco y Adrián Badilla. 2012. "Investigaciones arqueológicas en sitios con esferas de piedra, Delta del Diquís. Excavaciones en los sitios Batambal (P-299-Bt), El Silencio (P-257-ES), evaluación del sitio Brischáˇcra (P-673 Bc) y prospección de El Silencio, Finca 4 y Finca 6 (nov. 2011-2012)". Archivo del Departamento de Antropología e Historia. San José: Museo Nacional de Costa Rica.

___ . 2015. "Asentamientos precolombinos con esferas de piedra en el Delta del Diquís, sureste de Costa Rica". *Vínculos*, vol. 35, núms. 1-2: 19-66.

"Documento de Nara sobre autenticidad". 1994. https://www.iccrom.org/sites/default/files/publications/2020-05/convern8_06_docudenara_esp.pdf (consultado el 15 de mayo de 2020).

Eshrati, Dorna, Parastoo Eshrati y Somayeh Fadaei Nezhad. 2016. "Developing a Conceptual Framework of Integrity in Urban Heritage Conservation". *Armanshahr Architecture & Urban Development*, núm. 16: 95-104. https://www.researchgate.net/publication/321264399_Developing_a_Conceptual_Framework_of_Integrity_in_Urban_Heritage_Conservation/link/5a1771660f7e9be37f958c36/download (consultado el 15 de mayo de 2020).

Hayden, Dolores. 1997. *The Power of Place. Urban Landscapes as Public History*. Cambridge: MIT Press.

ICON Archaeology Group. 2009. "A Brief Guide to the Principles of Archaeological Conservation". Londres: The Institute of Conservation. https://www.icon.org.uk/asset/C88E210E%2D3964%2D4F03%2DAC936519BBC5EEE0 (consultado el 15 de diciembre de 2019).

Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). 2014. "Lineamientos institucionales generales en materia de conservación del patrimonio cultural". México: Instituto Nacional de Antropología e Historia. https://www.normateca.inah.gob.mx/pdf/01472572392.pdf (consultado el 15 de diciembre de 2019).

Jokilehto, Jukka. 2006. "Considerations on Authenticity and Integrity in World Heritage Context". *City & Time*, vol. 2, núm. 1. http://www.ceci-br.org/novo/revista/docs2006/CT-2006-44.pdf (consultado en noviembre de 2019).

Lothrop, Samuel. 1963. *Archaeology of the Diquís Delta, Costa Rica*. Cambridge: Peabody Museum.

Medina-González, Isabel, María del Carmen Castro, Valeria García, María Eugenia Marín y Patricia Meehan. 2009. "Una primera aproximación a la normativa de conservación del patrimonio cultural de México". En *La conservación-restauración en el INAH. El debate teórico*, Renata Schneider (coord.), 137-152. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Medina-González, Isabel, Javier Antonio Fallas Fallas, Valeria Villalbazo Valtierra, Alonso Enrique Silva González, Alfredo Duncan Davis, Ana Bertha Miramontes, Ana Eduarte Ramírez y Manuel Espinosa Pesqueira. 2019. "Informe general de avances. Plan de manejo de los Asentamientos Cacicales Precolombinos con Esferas de Piedra del Delta Diquís, Costa Rica, enero 2017-julio

2019. Proyecto 12 Evaluación de impacto patrimonial de Sitios de Patrimonio Mundial: Asentamientos Cacicales con Esferas de Piedra del Delta Diquís, Costa Rica". Archivo del Departamento de Protección del Patrimonio Cultural. San José: Museo Nacional de Costa Rica.

Museo Nacional de Costa Rica (MNCR). 2017. "Plan de Manejo: Asentamientos Precolombinos Cacicales con Esferas de Piedra del Diquís 2017-2020". San José: Museo Nacional de Costa Rica.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 2014. "Plan de acción para el patrimonio mundial en América Latina y el Caribe 2014-2024". Brasilia: World Heritage Convention.

___ . 2019. *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention*. París: UNESCO World Heritage Centre. http://whc.unesco.org/en/guidelines (consultado en noviembre de 2019).

Quintanilla, Ifigenia. 1992. "Prospección arqueológica del Delta de Sierpe-Térraba, sureste de Costa Rica. Proyecto Hombre y Ambiente en el Delta de Sierpe-Térraba". Archivo del Departamento de Antropología e Historia. San José: Museo Nacional de Costa Rica.

Representantes de los Museos Comunitarios de Boruca, Rey Curré, Térraba y San Vicente de Nicoya y participantes de los Talleres de Memoria. 2016. "Memoria de la Red de Museos Comunitarios de Costa Rica: 1980-2015". En *Memoria: Red de Museos Comunitarios de América. Experiencias de museos comunitarios y redes nacionales*, Cuauhtémoc Camarena Ocampo y Teresa Morales Lerch (coords.), 225-263. Oaxaca: Red de Museos Comunitarios de América, Unión de Museos Comunitarios de Oaxaca.

Spiridon, Petronela e Ion Sandu. 2015. "Conservation of cultural heritage: from participation to collaboration". ENCATC *Journal of Cultural Management and Policy*, vol. 5, núm. 1: 43-53.

Stone, Doris. 1943. "A Preliminary Investigation of the Flood Plain of the Rio Grande de Térraba, Costa Rica". *American Antiquity*, vol. 9, núm. 1: 74-88.

___ . 1958. *Introduction to the Archaeology of Costa Rica*. San José: Museo Nacional de Costa Rica.

___ . 1977. *Pre-Columbian Man in Costa Rica*. Cambridge: Peabody Museum.

Talebian, Mohammad Hassan. 2005. "The Role of Authenticity in Conservation of World Heritage Sites. The Experiences from Dur-untash for Authenticity-Based Conservation". Tesis de doctorado. Teherán: University of Tehran-College of Fine Arts.

Cleaning Historic Stonework: Assessment, Options and Implications

David Odgers[*]

Abstract
This paper will review the aims of stone cleaning and the way in which the need is assessed, sometimes subjectively. It will summarise the main methods and look at technical advances and practical outcomes including the advantages and disadvantages of the various techniques. Finally, it will outline how cleaning can affect future decay and maintenance and seek to provide a method of evaluation and risk management.

Keywords: dirt, abrasive, water, risk, surface

Resumen
En este artículo se revisarán los objetivos de la limpieza en piedra y cómo se evalúa la necesidad de ejecutarla, a veces de manera subjetiva. Se resumirán los principales métodos y se examinarán los avances técnicos y los resultados prácticos, incluidas las ventajas y desventajas de las metodologías. Por último, se describirá cómo la limpieza puede afectar el mantenimiento futuro y se proporcionará un método de evaluación y gestión de riesgos.

Palabras clave: suciedad, abrasivo, agua, riesgo, superficie

[*] Odgers Conservation Consultants

INTRODUCTION

Although the cleaning of historic buildings and monuments is often thought of as simply an initial treatment that is the precursor to others such as consolidation, repair and protection, it can actually be a highly interventive process which involves consideration of a complex combination of technical, practical and philosophical issues. Unravelling these issues requires accurate assessment of the condition and environment of the substrate, knowledge of the type of dirt, appreciation of the results of cleaning techniques and a clear appraisal of the likely long-term effects. Those factors must be balanced with a view of the effect of cleaning on the heritage values associated with the monument. This paper seeks to set out guidance on how to incorporate all these criteria into the decision-making process.

NATURE OF DIRT

Dirt on buildings or monuments can attract many different reactions. There are those who believe that it is a patina of age and should be retained; at the other end of the scale are those who believe that it should be removed. These opposing views are summarised by two quotations:

> The cleaning, the washing and the renovation should be avoided as it destroys the stains and colours produced by time (Ruskin 1849).

> Dirt, irrespective of whether or not it is of itself harmful to their fabric, makes old buildings look uncared for and unvalued. It symbolises neglect (Rodwell 2002).

Between these extremes, there are a range of opinions; it is crucial that decisions are not influenced by these more subjective ideas and that the effect of dirt on the stone becomes the overriding reason for cleaning.

Dirt in itself is an all-encompassing term that is used to describe material that arises from many different types of reaction of the stone to its environment; it can be superficial or ingrained, biological or chemical. In broad terms, it is useful to think of it as either external

matter that has become fixed to the surface (soot, grease, dust, biological deposits, previous treatments) or soiling arising from the alteration of the stone (sulphate crusts, mineralogical change).

It is imperative that the nature of the dirt is established. This diagnosis usually requires answers to some questions; the most common of these are listed below along with possible ways in which they can be answered.

- What is the substrate? (Established through existing knowledge, archive search, USB microscopic image, sampling and petrographic analysis.)
- What is the history of the building/monument/object? (Archive, inspection.)
- What is the orientation and local environment especially prevailing weather conditions? (Compass, study of adjacent monuments, access to weather data.)

Figure 1. Canterbury Cathedral, UK. Detail of capital showing the accumulation of black crust (calcium sulphate) formed as a result of the reaction of limestone with sulphur dioxide in the presence of water. © David Odgers, 2014.

- Is there evidence of previous treatments, including cleaning and polychromy? (Archive search, inspection, USB microscopic image, water drop test.)
- Is there a pattern to the soiling? (Recording and photography.)

Answers to these will help to sufficiently narrow down the likely types of dirt to be able to make informed decisions about the need for cleaning and the best methods to be used. If this is not the case, then further laboratory analysis will be required.

THE NEED TO CLEAN

When considering the cleaning of any historic stonework, it is essential to formulate a philosophical and practical rationale for the proposed cleaning. In terms of philosophical considerations, every historic monument can be assessed through its historical, evidential, communal and aesthetic values. As stated in the Historic England Conservation Principles, "The primary purpose of any repair programme is to address the underlying causes and restrain the mechanisms of decay without changing the character of the building" (Historic England 2008). However, cleaning will tend to change the character of the building and, although it can be argued that this change will be for the better, it is imperative that the decision to clean is taken while acknowledging the likely effect on these value criteria.

In purely practical terms, the most justifiable reasons to clean are usually technical ones. These might be:

- The removal of harmful deposits in order to reduce the rate of deterioration of the stone.
- In order to reveal the condition of the stone to establish the extent of previous and future repair.
- To allow for subsequent treatments such as consolidation or protection.

However, there is an added layer of complexity in that the removal of the dirt may itself lead to further and accelerated decay or re-soiling.

This usually arises from the fact that removal of dirt has some potential side-effects:

- removal of original stone surface which may have been altered through chemical change;
- change in surface permeability of cleaned stone allows for movement of moisture and possible salt efflorescence or mineral migration;
- opening up of pores of stone surface provides location for pollutants or bio-organisms to accumulate;
- change of thermal equilibrium between stone and environment (for example black, dirty stone absorbs heat but clean stone reflects it).

Aesthetic reasons to clean can also be justified but these will depend on much more subjective considerations. Revealing or unifying the appearance of a monument can be to the benefit of the appreciation of the architecture, after all:

> It is difficult to believe that the architect who designs with due regard to effects of light and shade, and who selects his materials for their colour, "character", or texture, can tolerate the presence of soot and grime which hide the beauties of his materials and obliterate the craftsmanship of his design (Schaffer 1932).

The need to clean is not just a yes or no decision; it also involves careful consideration of the extent of cleaning. This will affect not only the overall appearance immediately after the cleaning but also how the stone might behave in the future. It is essential therefore to set out overall aims for the cleaning and then to establish the best method available to meet those aims. In summary, the need to clean requires the following evaluation to take place:

- Is the stone dirty and, if so, is the presence of dirt damaging or just disfiguring?
- Is cleaning necessary to allow another surface treatment?
- How much cleaning is desirable? How much dirt can be removed safely?

Figure 2. St. Paul's Cathedral, London – South transept. This is shown just before the whole of the exterior of the Cathedral was cleaned using an abrasive method. Previous cleaning had taken place in 1962, so re-soiling was rapid. © David Odgers, 2003.

- How will the removal of the dirt affect the appearance of the stone now and in future years?
- How will cleaning affect the long-term survival and long-term weathering properties of the stone?
- How will cleaning affect the heritage values of the building?

CLEANING METHODS

Cleaning methods continue to develop and to be refined. For much of the 20th century, there was an assumption that water provided the best

(or perhaps most convenient) method for cleaning stone, but there are now a large range of methods that can be appropriate for various substrates and types of soiling. Because of this wide range of choice, cleaning trials should always be carried out as these provide the guidance needed to establish the optimum method to be used and also allow all stakeholders to understand the aims of the cleaning and the likely end appearance. Trials should be in discrete locations and always starting from the gentlest method possible. They are necessary for each kind of surface and each kind of soiling/stain; they should be carried out under the same conditions that will exist for the larger scale cleaning. Accurate records must be kept so that factors such as dilution, contact time and pressure settings can be repeated. Trials should be allowed to settle down for at least a week before being assessed; this allows for the new equilibrium between the stone surface and the environment to become established. Evaluation of trials involves consideration of factors such as visual effect, any change in stone surface, likely cost and safety requirements. The main cleaning methods can be categorised as follows.

Water Based Techniques

Using cold or hot water or steam delivered through a variety of means including nebulous sprays, steam jets or simple poultices, water continues to make an important contribution to possible cleaning methods. In most cases the cleaning works through the solubility of the dirt (*e.g.* sulphates), but for bio-organisms the action of steam is a more effective method of removal than of dissolution.

Although water is an effective cleaning agent, it can also have other side-effects that can be damaging, such as causing the migration of minerals and crystallisation of salts. For this reason, its use must always be kept to a minimum. It has the advantage of being safe and generally available, and the progress of the cleaning process can be monitored so that it can be halted at the appropriate moment.

Chemical Poultices

These work on the basis of an inert support medium mixed with an active chemical. The ability to change the formulation of both support and chemical and to alter contact time means that poultices are generally very versatile. However, they have the disadvantage that the degree of cleaning can only be seen once the poultice has been removed.

Figure 3. Buckfast Abbey, Devon, UK. Cleaning of limestone arcade using latex poultice. Most of the dirt was quite loosely adhered fine soot but no water could be used as this would have encouraged the soot to penetrate into the pores of the stone. © David Odgers, 2013.

It is always better to apply a weaker poultice for lesser time and then repeat the process rather than overclean.

The choice of medium is important to allow maximum contact but also ease of use. Paper pulp, fine clays, fumed silica, gels such as methyl-cellulose and latex (both natural and synthetic) are some of the materials that are used as poultice mediums. Some rinsing will usually be required once the poultice is removed; however, some of the clay materials are so fine that they migrate into the surface pores and then require substantial amounts of water to remove them. This can be counter-productive and can be overcome by inserting a layer (*e.g.* Japanese tissue) between stone and poultice to reduce the degree of contact between the two.

The main poultices used for cleaning stones are ammonium carbonate and EDTA based materials. These react directly with the dirt layer, but the products of the reaction then need to be removed and this may involve rinsing with water. There has also been some success in using organic solvents in poultices to remove sub-surface staining.

Abrasive Cleaning

This method of cleaning has developed significantly with new machinery able to deliver a variety of abrasives at different pressures. The choice of abrasives is very important; they can vary from round to angular and from very soft (*e.g.* talcum powder) to hard (aluminium oxide). Manipulation of the amount of abrasive, the pressure at which they are delivered, the type of nozzle and the distance between the nozzle and the stone allow many types of dirt (particularly more brittle coatings) to be accurately removed. The major disadvantage with the use of abrasives is the potential for unseen damage and a variation in intensity of cleaning that may only become visible once re-soiling occurs. Abrasive cleaning also generates a lot of dust that must be controlled; the use of water with abrasive (*e.g.* JOS machine) helps to control the dust, but this can lodge in the surface pores and require thorough rinsing with water to remove it.

Figure 4. Portland stone, London. The result of uneven cleaning with an abrasive method is shown in the way in which the stone re-soils with areas which have been over-cleaned (and therefore having more open textured surface) attracting pollutants more than the adjacent less cleaned surface. © David Odgers, 2010.

Laser Cleaning

This technology is relatively recent but is now developing fast, particularly given that more portable equipment is now available. It is an extremely precise method relying on the absorption of laser light of a particular frequency; this results in sudden heating and expansion of dirt. Laser cleaning is best carried out to a pre-wetted surface as the vaporisation of water helps the dirt to detach. Control is provided by the frequency and duration of the pulse and the distance of the laser from the surface. For dirt on pale stones, the method is generally self-limiting since the energy is absorbed by dark surfaces and reflected by light surfaces. It is more problematic for darker surfaces and also for areas of polychromy since the sudden heating can change the chemistry of the paint. Although a clean surface can be successfully achieved, it is harder to be consistent if a partially cleaned surface is required.

OTHER CRITERIA

With cleaning, as indeed with all practical conservation interventions, the skill of the conservator is crucial to the end result. Too often –particularly for buildings or larger monuments– cleaning is considered to be repetitive and therefore can be carried out perhaps by those with lower skill levels. This should always be avoided as effective sensitive cleaning requires a thorough knowledge and comprehension of the technical and practical challenges, the application of considerable skill and the ability to react to fluctuations in the condition of the substrate.

CHOOSING THE RIGHT METHOD

There are a number of criteria that must be fulfilled in order to select an appropriate cleaning method although given variations in surface, it is quite likely that more than one method will need to be selected.

- Cleaning must use the least invasive methods that will achieve the stated aims.
- It must not cause direct or indirect harm to the building surfaces concerned.

Figure 5. Taj Mahal, Agra, India. The whole of the building had been cleaned except for the domes. It is not clear why this cleaning was necessary but ever since it was carried out, there have been significant problems with algae colonisation of the marble surface. © David Odgers, 2018.

- The selection of the method should follow assessment of trials.
- It must take into account the type and condition of the substrate.
- It should not deposit or generate by-products (*e.g.* soluble salts).
- It must not initiate new decay processes or exacerbate existing ones.
- It must be controllable in all aspects so that the operator can adjust and interrupt cleaning as surface and/or soiling conditions change.

- It must be carried out within parameters of cost, access and availability.

Cleaning does not take place in isolation of other processes or other materials that might be on or adjacent to the building or monument. So, aspects of protection, health and safety and the implications for other treatments must all be considered.

EVALUATION

The planning of any programme of cleaning can be a complex process even on a small monument or sculpture. All cleaning carries with it an element of risk and attempts to quantify this risk have been carried out by Revez and Rodrigues (2016). They proposed the analysis of four factors –the vulnerability of the surface, the aggressiveness of the cleaning method, the synergies between substrate and method (for example the use of water-based cleaning on salt-laden wall) and the potential impact on the significance of the object. The first three relate to the likelihood of damage and the latter assesses the consequences. By multiplying the likelihood values, it is possible to build up an overall risk factor; this then needs to be considered alongside the consequences so although a high overall risk factor might be acceptable for stone of low significance, it would be extreme for stone of high significance.

This measurement of risk is a welcomed attempt to quantify criteria and certainly provides some guidance and a framework for decisions. It does not however preclude the need to justify our proposed actions before any programme of cleaning starts, to constantly re-evaluate and amend methodology during the programme and to be aware of the long-term effect after completion.

Comparison of recent cleaning programmes at the Taj Mahal, St. Paul's Cathedral in London and St. Mark's Square in Venice show that there is very little consistency in philosophical approach or methodology. The results have all been justified in different ways but in a world where pollution, extreme weather and other interventions continue, these current phases of cleaning have only been a snapshot to satisfy current sensibilities; the implications for the future sadly remain unknown.

BIBLIOGRAPHY

Ashurst, John and Francis Dimes. 1998. *Conservation of Building and Decorative Stone*, Oxford: Butterworth-Heinemann.

Historic England. 2008. *Conservation Principles, Policies and Guidance* https://historicengland.org.uk/images-books/publications/conservation-principles-sustainable-management-historic-environment/conservation-principlespoliciesandguidanceapril08web (accessed on 14 April 2021).

Revez, Maria João and Jose Delgado Rodrigues. 2016. "Incompatibility Risk Assessment Procedure for the Cleaning of Built Heritage". *Journal of Cultural Heritage*, n. 18: 219-228.

Rodwell, Dennis. 1992. "Stone Cleaning in Urban Conservation". In *Stone Cleaning and the Nature, Soiling and Decay Mechanism of stone (Proceedings of the International Conference April 1992)*, Robin G. M. Webster (coord.), 199-206. London: Donhead.

Ruskin, John. 1849. *The Seven Lamps of Architecture*. London: Smith, Elder & Co.

Schaffer, Robert J. 2004 [1932]. *The Weathering of Natural Building Stone*. Shaftesbury: Donhead.

Siegesmund, Siegfried and Rolf Snethlage (eds.). 2011. *Stone in Architecture*. London: Springer.

Slaton, Deborah and Kyle Normandin. 2005. "Masonry Cleaning Technologies. Overview of Current Practice and Techniques". *Journal of Architectural Conservation*, vol. 11, n. 3: 7-31.

Limpieza en piedra: evaluación, opciones e implicaciones

David Odgers[*]

Resumen

En este artículo se revisarán los objetivos de la limpieza en piedra y cómo se evalúa la necesidad de ejecutarla, a veces de manera subjetiva. Se resumirán los principales métodos y se examinarán los avances técnicos y los resultados prácticos, incluidas las ventajas y desventajas de las metodologías. Por último, se describirá cómo la limpieza puede afectar el mantenimiento futuro y se proporcionará un método de evaluación y gestión de riesgos.

Palabras clave: suciedad, abrasivo, agua, riesgo, superficie

Abstract

This paper will review the aims of stone cleaning and the way in which the need is assessed, sometimes subjectively. It will summarise the main methods and look at technical advances and practical outcomes including the advantages and disadvantages of the various techniques. Finally, it will outline how cleaning can affect future decay and maintenance and seek to provide a method of evaluation and risk management.

Keywords: dirt, abrasive, water, risk, surface

[*] Odgers Conservation Consultants
Traducción de Tomás Meraz Castaño

INTRODUCCIÓN

Aunque la limpieza de edificios y monumentos históricos suele considerarse un tratamiento inicial, precursor de otros, como la consolidación, la restauración o la protección, en realidad puede ser muy invasivo. Implica tomar en cuenta una combinación compleja de cuestiones técnicas, prácticas y filosóficas. Para desentrañar estas cuestiones se requiere hacer una evaluación precisa del estado material y el entorno del sustrato, conocer el tipo de suciedad y los resultados de las técnicas de limpieza, y llevar a cabo una valoración clara de sus efectos probables a largo plazo. Esos factores deben equilibrarse con la perspectiva del efecto de la limpieza en los valores patrimoniales asociados al monumento. Este documento trata de dar orientación sobre la manera de incorporar todos estos criterios en el proceso de toma de decisiones.

LA NATURALEZA DE LA SUCIEDAD

La suciedad en los edificios o monumentos puede atraer numerosas reacciones. Por un lado, hay quienes consideran que es una pátina de la edad y debe ser conservada; por el otro, hay personas que piensan que debe ser removida. Estas opiniones opuestas se resumen en dos citas:

> Hay que evitar la limpieza, el lavado y la renovación, ya que destruye las manchas y los colores producidos por el tiempo (Ruskin 1849).

> La suciedad, independientemente de si es o no perjudicial para su tejido, hace que los edificios antiguos parezcan descuidados e inútiles. Simboliza la negligencia (Rodwell 2002).

Entre estos extremos, hay una gama de opiniones. Es imperativo que las decisiones se alejen de las ideas más subjetivas y que el efecto de la suciedad en la piedra se convierta en la razón primordial para la limpieza. La suciedad en sí misma es un término global que se utiliza para describir el material que surge de muchos tipos de reacción de la piedra a su entorno; puede ser superficial o arraigada, biológica o química. En términos generales, es útil pensar en ella como materia externa que se ha fijado en la superficie (hollín, grasa, polvo, depósitos biológicos, tratamientos previos)

o como suciedad derivada de la alteración de la piedra (costras de sulfato, cambio mineralógico).

Es indispensable que se establezca la naturaleza de la suciedad. Este diagnóstico suele requerir respuestas a algunas preguntas. Las más comunes y las posibles respuestas se enumeran a continuación:

- ¿Qué es el sustrato? (Establecido con base en conocimientos existentes, búsqueda en archivos, imagen microscópica USB, muestreo y análisis petrográfico.)
- ¿Cuál es la historia del edificio/monumento/objeto? (Archivo, inspección.)
- ¿Cuál es la orientación y el entorno local, y en especial, cuáles son las condiciones meteorológicas predominantes? (Brújula, estudio de los monumentos adyacentes, acceso a datos meteorológicos.)

Figura 1. Catedral de Canterbury, Reino Unido. Detalle de un capitel que muestra acumulación de costra negra (sulfato de calcio) como resultado de la reacción de la piedra caliza con el dióxido de sulfuro en presencia de agua. © David Odgers, 2014.

- ¿Existen pruebas de tratamientos anteriores, incluyendo limpieza y policromía? (Búsqueda en archivos, inspección, imagen microscópica USB, prueba de la gota de agua.)
- ¿Hay algún patrón en la suciedad? (Registro y fotografía.)

Las respuestas a estas preguntas ayudarán a reducir los tipos probables de suciedad para tomar decisiones informadas sobre la necesidad de la limpieza y los métodos más adecuados. Si no es así, se requerirán más análisis de laboratorio.

LA NECESIDAD DE LIMPIAR

Al considerar la limpieza de cualquier obra histórica manufacturada en piedra, es esencial formular un razonamiento filosófico y práctico. En términos de consideraciones filosóficas, cada monumento histórico puede ser evaluado por sus valores históricos, documentales, comunitarios y estéticos. Como se afirma en *Historic England Conservation Principles*, "el objetivo principal de todo programa de restauración es tratar las causas subyacentes y frenar los mecanismos de deterioro sin cambiar el carácter/aspecto del edificio" (Historic England 2008). Sin embargo, la limpieza tenderá a cambiar el aspecto del edificio. Aunque se puede argumentar que este cambio será para mejor, la decisión de limpiar debe reconocer el efecto probable sobre estos criterios de valor.

En términos prácticos, las justificaciones más frecuentes para limpiar suelen ser las técnicas, como eliminar depósitos perjudiciales para reducir la tasa de deterioro de la piedra, o revelar la condición de ésta con el fin de establecer el alcance de la intervención anterior y futura para permitir tratamientos posteriores, como la consolidación o la protección. Sin embargo, una complejidad adicional es que la eliminación de la suciedad en sí puede conducir a una mayor y acelerada alteración o reensuciamiento. Por lo regular, esto surge del hecho de que la eliminación de la suciedad tiene efectos secundarios potenciales, por ejemplo:

- la eliminación de la superficie de la piedra original, que pudo haber sido alterada por un cambio químico;
- el cambio en la permeabilidad de la superficie de la piedra limpiada permite el movimiento de la humedad

y la posible eflorescencia de sal o la migración de minerales;
- la apertura de los poros de la superficie de la piedra proporciona un lugar para que se acumulen los contaminantes o bio-organismos;
- el cambio de equilibrio térmico entre la piedra y el medio ambiente (por ejemplo, la piedra negra y sucia absorbe el calor, pero la piedra limpia lo refleja).

Las razones estéticas también son válidas para limpiar, pero dependerán de consideraciones mucho más subjetivas. Revelar o unificar el aspecto de un monumento puede ser beneficioso para la apreciación de la arquitectura. Después de todo, es difícil creer que el arquitecto que diseña teniendo en cuenta los efectos de la luz y la sombra, y que selecciona sus materiales por su color, "carácter" o textura, pueda tolerar la presencia de hollín y suciedad que ocultan las bellezas de sus materiales y anulan la artesanía de su diseño (Schaffer 2004).

La necesidad de limpiar no es sólo una decisión de "sí" o "no"; también implica una consideración cuidadosa del alcance de la limpieza. Esto no sólo afectará el aspecto general inmediatamente después de la limpieza, sino también el comportamiento de la piedra en el futuro. Es esencial establecer objetivos generales para la limpieza y luego definir el mejor método disponible para cumplirlos. En resumen, la necesidad de limpiar requiere la siguiente evaluación:

- ¿Está sucia la piedra? De ser así, ¿la presencia de suciedad es dañina o simplemente distorsionante?
- ¿Es necesaria la limpieza para permitir otros tratamientos de superficie?
- ¿Cuánta limpieza es deseable? ¿Cuánta suciedad puede ser removida con seguridad?
- ¿Cómo afectará la eliminación de la suciedad el aspecto de la piedra ahora y en años futuros?
- ¿Cómo afectará la limpieza la supervivencia a largo plazo y las propiedades de resistencia a la intemperie de la piedra?
- ¿Cómo afectará la limpieza los valores patrimoniales del edificio?

Figura 2. Transepto sur de la catedral de San Pablo, Londres, Reino Unido. Se muestra justo antes de que el conjunto del exterior se limpiara con un método abrasivo. La limpieza anterior había tenido lugar en 1962, por lo que la reacumulación de suciedad fue rápida. © David Odgers, 2003.

MÉTODOS DE LIMPIEZA

Los métodos de limpieza se siguen desarrollando y perfeccionando. Durante gran parte del siglo xx, se supuso que el agua era el mejor método (o tal vez el más conveniente) para limpiar la piedra, pero ahora hay una gran variedad de métodos apropiados para diversos sustratos y tipos de suciedad. Debido a esta variedad, siempre se deben llevar a cabo pruebas de limpieza que proporcionen la orientación necesaria para establecer el método óptimo y permitan a todos los interesados comprender los objetivos de la limpieza y el aspecto final probable. Los ensayos deben

aplicarse en lugares discretos y siempre a partir del método más suave posible. Es necesario hacer pruebas en cada tipo de superficie y cada tipo de suciedad o mancha, y deben llevarse a cabo en las mismas condiciones que existirán durante la limpieza a mayor escala. Se deben llevar registros precisos para repetir condiciones como la dilución, el tiempo de contacto y los ajustes de presión. Los ensayos deben espaciarse durante al menos una semana antes de ser evaluados. Esto permite que se establezca el nuevo equilibrio entre la superficie de la piedra y el medio ambiente. La evaluación de las pruebas implica la consideración de factores como el efecto visual, cualquier cambio en la superficie de la piedra, el costo probable y las medidas de seguridad. A continuación, presentamos los principales métodos de limpieza.

Técnicas con agua

El agua fría, caliente o el vapor suministrado por medios como pulverizadores nebulosos, chorros de vapor o simples papetas siguen contribuyendo de manera importante a los posibles métodos de limpieza. En la mayoría de los casos, la limpieza funciona por la solubilidad de la suciedad (por ejemplo, los sulfatos), pero para los bio-organismos, la acción del vapor causa la eliminación física más que la disolución de algún compuesto.

Aunque el agua es un agente de limpieza eficaz, puede tener efectos secundarios perjudiciales, como la migración de minerales y la cristalización de sales; por esta razón, su uso debe ser siempre mínimo. La limpieza con agua tiene varias ventajas: es segura, está disponible en general y el progreso del proceso puede ser supervisado y detenido en el momento adecuado.

Papetas químicas

Funcionan sobre la base de un medio inerte mezclado con un producto químico activo. La capacidad de cambiar la formulación, tanto del soporte como del producto químico, y de alterar el tiempo de contacto hace que la aplicación de papetas sea muy versátil. La desventaja es que el grado de limpieza puede verse sólo hasta que la papeta ha sido removida. Siempre es mejor aplicar una papeta más débil durante menos tiempo y repetir el proceso en lugar de limpiar en exceso.

La elección del medio es importante para permitir el máximo contacto, pero también la facilidad de uso. La pulpa de papel, las arcillas finas,

Figura 3. Abadía de Buckfast, Devon, Reino Unido. Limpieza de la arcada de caliza con una papeta de látex. La mayor parte de la suciedad era hollín fino poco adherido a la superficie. No se podía utilizar agua porque el hollín habría penetrado en los poros de la piedra. © David Odgers, 2013.

la sílice pirogénica, los geles de metilcelulosa o de látex natural o sintético son algunos de los materiales que se utilizan como medios para papetas. Por lo regular, una vez que se retire la papeta, se requerirá algún tipo de enjuague, pues algunos materiales de arcilla son tan finos que migran a los poros de la superficie y requieren cantidades sustanciales de agua para su eliminación. Esto puede ser contraproducente, pero se supera al insertar una interfase entre la piedra y la papeta (por ejemplo, papel japonés), aunque eso también reduce el grado de contacto entre ambas superficies.

Las papetas más utilizadas para limpiar piedra contienen carbonato de amonio y materiales quelantes, como EDTA, que reaccionan directamente con la capa de suciedad. Los productos de la reacción deben ser eliminados; con frecuencia se enjuagan con agua. También ha habido cierto éxito en el uso de disolventes orgánicos en papetas para eliminar las manchas dentro de la matriz de la roca.

Limpieza abrasiva

Este método de limpieza se ha desarrollado de manera significativa con equipo novedoso, capaz de aplicar una variedad de abrasivos a diferentes presiones. La elección de los abrasivos es muy importante; las partículas empleadas pueden variar de redondas a angulares, y de muy suaves (por ejemplo, polvo de talco) a duras (como óxido de aluminio). La cantidad de abrasivo, la presión a la que se suministra, el tipo de boquilla y la distancia entre ésta y la piedra permiten eliminar con precisión muchos tipos de suciedad, en particular los recubrimientos más frágiles. La principal desventaja del uso de abrasivos es la posibilidad de que se produzcan daños imperceptibles o variaciones en la intensidad de la limpieza que sólo son visibles una vez que la superficie se ensucia de nuevo. La limpieza con abrasivos también genera mucho polvo que debe ser controlado. Utilizar agua con abrasivos (por ejemplo, las máquinas que trabajan a presión) ayuda a controlar el polvo, pero puede provocar que algunas partículas se alojen en los poros de la superficie y requieran un enjuague a fondo con agua para eliminarlas.

Figura 4. Piedra de Portland, Londres, Reino Unido. El resultado desigual de la limpieza con un método abrasivo se muestra en la reacumulación de suciedad en áreas que habían sido sobrelimpiadas, cuya superficie tenía más textura y atraía más contaminantes que en las superficies adyacentes, que fueron limpiadas menos profusamente. © David Odgers, 2010.

Limpieza con láser

Esta tecnología es relativamente reciente, pero se está desarrollando con velocidad, sobre todo por la disponibilidad de equipos portátiles. Es un método en extremo preciso que se basa en la absorción de luz láser de una frecuencia particular, que da como resultado el calentamiento repentino y la expansión del sustrato. La limpieza con láser funciona mejor sobre una superficie prehumedecida, ya que la vaporización del agua ayuda a que la suciedad se desprenda. Se pueden controlar la frecuencia y la duración del pulso, así como la distancia del láser a la superficie. En el caso de la suciedad en piedras claras, el método es por lo general autolimitado, porque la energía es absorbida por las superficies oscuras y reflejada por las superficies claras. Esta limpieza es más problemática en superficies más oscuras y zonas con policromía, pues el calentamiento repentino puede cambiar la química de los estratos pictóricos. Aunque se puede conseguir una superficie limpia, es más difícil ser consistente si se requiere una superficie parcialmente limpia.

OTROS CRITERIOS

En la limpieza, como en todas las intervenciones prácticas de conservación, la habilidad del conservador es crucial para el resultado final. Con demasiada frecuencia, en particular en el caso de los edificios o monumentos más grandes, la limpieza se considera un tratamiento repetitivo y puede ser llevada a cabo, quizá, por personas con menos habilidades. Esto debe evitarse siempre, pues una limpieza eficaz y delicada requiere conocimiento y comprensión profundos de los retos técnicos y prácticos, una habilidad considerable y la capacidad de reaccionar a las fluctuaciones del estado del sustrato.

ELEGIR EL MÉTODO CORRECTO

Hay una serie de criterios que deben cumplirse para seleccionar un método de limpieza apropiado, aunque dadas las variaciones de la superficie, es probable que sea necesario seleccionar más de un método:

Figura 5. Taj Mahal, Agra, India. Se limpió todo el edificio, excepto los domos. No queda claro por qué era necesaria la limpieza, pero desde que se realizó han surgido problemas significativos por una colonización de algas en la superficie del mármol. © David Odgers, 2018.

- La limpieza debe utilizar los métodos menos invasivos que permitan alcanzar los objetivos establecidos.
- No debe causar daño directo o indirecto a las superficies de los edificios en cuestión.
- El método debería seleccionarse después de la evaluación de pruebas previas.
- Se deben tener en cuenta el tipo y la condición del sustrato.
- La limpieza no debe depositar ni generar subproductos (por ejemplo, sales solubles).
- No debe propiciar nuevos procesos de deterioro o exacerbar los antiguos.

- Debe ser controlable en todos los aspectos para que el operador pueda ajustar e interrumpir la limpieza conforme cambien las condiciones de la superficie y/o la suciedad.
- Debe llevarse a cabo dentro de los parámetros de costo, acceso y disponibilidad.

La limpieza no está aislada de otros procesos o materiales que puedan estar en o ser adyacentes al edificio o monumento. Por lo tanto, los aspectos de protección, salud y seguridad, así como las implicaciones para otros tratamientos, deben ser considerados.

EVALUACIÓN

Planificar cualquier programa de limpieza puede ser complejo, incluso en un monumento o escultura de tamaño pequeño. Toda limpieza conlleva un elemento de riesgo; Revez y Rodrigues han intentado cuantificarlo y han propuesto analizar cuatro factores: la vulnerabilidad de la superficie, la agresividad del método de limpieza, las sinergias entre el sustrato y el método (por ejemplo, la limpieza a base de agua en una pared cargada de sal), y el impacto potencial en el significado del objeto. Los tres primeros se refieren a la probabilidad de los daños y el último evalúa las consecuencias. Al multiplicar los valores de probabilidad, es posible acumular un factor de riesgo global que debe considerarse junto a las consecuencias. Aunque un factor de riesgo global alto sea aceptable para la piedra de bajo valor o significación, sería extremo para la piedra de alta significación.

Esta medición del riesgo es un punto de partida para cuantificar los criterios y proporciona cierta orientación y un marco para las decisiones. Sin embargo, no excluye la necesidad de justificar las medidas propuestas antes de comenzar cualquier programa de limpieza, de reevaluar y modificar constantemente la metodología durante el programa y de ser conscientes del efecto a largo plazo.

La comparación de los programas de limpieza recientes en el Taj Mahal, en Agra; la catedral de San Pablo, en Londres, y la plaza de San Marcos, en Venecia, muestra que hay muy poca consistencia en el enfoque filosófico o la metodología. Los resultados se han justificado

de diferentes maneras, pero en un mundo en el que son constantes la contaminación, las condiciones meteorológicas extremas y otras intervenciones, estas fases de limpieza sólo han sido una fotografía instantánea para satisfacer las sensibilidades actuales. Las implicaciones para el futuro, lamentablemente, siguen siendo desconocidas.

BIBLIOGRAFÍA

Ashurst, John y Francis Dimes. 1998. *Conservation of Building and Decorative Stone*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Historic England. 2008. *Conservation Principles, Policies and Guidance*. https://historicengland.org.uk/images-books/publications/conservation-principles-sustainable-management-historic-environment/conservationprinciplespoliciesandguidanceapril08web (consultado el 14 de abril de 2021).

Revez, Maria João y José Delgado Rodrigues. 2016. "Incompatibility Risk Assessment Procedure for the Cleaning of Built Heritage". *Journal of Cultural Heritage*, núm. 18: 219-228.

Rodwell, Dennis. 1992. "Stone Cleaning in Urban Conservation". En *Stone Cleaning and the Nature, Soiling and Decay Mechanism of Stone (Proceedings of the International Conference April 1992)*, Robin G. M. Webster (coord.), 199-206. Londres: Donhead.

Ruskin, John. 1849. *The Seven Lamps of Architecture*. Londres: Smith, Elder & Co.

Schaffer, Robert J. 2004 [1932]. *The Weathering of Natural Building Stone*. Shaftesbury: Donhead.

Siegesmund, Siegfried y Rolf Snethlage (eds.). 2011. *Stone in Architecture*. Londres: Springer.

Slaton, Deborah y Kyle Normandin. 2005. "Masonry Cleaning Technologies. Overview of Current Practice and Techniques". *Journal of Architectural Conservation*, vol. 11, núm. 3: 7-31.

Patrimonio lítico del centro histórico de Lima. Limpieza de elementos en mármol como parte de la gestión de gobiernos locales

Ingrid García Miranda[*]

Resumen

En este artículo se cuestionan situaciones que he identificado en los últimos siete años de mi experiencia profesional en el campo de la conservación, en relación con elementos de mármol en espacios públicos, parte del patrimonio cultural peruano del centro histórico de Lima. Expuestos al intemperismo, no hubo estudios ni diagnósticos adecuados para proponer intervenciones de limpieza respetuosas en estos elementos y evitar poner en riesgo la integridad de su superficie y sus valores como patrimonio artístico, histórico y cultural.

Palabras clave: patrimonio cultural, limpieza, conservación de piedra

Abstract

This article discusses the issues identified in the last seven years of my professional experience in the field of stone conservation, specifically marble elements of the Peruvian cultural heritage in the historic center of Lima. Stone monuments had been exposed to weathering, but no preliminary studies and assessment of conditions were made in order to develop pertinent interventions to avoid the risk of damage of their surface, and value as historic, artistic and cultural heritage.

Keywords: cultural heritage, cleaning, stone conservation

[*] Conservadora, restauradora, educadora y gestora del patrimonio cultural

INTRODUCCIÓN

En el centro histórico de Lima (CHL)[1] (UNESCO 2018) se encuentran la Zona Monumental de Lima (ZML) y el Rímac (ZMR), con evidencias de arquitectura virreinal y republicana. Esta demarcación encierra 91 esculturas monumentales[2] y el Museo Cementerio Presbítero Matías Maestro (MCPMM), que resguarda 380 esculturas monumentales y desde 1808 representa una de las mayores expresiones de arquitectura civil pública (ACP) peruana. Encontramos ejemplos de talla en mármol con maestría similar en la alameda de los Descalzos, el paseo Colón y la plazuela del Cercado.[3] A diferencia de los contextos prehispánicos, las intervenciones en elementos líticos del patrimonio virreinal y republicano no han sido documentadas a detalle, motivo por el cual no es posible definir qué metodologías o criterios se aplicaron. Sin embargo, por medio de la evaluación organoléptica se puede determinar el estado de conservación de las piezas líticas de mármol sujetas a procesos de limpieza que han alterado su pátina[4] o facilitan la aparición de patrones de deterioro (ICOMOS-ISCS 2008).

Para el mantenimiento de espacios públicos, en relación con el ornato y el mobiliario urbano, el reglamento de la Administración del Centro Histórico de Lima establece responsabilidades y funciones para el gobierno local, que ejecuta procedimientos de limpieza de monumentos de mármol sin la participación oportuna de especialistas. En ocasiones, estas limpiezas resultan contraproducentes y suscitan denuncias y posibles sanciones por parte de la Dirección General de Defensa del Patrimonio Cultural, del Ministerio de Cultura, por no seguir criterios adecuados para tratamientos que deberían ser especializados, como

[1] Inscrito en la Lista del Patrimonio Mundial de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en 1991, por "ofrecer un ejemplo eminente de un tipo de edificio, conjunto arquitectónico, tecnológico o paisaje que ilustre una etapa significativa de la historia humana".

[2] Declaradas patrimonio cultural de la nación mediante la "Resolución Viceministerial núm. 053-2018-VMPCIC-MC", del 24 de abril de 2018 (Ministerio de Cultura 2018).

[3] Mediante la Resolución Suprema núm. 2900-72-ED, del 28 de diciembre de 1972, el MCPMM fue declarado monumento; la alameda de los Descalzos, el paseo de Aguas, el paseo Colón y la plazuela del Cercado fueron declarados ambiente urbano monumental, y la ZML y la ZMR fueron declaradas patrimonio cultural de la nación.

[4] Huella del paso del tiempo en los materiales. Elemento que dota de legitimidad histórica a un bien cultural (Calvo 2003).

Figura 1. Restos de cataplasma de intervenciones anteriores de limpieza que no fueron retirados. Fotografía: Ingrid García Miranda.

las intervenciones realizadas en mausoleos del MCPMM o la alameda de los Descalzos, en las que aplicaron limpiezas abrasivas y usaron materiales corrosivos a lo largo del tiempo.

ANTECEDENTES

En la historia peruana se marcan dos periodos que establecen la categoría de propiedad del patrimonio inmueble, determinante para su administración y conservación, con base en el marco legal nacional. El patrimonio inmueble prehispánico es de propiedad y administración del Estado, mientras que el posterior al periodo prehispánico, es decir, el patrimonio virreinal y republicano, de ser de propiedad privada con-

serva esa condición (Congreso de la República del Perú 2007). Los ambientes urbanos monumentales (AUM) (Presidencia de la República del Perú 2017: art. 1; Vivienda 2006: art. 4) del CHL son administrados por la Municipalidad Metropolitana de Lima (Presidencia de la República del Perú 2010), dado que son espacios públicos. El MCPMM es administrado por la Beneficencia de Lima (BL), que desde mediados de 2019 tiene carácter privado y a la fecha cuenta con el área de conservación en atención a demandas del patrimonio lítico y con la participación de profesionales capacitados, a diferencia de anteriores gestiones; sin embargo, los esfuerzos y la participación especializada aún son limitados.

Entre los motivos de la ausencia de profesionales especializados en instancias administrativas y técnicas están la intermitente historia de la conservación y restauración en el Perú,[5] "que con los años fue mermada por la ausencia del sector académico, generando un indefinido perfil ocupacional del restaurador" (Benavente 2015), y el trabajo multidisciplinario (Hayakawa 2012) requerido para intervenciones responsables y adecuadas, que consideren la importancia y los valores de los monumentos en mármol del CHL, tallados por artistas italianos y peruanos. En la época moderna, muchos de estos monumentos escultóricos fueron importados desde Europa, como parte de ese 90% del mercado que significó América en el comercio mundial de piedra natural (García 2009: 133-147).

Es importante destacar gestiones institucionales que se allegaron para el financiamiento de la conservación del patrimonio lítico. Un ejemplo es el convenio específico entre el Congreso de la República y la Sociedad de Beneficencia de Lima Metropolitana, firmado el 2 de diciembre de 2009, para aunar esfuerzos y establecer relaciones de apoyo y cooperación para emprender la primera etapa de la conservación preventiva y el mantenimiento inicial de cincuenta y cuatro mausoleos, tumbas y lápidas de excongresistas y expresidentes de la república sepultados en el MCPMM.

Por la ausencia de una opinión experta en la materia, las limpiezas dañaron superficies líticas con procedimientos mecánicos abrasivos para eliminar sustratos de suciedad o por el uso de ácidos, oxalatos y materiales corrosivos sin controlar niveles de limpieza. Esto ocasionó

[5] La historia de la protección y conservación del patrimonio cultural local en el Perú comienza con la Misión Kubler de 1951, intervención técnica de la UNESCO después del terremoto de 1950.

Figura 2. Escultura en mármol con restos de material por pulido. Alameda de los Descalzos. Fotografía: Ingrid García Miranda.

denuncias y la interrupción de las intervenciones, con la consecuente afectación al financiamiento obtenido, pues se exigían procedimientos especializados que no fueron planteados desde el comienzo por no contar con un diagnóstico del estado de conservación ni con la participación de profesionales especializados.

A lo largo de los años, organizaciones civiles como la Asociación de los Amigos del MCPMM motivaron el desarrollo de programas como "Adopta una escultura" y la Red Peruana de Cementerios Patrimoniales, que lamentablemente no pudieron sostenerse. Quizás una de las razones sea el cambio de gestión en el gobierno local, que deja sin efecto esfuerzos que pudieron ser oportunos para atender las situaciones derivadas de estas intervenciones.

A la fecha, la administración del MCPMM tiene el objetivo de ejecutar el plan de puesta en valor,[6] que deberá desarrollar un reglamento espe-

[6] Declaraciones del subgerente de Negocios de la Beneficencia de Lima.

cífico para establecer lineamientos con respecto a la protección de elementos de mármol. La urgencia surge de la presencia de personal asociado a una antigua cooperativa que en años anteriores ha prestado servicios de seguridad a cambio de permitir acciones de mantenimiento de mausoleos con financiamiento de propietarios, que por desconocimiento contratan mano de obra no especializada. Este caso es representativo por la cantidad y el tipo de elementos escultóricos en mármol en la ciudad de Lima que ponen en evidencia la carencia de regulaciones en el país para este tipo de procedimientos.

En la alameda de los Descalzos se registran casos similares. Las intervenciones de limpieza han eliminado pátinas superficiales y han perjudicado la factura original porque se desconocen los principios básicos y la naturaleza calcárea del mármol, sensible a procesos como el chorro a alta presión o el uso excesivo de agua y escobillas. En esos monumentos se han observado marcas mecánicas y restos de material que ha sido pulido, manchas de óxido y rayaduras superficiales.

MARCO LEGAL Y GESTIÓN PÚBLICA

El marco legal peruano define como bienes inmuebles "los edificios, obras de infraestructura, ambientes y conjuntos monumentales, centros históricos y demás construcciones, o evidencias materiales resultantes de la vida y actividad humana urbanos y/o rurales, aunque estén constituidos por bienes de diversa antigüedad o destino", y a los bienes muebles como "elementos procedentes de la desmembración de monumentos artísticos o históricos" (Congreso de la República 2007: art. 1), definidos por la condición de ser trasladados sin afectar su naturaleza material o de contexto.

El desmembramiento de un elemento no es una condición original-auténtica de un bien mueble integrante de un AUM o una edificación arquitectónica. Estas definiciones repercuten en el acto administrativo y la praxis de áreas técnicas del ente rector que autoriza las intervenciones en el patrimonio cultural nacional. Las incongruencias requieren ser evaluadas para determinar una línea de atención administrativa y técnica acorde a cada tipología de bien y su contexto. En un diagnóstico de estado de conservación, estas variables definen la propuesta técnica.

Durante los últimos tres años se han declarado bienes por su naturaleza artística como "bienes muebles", que por destino son componentes de bienes inmuebles. Esto crea un vacío administrativo al momento de evaluar y autorizar expedientes técnicos, porque no existe un área institucional que revise las propuestas ni tampoco una normativa específica. Los bienes adosados a una superficie que integra el patrimonio inmueble histórico, ya sea AUM o una edificación arquitectónica, merecen un tratamiento que los integre a su contexto. A pesar de ello, los bienes de este tipo en algunas ocasiones no son atendidos por áreas técnicas en cuyas funciones recae el cuidado del patrimonio inmueble histórico.

Como ejemplo de la distribución de bienes escultóricos monumentales inmuebles, "Londres tiene probablemente más estatuas que cualquier otra capital en el mundo" (Matthews 2012), con alrededor de cuatrocientas estatuas y monumentos conmemorativos de la historia política y militar del Reino Unido, de materiales predominantes como bronce y mármol. Como en la ciudad de Lima, al ser la capital, estos bienes forman parte de espacios públicos cuyo emplazamiento corresponde a la traza y el diseño del conjunto urbano, producto del trabajo multidisciplinario de artistas y arquitectos.

A mediados del siglo XIX, muchas de las esculturas de la ciudad de Lima se insertaban en un proyecto de ornato y rehabilitación de las zonas urbanas. La escultura dejó el pedestal doméstico y conventual para ganar espacios en una ciudad naciente, abierta y profana (Hamann 2015). En términos de la gestión del patrimonio cultural, es decir, el "conjunto de actuaciones programadas con el objetivo de conseguir una óptima conservación de los bienes patrimoniales y un uso de estos bienes adecuado a las exigencias sociales contemporáneas" (Hayakawa 2012), es importante entender que "la decoración arquitectónica, de esculturas y elementos que son parte integrante del patrimonio construido deben ser preservados mediante un proyecto específico vinculado con el proyecto general" (Instituto Nacional de Cultura, 2007). También es necesario identificar riesgos, programar acciones de prevención y crear planes de actuación de emergencia (Instituto Nacional de Cultura, 2007), además de establecer lineamientos y criterios específicos para la intervención en materiales líticos históricos expuestos a la intemperie.

CRITERIOS PARA LA LIMPIEZA DE MATERIAL LÍTICO A LA INTEMPERIE

La limpieza de materiales líticos es un procedimiento delicado. Al estar expuestos a la intemperie, los factores de deterioro inciden de manera directa: "con el paso del tiempo toda piedra expuesta al medio ambiente tiende a adquirir un depósito superficial de sustancias ajenas a su composición original" (Gómez de Terreros y Alcalde 2000: 59). El principal objetivo será "la eliminación de productos dañinos" (Macarrón y González 2007), como sales solubles e insolubles, polvo y suciedad, microflora y vegetación infestaste, y residuos de tratamientos anteriores. Por ello, "[los conceptos] de pátina y suciedad superficial deben estar bien entendidos, así como el del deterioro de una superficie lítica que determine las acciones de conservación a ejecutar, conceptos poco entendidos para quienes no son profesionales en este campo" (Muñoz 2010: 116-117).

La limpieza es la "actividad que consiste en preparar un bien determinado para que experimente la menor cantidad posible de alteraciones interviniendo directamente sobre él" (Torraca 2009: 97) y es necesaria para cualquier tratamiento de conservación. Deben ponderarse los posibles

Figura 3. Piedad. Museo Cementerio Presbítero Matías Maestro. Fotografía: Emilio Legonía, 2019.

daños de lo que representa un proceso de riesgo, que se reduce si el procedimiento es ejecutado por profesionales especializados que respeten la ética de la conservación (Torraca 2009) e identifiquen las pátinas artificiales de la factura original, como los recubrimientos tradicionales que deben conservarse en procesos de limpieza de superficies (García 2009).

Antes de la limpieza, se deberán conocer tanto el sustrato de suciedad como las superficies de contacto para determinar su metodología. Es indispensable entender que se busca eliminar la capa de acumulación de material que modifica el aspecto de un objeto y constituye un foco de alteración química y biológica, que no debe confundirse con la pátina que corresponde a la huella del paso del tiempo por los materiales, con legitimidad histórica (Calvo 2003).

CONCLUSIÓN

Los casos de limpieza descritos exponen dos situaciones desafortunadas: que no hubo participación de especialistas técnico-administrativos y que las intervenciones se hicieron sin estudios preliminares ni un diagnóstico, criterio básico en toda conservación o restauración. A pesar de que existe una base legal restrictiva y sancionadora, podemos concluir que la ausencia de lineamientos y criterios específicos para el cuidado de patrimonio cultural lítico en espacios públicos ocasiona que desde las instituciones se omita la participación de profesionales especializados, tanto por la escasa oferta académica como por la escasez de presupuestos y políticas públicas que garanticen el recurso humano para contratar personal con experiencia y formación suficientes.

Es importante resaltar la importancia de la participación de los gobiernos locales en planes interinstitucionales a corto, mediano y largo plazo, con políticas sociales de difusión y orden público. En ese sentido, se proponen las siguientes premisas:

- Los estudios preliminares para formular la intervención deben ser interdisciplinarios, con base en métodos científicos que respalden los diagnósticos de estados de conservación. Enfoques insuficientes generarán cuestionamientos en la ejecución de la obra y los presupuestos.

- Los procesos de selección en licitaciones o servicios de profesionales especializados deben ser de conocimiento público y proporcionar plazos suficientes en la convocatoria. Las licitaciones ganadas por cotizaciones de precios más bajos impiden hacer diagnósticos científicos y generan reducidos plazos administrativos de estudio y ejecución, lo que promueve la aplicación de tratamientos agresivos e improvisados.
- Es necesario insertar planes de conservación en programas presupuestales sostenibles en todos los niveles de gobierno, así como crear un mecanismo autónomo especializado que evalúe proyectos de conservación y restauración del patrimonio cultural, dirigidos por especialistas con programas de investigación de materiales que permitan la publicación de resultados corroborados científicamente.
- Es indispensable contar con una base de datos del historial de intervenciones detalladas en informes finales de profesionales o empresas, cuyo registro de prácticas correctas sea de acceso público.
- Muchas de las acciones de mantenimiento del patrimonio lítico del CHL fueron obras de mantenimiento superficial no significativas.
- Socializar experiencias en congresos internacionales permite exponer situaciones en común para el análisis de casos y entender que el campo de la conservación y restauración está en camino de figurar en las políticas culturales de cada país. La ética profesional y la responsabilidad de la especialidad juegan un papel importante, en especial para quienes forman parte de instituciones públicas y espacios técnicos de trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Benavente Cornejo, Madeleine. 2015. "La transformación de Cusco a 65 años del terremoto". *Correo*, 24 de mayo. https://diariocorreo.pe/peru/la-transformacion-de-cusco-a-65-anos-del-terremoto-589635 (consultado el 25 de agosto de 2019).

Bueno Mendoza, Roger Alberto. 2014. "Arqueología sumergida en la ciudad de Lima". En *Lima subterránea, arqueología histórica. Criptas, bóvedas y canales virreinales y republicanos*, Richard Chuhue y Pieter van Dalen (eds.), 7-13. Lima: Fondo Editorial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Calvo Manuel, Ana. 2003. *Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos de la A a la Z*. Barcelona: Ediciones del Serbal.

"Carta de Cracovia 2000. Principios para la conservación y restauración del patrimonio construido". 2000. https://en.unesco.org/sites/default/files/guatemala_carta_cracovia_2000_spa_orof.pdf (consultado el 25 de agosto de 2019).

Congreso de la República del Perú. 2007. "Ley General de Patrimonio Cultural de la Nación, 28296". https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con2_uibd.nsf/562A9CCF932F0F62052577E300711E65/$FILE/2Ley_28296.pdf (consultado el 25 de agosto de 2019).

Consejo Internacional de Monumentos y Sitios-International Scientific Committee for Stone (ICOMOS-ISCS). 2008. *Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns*. París: Consejo Internacional de Monumentos y Sitios. https://www.icomos.org/publications/monuments_and_sites/15/pdf/Monuments_and_Sites_15_ISCS_Glossary_Stone.pdf (consultado el 18 de agosto de 2019).

García de Miguel, José María. 2009. *Tratamiento y conservación de la piedra, el ladrillo y los morteros en monumentos y en construcciones*. Madrid: Consejo General de la Arquitectura Técnica de España.

Gómez de Terreros Guardiola, María Gracia y Manuel Alcalde Moreno. 2000. *Metodología de estudios de la alteración y conservación de la piedra monumental*. Sevilla: Editorial Universidad de Sevilla.

Hamann, Johanna. 2015. *Leguía, el Centenario y sus monumentos. Lima: 1919-1930*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Hayakawa Casas, José Carlos. 2012. *Restauro UNI. Breve antología de textos de restauración del patrimonio monumental edificado*. Lima: Editorial de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Instituto Nacional de Cultura. 2007. "Documentos fundamentales para el patrimonio cultural". Lima: Biblioteca Nacional de Perú.

Macarrón Miguel, Ana María y Ana González Mozo. 2007. *La conservación y la restauración en el siglo XX*. Madrid: Tecnos.

Matthews, Peter. 2012. *London's Statues and Monuments*. Oxford: Shire Publications.

Ministerio de Cultura. 2018. "Resolución Viceministerial núm. 053-2018-VMPCIC-MC". http://transparencia.cultura.gob.pe/sites/default/files/transparencia/2018/04/resoluciones-del-viceministerio-de-patrimonio-cultural-e-industrias-culturales/rvm053-2018.pdf (consultado el 15 de agosto de 2019).

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2006. "Norma A.140. Bienes Culturales Inmuebles del Reglamento Nacional de Edificaciones". https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2017798/2.%09Resoluci%C3%B3n%20Ministerial%20N%C2%B0%20185-2021-VIVIENDA%2C%20que%20modifica%20la%20denominaci%C3%B3n%20y%20contenido%20de%20la%20Norma%20A.140%20Bienes%20Culturales%20Inmuebles%2C%20del%20Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf (consultado el 15 de agosto de 2019).

Municipalidad de Lima Metropolitana. 1994. "Reglamento de la Administración del Centro Histórico de Lima. Ordenanza núm. 062". https://derechodelacultura.org/wp-content/uploads/2015/02/3_5_1_2_1_per_odz_062_1994.pdf (consultado el 15 de agosto de 2019).

Muñoz Viñas, Salvador. 2010. *Teoría contemporánea de la restauración*. Madrid: Síntesis.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 2018. "Centro Histórico de Lima Patrimonio Cultural". *Cátedra UNESCO*. http://catedraunesco.usmp.edu.pe/2018/08/21/centro-historico-de-lima-patrimonio-cultural (consultado el 15 de agosto de 2019).

Presidencia de la República del Perú. 2010. "Ley de creación del Ministerio de Cultura. Ley núm. 29565". https://bdpi.cultura.gob.pe/sites/default/files/2019-06/Ley%20N%C2%B0%2029565.pdf (consultado el 15 de agosto de 2019).

___ . 2017. "Decreto Supremo núm. 001-2017-MC. Reglamento del régimen de excepción temporal dispuesto en la Segunda Disposición Complementaria Transitoria del Decreto Legislativo, núm. 1255". https://www.gob.pe/institucion/cultura/normas-legales/206199-001-2017-mc (consultado el 15 de agosto de 2019).

Torraca, Giorgio. 2009. *Lectures on Materials Science for Architectural Conservation*. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.

Metodología para evaluar materiales consolidantes de tipo alcoxisilanos y criterios para su aplicación en piedra

Nora Ariadna Pérez Castellanos[*]

Resumen

Los materiales alcoxisilanos se utilizan con frecuencia en procesos de consolidación debido a que el proceso de sol-gel por el cual fueron sintetizados es idóneo para su aplicación *in situ*. En circunstancias ideales en un proceso de consolidación, el científico –geólogo o químico– que sintetizó el producto trabaja con el restaurador que lo aplica; sin embargo, esto no es común debido sobre todo a que se aplican productos comerciales. En este trabajo se presenta una metodología de evaluación de los materiales alcoxisilanos a partir de sus propiedades, con la cual surgen los criterios físicoquímicos. En diálogo directo con los criterios de conservación, ésta puede ayudar al restaurador a determinar la pertinencia de aplicación del consolidante. Se propone como una herramienta adicional al alcance de un laboratorio de restauración en Latinoamérica, que brindará, tanto al científico como al restaurador, datos para discernir en la elección de los materiales consolidantes y crear una estrategia en común, un acercamiento de ambas disciplinas a pesar de no trabajar al mismo tiempo.

Palabras clave: consolidantes, alcoxisilano, criterios, propiedades, evaluación

[*] Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM

Abstract
Alkoxysilane materials have been used for numerous consolidation processes because the sol-gel process by which they are synthesized is ideal for their application *in situ*. The best scenario in a consolidation process involves a scientist –geologist or chemist– to synthesize the product, working together with the conservator who applies it. However, this is often not the case, especially because commercial products are applied. This paper presents a methodology for evaluating alkoxysilane materials based on their properties, from which the criteria from the physico-chemical point of view arise, and which together with the conservation criteria can help the conservator determine the relevance of the consolidant application. The methodology is proposed as an additional tool that is within the reach of a conservation lab in Latin America and that will provide both the scientist and the restorer with data to discern in the election of consolidation materials and come up with a common strategy, allowing an approach of both disciplines despite not working together simultaneously.

Keywords: consolidants, alkoxysilane, criteria, properties, evaluation

INTRODUCCIÓN

El objetivo de la consolidación es mejorar o procurar la cohesión en las piedras alteradas cuando presentan patrones de deterioro muy graves que han afectado y disminuido la estabilidad del material. En restauración se emplean varios tipos de consolidantes, sustancias que tienen la propiedad de aumentar la cohesión en materiales muy porosos y desintegrados debido a procesos de alteración (Giannini y Roani 2008: 60). Entre los consolidantes sintéticos de tipo orgánico destacan las resinas epóxicas y acrílicas; los consolidantes inorgánicos que sobresalen son el hidróxido de bario y los silicatos. Entre los consolidantes híbridos, compuestos por grupos funcionales orgánicos e inorgánicos, se encuentran los alcoxisilanos (Doehne y Price 2010: 17-21).

Los consolidantes más empleados en la actualidad y disponibles en el mercado se basan en estos últimos, principalmente en el tetraetoxisilano y sus oligómeros (Wheeler 2005: 1-8). En México, las marcas más conocidas de estos productos son Wacker OH®, Conservare OH®,

Tegovakon V® y KSE 300®. Algunos nombres comunes son silicatos de etilo y silicatos, que muchas veces se confunden con la sílice coloidal (Wheeler 2005: x, 9; Gómez Murillo *et al.* 2024). Estos productos se han aplicado de manera puntual, por ejemplo, en detalles escultóricos y monolitos prehispánicos, pero también en fachadas completas de edificios patrimoniales.

Estos consolidantes son materiales sintetizados por el método sol-gel,[1] cuyos productos son dióxido de silicio amorfo (SiO2) y un alcohol –etanol o metanol, por lo regular– que se evapora a temperatura ambiente, ideal para su aplicación *in situ*. El hecho de que el consolidante se forme *in situ* a partir de una reacción química con el medioambiente y la piedra lo distingue de otros materiales utilizados para consolidación, como los polímeros o las resinas, que sólo se depositan de manera física en la piedra (Meléndez *et al.* 2024). Esta característica hace particularmente útil la colaboración de un geólogo o químico en los procesos de restauración.

Como cualquier material empleado en la restauración, su aplicación repercute de manera significativa en su desempeño final y en el resultado del tratamiento. En la elección del material consolidante de tipo alcoxisilano, el restaurador, además de identificar las causas del problema de conservación y tomar en consideración los criterios, debe conocer e identificar las características físicas y químicas más importantes de estos materiales para asegurar que su aplicación estabilice el material pétreo.

LOS CRITERIOS DE CONSERVACIÓN COMO CRITERIOS FISICOQUÍMICOS

Los criterios de conservación son la compatibilidad, la estabilidad y la retratabilidad, que tienen relación directa con las características fisicoquímicas de los materiales (ICOMOS 2019: 21; Laborde 2013: 63, 89-91). A continuación, se profundizará en cada uno en relación con las características del material pétreo y el consolidante. Respecto de la

[1] El método de sol-gel, a grandes rasgos, es un proceso de síntesis para materiales cerámicos mediante la preparación de un sol, el proceso de gelación del sol y la eliminación del solvente (Brinker y Scherrer 1990).

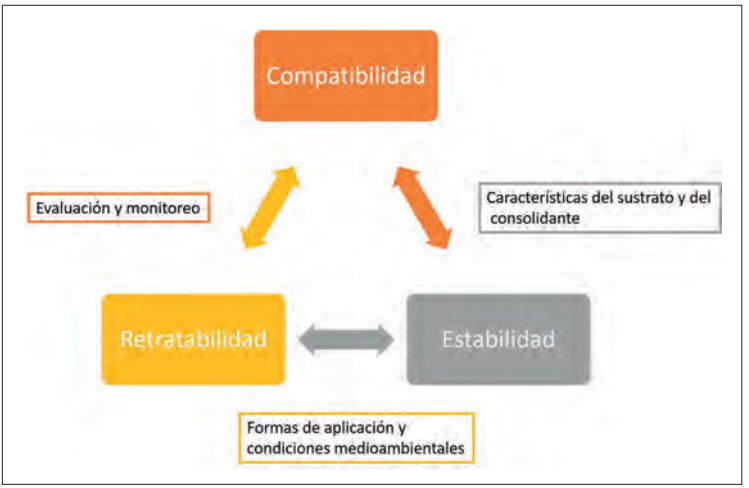
compatibilidad y estabilidad: "Cualquier intervención de conservación deberá asegurar una buena compatibilidad entre los materiales, y en particular un comportamiento afín de los componentes originales y aquellos añadidos durante la intervención de conservación" (INAH 2014: 1).

La selección de materiales que encontramos en patrimonio cultural responde a sus cualidades estéticas, sus características de dureza –que les permiten ser tallados si se utilizan para esculturas o relieves– y sus propiedades mecánicas, en el caso de la construcción de inmuebles. Por mencionar algunos tipos de rocas que se encuentran en el patrimonio cultural por su origen, están las ígneas, como tobas, ignimbritas y riolitas; las sedimentarias, como areniscas y calizas, y las metamórficas, con frecuencia mármol y granito. Este criterio de conservación atañe a la compatibilidad fisicoquímica. Debido a que forman compuestos de dióxido de silicio, los alcoxisilanos se deben utilizar de preferencia para piedras de la misma naturaleza (Barajas *et al.* 2009; Barragán y Malváez 2010; Cruz *et al.* 2014), como silicatos y aluminosilicatos; sin embargo, se ha utilizado también para la restauración de rocas calizas (Wheeler 2005; Doehne y Price, 2010).

Los alcoxisilanos se deteriorarán de la misma manera que la roca silícea en la que fueron aplicados, pues los grupos de dióxido de silicio amorfo que se forman con la piedra reaccionarán a la par que el dióxido de silicio de la roca, al estar sometidos a las mismas condiciones ambientales y contexto del bien cultural, con un comportamiento afín a largo plazo. Los principios de compatibilidad y estabilidad están relacionados, pues este último se refiere también a una característica fisicoquímica del material. No obstante, la estabilidad depende no sólo del material empleado, sino del sistema que forma con el sustrato, por ejemplo, si se aplica en una piedra de otra naturaleza, la degradación de ambos materiales podría ser diferencial y no ser estable a largo plazo (véase el diagrama 1).

De acuerdo con lo anterior, los criterios de la conservación exigen que los materiales consolidantes cumplan con estos requerimientos y que permitan la retratabilidad. El científico que sintetiza debe considerar que: "Se buscarán soluciones reversibles en las acciones de conservación. En su defecto, cualquier tratamiento favorecerá la retratabilidad del monumento, es decir que la intervención realizada no impida nuevas posibilidades de tratamiento en el futuro" (INAH 2014: 1).

Diagrama 1
Relación de los criterios de intervención
con las características del material consolidante



El tratamiento con el material consolidante cumple con todos los principios anteriores si y sólo si también observa las variables para las que fue diseñado el material, es decir, naturaleza del sustrato, tipo de deterioro del sustrato y condiciones medioambientales. Ningún material puede obedecer a los requerimientos de conservación y ser de aplicación general para cualquier variable; además de que la restauración en sí es una disciplina casuística que requiere el análisis crítico de cada caso.

Es necesario considerar que, si bien los materiales deben ajustarse a estas características –lo cual es responsabilidad del científico–, la eficacia del material en el sistema a conservar es responsabilidad del restaurador, pues de su acción depende la aplicación de los criterios y cómo los lleva a la práctica. Se recomienda el trabajo interdisciplinario (ICOMOS 2019; Jokilehto 2011; Laborde 2013) para resolver los problemas de conservación de manera efectiva y eficaz.

MÉTODOS DE APLICACIÓN Y SU RELACIÓN CON LA EFICACIA CONSOLIDANTE

Consideramos que el restaurador y un especialista científico –geólogo o químico– han hecho el diagnóstico de la patología de la piedra y han

decidido que se requiere un tratamiento de consolidación. Este proceso es irreversible; por ello el diagnóstico y el conocimiento profundo de los materiales y tratamientos son indispensables (Ferreira y Delgado 2008). Los alcoxisilanos suelen aplicarse por aspersión, sobre todo cuando se intervienen grandes áreas. Otras aplicaciones más puntuales son con brocha o compresas de celulosa (papetas). El método y número de aplicaciones determinará la velocidad de reacción del consolidante y el efecto final: preconsolidación, consolidación o recubrimiento.[2]

La consolidación debe ser la última acción, después de otros procesos de conservación directa en superficie, como limpieza, remoción de microorganismos y/o desalinización, por mencionar los principales. Al ser un material que se aplica en la superficie, la presencia de otros materiales puede causar interferencias en la reacción con la piedra. Es necesario asegurar que se han erradicado problemas de humedad y se han estabilizado los movimientos de las sales solubles (Laborde 2013, 90).

Las recomendaciones de preparación, aplicación y uso en general de los consolidantes alcoxisilanos de tipo comercial o sintetizados en laboratorio restringen su aplicación en sustratos húmedos y en época de lluvias, puesto que uno de sus mecanismos de reacción es justo con las moléculas de agua, de manera que la abundancia de agua en el medio ambiente y el sustrato puede actuar como un factor limitante o acelerante de la reacción (Meléndez *et al*. 2024). Se desaconseja diluir los materiales consolidantes, pues la reacción química no sería la misma con un material diluido.

La manera de controlar las propiedades finales en la piedra después de seleccionar un material tiene que ver con el método y el número de aplicaciones; por ejemplo, si se aplica por aspersión, cambia la cantidad de material según la herramienta, un aspersor de mano o uno de presión. El número de aplicaciones puede definir las características hidrofugantes, debido a que aplicar varias veces puede causar que un consolidante

[2] Preconsolidación: estabilización inicial del soporte para permitir la limpieza o eliminación de sales cuando la superficie presenta descamación, exfoliación o desintegración granular (Wheeler 2005: 70). Consolidación: su objetivo es restituir la cohesión mecánica del soporte. Se buscan la máxima penetración del producto y la adhesión entre la zona alterada y la sana, para evitar la formación de películas que impidan la capacidad de transferencia de humedad hacia el exterior (Laborde 2013: 89). Recubrimiento: material que se aplica sobre una superficie. Algunos recubrimientos se utilizan para modificar las propiedades superficiales, como adhesión (antigrafiti) o humectabilidad (hidrofugantes).

que al comienzo no es hidrofugante genere propiedades hidrófobas en la superficie de la piedra, puesto que se forma un recubrimiento de dióxido de silicio, que es hidrófobo por naturaleza.

Cuando se busca una preconsolidación, la forma de aplicación es fundamental, para después dar paso a procesos que impliquen someter la piedra a humectación, como la desalinización. Los tratamientos de preconsolidación o consolidación se deben hacer con suficiente tiempo antes de la humectación, para que no haya una interferencia entre los tratamientos de consolidación y desalinización. De cualquier manera, el proceso de consolidación debe aplicarse de manera puntual en las piedras que lo requieran, no como un tratamiento preventivo, de acuerdo con el principio de mínima intervención: "la conservación del patrimonio cultural deberá dar preferencia a las acciones preventivas sobre las acciones correctivas" (INAH 2014: 1).

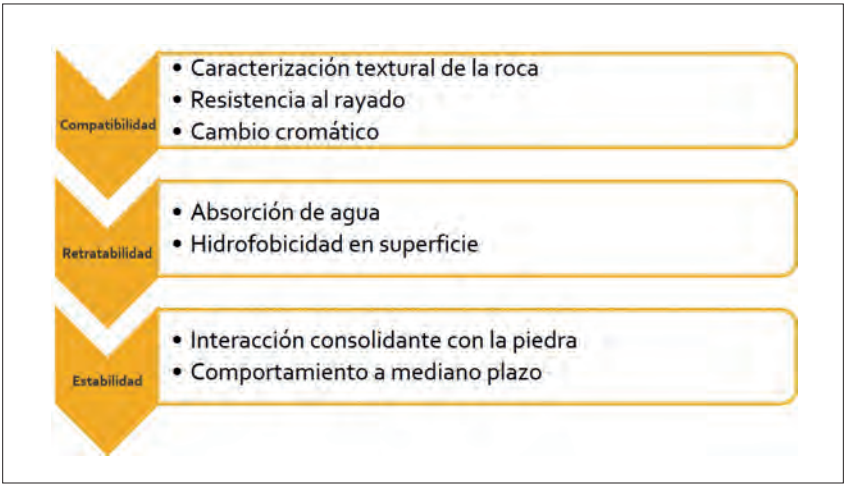
EL MÉTODO DE EVALUACIÓN COMO UN CRITERIO ADICIONAL

En los lineamientos de conservación se solicita que los tratamientos estén respaldados por la investigación científica y el trabajo interdisciplinario, cuando sea posible: "la conservación deberá realizarse mediante un proceso metodológico basado en el trabajo de un equipo interdisciplinario, con la finalidad de poder contribuir al estudio, comprensión y transmisión de los valores del patrimonio cultural" (INAH 2014: 1).

Se propone una metodología de evaluación como un criterio adicional (véase el diagrama 2) que ayude al restaurador en la toma de decisiones. El método propuesto ha sido diseñado después de diez años de trabajo con restauradores en campo y en laboratorio. Se han contemplado criterios y metodologías reportadas en el ámbito internacional (Sasse y Snethlage 1996; Teutonico 1988; Terán 2004; Laurenzi y Stefan 2006; Delgado y Grossi 2007). El método tiene el propósito de ser sencillo, para que las propiedades del consolidante sean distinguibles con los instrumentos disponibles en un laboratorio de restauración, y lo suficientemente precisas para que los resultados obtenidos sean interpretados por un científico y comparables con otras técnicas analíticas.

Este método se basa en comparaciones: una roca sana con otra deteriorada que se desea conservar, y con la roca ya tratada. El restaurador

Diagrama 2
Relación del método de evaluación con los criterios de conservación descritos



y el científico deben establecer parámetros en conjunto para el caso particular, y de acuerdo con ellos, el restaurador tomará las decisiones. El método puede aplicarse para evaluar en general materiales consolidantes y no es exclusivo para los alcoxisilanos.

Se proponen dos circunstancias hipotéticas en las que se puede aplicar el método. En la primera, hay suficiente muestra de cada tipo de roca para hacer todas las pruebas en el laboratorio de restauración, como en el caso del patrimonio edificado; en la segunda, no hay acceso a muestras y todo el trabajo de la evaluación se debe hacer *in situ*, por ejemplo, en esculturas u otro formato de patrimonio pétreo, en cuyo caso será necesario identificar una parte de roca sana o alguna sección que se considere punto de referencia (véase el diagrama 3).

La metodología se relaciona con los criterios de conservación discutidos y con las características físicoquímicas del sistema a evaluar:

- Identificación de las características texturales de la piedra: la caracterización del material constitutivo es necesaria no sólo para establecer su patología, sino para seleccionar la composición del material consolidante y la forma de aplicación más pertinente. Se puede hacer mediante ob-

Diagrama 3
Esquema ilustrado de la metodología propuesta y las herramientas que se emplean

servación con lupa con un geólogo. Si es posible la toma de muestra, debe ser del tamaño de la mano, y es necesario hacer una clasificación por petrografía. Si se tiene un microscopio USB, se puede registrar la imagen de los granos y las microtexturas.

- Resistencia al rayado: una de las principales razones por las que se aplica el proceso de consolidación es la dis-

gregación. En la mayoría de los casos, este deterioro es superficial y se puede medir con la escala de dureza de Mohs, diseñada para calcular la resistencia entre minerales de manera comparativa y registrar el cambio entre las rocas de las pruebas. Se puede emplear un kit de Mohs estandarizado, cuidando que los lápices estén bien afilados con la misma punta. Si no se cuenta con el kit, es posible crear una escala con materiales de dureza similar a los minerales.

- Cambio cromático: el registro del color permite determinar que no haya alteraciones significativas en la percepción del sustrato después del proceso de consolidación. El color se puede medir con una tabla Munsell o una aplicación para teléfono celular o tableta. Deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones: trabajar con la misma iluminación cuando se hagan los registros y que los haga el mismo observador con el mismo equipo.
- Absorción de agua: la capacidad de la roca de absorber agua se toma como una medida indirecta del cambio en su porosidad. En el laboratorio se puede evaluar la porosidad mediante la prueba presentada en el *Manual de laboratorio para arquitectos-conservadores*, del Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM, por sus siglas en inglés) (Teutonico 1988: 50). En sitio, se puede evaluar con el tubo Karsten o tubo Rilem (Duarte *et al.* 2011; Vandevoorde *et al.* 2014). Esta técnica permite hacer mapeos para detectar las tendencias de absorción en varias zonas. Es importante mencionar que todas la pruebas se deben realizar por triplicado, por lo menos, para asegurar una representación estadística de los resultados observados.
- Hidrofobicidad en superficie: esta característica superficial es relevante según las necesidades del proyecto de restauración, si se busca un material como consolidante o con características hidrofugantes. Se evalúa al medir el tiempo que la piedra tarda en absorber una gota de agua depositada en su superficie. La gota se puede depositar de

manera controlada con una jeringa o un popote. Esta prueba también debe de hacerse por triplicado y en varias zonas para determinar el comportamiento general del área. Dado que es una prueba puntual, es necesario observar que la gota no se aplique en un mineral específico, sino en zonas representativas de las características texturales de la roca, de acuerdo con el primer paso de la metodología.

- Interacción consolidante con la roca: se puede hacer mediante la observación con un microscopio óptico USB que permite identificar dónde está gelificando el consolidante, así como los cambios texturales en comparación con las rocas de referencia y las observaciones del primer paso.

Cada prueba propuesta se hace en las rocas o zonas de referencia: sana y deteriorada, así como en las zonas ya tratadas. La documentación de los puntos de referencia establecidos es fundamental para todo el proceso y su posterior difusión o socialización: "Toda acción de conservación deberá documentarse, procurando que sus resultados sean socializados, publicados y difundidos" (INAH 2014: 1). Al reportar los resultados para discutirlos en un grupo de trabajo, es importante exponer los resultados de los sustratos de referencia, puesto que el método funciona a partir de la comparación y los parámetros son específicos para cada caso de estudio. En el caso de los alcoxisilanos, debido al proceso de sol-gel las pruebas sobre los materiales tratados se pueden hacer desde una semana después de la aplicación; sin embargo, dependiendo del contexto medioambiental, desde el día siguiente de la aplicación se pueden hacer pruebas que no requieren agua.

Para patrimonio pétreo expuesto a la intemperie, como esculturas en jardines, cementerios o fachadas, lo ideal es que las pruebas anteriores se hagan con un año de antelación al tratamiento. Esto dará oportunidad de evaluar a mediano plazo la estabilidad del consolidante, al pasar las cuatro estaciones climáticas. Si esto es imposible, se debe conocer el tiempo de reacción de cada material empleado y evaluarlo pasado ese lapso, o por lo menos una semana después de la aplicación, para tomar decisiones. Para saber si es necesario hacer tratamientos nuevos o establecer cronogramas de mantenimiento, esta metodología permite monitorear el patrimonio ya consolidado con un costo mínimo.

CONSIDERACIONES FINALES

Cuando hablamos de la materialidad de los objetos culturales y su transformación en el tiempo, los criterios de conservación tienen una relación directa y estrecha con las propiedades físicas y químicas de la piedra; esto es clave para seleccionar los materiales usados como consolidantes y su forma de aplicación. Por esta razón se propone la evaluación como un criterio adicional de conservación que sea útil al restaurador en la toma de decisiones.

Aunque las pruebas presentadas pueden parecer sencillas, son fundamentales para comprender la interacción del consolidante con la piedra que se desea conservar. Esta es la experiencia en México; la infraestructura disponible en un laboratorio de restauración puede variar en otros países, pero entre las naciones latinoamericanas las circunstancias son similares.

En el caso de los consolidantes alcoxisilanos, aunque sean compatibles con la naturaleza de la piedra, los resultados finales dependerán por completo de la selección del método de aplicación y del número de aplicaciones. Sólo es posible conocer estas propiedades después de hacer pruebas en laboratorio o en el sitio para asegurar el resultado deseado. El restaurador, como especialista, tiene el panorama general y debe comprender el problema de estudio, el material a usar, las posibilidades de tratamientos que puede emplear y la manera en que las técnicas de aplicación modifican las propiedades del material. Aunque parezca reiterativo, en la conformación de la restauración como disciplina, la discusión y el trabajo interdisciplinario entre el restaurador y los asesores son fundamentales para el éxito de cualquier proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

Barajas, María, Enrique Lima, Víctor Lara, Javier Vázquez, Cristina Barragán, Claudia Málvaez y Pedro Bosch. 2009. "Effect of Organic and Inorganic Consolidation Agents on Tlatecuhtli Monolith". *Journal of Archaeological Science*, vol. 36, núm. 10: 2244-2252.

Barragán, Cristina y Claudia Malváez. 2010. "Evaluación del Paraloid B72 y KSE 300 como fijativos para los pigmentos presentes en el monolito de la diosa Tlaltecuhtli del Templo Mayor". Tesis de licenciatura. México:

Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía-Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Brinker, Jeffrey y George Scherrer. 1990. *Sol-Gel Science. The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. San Diego: Academic Press.

Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS). 2019. *European Quality Principles for EU-Funded Interventions with Potential Impact upon Cultural Heritage*. París: Consejo Internacional de Monumentos y Sitios. http://openarchive.icomos.org/id/eprint/2083 (consultado el 13 de enero de 2020).

Cruz, Sandra, Nora A. Pérez, Josué Cárdenas, Jesús Vidal-Solano y Lucía Alatorre. 2014. "Conservation of Volcanic Tuffs Bearing Rock Paintings at La Pintada, Sonora Archaeological Site". *Materials Research Society Symposium Proceedings*, vol. 1618: 195-205.

Delgado Rodrigues, José y Antonella Grossi. 2007. "Indicators and Ratings for the Compatibility Assessment of Conservation Actions". *Journal of Cultural Heritage*, vol. 8, núm. 1: 32-43.

Doehne, Eric y Clifford Price. 2010. *Stone Conservation. An Overview of Current Research*. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.

Duarte, Ruben, Inês Flores-Colen y Jorge de Brito. 2011. "In Situ Testing Techniques for Evaluation of Water Penetration in Rendered Facades. The Portable Moisture Meter and Karsten Tube". Ponencia. XII International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto, 12-15 de abril. https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB22488.pdf (consultado el 13 de enero de 2020).

Ferreira Pinto, Ana Paula y José Delgado Rodrigues. 2008. "Stone Consolidation: The Role of Treatment Procedures". *Journal of Cultural Heritage*, vol. 9, núm. 1: 38-53.

Giannini, Cristina y Roberta Roani. 2008. *Diccionario de restauración y diagnóstico*. San Sebastián: Nerea.

Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). 2014. "Lineamientos institucionales generales en materia de conservación del patrimonio cultural". México: Instituto Nacional de Antropología e Historia. https://www.normateca.inah.gob.mx/pdf/01472572392.pdf (consultado el 20 de julio de 2020).

Jokilehto, Jukka. 2011. *ICCROM and the Conservation of Cultural Heritage. A History of the Organization's First Fifty Years, 1959-2009*. Roma: Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales. https://www.iccrom.org/publication/iccrom-and-conservation-cultural-heritage (consultado el 13 de enero de 2020).

Laborde Marqueze, Ana (coord.). 2013. *Proyecto Coremans. Criterios de intervención en materiales pétreos*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. https://www.libreria.culturaydeporte.gob.es/ebook/3854/free_download (consultado el 13 de enero de 2020).

Laurenzi Tabasso, Marisa y Simon Stefan. 2006. "Testing Methods and Criteria for the Selection/Evaluation of Products for the Conservation of Porous Building Materials". *Studies in Conservation*, núm. 51: "Reviews in Conservation" (supl.), núm. 7: 67-82.

Meléndez, Daniel, Juan F. Illescas, Nora Ariadna Pérez Castellanos y Julia Aguilar. 2024. "Evaluación de la humedad relativa y la temperatura como factores en el proceso sol-gel de nanomateriales para conservación de roca". En *Criterios de conservación de patrimonio en piedra*, Yareli Jáidar Benavides, Valerie Magar Meurs y María Cristina Ruiz Martín, coords., 243-260. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Pérez, Nora A., Enrique Lima, Pedro Bosch y Juan Méndez-Vivar. 2014. "Consolidating Materials for the Volcanic Tuff in Western Mexico". *Journal of Cultural Heritage*, vol. 15, núm. 4: 352-358.

Sasse, Rainer y Rolf Snethlage. 1996. "Evaluation of Stone Consolidation Treatments". *Science and Technology for Cultural Heritage*, vol. 5, núm.1: 85-92.

Terán, José Antonio. 2004. "Consideraciones que deben tenerse en cuenta para la restauración arquitectónica". *Conserva*, núm. 8: 101-110.

Teutonico, Jeanne Marie. 1988. *A Laboratory Manual for Architectural Conservators*. Roma: Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales. https://www.iccrom.org/sites/default/files/ICCROM_11_LabManual_en.pdf (consultado el 13 de enero de 2020).

Vandevoorde, Delphine, Veerle Cnudde, Jan Dewanckele, Matthieu Boone, Michael de Bouw, Vera Meynen, Eberhard Lehmann y Eddy Verhaeven. 2014. "Comparison of Nondestructive Techniques for Analysis of the Water Absorbing Behavior of Stone". Ponencia. 12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, Columbia University, Nueva York. https://core.ac.uk/download/pdf/55871097.pdf (consultado el 28 de abril de 2021).

Wheeler, George. 2005. *Alxokysilanes and the Consolidation of Stone*. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.

Estabilización de soportes pétreos silíceos en patrimonio gráfico-rupestre en México: procesos de consolidación y resane

Sandra Cruz Flores[*]
Néstor Omar Torres Cuervo[**]
Anacaren Morales Ortiz[*]
Rodrigo Ruiz Herrera[***]

Resumen
En este trabajo se exponen el planteamiento general, los criterios y la metodología del Programa Nacional de Conservación del Patrimonio Gráfico-Rupestre para implementar procesos de conservación que tienen como objetivo estabilizar soportes pétreos silíceos de bienes culturales gráfico-rupestres, los cuales presentan alteraciones y deterioros que ponen en riesgo su permanencia. Se presentan ejemplos de los sitios arqueológicos La Pintada, en Sonora, y El Vallecito, en Baja California, ambos en el noroeste de México. A partir de la toma de decisiones sustentada, se han llevado a cabo procesos de consolidación y resane en el soporte pétreo; de igual modo, se han implementado tanto su monitoreo continuo como la evaluación periódica. Se constata la pertinencia de estos procesos, así como la eficacia y buena funcionalidad de los materiales aplicados.

Palabras clave: pintura rupestre, conservación arqueológica, consolidación, resane, soportes pétreos silíceos

[*] Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural-Programa Nacional de Conservación del Patrimonio Gráfico-Rupestre, INAH
[**] Centro INAH Morelos
[***] Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural-Área de Atención a Comunidades, INAH

Abstract
This work presents the general approach, criteria and methodology followed by the National Program for Rock Art Conservation (Programa Nacional de Conservación del Patrimonio Gráfico-Rupestre) for the implementation of conservation processes aimed at stabilizing siliceous stone supports with rock paintings, whose preservation is at risk due to deterioration. The cases of the archaeological sites of La Pintada in Sonora and El Vallecito in Baja California, both in northwestern Mexico, are used as examples. Based on sustained decision-making, consolidation procedures and silica mortar have been applied in the stone support, and continuous monitoring and periodic evaluation have been implemented. As a result, the relevance of these processes, as well as the effectiveness and good functionality of the materials applied have been verified.

Keywords: rock painting, archaeological conservation, consolidation, silica mortars, siliceous stone supports

INTRODUCCIÓN

El patrimonio gráfico-rupestre en México es vasto, y su conservación es tan compleja y diversa como variados son la geología y el contexto ambiental en diversas regiones del país. Entre sus problemas de conservación, destacan los deterioros que afectan su estabilidad y ponen en riesgo su integridad. El Programa Nacional de Conservación de Patrimonio Gráfico-Rupestre (PNCPGR), de la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC), del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), trabaja desde una perspectiva integral *in situ*, con sustento en la normatividad nacional y en los principios y criterios aceptados en el ámbito internacional para atender la conservación, el estudio y la gestión de este patrimonio. Sobre los procesos de estabilización del patrimonio gráfico-rupestre, la aplicación de estos preceptos se ha adaptado a sus características específicas, pues se distingue por la unidad indisociable de sus componentes culturales y naturales. En estos casos, la materialidad de estos bienes es determinada y alterada de manera diacrónica por las condiciones contextuales y los agentes sociales que los han impactado desde el momento de su creación hasta la actualidad.

La experiencia acumulada por el PNCPGR en el trabajo que ha desarrollado en varias regiones del país ha marcado la pauta institucional para las intervenciones de conservación en proyectos de carácter integral,[1] en los que se determinan los principios y criterios que rigen las acciones de atención y se consideran los componentes material e inmaterial. En el primero se interviene de manera directa con base en investigación aplicada y evaluada mediante monitoreo y seguimiento a largo plazo (Cruz 2015: 63-85).

Uno de los objetivos primordiales del PNCPGR es estabilizar los estratos que conforman la unidad del patrimonio gráfico-rupestre: el soporte pétreo y la capa pictórica o grabado. Estos elementos están determinados por el momento de creación de los bienes, la relación de los estratos entre sí y la dinámica de intercambio con el medio ambiente circundante; es decir, los estratos adquieren las características fisicoquímicas, estructurales, morfológicas y formales que le dan permanencia a lo largo del tiempo (Medina *et al.* 2009).

En las acciones, se ha privilegiado la estabilidad material para coadyuvar a la preservación de los atributos que permitan la legibilidad, el disfrute social en su contexto y la apreciación tanto de la imagen como del discurso gráfico-rupestre desde la perspectiva de los individuos y grupos sociales que les confieren significados, valores, usos y funciones (Muñoz 2003). El PNCPGR ha brindado atención a bienes gráficos-rupestres con soportes pétreos silíceos principalmente en climas secos y contextos de semidesierto, como los que se ubican en los sitios La Pintada, en Sonora, y El Vallecito, en Baja California.

PLANTEAMIENTO GENERAL Y CRITERIOS DE INTERVENCIÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SOPORTES PÉTREOS EN SITIOS CON PATRIMONIO GRÁFICO-RUPESTRE

Los criterios que definen las acciones de conservación para la estabilización de soportes pétreos silíceos en sitios con manifestaciones gráfi-

[1] Entendido desde la perspectiva de aproximación al patrimonio gráfico-rupestre en que la cultura, la sociedad y la naturaleza son componentes indisociables de la unidad comprendida como sitio patrimonial que se busca conservar con un enfoque holístico (Cruz 2015: 65).

co-rupestres son estabilidad, integridad y legibilidad, así como respeto a la originalidad e historia de vida. Se han considerado documentos de carácter internacional emitidos por el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS, por sus siglas en inglés), como la "Carta de Lausana" (1990) y la "Carta de Burra" (2013). También se tomó en cuenta el "Documento de Nara sobre autenticidad" (1994), elaborado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés), el Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM, por sus siglas en inglés) y el ICOMOS.

El quehacer del PNCPGR se ve permeado por principios como fomentar la participación de la población o los grupos sociales que tienen alguna relación con los sitios rupestres y considerar todos los elementos que conforman su significación cultural y natural. Las acciones directas de conservación en el patrimonio rupestre se encuentran delimitadas por el respeto a la fábrica, el uso, las asociaciones, los significados existentes y su historia de vida.

Los bienes rupestres integran formaciones naturales y se ven inmersos en la amplia variedad de dinámicas medioambientales que tienen lugar en estos entornos. Por estas razones, el análisis y el entendimiento de estas condicionantes son aspectos imprescindibles para tomar decisiones; en particular, para determinar los procedimientos y materiales que se emplearán en las labores de conservación, cuyo objetivo es controlar los efectos de alteración que ponen en riesgo la permanencia de este tipo de patrimonio.

Además, en muchos de los casos, los paneles o elementos rocosos que ostentan los motivos pictóricos o grabados rupestres se asocian a contextos arqueológicos no explorados aún, por lo que las acciones de diagnóstico y evaluación, así como las que comprenden trabajos emergentes de conservación, se ejecutan con las debidas precauciones para no interferir con las futuras posibilidades de estudio de los materiales arqueológicos. De esta manera, se busca la mayor coincidencia entre las acciones de campo y el área de investigación arqueológica.

Así como los contextos natural y arqueológico constituyen elementos inherentes a los sitios con patrimonio gráfico-rupestre, el contexto social también desempeña un papel importante en el diseño de las estrategias de conservación y restauración. Aun cuando los problemas técnicos y materiales se resuelvan, la pertinencia de des-

empeñar procesos de rescate se define en gran medida por la valoración de los grupos sociales cuya relación con los sitios permite asegurar la permanencia de las acciones de conservación.

Se han definido criterios para evaluar los procesos y la eficacia de los materiales aplicados, como el conocimiento profundo de la constitución de los bienes culturales y de su alteración en íntima relación con los contextos natural, arqueológico y social; la compatibilidad de materiales y técnicas con los originales, y la capacidad de retratabilidad del patrimonio atendido (Siegesmund y Snethlage 2011), no sólo durante los proyectos específicos de conservación, sino también a largo plazo. A continuación, se describen los principios y criterios en los que se sustentan los procesos de estabilización del soporte pétreo.

Las intervenciones que lleva a cabo el PNCPGR no son aisladas; forman parte de proyectos integrales de conservación *in situ* de larga duración, en el marco de la interdisciplina y la participación social. Para determinar si un sitio puede ser objeto de intervenciones de estabilización, debe cumplir uno o más de los siguientes criterios: ser un sitio con alta significación para el país o la región, estar abierto oficialmente a la visita pública o en vías de apertura, tener un uso comunitario y presentar deterioro severo que comprometa su permanencia a corto o mediano plazo, entre otros. Es fundamental que los sitios seleccionados estén protegidos o atendidos por agentes institucionales, de autoridad o sociales, que permitan asegurar el impacto duradero de los avances y resultados de las intervenciones.

En cuanto a la materialidad, los procesos de estabilización del soporte pétreo se aplican para conservar los atributos inherentes al patrimonio gráfico-rupestre, incluyendo los significados y valores asignados por agentes o grupos sociales de acuerdo con sus percepciones específicas. Se reconoce la polivalencia del patrimonio gráfico-rupestre en sus valores cultural, arqueológico, social, espiritual, estético, de investigación y funcional, además de ser fuente de información arqueológica y cultural única e irrepetible.

En la estabilización se da prioridad al soporte pétreo, que es el sustrato sobre el que se han plasmado los diseños pictóricos o grabados, cuyo deterioro compromete la existencia del patrimonio gráfico-rupestre. Si bien sus significados dependen de las percepciones sociales, los deterioros de su materialidad ponen en riesgo su unidad potencial al demeritar la imagen o el discurso y afectar cualquier uso posible, pues

este tipo de bienes está determinado por la existencia y legibilidad de la imagen en su contexto.

La intervención del sustrato pétreo involucra procesos encaminados a devolverle la estabilidad, con el fin de detener o reducir los deterioros presentes causados por el impacto de agentes naturales o intrínsecos que derivan principalmente en su exfoliación y disgregación. Estos procesos son la consolidación y el resane, que se complementan entre sí y se basan en criterios de compatibilidad de materiales y retratabilidad, pero también de respeto a la integridad y originalidad de los bienes rupestres. Las intervenciones no son extensivas, impactan las capas externas del soporte y se circunscriben a las áreas que presentan diseños rupestres, así como a las adyacentes con deterioros severos que comprometen su conservación.

Se lleva a cabo una fase previa de experimentación y prueba de materiales, métodos y técnicas, con el uso de probetas en laboratorio y después en campo, para asegurar que los materiales sean retratables y compatibles con el soporte pétreo y la capa pictórica en términos físicos, mecánicos, ópticos y químicos; con ello, se busca reducir al mínimo la generación de productos secundarios. En el caso específico del uso de pastas de resane, debe alcanzarse la integración cromática en relación con el soporte pétreo desde su formulación con base en el color y la tonalidad de las cargas utilizadas, obtenidas y procesadas a partir de materiales pétreos de cada sitio. No se descarta la aplicación de pigmentos minerales en la superficie del resane después de su colocación para mejorar la integración visual, dada la heterogeneidad cromática de algunos soportes pétreos.

Estos procesos se consideran efectivos cuando se logra estabilizar el soporte y se devuelven las propiedades fisicomecánicas y ópticas a los bienes gráfico-rupestres, lo que suma la resistencia contra el impacto de los agentes naturales en el tiempo. Los resultados y la efectividad de los materiales y procesos aplicados se monitorean y evalúan periódicamente para determinar su funcionamiento y eficacia.

PROBLEMAS DE CONSERVACIÓN PRESENTES EN LOS SOPORTES PÉTREOS DE LA PINTADA, SONORA, Y EL VALLECITO, BAJA CALIFORNIA

La Pintada y el Vallecito se localizan en el noroeste de México. La región se caracteriza por su clima cálido y seco, con variaciones extremas de temperatura entre verano e invierno, valores bajos de humedad relativa, un régimen de lluvias escaso –principalmente en dos periodos del año– y vientos que van de moderados a fuertes, influenciados por las características topográficas. En ocasiones, entre julio y octubre, los sitios pueden verse afectados por el paso de huracanes. Los soportes pétreos de las pinturas rupestres en ambos sitios son de tipo ígneo y ácido, constituidos principalmente por minerales silíceos (SiO_2 >63%) (Williams y Turner, citado en Toselli 2019: 37-38), con una composición predominante de cuarzo, feldespatos potásicos y plagioclasas ricas en sodio (Na) y calcio (Ca) (Tarbuck y Lutgen 2005: 117).

El Vallecito se localiza en la sierra Juárez, en La Rumorosa, Baja California. Es una zona arqueológica con veintitrés resguardos con pinturas rupestres de filiación cultural kumiai, del periodo Arcaico Tardío, inmersa en un contexto semidesértico de condiciones extremas que fluctúan de manera significativa durante los ciclos anuales. La roca utilizada como soporte de los motivos rupestres es una granodiorita, roca ígnea intrusiva que, debido a su conformación, composición y exposición al intemperismo, presenta un alto grado de exfoliación esferoidal y disgregación granular (véase la figura 1).

La Pintada se ubica entre las ciudades de Hermosillo y Guaymas, en Sonora, en un cañón en la Sierra Libre, cuyas paredes presentan numerosos paneles con pinturas rupestres asociadas a los grupos seris, pimas y yaquis, con temporalidad arqueológica e histórica, en un contexto semidesértico con clima cálido. La roca utilizada como soporte de los motivos pictóricos en su Panel Principal (Elemento G) es una toba riolítica silicificada por los procesos de formación del cañón, compuesta principalmente de cuarzo y feldespatos potásicos, cuyos deterioros se caracterizan por alta exfoliación laminar, separación de estratos, disgregación y pulverulencia (véase la figura 2).

Figura 1. Resguardo Cueva del Indio, zona arqueológica El Vallecito, Baja California. Fotografía: Programa Nacional de Conservación del Patrimonio Gráfico Rupestre, julio de 2018.

METODOLOGÍA Y PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN

La metodología desarrollada por el PNCPGR para la estabilización de los soportes pétreos de bienes gráfico-rupestres contempla cuatro etapas. La primera consiste en la caracterización fisicomecánica, compositiva y mineralógica; la determinación de alteraciones y deterioros en el soporte pétreo, y la investigación previa de materiales y formulaciones compatibles con pruebas de laboratorio enfocadas a evaluar su funcionamiento y eficacia. En la segunda etapa se hacen estudios y pruebas en campo para que los materiales consolidantes y de resane estén en contacto con los factores medioambientales y se evalúe su eficacia. La tercera etapa corresponde a la intervención directa, mediante la aplicación de los materiales seleccionados. La última fase se dedica al monitoreo y la

Figura 2. Panorámica lateral del Panel Principal con pinturas rupestres (Elemento G) y su contexto. Sitio arqueológico La Pintada, Sonora. Fotografía: Programa Nacional de Conservación del Patrimonio Gráfico Rupestre, abril de 2018.

evaluación periódica de la evolución del bien gráfico-rupestre para determinar el funcionamiento y la eficacia de los procesos y los materiales aplicados, y en su caso, su retratamiento. En la tabla 1 se indican los principales aspectos de cada etapa metodológica desarrollada para estabilizar los soportes pétreos, y en la tabla 2 se muestran los principales parámetros de evaluación de los tratamientos de conservación.

El proceso de consolidación está encaminado a devolver la cohesión interna de las partículas que componen la roca del estrato superficial para que recupere sus propiedades fisicomecánicas y su desempeño como soporte de los diseños rupestres. En los dos casos que nos ocupan, se ha empleado un alcoxisilano como producto consolidante, seleccionado con base en investigaciones aplicadas a la conservación (Pérez y Lima 2013; Pérez *et al.* 2014; Cruz *et al.* 2014a) y en la metodología referida.

Tabla 1
ETAPAS DE LA METODOLOGÍA DE CONSERVACIÓN PARA ESTABILIZACIÓN DE SOPORTES PÉTREOS EN PATRIMONIO GRÁFICO-RUPESTRE

Primera etapa: caracterización del bien gráfico-rupestre y estudios en laboratorio	
Objetivos	Principales aspectos que involucra
Caracterizar el soporte pétreo del bien gráfico-rupestre, sus alteraciones y deterioros, el desarrollo de investigación previa de materiales y formulaciones compatibles, pruebas de laboratorio enfocadas en evaluar su funcionamiento y eficacia.	Estudios y análisis de caracterización fisicomecánica; determinación de composición, mineralogía, alteraciones y deterioros en el material pétreo del soporte. Selección de materiales de conservación para comparar en procesos de consolidación y resane. Elaboración de probetas pétreas y muestras en polvo. Aplicación de variables de materiales de conservación en probetas y muestras. Análisis instrumentales en laboratorio para medición de propiedades fisicomecánicas, químicas y ópticas. Discusión y evaluación de resultados obtenidos en las pruebas en laboratorio. Selección de materiales con características adecuadas y eficientes en el tratamiento del soporte pétreo del bien gráfico-rupestre.
Segunda etapa: estudios y pruebas de materiales de conservación *in situ*	
Objetivos	Principales aspectos que involucra
Hacer estudios y pruebas en campo para que los materiales consolidantes y de resane estén en contacto con los factores medioambientales a los que se expone el patrimonio gráfico-rupestre. Evaluar su eficacia.	Selección de áreas *in situ* para estudios y aplicación de pruebas de materiales. Aplicación de materiales de conservación (de consolidación y de resane) seleccionados en la primera etapa. Evaluación de los procesos y materiales de conservación en el momento de su aplicación. Seguimiento y evaluación periódica de resultados de los materiales aplicados en las áreas de prueba (mínimo por un ciclo anual). Estudios y análisis cualitativos y semicuantitativos *in situ* y análisis instrumentales en laboratorio. Discusión y evaluación de resultados obtenidos con las pruebas en campo. Determinación de los materiales, las formulaciones y los procesos de aplicación a emplear en la intervención de conservación.

Tercera etapa: intervención de conservación *in situ* del bien gráfico-rupestre	
Objetivos	Principales aspectos que involucra
Aplicar los materiales y las formulaciones seleccionados de los procesos definidos para la intervención directa de conservación.	Determinación y jerarquización de áreas del bien gráfico-rupestre que serán intervenidas. Intervenciones de conservación en el soporte: procesos de consolidación y resane. Evaluación de los procesos de conservación al momento de su aplicación. Seguimiento y evaluación de resultados de los procesos al término de la temporada de trabajos de conservación.
Cuarta etapa: seguimiento, monitoreo y evaluación *in situ* del bien gráfico-rupestre	
Objetivos	Principales aspectos que involucra
Dar seguimiento, monitorear y evaluar con periodicidad la evolución del bien gráfico-rupestre intervenido. Determinar el funcionamiento y la eficacia de los procesos de conservación y de los materiales aplicados.	Seguimiento y evaluación periódica, por ciclos anuales consecutivos, de la evolución de las características físicas, químicas y mecánicas de las áreas intervenidas del bien gráfico-rupestre. Análisis y estudios cualitativos y semicuantitativos *in situ*, y análisis instrumentales en laboratorio. Discusión y evaluación de los resultados obtenidos. Determinación de efectividad de las intervenciones de conservación en el bien gráfico-rupestre. Si es necesario, definición de adecuación, mejora o retratamiento.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2
PRINCIPALES PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE CONSERVACIÓN PARA ESTABILIZAR SOPORTES PÉTREOS EN PATRIMONIO GRÁFICO-RUPESTRE

Consolidación		*Resane*	
Parámetros en aplicación	Parámetros en seguimiento	Parámetros en aplicación	Parámetros en seguimiento
Tipo de consolidante y formulación	Tipo de consolidante y formulación	Tipo de pasta y formulación	Tipo de pasta y formulación
Soporte pétreo y contexto en el que se aplica	Método de consolidación	Soporte pétreo y contexto en el que se aplica	Tiempo de secado

Consolidación		*Resane*	
Preparación del soporte pétreo	Tiempo de secado	Preparación del soporte pétreo	Tiempo transcurrido desde la aplicación
Método de aplicación del consolidante	Tiempo transcurrido desde la aplicación	Tipo de elemento elaborado (ribete, resane, reintegración volumétrica)	Color
Instrumentos empleados en el proceso	Textura	Método de aplicación de la pasta de resane	Textura
Tiempo de manipulación	Color	Instrumentos empleados en el proceso	Adhesión al sustrato
Facilidad, velocidad y profundidad de penetración	Lustre o acabado	Acabado	Dureza
Manejabilidad	Porosidad	pH	Contracción
Apariencia del soporte durante la aplicación	Homogeneidad	Plasticidad	Agrietamiento
pH	Dureza	Manejabilidad	Lustre o acabado
Formación o no de capa en superficie Otras características observables	Resistencia	Tiempo de manejabilidad	Capacidad y velocidad de absorción de agua
Condiciones ambientales en el momento de la aplicación: Hora de inicio Hora de término Temperatura al inicio de la aplicación Temperatura al término de la aplicación	pH Formación o no (y en su caso, grosor) de capa en superficie Capacidad de absorción de agua Contracción	Facilidad de anclaje al sustrato Condiciones ambientales en el momento de la aplicación: Hora de inicio Hora de término Temperatura al inicio de la aplicación	pH Otras características observables Condiciones ambientales en el momento de la evaluación: Hora de evaluación

Consolidación		*Resane*	
Humedad relativa al inicio de la aplicación Humedad relativa al término de la aplicación Velocidad del viento Incidencia solar Presencia de precipitaciones	Agrietamiento Otras características observables Condiciones ambientales en el momento de la evaluación: Hora de evaluación Temperatura exterior Temperatura interna (en el área del bien gráfico-rupestre) Humedad relativa Velocidad del viento Incidencia solar Presencia de precipitaciones	Temperatura al término de la aplicación Humedad relativa al inicio de la aplicación Humedad relativa al término de la aplicación Velocidad del viento Incidencia solar Presencia de precipitaciones	Temperatura exterior Temperatura interna (en el área del bien gráfico-rupestre) Humedad relativa Velocidad del viento Incidencia solar Presencia de precipitaciones

Fuente: elaboración propia.

En el PNCPGR se ha utilizado tetraetoxisilano (TEOS), al que se incorpora de 0.1% a 0.5% v/v de dilaureato de dibutil estaño, que funge como agente catalizador. El consolidante reacciona con el agua contenida en el soporte pétreo y en el ambiente, y mediante una reacción de condensación, se produce óxido de silicio amorfo que se une a la piedra y se deposita como aglomerante. En ambos casos de estudio, este compuesto se ha aplicado por aspersión e inyección en soportes secos en condiciones de humedad relativa inferior a 30%, con aplicaciones consecutivas. El consolidante alcanza una profundidad de penetración de algunos milímetros, que varía según las características de la roca.

Esto cubre nuestros objetivos, pues el interés primordial es preservar el soporte pétreo en un nivel superficial, que corresponde a la capa externa de la roca intemperizada, donde se presenta disgregación o pérdida, y donde se encuentran las pinturas rupestres o los petrograbados. El área de aplicación varía por la extensión en la que se distribuyen los

motivos rupestres. Puede abarcar desde algunos centímetros cuadrados hasta varios metros. En las áreas con motivos rupestres que no presentan estos deterioros, no se aplica consolidante; tampoco en áreas adyacentes sin motivos. Éstas se mantienen como áreas-testigo para contrastarlas con las áreas tratadas (véase la figura 3).

Los resanes se han aplicado en zonas vulnerables a la pérdida de soporte o en torno a exfoliaciones para minimizar el impacto de factores medioambientales –como el viento y las precipitaciones–, agentes biológicos –como las colonias de microorganismos, insectos, reptiles o mamíferos– y la actividad antrópica. Para este proceso se elaboran pastas con cargas silíceas de diferente granulometría, color y tonalidad, aglutinadas con sílica coloidal al 40%, que se aplican como ribetes elaborados a 90° o como resanes a nivel. La adhesión a la roca se efectúa por anclaje físico y su dureza siempre es inferior a la del soporte pétreo. Estas características permiten su retratabilidad y un comportamiento fisicomecánico semejante al del soporte pétreo (véase la figura 4).

Figura 3. Proceso de consolidación de soporte pétreo en el resguardo con pinturas rupestres Solecitos. Zona arqueológica El Vallecito, Baja California. Fotografía: Programa Nacional de Conservación del Patrimonio Gráfico Rupestre, junio de 2019.

Figura 4. Proceso de resane en soporte pétreo de panel con pinturas rupestres. Sitio arqueológico La Pintada, Sonora. Fotografía: Programa Nacional de Conservación del Patrimonio Gráfico Rupestre, marzo de 2015.

RESULTADOS, SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

En ambos sitios rupestres se han monitoreado y evaluado las intervenciones de estabilización, desde su aplicación hace casi ocho años y hasta la fecha. Para efectos de este trabajo, se presentan los resultados del periodo comprendido entre 2014 y 2018, documentados en cédulas específicas elaboradas por el PNCPGR para el registro en el momento de aplicación, el seguimiento periódico y para los procesos de consolidación y resane, evaluando las características y propiedades ópticas, físicas, mecánicas y químicas (véanse las figuras 5 y 6).

Con esta evaluación, se ha determinado que los resultados de la aplicación del consolidante en soportes de granodiorita y toba riolítica silicificada han sido satisfactorios (Cruz *et al.* 2014b; 2014c; 2015a; 2015b; 2016a; 2016b; 2017a; 2017b; 2018; 2019). Se registra que la textura, el color y

Figura 5. Evaluación de la dureza de resanes mediante escala Mohs. Zona arqueológica El Vallecito, Baja California. Fotografía: Programa Nacional de Conservación del Patrimonio Gráfico Rupestre, octubre de 2016.

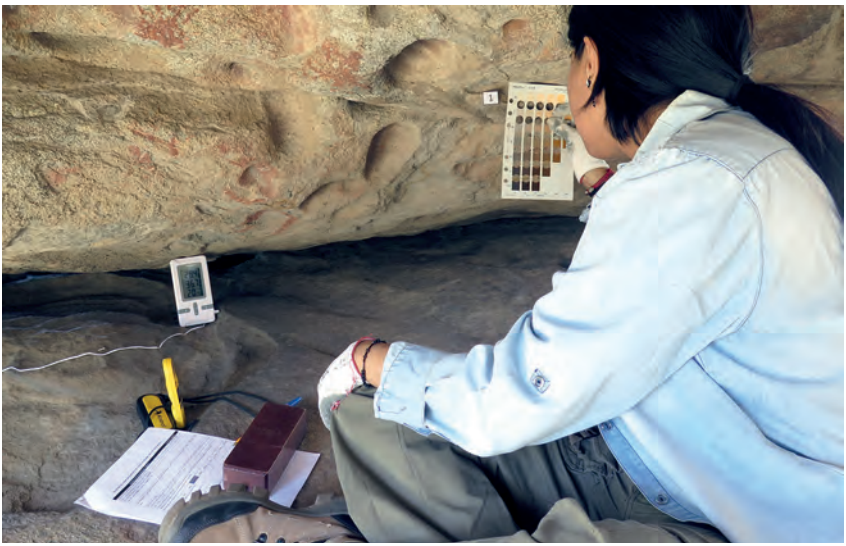


Figura 6. Seguimiento del color en resane con tabla Munsell. Zona arqueológica El Vallecito, Baja California. Fotografía: Programa Nacional de Conservación del Patrimonio Gráfico Rupestre, junio de 2019.

el lustre característicos de la superficie de las rocas no han presentado cambios y las pinturas rupestres mantienen sus características originales y de legibilidad.

Se ha obtenido un cambio positivo en las propiedades de los soportes pétreos en ambos sitios, como el incremento de la resistencia fisicomecánica y una disminución significativa de pérdida de material, sin presencia de contracciones ni agrietamientos en ninguno de ellos. Por otra parte, según los valores en la escala de Mohs, la dureza de los soportes ha aumentado con las aplicaciones subsecuentes de consolidante, de un valor bajo cercano a 4 en el momento de la aplicación, a 7 en el caso de El Vallecito y 6 en La Pintada, próximos a los valores que presentan las rocas en buen estado de conservación o en sus núcleos frescos, como se les conoce en geología. El nivel de absorción de agua experimenta una disminución en el momento de la aplicación del consolidante; no obstante, aumenta de manera gradual con la consecución total de la reacción química, que puede tomar hasta tres meses. El pH se ha mantenido cercano y constante al neutro con valores entre 6 y 7, aunque se reportó una ligera acidificación durante el monitoreo de 2018 en La Pintada.

Los resultados también son satisfactorios en las pastas de resane aplicadas en ambos sitios. En general, se observa buena adhesión al soporte, que mantiene la textura y resistencia mecánica, con un ligero aumento de dureza en el periodo evaluado, sin rebasar la dureza del material original. Los valores máximos alcanzados son de 5 para El Vallecito y 6 para La Pintada (véase la figura 7). Los resanes que han requerido acciones correctivas se ubican en áreas de alta intemperización, expuestas a erosión eólica constante, y han manifestado ligeras fisuras, pulverulencia superficial y cambio de tonalidad, pues se ha perdido la capa de color aplicada en superficie cuando se recurrió a ésta. El pH se ha mantenido neutro en general, con valores entre 6 y 7 en ambos casos. Sin embargo, al igual que en el caso de la consolidación, en 2018 se registró una ligera tendencia a la acidificación en las pastas de resane aplicadas en La Pintada; esto se ha atribuido en gran medida a la solubilización, el transporte y la deposición de sustancias de origen orgánico en el soporte pétreo ocasionados por eventos hidrometeorológicos extraordinarios que ocurrieron durante el año mencionado.

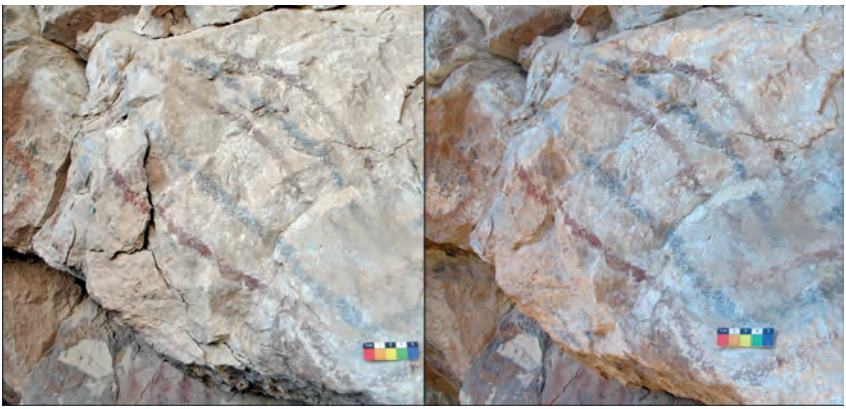


Figura 7. Vista del área de un panel con pinturas rupestres con agrietamiento antes de su tratamiento y después de la intervención de estabilización. Sitio arqueológico La Pintada, Sonora. Fotografía: Programa Nacional de Conservación del Patrimonio Gráfico Rupestre, mayo de 2015.

CONSIDERACIONES FINALES

Los proyectos de conservación integral *in situ* de largo aliento y sus intervenciones de estabilización de soportes pétreos silíceos en los sitios El Vallecito y La Pintada hicieron posible el registro y la documentación detallados, así como el seguimiento, el monitoreo y la evaluación periódica de sus resultados. Esto demuestra su efectividad y buena funcionalidad general para brindar estabilidad y legibilidad al soporte pétreo y las pinturas rupestres.

Queda claro que es indispensable incorporar a las metodologías de conservación de este tipo de bienes culturales el monitoreo de la evolución de las áreas intervenidas y su evaluación periódica. En la teoría de la planificación del quehacer de la conservación, estos pasos están destinados a identificar de manera sistemática la calidad del desempeño de los procesos de estabilización. Así, es posible implementar ajustes o adecuaciones necesarios y oportunos, asegurar la eficiencia de los trabajos de conservación y avanzar en la investigación aplicada a la conservación. Es relevante generar conocimientos de utilidad para resolver no sólo las necesidades de los casos tratados, sino extenderlos para la conservación de otros sitios con características y problemas de conservación similares en contextos de semidesierto. En la toma de decisiones y

la definición de las intervenciones realizadas, desde la determinación de los materiales y las técnicas, hasta la aplicación, el desarrollo, el seguimiento y la evaluación de los procesos de estabilización, los criterios de actuación han sido cruciales para llegar a los objetivos deseados y conservar los atributos y las características propios de este tipo de patrimonio cultural.

En ambos sitios se partió del conocimiento de las características materiales específicas de los bienes rupestres, así como de la diversidad y el grado de alteraciones para buscar las mejores soluciones en cada caso, según las directrices generales del PNCPGR. Cabe destacar que estos tratamientos son adecuados para atender sitios en contextos con bajo contenido de humedad, como los del semidesierto. En sitios con altos índices de humedad ambiental y contenida en los materiales pétreos deberá seleccionarse y evaluarse otro tipo de materiales de conservación. Por otra parte, el tratamiento de consolidación requiere aplicaciones sucesivas en los soportes pétreos hasta llegar al nivel de resistencia deseado. Los resultados del proceso de resane pueden verse comprometidos en sitios con alta erosión eólica, por desgaste de las superficies de los resanes, lo que eventualmente requerirá acciones de mantenimiento.

La experiencia reunida en las intervenciones de conservación de los casos presentados y otros con problemas similares ha permitido mejorar la formulación de las pastas de resane y ajustar la concentración del reactivo catalizador del consolidante para proporcionar mayor resistencia ante los embates de los agentes medioambientales en los sitios en atención. Los criterios de integridad, originalidad, compatibilidad material y retratabilidad han sido relevantes. A partir de ellos, con intervenciones acotadas y graduales, se logró estabilizar las áreas tratadas, incluso ante el impacto de las condiciones extremas y las dinámicas naturales de los contextos del semidesierto. La atención al componente material del patrimonio gráfico-rupestre también ha abonado a la dimensión inmaterial y la posibilidad de conservación y legibilidad de la imagen o discurso gráfico, que es la entidad a la que los sujetos y grupos sociales confieren significados y valores. Este reconocimiento es el motor que impulsa la conservación de este tipo de sitios patrimoniales.

Aplicar tratamientos directos en contextos geológicos naturales es más complejo por las variables presentes en la condición y evolución de los soportes pétreos y los diseños pintados o grabados. Aun así, las intervenciones son necesarias para estabilizar las capas superficiales de los

soportes que ostentan los diseños rupestres, con alto grado de deterioro, para prolongar su existencia. Estos tratamientos han generado resultados positivos en formaciones rocosas tipo resguardo, en las que caracterizan a la zona arqueológica El Vallecito, y en los paneles rupestres que conforman paredes de cañones, como en el caso de La Pintada.

Los proyectos de conservación integral en ambos sitios siguen en desarrollo para dar continuidad a las intervenciones de conservación y llevar a cabo evaluaciones periódicas. Esto coadyuvará a verificar a largo plazo la pertinencia de las decisiones tomadas y la efectividad de las acciones, lo que hará posible la mejora constante tanto de los procesos de intervención directa, como de los demás esfuerzos para la conservación integral del patrimonio gráfico-rupestre mexicano.

BIBLIOGRAFÍA

"Burra Charter, The. The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance" ("Carta de Burra"). 2013. https://australia.icomos.org/publications/burra-charter-practice-notes/#bc (consultado el 10 de enero de 2020).

"Carta Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico" ("Carta de Lausana"). 1990. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/arch_sp.pdf (consultado el 10 de enero de 2020).

Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS). 2003. "Principios para el análisis, conservación y restauración de las estructuras del patrimonio arquitectónico". Victoria Falls: Consejo Internacional de Monumentos y Sitios. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/structures_sp.pdf (consultado el 10 de enero de 2020).

Cruz, Sandra. 2015. "La conservación de sitios con patrimonio gráfico-rupestre en México: acciones desde una perspectiva integral". En *Arte rupestre de México para el mundo. Avances y nuevos enfoques de la investigación, conservación y difusión de la herencia rupestre mexicana*, Gustavo Ramírez, Francisco Mendiola, William Breen Murray y Carlos Viramontes (coords.), 63-72. Ciudad Victoria: Instituto Tamaulipeco para la Cultura y las Artes/Gobierno del Estado de Tamaulipas.

Cruz, Sandra, Gabriela Alcalá, Mariana Contreras, Alejandra Bourillón y Omar Torres. 2015b. "Proyecto de Conservación del sitio rupestre El Vallecito, Baja California. Informe de la tercera temporada de trabajos de

conservación *in situ*, julio-agosto, 2015". Programa de Conservación de Manifestaciones Gráfico-Rupestres. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia-Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural.

Cruz, Sandra, Alejandra Bourillón, Gabriela Alcalá, Mariana Contreras y Antonio Aguirre. 2014c. "Proyecto de Conservación del sitio rupestre El Vallecito, Baja California. Informe de la segunda temporada de trabajos de conservación *in situ*, julio-agosto, 2014". Programa de Conservación de Manifestaciones Gráfico-Rupestres. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia-Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural.

Cruz, Sandra, Alejandra Bourillón, Adriana Castillo, Mariana Contreras y Rodrigo Ruiz. 2016b. "Proyecto de Conservación del sitio rupestre El Vallecito, Baja California. Informe de la cuarta temporada de trabajos de conservación *in situ*, 20 septiembre al 20 octubre, 2016". Programa de Conservación de Manifestaciones Gráfico-Rupestres. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia-Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural.

Cruz, Sandra, Alejandra Bourillón, Adriana Castillo, Anacaren Morales, Omar Torres y Rodrigo Ruiz. 2017b. "Proyecto de Conservación del sitio rupestre El Vallecito, Baja California. Informe de la quinta temporada de trabajos de conservación *in situ*, 17 julio al 12 agosto, 2017". Programa Nacional de Conservación de Patrimonio Gráfico-Rupestre. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia-Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural.

Cruz, Sandra, Josué Cárdenas, Antonio Aguirre, Gabriela Alcalá y Alejandra Bourillón. 2014b. "Proyecto de Conservación del sitio rupestre La Pintada, Sonora. Informe de la octava temporada de trabajos de conservación *in situ*, abril-mayo 2014". Programa de Conservación de Manifestaciones Gráfico-Rupestres. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia-Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural.

Cruz, Sandra, Josué Cárdenas, Alejandra Bourillón, Antonio Aguirre y Adriana Castillo. 2015a. "Proyecto de Conservación del sitio rupestre La Pintada, Sonora. Informe de la novena temporada de trabajos de conservación *in situ*, 16 marzo a 9 mayo, 2015". Programa de Conservación de Manifestaciones Gráfico-Rupestres. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia-Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural.

Cruz, Sandra, Adriana Castillo, Alejandra Bourillón, Rodrigo Ruiz y Antonio Aguirre. 2016a. "Proyecto de Conservación del sitio rupestre La Pintada, Sonora. Informe de la décima temporada de trabajos de conservación *in situ*, 3 al 29 abril, 2016". Programa de Conservación de Manifestaciones Gráfico-Rupestres. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia-Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural.

Cruz, Sandra, Adriana Castillo, Anacaren Morales, Angélica Vásquez, Emma Rodríguez, Rodrigo Ruiz, Omar Torres y Edgar Briseño. 2017a. "Proyecto de Conservación del sitio rupestre La Pintada, Sonora. Informe de la onceava temporada de trabajos de conservación *in situ*, 8 mayo al 10 junio, 2017". Programa Nacional de Conservación de Patrimonio Gráfico-Rupestre. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia-Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural.

Cruz, Sandra, Nora A. Pérez, Josué Cárdenas, Jesús Vidal-Solano y Lucía Alatorre. 2014a. "Conservation of Volcanic Tuffs Bearing Rock Paintings at La Pintada, Sonora Archaeological Site". *Materials Research Society Symposium Proceedings*, vol. 1618: 195-205. DOI: 10.1557/opl.2014.468.

Cruz, Sandra, Omar Torres, Adriana Castillo, Anacaren Morales y Rodrigo Ruiz. 2018. "Proyecto de Conservación del sitio rupestre La Pintada, Sonora. Informe de la doceava temporada de trabajos de conservación *in situ*, 23 abril a 19 mayo, 2018". Programa Nacional de Conservación de Patrimonio Gráfico Rupestre. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia-Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural.

Cruz, Sandra, Angélica Vásquez, Omar Torres, Anacaren Morales, Adriana Castillo y Rodrigo Ruiz. 2019. "Proyecto de Conservación del sitio rupestre El Vallecito, Municipio de Tecate, Baja California. Informe de la sexta temporada de trabajos de conservación *in situ*, 9 julio al 3 agosto, 2018". Programa Nacional de Conservación de Patrimonio Gráfico-Rupestre. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia-Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural.

"Documento de Nara sobre autenticidad". 1994. https://www.iccrom.org/sites/default/files/publications/2020-05/convern8_06_docudenara_esp.pdf (consultado el 15 de mayo de 2020).

Laborde Marqueze, Ana (coord.). 2013. *Proyecto Coremans. Criterios de intervención en materiales pétreos*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

Medina-González, Isabel, María del Carmen Castro Barrera, Valeria García Vierna, María Eugenia Marín Benito y Patricia Meehan Hermanson.

2009. "Una primera aproximación a la normativa en materia de conservación del patrimonio cultural de México". En *La conservación-restauración en el* INAH*. El debate teórico*, Renata Schneider (coord.), 137-151. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Muñoz Viñas, Salvador. 2003. *Teoría contemporánea de la restauración*. Madrid: Síntesis.

Pérez, Nora Ariadna y Enrique Lima. 2013. "Diseño y evaluación de consolidantes para el patrimonio pétreo de origen volcánico". *Intervención. Revista Internacional de Conservación, Restauración y Museología*, vol. 4, núm. 8: 5-12.

Pérez, Nora A., Enrique Lima, Pedro Bosch y Juan Méndez-Vivar. 2014. "Consolidating Materials for the Volcanic Tuff in Western Mexico". *Journal of Cultural Heritage*, vol. 15, núm. 4: 352-358.

Ramos, Aldo. 2014a. "Estudio petrográfico, Muestra-Lámina, BC/V/M222/2013–L006, Localidad: Sitio Rupestre "El Vallecito", Baja California". Programa Nacional de Conservación de Patrimonio Gráfico Rupestre. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

___ . 2014b. "Estudio petrográfico, Muestra-Lámina, SON/LP/M7/2011–L007, Localidad: Sitio Rupestre "La Pintada", Sonora". Programa Nacional de Conservación de Patrimonio Gráfico Rupestre. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

___ . 2014c. "Estudio petrográfico, Muestra-Lámina, SON/LP/M7/2011–L008, Localidad: Sitio Rupestre "La Pintada", Sonora". Programa Nacional de Conservación de Patrimonio Gráfico Rupestre. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Siegesmund, Siegfried y Rolf Snethlage (eds.). 2011. *Stone in Architecture*. Berlín: Springer.

Tarbuck, Edward y Frederick K. Lutgen. 2005. "Rocas ígneas". En *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*, 107-133. Madrid: Prentice Hall.

Toselli, Alejandro. 2019. "Clasificación y nomenclatura de las rocas ígneas". En *Elementos básicos de petrología ígnea*, 29-41. San Miguel de Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán-Instituto Superior de Correlación Geológica. http://www.insugeo.org.ar/libros/misc_18/pdf/toselli_miscelanea_18_elementos_basicos_de_petrologia_ignea.pdf (consultado el 3 de agosto de 2019).

La consolidación por biomineralización de materiales inorgánicos en el patrimonio cultural mesoamericano: el caso de Honduras y Guatemala

Carlos Rodríguez Navarro[*]
Alberto de Tagle[**]
Griselda Pérez[***]
Barbara Fash[****]
William Fash[*****]
Nieves Valentín[**]
Juan Carlos Pérez[***]
Edwin Pérez[***]
María Teresa González Muñoz[*****]
Fadwa Jroundi[******]
Encarnación Ruiz Agudo[*]
Kerstin Elert[*]

Resumen

El deterioro de los materiales constitutivos del patrimonio cultural, como piedra, morteros y estucos, conduce a la pérdida de sus elementos. Se ha intentado detenerlo mediante la aplicación de tratamientos que no siempre han resultado del todo efectivos, sobre todo por problemas de incompatibilidad. En fechas recientes se han explorado métodos más eficaces de conservación basados en procesos naturales, como la biomineralización por medio de bacterias productoras de carbonato de calcio. En el marco del Programa Santander para la Investigación y Conservación de la Escultura Maya de la Universidad de Harvard, y en colaboración con un equipo internacional y multi-

[*] Universidad de Granada-Departamento de Mineralogía y Petrología
[**] Programa Santander para la Investigación y Conservación de la Escultura Maya
[***] Proyecto Arqueológico Waka'-Proyecto Paisaje Piedras Negras-Yaxchilán
[****] Universidad de Harvard-Museo Peabody
[*****] Universidad de Harvard-Departamento de Antropología
[******] Universidad de Granada-Departamento de Microbiología

disciplinario de España, Guatemala, Honduras y Estados Unidos, se han estudiado los efectos de este tratamiento y su uso potencial en la región. Los resultados preliminares de su aplicación *in situ* en estructuras y muestras de laboratorio demuestran que la biomineralización bacteriana es eficaz para proteger y conservar estuco y piedra del patrimonio cultural, con amplio potencial para ser aplicado en el área mesoamericana.

Palabras clave: biomineralización, conservación, monumentos, área maya, piedra caliza

Abstract

Deterioration of the inorganic materials that constitute cultural heritage, such as stone, mortar, and stucco, leads to the loss of their elements. Different treatments previously applied as an effort to stop this action, have not been entirely effective due to incompatibility issues. Recently, more efficient conservation methods have been explored based on natural processes, such as biomineralization through calcium carbonate producing bacteria. In the framework of the Santander Program for the Research and Conservation of Maya Sculpture of Harvard University, working in collaboration with an international and multidisciplinary team from Spain, Guatemala, Honduras and the United States, trials have been carried out to study the effects of such treatment and its potential use in the Maya region. The preliminary results of application on *in situ* structures and lab samples show that the bacterial biomineralization is effective for the protection and conservation of cultural heritage materials, with ample potential for application in the Mesoamerican area.

Keywords: biomineralization, conservation, monuments, Maya area, limestone

Los criterios de este estudio se basan en los establecidos en las Cartas Internacionales de Conservación ("Carta del restauro" 1932; "Carta de Venecia" 1964; "Carta del restauro" 1972; "Carta de 1987 de la conservación y restauración de los objetos de arte y cultura" 1987; "Documento de Nara sobre autenticidad" 1994; "Carta de Cracovia" 2000), en especial los que se refieren a intervención en materiales pétreos en el proyecto Coremans (Laborde 2013).

1. Documentación. Los monumentos de Honduras y Guatemala, objeto de este trabajo, han sido ampliamente documentados por estudios interdisciplinarios previos, sistemas de registro gráficos, fichas clínicas, diagnósticos, etcétera. Se han analizado desde las perspectivas artística, histórica, arqueológica y de materia prima, para determinar las directrices de la intervención, que también ha sido documentada.
2. Unicidad. Por su vulnerabilidad, los monumentos se consideran en su individualidad, y por tratarse de objetos únicos del patrimonio cultural, también se contemplan como componentes de un todo en un contexto, en los sitios de Copán, Piedras Negras y El Perú-Waka'.
3. Mínima intervención. Para los monumentos de Piedras Negras y El Perú-Waka', se tomaron medidas de mínima intervención. Las cubiertas protectoras y las plataformas se pensaron como medidas no invasivas y de conservación preventiva, sin agregar elementos ajenos a los monumentos. Con la experimentación por biomineralización en los fragmentos, se activan sólo bacterias carbonatogénicas propias de la roca, lo que repercute en una alteración positiva que fortalece la estructura sin que elementos ajenos alteren sus propiedades fisicoquímicas.
4. Autenticidad. Los aspectos fundamentales de los monumentos edificados y esculpidos de Copán, Piedras Negras y El Perú-Waka', así como sus formas, características y contexto histórico-cultural, ponen de manifiesto su significado y originalidad. Se reconoce la naturaleza específica de sus valores patrimoniales y se concluye que deben ser preservados sin alterar sus elementos.
5. Estabilización. Con la instalación de las plataformas y cubiertas se busca combatir la fuente de los deterioros y reducir la exposición de los monumentos de Piedras Negras y El Perú-Waka' a los agentes atmosféricos, para frenar los procesos de alteración por intemperismo, propiciar un nuevo momento de estabilidad y mejorar sus condiciones de resguardo.
6. Parámetros y métodos de medición. Los sistemas de monitoreo y evaluación de resultados han permitido valorar la eficacia de los métodos de conservación implementados. Para seguir de cerca las diferencias entre antes y después de la aplicación, se emplean monitores de temperatura y humedad relativa, y

las muestras de piedra en las que se ha ensayado la biomineralización han sido sometidas a otros métodos de medición para conocer el comportamiento de los monumentos.

7. Compatibilidad de materiales. En especial en la consolidación por biomineralización, se activan bacterias propias de la roca caliza con procesos controlados de aplicación que generan carbonato de calcio y la hacen más resistente a los fenómenos de alteración, sin modificar sus propiedades fisicoquímicas.

INTRODUCCIÓN

Los materiales más utilizados en la construcción de estructuras históricas y esculturas, como la piedra, los morteros y los estucos de cal, presentan a lo largo del tiempo alteraciones físicas, químicas y biológicas (Doehne y Price 2010), como grietas, fracturas, pulverización de superficies y pérdida de elementos, como consecuencia de cambios abruptos de temperatura y humedad, o de la penetración de raíces de microflora y plantas vasculares, por mencionar algunas de las causas más comunes.

En Mesoamérica encontramos numerosos ejemplos, como el caso de Tikal (Larios 2003), donde la pérdida constante de la superficie de las piedras y los morteros pone en riesgo la estabilidad de secciones o edificios enteros –Estructura 5D-33 o el propio Templo I–, y los monumentos esculpidos de Piedras Negras, donde la vegetación exuberante cala en los edificios y monumentos expuestos a la intemperie y ocasiona pérdidas irreparables (Pérez *et al.* 2016). En zonas tropicales como el área maya, estos fenómenos pueden ser extremadamente dañinos, en especial por procesos de biodeterioro que implican alteraciones de sus propiedades fisicoquímicas por la incidencia de organismos. La intensidad de las alteraciones depende de la naturaleza y constitución de los materiales, de las condiciones ambientales y posibles intervenciones previas (Valentín 2010). Si bien algunos microorganismos pueden causar biodedeterioro, algunas bacterias también pueden ser la solución para conservar estructuras históricas. En toda el área maya, edificios, esculturas, elementos decorativos o acabados arquitectónicos como paneles, estelas y altares que conmemoran a gobernantes o eventos significativos de la historia antigua han estado expuestos a la intemperie y

múltiples fenómenos de alteración durante milenios, y sus efectos suelen crecer de manera exponencial.

El Programa Santander para la Investigación y Conservación de la Escultura Maya fue creado en 2010 para estudiar y preservar monumentos esculpidos en los sitios mayas de Honduras (Doehne y Price 2010), Guatemala y México, donde es necesario crear metodologías que incorporen avances tecnológicos de vanguardia que se puedan aplicar en países que disponen de pocos recursos y en la región. El programa, radicado en el Centro David Rockefeller de Estudios Latinoamericanos de la Universidad de Harvard, incluye la creación de programas de entrenamiento en conservación de escultura, arquitectura y otros objetos sagrados. Su ampliación ha permitido extender la red de especialistas para concretar importantes colaboraciones institucionales con Honduras, Guatemala, México, España, China y Japón (Fash y Fash 2015).

En 2017, en el parque arqueológico de Copán se inauguró el Laboratorio de Conservación de Escultura Maya (LACEM) para proyectos regionales, equipado y enfocado en la capacitación del personal profesional y técnico de conservación del sitio y Guatemala, entre otros trabajos de educación y divulgación. Los trabajos de investigación del Programa Santander se han extendido a Teotihuacán, en la Plaza de las Columnas, México, y a Guatemala, con los monumentos esculpidos de Piedras Negras y El Perú-Waka'.

Con el objetivo de conservar los edificios y monumentos esculpidos, el Programa Santander impulsó la exploración de un nuevo método de conservación basado en un proceso natural: la biomineralización de carbonato cálcico por bacterias, que ya se ha aplicado en edificios patrimoniales de España con resultados alentadores en la consolidación de superficies de piedra caliza y estuco.

¿QUÉ ES LA BIOMINERALIZACIÓN?

La biomineralización es el proceso natural mediante el cual un organismo vivo produce un material sólido inorgánico, un biomineral, que desarrolla una función determinada (Lowestan y Weiner 1989). En el caso de los moluscos, por ejemplo, el biomineral es su concha de carbonato cálcico, que desempeña un papel protector clave. En el caso de los seres humanos, los dientes y los huesos son biominerales, materiales a

base de fosfato de calcio de enorme resistencia fisicomecánica y química, con funciones vitales. La biomineralización no sólo ocurre en organismos superiores; también en microorganismos, como las bacterias. En presencia de determinados nutrientes y mediante distintas rutas metabólicas, éstas son capaces de inducir la precipitación de biominerales, desde óxidos como la magnetita, hasta carbonatos como la calcita.

La biomineralización bacteriana de carbonatos de calcio es un proceso ubicuo y natural en suelos, cuevas, lagos y ambientes marinos (Boquet *et al.* 1973). Las bacterias que producen estos carbonatos, llamadas carbonatogénicas, son abundantes y se encuentran en casi todos los ambientes (Rodríguez *et al.* 2003). Dada su capacidad de producir $CaCO_3$, se propuso su aplicación como método de conservación (método CALCITE) en la década de 1990 (Adolphe *et al.* 1990); pero no sólo es un procedimiento complejo y costoso, implicaba aplicar bacterias (*Bacillus cereus*) cultivadas en laboratorio (Le Métayer-Levrel *et al.* 1999), lo que alteraba la microbiota autóctona del material tratado.

Se experimentó también con medios de cultivo que incorporaban carbohidratos, pero ocasionaban el desarrollo de bacterias productoras de ácidos y, por lo tanto, problemas de biodeterioro. Tras años de experimentar, el grupo de la Universidad de Granada descubrió en 2008 que, para obtener una protección y consolidación adecuadas, era suficiente aplicar un medio nutritivo estéril. Al activar de manera selectiva las bacterias carbonatogénicas presentes en el sustrato, éstas generaban *in situ* un nuevo cemento de carbonato cálcico con una elevada capacidad consolidante (González *et al.* 2008). Al incorporar restos de bacterias y sustancias exopoliméricas segregadas por éstas, los biominerales bacterianos presentaban una resistencia mecánica y química hasta 400% superior a la de los carbonatos inorgánicos presentes, por ejemplo, en una caliza (Jroundi *et al.* 2017).

El medio de cultivo de este tratamiento, denominado M-3P, consiste en una fuente de proteína hidrolizada de caseína que alimenta las bacterias M*yxococcus xanthus*, que son no patógenas, heterótrofas, aerobias y microaerófilas, y están presentes típicamente en la roca caliza y el estuco. Este tratamiento fue patentado y en la actualidad se produce de manera industrial. La facilidad de aplicación del método, su costo competitivo y el hecho de que en todos los sustratos estudiados hasta la fecha hay bacterias carbonatogénicas han propiciado que se aplique en diversos materiales y edificios en España, Francia y Portugal con enorme eficacia (Rodríguez *et al.* 2015).

El Programa Santander, dirigido por Barbara y William Fash, promovió las primeras pruebas de biomineralización en Copán, en 2018. Se tomaron muestras de la microbiota presente en las rocas y los estucos tratados, y se hicieron pruebas de cohesión superficial (Jroundi *et al.* 2017) con el objetivo de verificar la fragilidad de la roca y la cantidad de desprendimientos por unidad de área. Se aplicó un tratamiento experimental en una sección de la base del Templo 18 y algunos fragmentos de piedra y estuco de cal en el LACEM (Fash *et al.* 2018). La solución nutritiva estéril (M-3P) activó selectivamente las bacterias carbonatogénicas (González *et al.* 2008). El tratamiento se aplicó mediante pulverización durante seis días consecutivos, dos veces diarias. Luego de la activación de las bacterias, se produce el proceso de calcificación, que se desarrollará mientras éstas excretan carbonato de calcio donde se aplicó la solución nutritiva. Toma de dos a tres meses que alcance su nivel máximo. El tratamiento está completamente controlado, se detiene al dejar de aplicar el alimento.

Al mismo tiempo, se desarrolló en Guatemala un programa de cubiertas en los sitios arqueológicos de Piedras Negras y El Perú-Waka'. A partir de un cuidadoso diagnóstico de sesenta y seis monumentos en el primero y veintidós en el segundo, se identificó que los problemas relacionados con la meteorización constituyen 50% de las causas de deterioro. Se propusieron acciones de conservación preventiva con la colocación de cubiertas y plataformas, como una etapa previa que podría ser complementada con tratamientos de biomineralización.

El material y el diseño de las cubiertas contemplaron aspectos teóricos, como el concepto de la casa maya básica: una estructura de dos aguas en cuyo interior se resguardan el fuego perenne y la familia, además de los utensilios y las herramientas. En cuanto a funcionalidad y estética, se buscó que las techumbres no entorpecieran la vista del monumento y pasaran desapercibidas en el paisaje, hasta casi "desaparecer" entre las luces y sombras de la selva petenera. El resultado es una cubierta resistente, minimalista, que se integra al paisaje sin competir visualmente con el monumento o su entorno (Pérez *et al.* 2018).

Para analizar el impacto visual, estético y funcional de las cubiertas, y para definir su forma y los materiales, se visitaron más de doce sitios en México, Guatemala y Honduras: La Venta, el Parque Museo La Venta, Teotihuacán, Templo Mayor, Yaxchilán, Piedras Negras, Tikal, Quiriguá, Kaminaljuyu, El Perú-Waka', Copán, La Entrada Copán y Uaxactún, entre otros.

En la actualidad, las cubiertas que se usan en las selvas de Guatemala se construyen con madera rolliza, cortada en la misma selva, y techo de palma de guano (*Sabal mexicana*) que tiene, a lo sumo, dos años de vida útil. Esto genera serios problemas de mantenimiento, pues en algunos casos las techumbres han colapsado sobre los monumentos que fueron destinadas a proteger. En la propuesta actual, la estructura es de madera de pucté (*Terminalia buceras*) y lámina de policarbonato, que prolongan el periodo de protección. La dureza de esta madera y el diseño protegen a los monumentos incluso de la caída de pequeños árboles o ramas. La plataforma y la lámina impiden el paso de los rayos UV y del agua de lluvia y del suelo; con ello se imposibilita el desarrollo de los estratos orgánicos sucesivos que crecen sobre los monumentos.

Gracias al apoyo e involucramiento de personas de las comunidades locales La Técnica Agropecuaria, Santa Rita y Paso Caballos en Petén, y de los financiamientos extranjeros, entre 2016 y 2018, fue posible construir en Piedras Negras siete cubiertas permanentes y cuatro temporales (Pérez *et al*. 2018), mientras en El Perú-Waka' se han protegido seis monumentos con cubiertas formales y dos provisionales (Pérez y Pérez 2018); además, cuatro mujeres jóvenes rurales recibieron capacitación como técnicas en conservación. En paralelo a la construcción de cubiertas para estabilización, comenzó la experimentación con el tratamiento M-3P en muestras de piedra caliza y estuco de ambos sitios en el laboratorio de la Ciudad de Guatemala.

EL PROYECTO DE BIOMINERALIZACIÓN EN MESOAMÉRICA

Para hacer experimentos en la piedra de Copán, Piedras Negras y El Perú-Waka', el Departamento de Microbiología de la Universidad de Granada proporcionó la solución nutritiva. Las instituciones que respaldan la investigación patrocinaron la importación. Las muestras tratadas incluyen piedra toba y estucos de Copán, estuco y piedra caliza de saqueos y superficie de los sitios de Piedras Negras y El Perú-Waka'.

Se desconocía si en la piedra toba de Copán, de composición silicatada (cuarzo, feldespatos, minerales de la arcilla y vidrio volcánico) y soporte no carbonatado, el tratamiento sería eficaz o si existiría una adecuada población de bacterias carbonatogénicas como para provocar

la formación de un nuevo cemento carbonatado con suficiente poder consolidante. Se hicieron distintos tipos de análisis antes y después del tratamiento, que incluyeron el estudio de la mineralogía, composición y textura mediante microscopía óptica de luz polarizada, microscopía electrónica de barrido (SEM) y de transmisión (TEM) con microanálisis EDX, espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) y análisis térmogravimétrico (TG). Además, mediante técnicas de cultivo y moleculares, se identificó la microbiota total de los sustratos antes y después del tratamiento.

Mediante cultivo en el medio M-3P, se comprobó que existía una abundante población de bacterias carbonatogénicas en todos los materiales sometidos a tratamiento, sin importar su composición (silicatada o carbonatada). En paralelo, después de ensayar la pegatina, se determinó la cohesión superficial de los materiales tratados, con degradación extrema por descamaciones y desplacados, en el caso de la toba volcánica de la Estructura 18 de Copán (véase la figura 1). Los resultados muestran que la pérdida de material superficial se redujo entre 50% y 85% y evidencian un fortalecimiento de la estructura de la piedra, que ahora se degrada con menos facilidad. Los análisis también demuestran que el contenido de calcita aumentó de 3% a 11% (véase la figura 2).

El muestreo y los ensayos antes y después del tratamiento mostraron un incremento muy notable del número de bacterias productoras de carbonato cálcico y la desaparición de las potencialmente nocivas, productoras de ácidos. Mediante SEM se observó la generación de un nuevo cemento de $CaCO_3$ bacteriano, que elevó la resistencia mecánica de las superficies tratadas sin alterar la estructura porosa de los materiales: piedra volcánica o morteros/estucos de cal (véase la figura 3).

En Piedras Negras, tres años después de haber colocado las cubiertas y plataformas, sin ninguna limpieza mecánica, la microflora y las plantas vasculares se han secado, y se ha detenido el crecimiento de microorganismos que se eliminan solos de manera gradual (véase la figura 4). Murciélagos y aves no han encontrado un lugar adecuado para anidar, por lo que las deposiciones en los monumentos también se han reducido. Lo mismo sucede con las deposiciones de los monos, que ahora quedan en las cubiertas. Después del éxito de los cambios macro, el siguiente paso es la consolidación de la piedra caliza *in situ*.

Figura 1. Daños y tratamiento de la piedra de Copán: a) *Estructura 18;* b) *detalle de daños por descamación y desplacados en la toba volcánica, en la base del muro;* c) *aplicación del tratamiento de biomineralización bacteriana sobre un paramento. Fotografías: Carlos Rodríguez Navarro, agosto de 2016.*

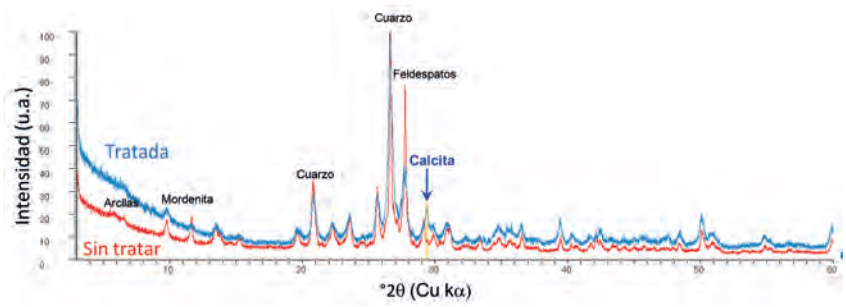


Figura 2. Análisis de la composición mineralógica de la piedra de Copán por difracción de rayos X, antes y después del tratamiento de biomineralización bacteriana. Se observa el aumento del pico correspondiente a la calcita formada después del tratamiento. Cortesía del Departamento de Petrografía de la Universidad de Granada.

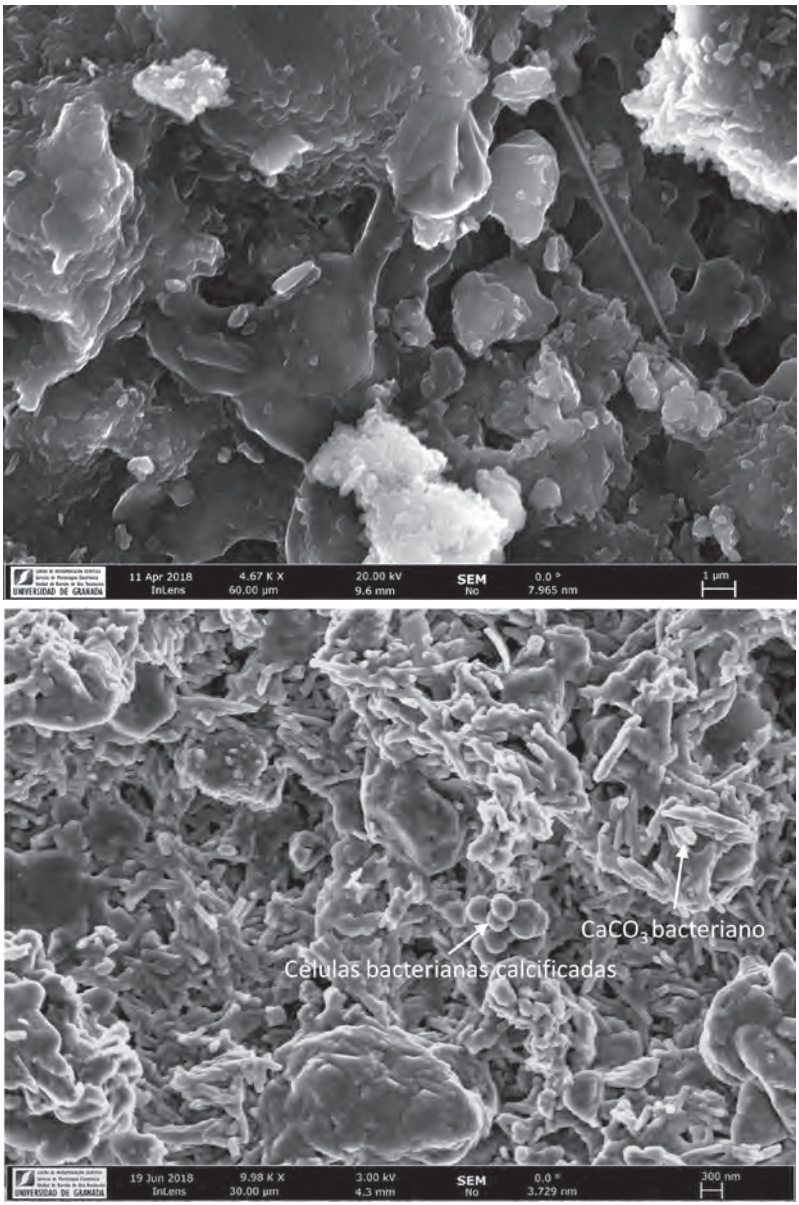


Figura 3. Microfotografías de SEM *de la piedra de Copán de agosto de 2016 (arriba) y diciembre de 2016 (abajo). Se observan células de bacterias calcificadas cementando la matriz silicatada de esta toba volcánica. Fotografías: Centro de Investigación Científica del Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Granada.*

Figura 4. Evolución de la condición de la Estela 30 en Piedras Negras, de 2015 a 2018, luego de su estabilización con el sistema de cubierta y plataforma, sin limpieza mecánica. Fotografías: Juan Carlos Pérez Calderón, 2015-2018.

En cuanto a la biomineralización en el laboratorio de la Ciudad de Guatemala, las primeras microfotografías de SEM de las muestras de Piedras Negras y El Perú-Waka' revelan que el contenido de calcita ha aumentado de manera considerable. En el estuco, por ejemplo, se aplicó una prueba simple de dureza en la escala Mohs; la superficie tenía una dureza original de 3 que se elevó a 4.5, una mejora en la resistencia mecánica en la superficie ante otros tipos de alteración.

CONCLUSIONES

Los resultados preliminares demuestran que el tratamiento de protección y la consolidación mediante biomineralización bacteriana son eficaces para conservar estructuras y esculturas del área maya, en especial las construidas con roca caliza, morteros y estucos de cal. En primer lugar, se hace evidente que la intervención por biomineralización respeta

la integridad de los elementos constitutivos de los monumentos esculpidos; es decir, lejos de introducir elementos ajenos en el material pétreo, las mismas bacterias presentes en la roca se activan y fortalecen la estructura desde el interior con carbonato de calcio. Se mantienen los principios de compatibilidad de materiales, autenticidad y mínima intervención. En el caso de la piedra toba, el tratamiento también demostró ser muy efectivo sin alterar la naturaleza de la roca.

La documentación y el registro minucioso de los agentes de deterioro, antes, durante y después de la experimentación en las pruebas, han demostrado que en todos los sustratos estudiados hay abundantes bacterias carbonatogénicas y que después del tratamiento se reduce la cantidad de bacterias nocivas productoras de ácidos, aspecto positivo para evitar fenómenos de biodeterioro. Los avances en la recuperación estructural del material pétreo son notables, pues se alcanzó un nuevo nivel de estabilidad que permitirá prolongar la vida de los monumentos.

Otro aspecto importante es que el carbonato cálcico bacteriano actúa como un nuevo cemento que consolida con eficacia la estructura porosa de la piedra, sin bloquear los poros, aspecto clave que no se consigue con tratamientos con polímeros orgánicos, que suelen formar películas superficiales impermeables al vapor de agua. Al ser híbridos orgánicos-inorgánicos (biominerales), los nuevos carbonatos bacterianos son en principio más resistentes a la alteración que un carbonato puramente inorgánico y actúan como cemento compatible con el sustrato silicatado (piedra de Copán) y calcáreo (piedra de El Perú-Waka' y Piedras Negras).

El paso siguiente es aplicar este método en la selva. Todo indica que es el tratamiento correcto, con una compatibilidad completa de materiales, sin efectos contraproducentes para el patrimonio. La aplicación de un método ortodoxo, como las cubiertas y plataformas como acciones preventivas, en combinación con uno novedoso, la biomineralización bacteriana, puede resultar una eficaz medida de estabilización y consolidación de los monumentos y edificios en el área maya.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento recibido del Programa Santander para la Investigación y Conservación de la Escultura Maya, la Universidad de Harvard, el Gobierno de España (proyectos CGL2015-70642-R y RTI2018-099565-B-I00), la Junta de Andalucía (Grupo RNM-179 y Proyecto P11-RNM-7550) y la Universidad de Granada (Unidad Científica de Excelencia UCE-PP2016-05), en especial al personal del Centro de Investigación Científica durante los análisis por SEM, TEM y TG. Agradecemos los fondos aportados y la participación de la National Science Foundation, el Museo Metropolitano de Nueva York, el Proyecto Arqueológico Waka' ONG y el Centro de Investigación y Desarrollo de Cementos Progreso.

BIBLIOGRAFÍA

Adolphe, Jean-Pierre, Jean François Loubière, José Paradas y François Soleilhavoup. 1990. "Procédé de traitement biologique d'une surface artificielle". Patente europea núm. 90400G97.0 (1989, patente francesa núm. 8903517).

Boquet, Ernesto, Albert Boronat y Alberto Ramos Cormenzana. 1973. "Production of Calcite (Calcium Carbonate) Crystals by Soil Bacteria Is a General Phenomenon". *Nature*, núm. 246: 527-529.

"Carta de 1987 de la conservación y restauración de los objetos de arte y cultura". 1987. http://www.planmaestro.ohc.cu/recursos/papel/cartas/1987-restauracion.pdf (consultado el 1 de agosto de 2020).

"Carta de Cracovia 2000. Principios para la conservación y restauración del patrimonio construido". 2000. https://en.unesco.org/sites/default/files/guatemala_carta_cracovia_2000_spa_orof.pdf (consultado el 1 de agosto de 2020).

"Carta de Venecia". 1964. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/venice_sp.pdf (consultado el 1 de agosto de 2020).

"Carta del restauro". 1932. https://www.academia.edu/31523684/CARTA_DEL_RESTAURO_DE_1932 (consultado el 1 de agosto de 2020).

"Carta del restauro". 1972. https://ge-iic.com/files/Cartasydocumentos/Carta_del_restauro.pdf (consultado el 1 de agosto de 2020).

"Documento de Nara sobre autenticidad". 1994. https://www.iccrom.org/sites/default/files/publications/2020-05/convern8_06_docudenara_esp.pdf (consultado el 1 de agosto de 2020).

Doehne, Eric y Clifford Price. 2010. *Stone Conservation. An Overview of Current Research*. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.

Fash, Barbara. 2011. *El Museo de Escultura de Copán. Arte maya antiguo en estuco y piedra*. Cambridge/Tegucigalpa: Peabody Museum Press/David Rockefeller Center for Latin American Studies/Instituto Hondureño de Antropología e Historia.

Fash, Barbara y William Fash. 2015. "Informe anual. Programa Santander para la Investigación y Conservación de la Escultura Maya". Cambridge: Harvard University-David Rockefeller Center for Latin American Studies.

Fash, Barbara, William Fash, Karina García, Isaura Alonso, Adelso Canán y Laura Lacombe. 2018. "Informe anual. Programa Santander para la Investigación y Conservación de la Escultura Maya". Cambridge: Harvard University-David Rockefeller Center for Latin American Studies.

González Muñoz, María Teresa, Carlos Rodríguez Navarro, Concepción Jiménez López y Manuel Rodríguez Gallego. 2008. "Method and Product for Protecting and Reinforcing Construction and Ornamental Materials". Patente española núm. P200602030 (WO2008009771).

Jroundi, Fadwa, Mara Schiro, Encarnación Ruiz Agudo, Kerstin Elert, Inés Martín Sánchez, María Teresa González Muñoz y Carlos Rodríguez Navarro. 2017. "Protection and Consolidation of Stone Heritage by Self-Inoculation with Indigenous Carbonatogenic Bacterial Communities". *Nature Communications*, núm. 8: 279.

Laborde Marqueze, Ana (coord.). 2013. *Proyecto Coremans. Criterios de intervención en materiales pétreos*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

Larios Villalta, Carlos Rudy. 2003. "Criterios de restauración arquitectónica en el área maya". Fundación para el Avance de los Estudios Mesoamericanos. http://www.famsi.org/reports/99026es/99026esLariosVillalta01.pdf (consultado el 4 de agosto de 2020).

Le Métayer-Levrel, Gaële, Sabine Castanier, Geneviève Orial, J. F. Loubière y J. P. Perthuisot. 1999. "Application of Bacterial Carbonatogenesis to the Protection and Regeneration of Limestones in Buildings and Historical Patrimony". *Sedimentary Geology*, vol. 126, núms. 1-4: 25-34.

Lowestan Heinz A. y Stephen Weiner. 1989. *On Biomineralization*. Nueva York: Oxford University Press.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 2013. *Managing Cultural World Heritage*. París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura/Centro

Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales/Consejo Internacional de Monumentos y Sitios/Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

Pérez Robles, Griselda, James Doyle, Edwin Pérez y Juan Carlos Pérez. 2018. "Capítulo 10: Continuación de los trabajos de conservación de los monumentos esculpidos de Piedras Negras". En *Proyecto Paisaje Piedras Negras-Yaxchilán. Informe de la tercera temporada de investigación*, Omar Alcover Firpi y Mónica Urquizú (eds.), 176-218. Guatemala: Dirección General del Patrimonio Cultural y Natural.

Pérez Robles, Griselda, Juan Carlos Pérez, Edwin Pérez, Efraín Peralta y Rony Piedrasanta. 2016. "Capítulo 14: La conservación de los monumentos de Piedras Negras". En *Proyecto Paisaje Piedras Negras-Yaxchilán 2016. Informe de la primera temporada de investigaciones*, Griselda Pérez, Andrew Scherer y Charles Golden (eds.), 359-399. Guatemala: Dirección General de Patrimonio Cultural y Natural.

Pérez Robles, Griselda y Juan Carlos Pérez. 2018. "Los monumentos de El Perú-Waka'. Diagnóstico de deterioro". En *Proyecto Arqueológico Waka', PAW: Informe no. 16, Temporada 2018*, Juan Carlos Pérez, Griselda Pérez y Damien Marken (eds.), 355-370. Guatemala: Dirección General del Patrimonio Cultural y Natural.

Rodríguez Navarro, Carlos, Fadwa Jroundi y María Teresa González Muñoz. 2015. "Stone Consolidation by Bacterial Carbonatogenesis: Evaluation of *in situ* Application". *Restoration of Buildings and Monuments*, vol. 21, núm. 1: 9-20.

Rodríguez Navarro, Carlos, Manuel Rodríguez Gallego, Koutar Ben Chekroun y María Teresa González Muñoz. 2003. "Conservation of Ornamental Stone by *Myxococcus xanthus*-Induced Carbonate Biomineralization". *Applied Environmental Microbiology*, vol. 69, núm. 4: 2182-2193.

Valentín, Nieves. 2010. "Microorganisms in Museum Collections". *Coalition*, núm. 19: 2-5.

Evaluación de la humedad relativa y la temperatura como factores en el proceso sol-gel de nanomateriales para conservación de roca

Daniel Meléndez[*]
Juan F. Illescas[**]
Nora Ariadna Pérez Castellanos[***]
Julia Aguilar[****]

Resumen
En el presente estudio se muestran algunos efectos de las condiciones climáticas en tratamientos de conservación-restauración de materiales pétreos. La metodología se basa en los criterios de compatibilidad fisicoquímica, y de estabilidad a largo plazo de productos de tipo alcoxisilano para consolidación e hidrofugación, aplicados en probetas de toba riolítica, sometidos a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa. Se caracterizaron los materiales, se determinaron los cambios de algunas propiedades de la roca (dureza superficial, permeabilidad de la superficie y color) y se evaluó la efectividad de los tratamientos. Los resultados permitieron seleccionar ciertos productos aplicables en México, en función de la eficacia del tratamiento, su idoneidad y compatibilidad con la piedra, y su entorno de intervención.

Palabras clave: conservación de roca, condiciones ambientales, proceso sol-gel

Abstract
This study determines some effects of intervention climate conditions on Mexican cultural heritage stone conservation-restoration treatments.

[*] Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural, INAH
[**] Centro de Investigación en Corrosión, UACAM
[***] Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM
[****] Departamento de Ciencias Básicas, UAM-A

For this, the methodology is based on physical and chemical compatibility criteria, as well as the long-term stability of alkoxysilane-based products with consolidant and hydrofugant properties. These products were applied to stone specimens and were exposed to several temperature conditions and relative humidity. As a result, we identified changes in some stone properties such as surface hardness, permeability and color; the effectiveness of the treatments was also evaluated. The results allowed a selection of certain products applicable to Mexico, depending on their effectiveness and compatibility in different intervention environments.

Keywords: stone conservation, environmental conditions, sol-gel process

INTRODUCCIÓN

El deterioro constante de los materiales pétreos patrimoniales ha despertado una mayor conciencia sobre las necesidades de conservación. Estos factores han fomentado un auge en las intervenciones de conservación-restauración de monumentos (Alcalde y Villegas 2003: 10), que tienen como finalidad devolver las características originales del sustrato pétreo y protegerlo frente a los agentes que causan su deterioro. Entre los tratamientos de intervención más comunes se cuentan: (i) la consolidación, para recuperar la cohesión que ha perdido la roca, y (ii) la hidrofugación, que impide o disminuye la entrada de agua en forma líquida para proteger el material pétreo de los factores de alteración que requieren la participación de agua para actuar (Villegas *et al*. 2003: 180-188).

Antes de aplicar estos tratamientos, se debe limpiar y desalinizar el soporte, erradicar los problemas de humedad ocasionados por ascenso capilar u otros frentes, y estabilizar los movimientos de sales solubles. La aplicación no debe hacerse de forma indiscriminada. Los tratamientos de consolidación e hidrofugación modifican las características del soporte de modo irreversible; por lo tanto, el proceso deberá ajustarse al principio de mínima intervención y limitar las zonas o elementos que lo requieran (Laborde 2013: 89-91).

A lo largo de la historia se han utilizado técnicas de consolidación de naturaleza química diversa, como tratamientos inorgánicos, en oca-

siones con aditivos y grasas como medio para mejorar la resistencia de los materiales pétreos a las condiciones ambientales. En las últimas décadas, los polímeros sintéticos se han empleado para preservar la roca de monumentos patrimoniales. En tratamientos de consolidación e hidrofugación, se han usado resinas termoplásticas, como vinilos y acrílicos, o resinas termoestables, como epóxidos o poliéster, así como productos organosilícicos, como los siloxanos y los alcoxisilanos (Fort 2007). Sin embargo, bajo ciertas circunstancias, todos estos tratamientos pueden causar daños o acelerar los procesos de deterioro.

Estos tratamientos deben ajustarse a una serie de criterios preventivos o paliativos que contribuirán a aumentar la vida útil de un bien cultural y a conservar sus elementos y características originales. Los productos seleccionados deberán garantizar la estabilidad y compatibilidad con las estructuras pétreas, no modificar en ningún caso las características estéticas ni cromáticas de la obra, no alterar las propiedades fisicoquímicas del sustrato, evitar residuos que puedan dañar el soporte y no propiciar la formación de películas superficiales (Esbert y Losada 2003).

En este sentido, los productos alcoxisilanos basados principalmente en tetraetoxisilano (TEOS) y sus oligómeros han demostrado ser los más idóneos como tratamientos de consolidación e hidrofugación para rocas silíceas (Franzoni *et al.* 2015; Zarzuela *et al.* 2018). Estos productos se aplican en forma líquida y polimerizan de forma espontánea (en presencia de un catalizador) con las moléculas de agua en el ambiente o grupos hidroxilo (OH^-) en el interior de la estructura porosa de la roca. Como resultado, se obtiene una red tridimensional de sílice que encierra en sus poros subproductos de reacción (alcohol y agua), los cuales se evaporan rápidamente y no permanecen en la roca. A este proceso se le conoce como sol-gel (Zárraga *et al.* 2006; Wheeler 2005: 14-16; Doehne y Price 2010: 40).

En México se han aplicado algunos de estos productos, como KSE 300®, Waker OH® y Conservare H100®, entre otros. Además, existen investigaciones para desarrollar productos para zonas específicas del país (Zárraga *et al.* 2010; Pérez *et al.* 2014; Briseño 2019). A pesar de la experiencia con este tipo de materiales, la elección de un producto para consolidación o hidrofugación no es simple, porque los productos no reaccionan de la misma forma ni los soportes pétreos responden igual en todos los casos. Las condiciones de tempera-

tura y humedad relativa del entorno de intervención condicionan las reacciones químicas de los productos, lo que ocasiona resultados diferentes con respecto a la eficacia del consolidante e hidrofugante (Meléndez 2017: 40-43).

Considerando que gran parte del patrimonio pétreo mexicano está compuesto por rocas silíceas expuestas a condiciones climáticas muy adversas, pero también los elevados grados de deterioro y la vulnerabilidad de las reacciones químicas de los productos para conservación-restauración de roca tipo alcoxisilano, nuestro equipo de trabajo se vio motivado a desarrollar un experimento en laboratorio para mostrar cómo la temperatura y la humedad relativa de los ambientes de intervención provocan determinados efectos en los procesos de consolidación e hidrofugación.

LOS CRITERIOS DE CONSERVACIÓN Y SU APLICACIÓN EXPERIMENTAL

Los criterios de conservación actuales son muy específicos con respecto al uso de materiales nuevos. Se deben asegurar la compatibilidad fisicoquímica y su estabilidad a largo plazo. La metodología del experimento en laboratorio incluyó las siguientes variables dependiendo de cada criterio:

- Compatibilidad fisicoquímica: rocas silíceas como sustrato y materiales consolidantes silíceos desarrollados en laboratorio.
- Estabilidad a largo plazo: construcción de cinco sistemas con condiciones climáticas controladas para reproducir diferentes ambientes reales de forma simultánea, incluidas condiciones de máxima temperatura y humedad relativa a las que puede estar sometido un monumento histórico en México.

Las propiedades evaluadas se seleccionaron de acuerdo con los siguientes criterios:

- Compatibilidad visual: medición del cambio de color y observación superficial de la roca con microscopio.

- Compatibilidad fisicoquímica: dureza superficial, permeabilidad e hidrofugación.

Para construir los cinco sistemas se implementó una plataforma computacional de código abierto, Arduino, con la que se desarrollaron dos estaciones de medición y control ambiental (EMCA). La nomenclatura ocupada en el experimento corresponde con el sistema de clasificación climática propuesta por Köppen, más tarde modificada por García (2004: 21-49). En la tabla 1 se pueden observar las condiciones ambientales planteadas.

Dos de los productos utilizados fueron desarrollados en la Universidad de Cádiz (UCA), España. Uno de ellos es un producto T inorgánico (T-2o), con propiedad consolidante (Illescas y Mosquera 2012). El segundo es un producto T híbrido orgánico-inorgánico (T-10P2o), con propiedad consolidante-hidrofugante (Illescas y Mosquera 2012; Mos-

Tabla 1
CONDICIONES DE HUMEDAD RELATIVA
Y TEMPERATURA EN LOS SISTEMAS DE CONTROL

Clasificación climática	*Sistema*	*Temperatura (°C)*	*Humedad relativa (% HR)*	*Localización*
Cálido subhúmedo	Aw'	60	50	Zonas de Yucatán, Campeche, etcétera.
Cálido subhúmedo	Aw	40	50	Zonas de Oaxaca, Guerrero, etcétera.
Templado subhúmedo	C(w)	20	50	Zonas de Jalisco, Guanajuato, etcétera.
Seco semicálido	B(h)	20	25	Zonas de Sonora, Chihuahua, etcétera.
Semicálido húmedo	A(C)	20	90	Zonas de Tabasco y Veracruz

Fuente: elaboración propia. La temperatura del clima tropical de sabana (Aw') es propuesta, pues algunos autores han registrado temperaturas superiores a 45°C en la superficie de construcciones, con una temperatura ambiental de 37°C. Si consideramos que las temperaturas máximas para algunas regiones de México son superiores a 42°C, es probable que existan situaciones en las que la radiación solar y la absorción de calor de los materiales de construcción provoquen temperaturas cercanas a 60°C en superficies pétreas expuestas a la intemperie.

quera *et al.* 2012). Se evaluó un tercer producto T inorgánico (TS3) con propiedad consolidante, desarrollado en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (Pérez *et al.* 2014). Los tres se compararon con el producto comercial Tegovakon® V100 (TV100), comercializado por la empresa Evonik.

Los productos T y el producto comercial TV100 fueron trasvasados a viales totalmente abiertos, fabricados con polipropileno y aplicados sobre probetas de toba riolítica de 5 × 2 × 2 cm. Estas probetas se obtuvieron del proyecto de restauración arquitectónico del Museo Nacional de las Culturas, en la Ciudad de México. El grado de deterioro que presentaban era de pulverización, con una absorción rápida de agua y una dureza de 3 en la escala de Mohs.[1] El método de aplicación de los productos fue *spray* sin presión, en dosis de cinco pulverizaciones. Más adelante, los viales, las probetas tratadas y las probetas control sin tratamiento fueron expuestos a los sistemas con condiciones climáticas controladas durante cinco meses.

El estado final de los materiales para consolidación e hidrofugación se evaluó mediante una inspección visual. Los cambios cromáticos en la superficie tratada se midieron en ensayos de colorimetría. Las alteraciones en la apariencia y generación de capas en el sustrato se observaron con microscopio óptico. Los cambios en la permeabilidad de la superficie se computaron mediante ensayos de tiempo de retención de microgotas de agua en las superficies pétreas. La eficacia del consolidante se midió en ensayos de dureza Leebs. El funcionamiento del hidrofugante se verificó con los tiempos de retención de microgotas de agua y ensayos de ángulos de contacto.

RESULTADOS

Después de cinco meses de exposición, se observa que el producto T-2o en el clima cálido subhúmedo Aw' permanece monolito y transparente. En el resto de las condiciones climáticas, el producto aún se encuentra húmedo; es decir, las reacciones químicas involucradas no han termina-

[1] La toba volcánica se caracterizó en la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC).

do. Esto implica que el material no tiene la suficiente dureza y los subproductos de reacción no se han evaporado por completo.

En los climas cálido subhúmedo Aw' y semicálido B(h), el producto TS3 se fractura. Este efecto también es visible en el clima cálido subhúmedo Aw, acompañado de una separación de fases. En el resto de las condiciones climáticas, el producto TS3 permanece monolito y transparente. Por otra parte, el producto TV100 fractura en todas las condiciones climáticas y presenta una diferencia dada por el amarilleamiento del material en el clima cálido subhúmedo Aw'.

Figura 1. Aspecto macroscópico de los productos expuestos durante cinco meses a las diferentes condiciones climáticas. Fotografías: Daniel Meléndez, 2017.

El producto T-10P2o presenta un aumento en la reducción de volumen con el aumento de la temperatura y, en consecuencia, el material fractura en el clima cálido subhúmedo Aw'. En el clima semicálido húmedo A(C), este producto presenta una separación de fases y una fractura asociada a este fenómeno. En el clima semicálido B(h), permanece húmedo. En el resto de las condiciones climáticas permanece monolito y transparente. Estas observaciones ponen en evidencia que la tempera-

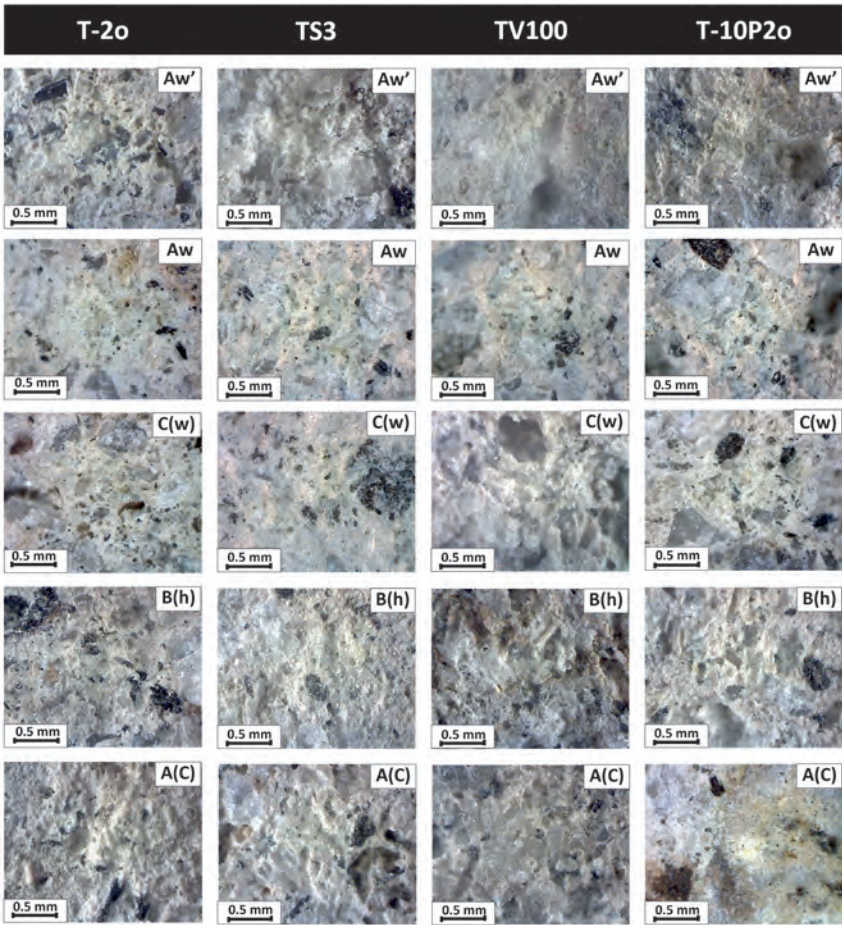


Figura 2. Superficies tratadas después de cinco meses de exposición y análisis de cambio de color total. Fotografías: Daniel Meléndez, 2017.

tura y la humedad relativa influyen directamente en el material final de los tratamientos, lo que puede provocar una mala interacción con el sustrato, afectar ciertas propiedades físicas de la roca y provocar cambios de color, así como una baja efectividad del tratamiento.

Las evaluaciones de todos los productos aplicados en roca mostraron estabilidad y compatibilidad química, no provocaron residuos o subproductos de reacción que pudieran afectar los componentes del sustrato. Desde el punto de vista físico, se observaron cambios en el aspecto y en algunas de las propiedades petrofísicas de la roca en función de las condiciones de temperatura y humedad relativa. Por ejemplo, el producto T-2o no afecta la apariencia del sustrato a nivel microscópico en todas las condiciones climáticas de estudio, lo que permite observar la distribución de los componentes de la roca (véase la figura 2). Además, no hay evidencia de la formación de una capa en la superficie que pueda convertirse en un nuevo factor de alteración; sin embargo, existe un cambio en el aspecto de la superficie tratada en el clima semicálido B(h) ($\Delta E>3$),[2] dado por una disminución en la luminosidad (*L) de la superficie. Este efecto es causado por la baja concentración de humedad relativa, porque el producto no logra secarse por completo; por lo tanto, se observa un oscurecimiento en la superficie.

El producto T-2o no se seca del todo en los climas cálido subhúmedo Aw, templado subhúmedo C(w) y semicálido B(h) (véase la figura 1), lo que provoca impermeabilidad en la superficie de la roca (véase la tabla 2). El efecto, causado por un producto húmedo en los poros del sustrato,

Tabla 2
TIEMPOS DE RETENCIÓN DE MICROGOTAS DE AGUA

	Sin tratar	*T-2o*	*TS3*	*TV100*	*T-10P2o*
Aw'	0	0	0	6.0±0.4	8.0±0.6
Aw	0	*8.0±0.5	1.0±0.1	24.0±1.6	14.0±0.6
C(w)	0	*12.0±0.9	0	>30	>30
B(h)	0	*21.0±1.4	>30	>30	*>30
A(C)	0	*0	0	>30	>30

* Valor determinado, aunque el tratamiento no está seco por completo.
Fuente: elaboración propia.

[2] ΔE= diferencia de color total; mediciones superiores a 3 se consideran dentro del umbral de perceptibilidad del ojo humano (Rodrigues y Grossi 2007).

Tabla 3
VALORES DE DUREZA LEEBS

	Sin tratar	*T-2o*	*TS3*	*TV100*	*T-10P2o*
Aw'	280±11	303±23	285±16	296±11	283±12
Aw	267±16	*293±15	270±15	269±13	281±11
C(w)	258±10	*291±10	292±3	260±13	296±4
B(h)	270±12	*268±19	290±7	271±15	*282±6
A(C)	268±12	277±14	296±14	279±20	288±6

* Valor determinado, aunque el tratamiento no está seco por completo.
Fuente: elaboración propia.

puede provocar cambios en la porosidad, afectar la transferencia de vapor de agua y dar paso a otros mecanismos de alteración. Por esta razón, antes de aplicar cualquier producto de tipo alcoxisilano, es recomendable erradicar los problemas de humedad y estabilizar los movimientos de sales solubles.

Con respecto a la eficacia consolidante del producto T-2o, la dureza Leebs aumenta en el clima cálido subhúmedo Aw' (véase la tabla 3), pues condiciones de alta temperatura favorecen el secado completo (véase la figura 1); esto mejora la interacción con el sustrato y evita cambios de color e impermeabilidad de la superficie tratada, además de asegurar la transferencia de vapor de agua, bajos cambios en la capacidad de succión capilar y mínimos cambios en la porosidad del sustrato.

En el caso del producto TS3, en condiciones climáticas por debajo de 50% de humedad relativa parece afectar ligeramente la apariencia del sustrato en los climas templado subhúmedo C(w) y semicálido B(h) (véase la figura 2); no obstante, es posible observar los componentes de la roca. En ninguna de las cinco condiciones climáticas de estudio se observó la formación de una capa en la superficie ni tampoco se advirtieron cambios en el aspecto de la roca, que conservó sus características estéticas y cromáticas ($\Delta E>3$) (véase la figura 2).

Las propiedades hídricas de la roca se vieron afectadas dado que el producto afecta la permeabilidad de la superficie tratada en los climas semicálido B(h) y cálido subhúmedo Aw (véase la tabla 2), lo que incide en la capacidad de absorción y desorción, y en la transferencia de vapor de agua. Para minimizar estas alteraciones se recomienda consi-

derar la aplicación de este producto en dosis de menos de cinco aspersiones o estudiar otro método de aplicación, porque las cantidades de producto suministrado y los modos de aplicación inciden directamente en las interacciones con la roca y en la efectividad del tratamiento.

La eficacia consolidante del producto TS3 mejora cuando es aplicado en condiciones por arriba de 50% de humedad relativa (véase la tabla 3), dado que en los climas templado subhúmedo C(w) y semicálido húmedo A(C) permanece monolito gracias a un aumento en el tamaño del poro interno de la estructura del material, causado por las condiciones de alta humedad relativa. Este aumento de poro debe ser mayor a 2 nm para favorecer la generación de un monolito, evitar la fractura y ocasionar un cambio en las propiedades mecánicas del material al favorecer la interacción con el sustrato y un aumento en la dureza de la superficie tratada.

Por otra parte, el producto TV100 forma una película en la superficie, cuando es aplicado en los climas cálido subhúmedo Aw' y semicálido húmedo A(C), que altera la apariencia del sustrato e impide observar los componentes de la roca (véase la figura 2). Este efecto es menor en el clima semicálido B(h); sin embargo, es difícil observar con claridad la distribución de los minerales en la matriz vítrea. El producto produce cambios de color en todos los ambientes climáticos de estudio ($\Delta E>3$), debido principalmente a un amarilleamiento y oscurecimiento de la superficie tratada. Estas alteraciones cromáticas se deben sobre todo a condiciones de alta temperatura, que provocan un tono amarillo del producto, y a la baja concentración de humedad relativa, que prolonga el tiempo de secado (véase la figura 1).

Además de estos cambios, el producto TV100 altera de manera considerable las propiedades físicas de la roca, sobre todo la permeabilidad de la superficie tratada. Los resultados indican grandes cambios en la porosidad y en los coeficientes de trasferencia de vapor de agua. En todas las condiciones climáticas la superficie se volvió impermeable después de cinco meses de exposición (véase la tabla 2), lo que pone en riesgo la estabilidad del sustrato. Ahora bien, la eficacia consolidante del tratamiento es mayor cuando se aplica en el clima cálido subhúmedo Aw' (véase la tabla 3). Esto puede deberse a la capa formada en la superficie del sustrato. En el resto de las condiciones climáticas, no se observan aumentos considerables en la dureza de la superficie tratada (véase la tabla 2). La aplicación del producto TV100 no es recomendable

en las condiciones climáticas de estudio porque afecta las características cromáticas, estéticas y físicas de la roca y no garantiza la efectividad del tratamiento.

El producto T-10P2o con propiedad consolidante-hidrofugante se aplicará sólo cuando la acción de agua líquida sea un factor de alteración importante. Antes de su aplicación, deberán solucionarse los problemas de ascenso capilar de agua e impedir la entrada de ésta por otros frentes. Una vez concluidos los cinco meses de exposición en los ambientes climáticos de estudio, se observa que el producto T-10P2o afecta la apariencia del sustrato en los climas cálido subhúmedo Aw' y cálido húmedo A(C), en los que forma una capa en la superficie de la roca que impide observar la matriz y el resto de sus componentes (véase la figura 2). Esto puede propiciar cambios en la porosidad y alteraciones en la capacidad de transferencia de vapor de agua. Respecto de los cambios cromáticos, el producto T-10P2o sólo afecta el aspecto en el clima semicálido B(h), debido a que no ha secado por completo dada la baja concentración de humedad ambiental (véase la figura 1).

La eficacia consolidante del producto T-10P2o es mayor en el clima templado subhúmedo C(w), debido a la formación de un producto monolito. En el resto de las condiciones climáticas, la disminución en la dureza Leebs se debe a dos factores: condiciones de baja humedad relativa, las cuales provocan que el producto no alcance el secado completo, y la fractura en condiciones de alta temperatura, asociada a tamaños de poro interno por debajo de 2 nm y alta humedad relativa ocasionada por una separación de fases.

Para evaluar la eficacia hidrofugante, se midió el ángulo de contacto de microgotas de agua depositadas en la superficie del sustrato. El ángulo de contacto se define por el ángulo interno que forma la tangente respecto de la interfaz líquido-vapor con el sólido, en el punto de intersección de las tres fases (Marmur 2006). Según la norma UNE-EN 15802:2010 (AENOR 2010), las superficies en las que se registran ángulos de contacto superiores a 90° pueden ser consideradas hidrófobas (figura 3).

En la tabla 4 se observa que el producto T-10P2o presenta altos valores de este parámetro en todos los ambientes de exposición. La aplicación del producto puede tener potencial en el campo de la conservación-restauración de materiales pétreos, porque consolida e hidrofuga en una única aplicación. Se recomienda evaluar los coeficientes de transferencia de vapor de agua y los cambios en la porosidad del sustrato. El producto TV100 presen-

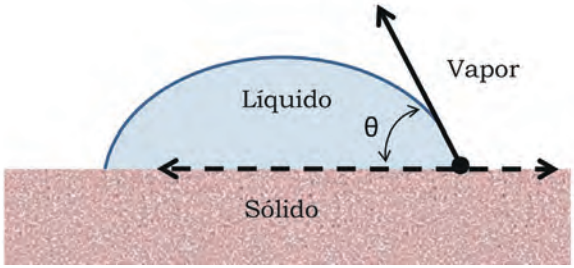


Figura 3. Esquema representativo del ángulo de contacto. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4
ÁNGULOS DE CONTACTO DE MICROGOTAS DE AGUA (°)

	Sin tratar	*T-2o*	*TS3*	*TV100*	*T-10P2o*
Aw'	0	0	0	145±6	128±4
Aw	0	*129±4	57±2	129±4	135±2
C(w)	0	*1303±	0	131±3	136±5
B(h)	0	*120±2	126±2	120±3	*136±1
A(C)	0	*0	0	131±5	135±4

* Valor determinado, aunque el tratamiento no está seco por completo.
Fuente: elaboración propia.

tó altos valores de ángulo de contacto en todas las condiciones de exposición, por la formación de una capa impermeable sobre la superficie de la roca, al igual que el producto TS3 en clima semicálido B(h). Se apreció un incremento en el valor del ángulo de contacto del producto T-2o en las condiciones climáticas en las que el producto aún se encuentra húmedo.

CONCLUSIONES

Los resultados de este experimento contribuyen al entendimiento del proceso sol-gel de productos tipo alcoxisilano en el campo de la conservación-restauración de materiales pétreos. Siempre será necesario que el restaurador haga pruebas en el laboratorio que le permitan conocer las propiedades fisicoquímicas de los productos, la compatibilidad de los materiales y los posibles cambios en las propiedades petrofísicas de la

Tabla 5
CRITERIOS DE INTERVENCIÓN INCUMPLIDOS EN ROCA (EFECTOS NEGATIVOS) POR TRATAMIENTOS EVALUADOS EN DETERMINADAS CONDICIONES CLIMÁTICAS.

Criterio	*Característica*	*Condición climática*	*Producto*
Compatibilidad visual	Cambio de color	Semicálido B(h)	T-2o y T-10P2o
		En las cinco condiciones climáticas	TV100
Compatibilidad fisicoquímica	Superficie impermeable	Cálido húmedo Aw	T-2o
		Templado subhúmedo C(w)	T-2o
		Semicálido B(h)	T-2o y TS3
		En las cinco condiciones climáticas	TV100
—	Disminución de la eficacia consolidante	Cálido húmedo Aw	TV100 y TS3
		Templado subhúmedo C(w)	TV100
		Semicálido B(h)	TV100

Fuente: elaboración propia.

roca, con una metodología establecida a partir de los criterios que involucran las intervenciones de un bien patrimonial, como la metodología que se propone en este artículo.

La selección de los productos para consolidación o hidrofugación estará sujeta a la eficacia del tratamiento, su idoneidad y compatibilidad con la piedra, su entorno de intervención y la durabilidad del tratamiento. En la tabla 5 se muestra una relación de los productos que no cumplen con los criterios evaluados en esta investigación. Se observa que los productos T-2o, T10P2o y TV100 pueden alterar las características cromáticas de la roca, en especial por dos factores: los productos no completan su etapa de secado debido a las bajas concentraciones de humedad relativa, lo que provoca un oscurecimiento de la superficie tratada, y el amarilleamiento causado por condiciones de alta temperatura. Estos cambios en la apariencia de la superficie de la roca pueden afectar el valor estético de los bienes culturales a intervenir. Las modificaciones de color o brillo son motivo para descartar el uso de estos tratamientos.

La compatibilidad fisicoquímica también puede estar condicionada por la temperatura y la humedad relativa del entorno de intervención.

Hemos observado que los productos T-2o, TS3 y TV100 originan una capa impermeable en la superficie. Este efecto parece responder a dos factores principales: que los productos no completen su etapa de secado, y la generación de una capa de producto consolidante en la superficie de la roca. Este efecto podría ser perjudicial si la capa de producto húmedo o seco en la superficie genera cambios considerables en la porosidad o distribución de tamaños de poro del sustrato, ya que puede afectar la forma en la que circula el agua por el sistema poroso y reducir la transferencia de vapor de agua, lo que causaría grandes daños a la roca. También puede dar lugar al aumento de la microporosidad y favorecer los procesos de deterioro por cristalización de sales. En este sentido, lo que buscamos en el producto consolidante-hidrofugante es que el tratamiento permita la transferencia de vapor de agua y no afecte el tamaño ni la distribución de los poros de la roca. Será necesario evaluar estos cambios para evitar que el producto cause nuevos mecanismos de deterioro.

En la figura 4 se presentan los productos que pueden aplicarse en diferentes regiones de México porque demostraron eficacia consolidante y/o hidrofugante después de cinco meses de exposición en las condiciones climáticas de estudio, no mostraron evidencia de una posible

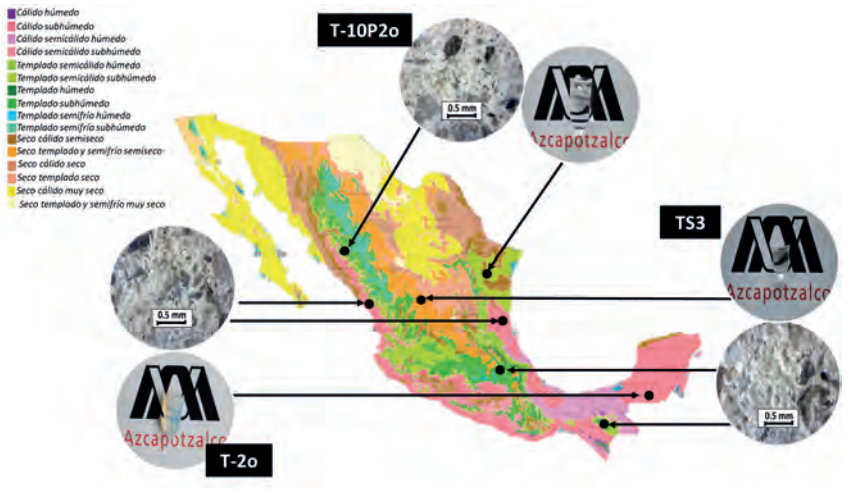


Figura 4. Productos aplicables de acuerdo con las condiciones climáticas de la República mexicana. Mapa: INEGI, *Marco Geográfico Nacional, 2021.*

modificación importante en el sistema poroso ni en la superficie del sustrato, no generaron productos que pudieran dañar al soporte, y las modificaciones de color y brillo fueron muy bajas, lo que garantiza la preservación de la estética original de la roca.

Por último, para las condiciones climáticas de la tabla 5 que no fueron evaluadas en este artículo, recomendamos el estudio de dos productos cuyas características pueden cumplir con los requerimientos para tratamientos de consolidación. Para el clima muy seco se puede estudiar el producto TS3, que alcanza el secado completo a pesar de las bajas concentraciones de humedad relativa, lo que puede evitar cambios de color y brillo, así como garantizar una buena interacción con el sustrato y la efectividad del tratamiento. Para el clima cálido húmedo se recomienda el estudio del producto T-2o, pues la alta temperatura y la alta humedad relativa pueden favorecer el secado completo del producto dentro de los poros de la roca, lo cual evita la generación de una capa impermeable en la superficie y cambios de color o brillo. Para ambos, se recomienda evaluar los métodos de aplicación, que pueden incidir en la eficacia, compatibilidad y durabilidad de los tratamientos. Para el estudio de cualquier producto para conservación-restauración de roca, será pertinente colaborar con especialistas de otras disciplinas, con el fin de evaluar los criterios propios del bien a intervenir, analizar resultados desde diferentes perspectivas y seleccionar en conjunto los tratamientos que se ajusten a los problemas de intervención.

BIBLIOGRAFÍA

Alcalde, Manuel y Rosario Villegas. 2003. "Introducción: metodología de estudios previos y propuesta de tratamientos". En *Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos*, Rosario Villegas y Eduardo M. Sebastián (eds.), 10-19. Granada: Junta de Andalucía/Comares.

Asociación Española de Normalización (AENOR). 2010. "UNE-EN 15802:2010. Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Determinación del ángulo de contacto estático". Madrid: Asociación Española de Normalización.

Briseño, Edgar Ulises. 2019. "Elaboración y aplicación de un consolidante de roca volcánica formulado con tetraetilortosilicato y nanopartículas de sílice". Tesis de licenciatura. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Doehne, Eric y Clifford Price. 2010. *Stone Conservation. An Overview of Current Research*. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.s

Esbert, Rosa María y José María Losada (coords). 2003. *Bienes Culturales. Revista del Instituto del Patrimonio Histórico Español*, núm. 2. Anexo Criterios de intervención en materiales pétreos: 1-34.

Fort, Rafael. 2007. "Polímeros sintéticos para la conservación de materiales pétreos". En *Ciencia, tecnología y sociedad para una conservación sostenible del patrimonio pétreo*, 71-83. Madrid: Ayuntamiento de San Sebastián de los Reyes.

Franzoni, Elisa, Garbiela Graziani y Enrico Sassoni. 2015. "TEOS-Based Treatments for Stone Consolidation: Acceleration of Hydrolysis-Condensation Reactions by Poulticing". *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, núm. 74: 398-405.

García, Enriqueta. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de* Köppen. México: Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Geografía.

Illescas, Juan Francisco y María Jesús Mosquera. 2012. "Producing Surfactant-Synthesized Nanomaterials In Situ on a Building Substrate, without Volatile Organic Compounds". *ACS Applied Materials & Interfaces*, núm. 4: 4259-4269.

Laborde Marqueze, Ana (coord.). 2013. *Proyecto Coremans. Criterios de intervención en materiales pétreos*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

Marmur, Abraham. 2006. "Soft Contact: Measurement and Interpretation of Contact Angles". *Soft Matter*, núm. 2: 12-17.

Meléndez, Daniel. 2017. "Evaluación de la humedad relativa y temperatura como factores en el proceso sol-gel de nanomateriales para conservación de roca". Tesis de maestría. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.

Mosquera, María Jesús, Juan Francisco Illescas y Darío Sebastián Facio. 2012. "Producto para protección y restauración de rocas y otros materiales de construcción". Patente española núm. P201200152.

Pérez, Nora Ariadna, Enrique Lima, Pedro Bosch y Juan Méndez-Vivar. 2014. "Consolidating Materials for the Volcanic Tuff in Western Mexico". *Journal of Cultural Heritage*, vol. 15, núm. 4: 352-358.

Rodrigues, Jose y Antonella Grossi. 2007. "Indicators and Ratings for the Compatibility Assessment of Conservation Actions". *Journal of Cultural Heritage*, vol. 8, núm. 1: 32-43.

Villegas, Rosario, Raniero Baglioni y Marta Samerio. 2003. "Tipología de materiales para tratamiento". En *Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de edificios históricos*, Rosario Villegas y Eduardo M. Sebastián (eds.), 180-188. Granada: Comares.

Wheeler, George. 2005. *Alkoxysilanes and the Consolidation of Stone*. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.

Zárraga, Ramón, Jorge Armando Cervantes, Dolores Elena Álvarez, Veridiana Reyes y María del Carmen Salazar. 2006. "La investigación científica en la conservación de monumentos de cantera". *Acta Universitaria*, vol. 16, núm. 2: 38-50.

Zárraga, Ramón, Jorge Cervantes, Carmen Salazar-Hernandez y George Wheeler. 2010. "Effect of the Addition of Hydroxyl-Terminated Polydimethylsiloxane to TEOS-Based Stone Protective Materials". *Journal of Cultural Heritage*, vol. 11, núm. 2: 138-144.

Zarzuela, Rafael, Manuel Luna, Luis Carrascosa y María Jesús Mosquera. 2018. "Preserving Cultural Heritage Stone: Innovative Consolidant, Superhydrophobic, Self-Cleaning and Biocidal Products". En *Advanced Materials for the Conservation of Stone*, Majid Hosseini y Ioannis Karapanagiotis (eds.), 259-275. Cham: Springer.

Evaluación y selección de un consolidante para la consolidación de toba: la fuente ceremonial del parque arqueológico de San Agustín

Helen Jacobsen[*]

Resumen

En el parque arqueológico de San Agustín, Colombia, hay una fuente ceremonial tallada en piedra volcánica, en el lecho en declive de una quebrada. Desde hace tiempo se ha observado su deterioro; por eso, en 2007 el Instituto Colombiano de Antropología e Historia puso en marcha el Programa de Conservación de la Fuente de Lavapatas. El objetivo del programa fue estudiar la fuente, investigar las posibilidades de conservación y ejecutarlas. Uno de los deterioros activos es la disgregación de unidades mínimas de roca. Para escoger un consolidante apto para el tratamiento, se llevó a cabo un estudio comparativo con dos productos: uno a base de silicato de etilo y otro a base de silicato de etilo elastificado. Los puntos de partida fueron los criterios vigentes de compatibilidad, estabilidad y eficacia del material, así como la retratabilidad del proceso. En este artículo se presentan los resultados obtenidos, una discusión sobre la aplicación de los criterios vigentes y las dificultades que se enfrentan al aplicarlos.

Palabras clave: consolidación, consolidante, toba, silicato de etilo, silicato de etilo elastificado

[*] Corporación Proyecto Patrimonio

Abstract
In the San Agustín archaeological park in Colombia, a ceremonial fountain has been carved into the face of a relatively soft rock tuff. There has long been concern about its deterioration. For this reason, in 2007, the Colombian Institute of Anthropology and History launched a program to research conservation possibilities. The goal of the comprehensive program was the study of the Fountain and its state of conservation, the assessment of possible preservation measures and eventually the conservation of the rock material. One of the major deterioration issues that to this day leads to an ongoing loss of original material is the granular disintegration. To choose a suitable consolidant, a comparative study was carried out with the use of two different consolidants: silicic acid ethyl ester and elastified silicic acid ethyl ester. The starting point of the assessment were the criteria of compatibility, stability and effectiveness of the material, and the retreatability of the conservation process. The article reports the findings of the research and discusses the application of the criteria and the difficulties faced when applying them.

Keywords: consolidation, consolidant, tuff, silicid acid ethyl ester, elastified silicid acid ethyl ester

INTRODUCCIÓN

La fuente ceremonial coloquialmente llamada de Lavapatas se encuentra en el parque arqueológico de San Agustín, Colombia. Se trata de un bien de interés cultural, protegido desde 1995 por la declaratoria de Patrimonio Mundial. Fue tallado directamente en la piedra volcánica por escultores precolombinos de la cultura del Alto Magdalena (siglo IX a. C.-siglo IX d. C.), en el lecho en declive de una quebrada. Un complejo laberinto de canales y pozos recrea formas humanas y animales, y determina el sentido de circulación del agua que baja de la quebrada. El trabajo escultórico cubre un área de 15 m por 11.5 m (Hernández 1978). Desde su descubrimiento en 1937, la excepcionalidad del lugar no ha dejado de causar admiración, y tanto investigadores como habitantes han estado atentos a su conservación.

En 2007, el Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH) puso en marcha el Programa de Conservación de la Fuente de

Figura 1. Fuente ceremonial de Lavapatas, San Agustín, Colombia. Fotografía: Helen Jacobsen, 2008.

Lavapatas (Álvarez *et al.* 2008), diseñado en varias etapas, para estudiar múltiples aspectos del bien, investigar las posibilidades de conservación y ejecutarlas. Una de las etapas planteadas entre 2011 y 2012 fue la evaluación y selección de un consolidante para tratar zonas con disgregación (Álvarez *et al.* 2012). Comenzaremos con la descripción de la piedra que conforma el Lavapatas y el tipo de deterioro. Después presentaremos los pasos metodológicos del estudio y los resultados, con acento en la aplicación de los criterios que guían la selección de un consolidante.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ROCA

La fuente ceremonial está labrada en depósitos ignimbríticos (Álvarez *et al.* 2012), un tipo de roca piroclástica, producto de erupciones volcánicas explosivas. De acuerdo con la mineralogía –cuarzo, plagioclasa,

feldespato potásico–, la composición de las rocas de la fuente es andesítica-dacítica hasta riolítica, y se le puede asignar una edad de Plioceno-Pleistoceno.

En el examen macroscópico, las ignimbritas de la Fuente de Lavapatas presentan tonos de color gris claro a ocre y un tamaño de grano de fino a muy fino. Constan de una matriz vítrea y fragmentos de cristales, vidrio y pómez. En la visión de microscopio se observa una matriz vítrea fuertemente devitrificada, en la que predominan los fragmentos vítreos de diversas formas, rodeada de fragmentos de cristales de feldespato, biotitas y cuarzo. En ocasiones se distinguen fragmentos de olivino, piroxeno y pómez. Las rocas aparecen con alteración moderada a alta; en algunas se aprecian el vidrio transformándose en minerales arcillosos –halloisita, alofana– y otros tipos de filosilicatos, como caolinita. Los minerales ferromagnesianos, como el anfíbol y la biotita, aparecen transformándose en óxidos de hierro.

DESCRIPCIÓN DEL DETERIORO

A partir de las investigaciones se determinó que a la fecha hay tres deterioros activos en el material constitutivo de la fuente: la pérdida directa –todavía no cuantificada– por abrasión, debida a la acción del agua corriente; una gran cantidad de descamaciones que hacen de la superficie una capa frágil, y la disgregación de material en áreas específicas.

En el marco del programa integral se decidió investigar primero el posible tratamiento de la disgregación, que se comprende como el desprendimiento de unidades mínimas de roca, que pueden ser cristales, partes de cristales o masa vítrea de diferentes tamaños. Se trata de una pérdida progresiva de material rocoso original que debe tratarse.

Mediante la determinación de la absorción de agua con tubo Karsten, se constató que la absorción de agua es mucho más alta en zonas con disgregación que en zonas estables. Esto indica una ampliación del entramado de poros en zonas deterioradas. El estudio microscópico de secciones delgadas confirma esta conclusión: en zonas en buen estado no hay fisuras o hay muy pocas, mientras en las zonas decohesas hay un mayor número de fisuras ramificadas, la mayoría de entre 4 y 70 µm. Además, en varias partes decohesas se observan unas cuantas fisuras con dimensiones mayores a 200 µm.

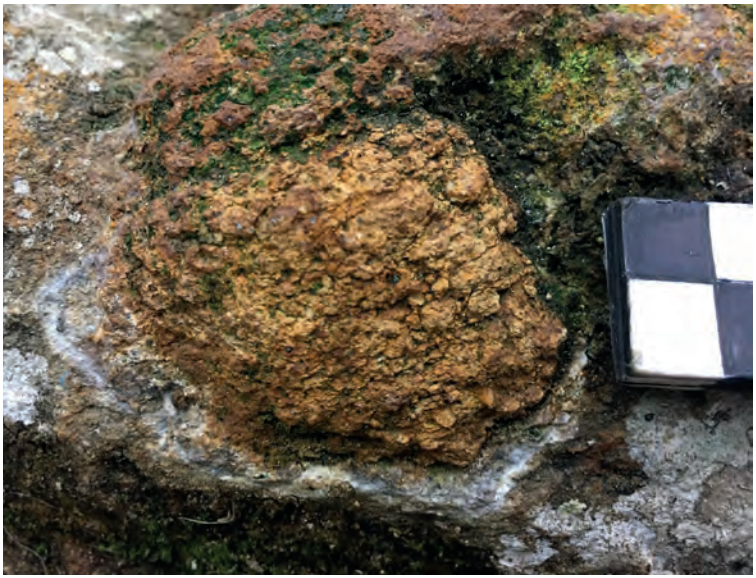


Figura 2. El deterioro por disgregación en la fuente ceremonial a nivel macroscópico. Fotografía: Helen Jacobsen, 2012.

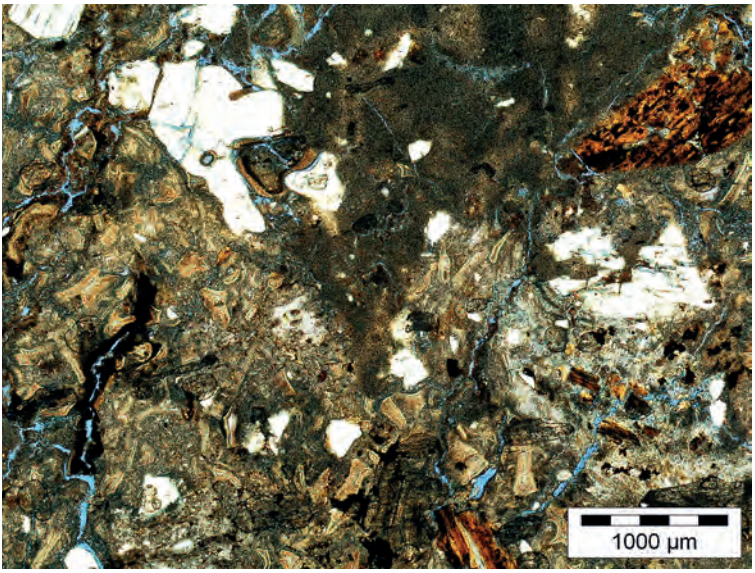


Figura 3. El deterioro por disgregación en la fuente ceremonial a nivel microscópico. Fotografía: Helen Jacobsen, 2012.

No se pudo determinar la profundidad de la disgregación porque no fue posible recoger una muestra para estudiar el deterioro interno de la roca. A partir de la observación directa, se presume que se limita a una zona cercana a la superficie. Las áreas con disgregación presentan distribución irregular y su ubicación no permite detectar un factor determinado, como el agua o el viento, que influya en el deterioro.

CRITERIOS GENERALES VIGENTES Y METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES EN LA CONSERVACIÓN DE PIEDRA

El estado actual del conocimiento en la conservación de material pétreo facilita establecer criterios para escoger un material de conservación y restauración. Se consideran criterios principales la compatibilidad, estabilidad y eficacia del material y la retratabilidad del proceso. En relación con el estudio de un consolidante, es preciso destacar que hoy predomina la idea de la compatibilidad de las propiedades físicas, mecánicas y químicas que el consolidante aporta a la zona consolidada con la piedra, pero en el pasado se privilegiaba la igualdad química entre el consolidante y la piedra (Sasse y Snethlage 1997: 224). Para asegurar la compatibilidad del consolidante y sus efectos sobre la piedra, se comparan las propiedades de la piedra sin tratar con las de la piedra consolidada en un estudio de laboratorio y parcialmente *in situ*.

En el caso de un consolidante, los criterios de eficacia y estabilidad apuntan a recuperar la estabilidad del material y a comprobar que la compatibilidad a partir del estudio da resultados a corto plazo; sin embargo, también pretenden que el tratamiento alcance una conservación duradera del material. Comprobar que un consolidante cumple con estos criterios es difícil porque requiere estudios a largo plazo y monitoreos detallados. Existen experiencias acerca del uso de consolidantes a una escala mayor desde la década de 1970. No obstante, hasta la actualidad los estudios muestran resultados poco detallados.

El criterio de retratabilidad supone el reemplazo de un criterio que por mucho tiempo se consideró fundamental en cualquier proceso de restauración-conservación: la reversibilidad. En la actualidad y después de un largo debate, se ha sustituido el concepto de reversibilidad por el de retratabilidad y compatibilidad (Petzet 1992; 2004; Sasse y Snethlage 1997;

Teutonico *et al.* 1997; Muñoz 2003). La retratabilidad, por su parte, es un criterio más fácil de cumplir en intervenciones como el uso de morteros; no obstante, en el proceso de consolidación, parece poco probable satisfacer el criterio de retratabilidad. Hasta el momento no existen muchos estudios al respecto y sería necesario hacer investigaciones de base. Por eso destacan los criterios de compatibilidad y durabilidad, pues en el mejor de los casos no será necesario repetir el proceso de consolidación. Como se mencionó, la compatibilidad se estudia en un proceso bien definido y de tiempo limitado. La durabilidad todavía es un criterio poco analizado.

Para comprobar la compatibilidad, eficacia y estabilidad de un consolidante se han establecido procedimientos analíticos en la conservación de piedra (Laurenzi y Simon 2006). Se planteó un estudio comparativo con muestras deterioradas de manera artificial (Snethlage y Wendler 1995; Sasse y Snethlage 1997; Snethlage 1997). En la tabla 1 se presentan las propiedades que se evaluaron y las normas aplicadas.

SELECCIÓN DE LOS CONSOLIDANTES

Para comenzar el estudio se revisó la bibliografía sobre el tema con el objetivo de enfocar el estudio comparativo en un máximo de dos consolidantes con la mayor probabilidad de dar los resultados deseados (Jacobsen 2012). Puesto que la mayoría de las tobas son piedras poco homogéneas y muy blandas, con características que favorecen su deterioro (Voute 1969; Eggloffstein 1989; Steindlberger 2002; The Getty Conservation Institute 2006; Wedekind 2016), muchos de los estudios de consolidantes han tenido dificultades y han concluido que la consolidación de la toba es sumamente difícil y hasta imposible (Charola y Lazzarini 1988; Siedel *et al.* 1995; Steindlberger y Auras 1999). Debido a la alta porosidad y baja dureza de las tobas, la mayoría de los estudios contempla sólo tipos de silicato de etilo para llevar a cabo estudios profundos.

Aun así, Michnia afirma que "la consolidación estructural de la Römertuff (una variedad de toba en Alemania) con silicato de etilo [...] tiene un potencial para hacer daño" (Michnia y Piaszczynski 2006: 85). Después de un estudio de toba de las Filipinas, Paterno y Charola (2000: 163) concluyen que "aparte de que el tratamiento estudiado [la consoli-

Tabla 1
ESTUDIOS REGLAMENTARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA ROCA (SNETHLAGE Y WENDLER 1995; SNETHLAGE 1997) Y LAS NORMAS APLICADAS

1. Propiedades y características relativas al espacio de poros y las normas aplicadas	
Porosidad abierta	DIN 52102
Densidad aparente y densidad real	DIN 52102
Porosimetría de intrusión de mercurio (PIM)	DIN 66133
Isotermas de adsorción	
2. Características de transporte de humedad	
Coeficiente de absorción de agua por capilaridad en laboratorio	DIN 52617
Permeabilidad al vapor de agua	DIN 52615, *wet-cup*
Expansión hídrica	DIN 52450
3. Resistencia mecánica	
Resistencia de tensión flexión y el módulo estático de elasticidad	Wittman y Prim (1983); Sattler (1992); cálculo de acuerdo con Kozub (2008)
4. Otros	
Velocidad de ultrasonido	Generador ultrasonido, 350 kHz de frecuencia
Expansión térmica	DIN 53752 Montaje de ensayo desarrollado en Fachhochschule Potsdam, Alemania (Menzl y Schmeikal 2002)
Propiedades visuales	Estudio no estandarizado, sistema L*a*b
Profundidad de consolidación	Estudio no estandarizado

Fuente: elaboración propia.

dación] podría servir para fortalecer el material y retardar el deterioro, también podría ser que tratamientos tradicionales como la aplicación de un revoque fuera una solución más eficaz y barata". Otro ejemplo es un estudio de tobas de Hungría y Alemania, en donde se llega a la conclusión de que "los consolidantes aumentaron la dureza de todas las tobas, pero también disminuyeron su durabilidad" (Stück *et al*. 2008: 712).

Aparte de la dificultad de elevar la dureza de la toba a un nivel aceptable sin cambiar mucho sus demás características, con frecuencia se enfrenta el problema de que el consolidante no alcanza la profundidad necesaria o no llega a los poros a los que debería llegar (Siedel *et al*. 1995; Menzl 2002; Wendler 2006; Steindlberger 2020). En muchos estudios se evaluó el silicato como la mejor opción por su compatibilidad (Bianchetti *et al*. 1994; Bahamondez 1994; Lukaszewicz 1994; Useche 1994; Lazzarini *et al*. 1996; Möllenkamp 1996; Bahamondez y Valenzuela 2004; Friese *et al*. 2005; Wendler 2006; Bahamondez *et al*. 2007).

A pesar de que el silicato de etilo se considera el consolidante más adecuado para la conservación de piedra, varias investigaciones mencionan algunos inconvenientes. Además de que la penetración y la profundidad alcanzadas no siempre son las deseadas (Menzl 2002), en ocasiones la dureza de la piedra aumenta más de lo esperado tras la consolidación (Auras y Steindlberger 2005; Forgó *et al*. 2006). Para facilitar la penetración del consolidante y evitar una dureza excesiva, en varios estudios se usa un silicato de etilo diluido (Lukaszewicz 1994; Michnia y Piaszczynski 2006; Wendler 2006; Bahamondez *et al*. 2007).

A partir de los resultados de la revisión bibliográfica se decidió incluir en el estudio dos consolidantes a base de silicato de etilo: el KSE 300 y el producto elastificado KSE 300 E, de la marca alemana Remmers, con sede en Löningen.[1] La tabla 2 presenta las cuatro series del estudio. Los dos consolidantes se emplearon en diferentes concentraciones para investigar las posibilidades de una mejor penetración y su efecto en el perfil de dureza hacia el interior de la piedra. Se hizo una prueba en piedra en buen estado (serie A) y tres pruebas en piedra deteriorada (series B, C y D) para entender cómo cambia el consolidante.

PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Para la preparación de las muestras (núcleos), se tomó una muestra del lecho de la Fuente de Lavapatas, de un área alejada de la zona con talla

[1] El consolidante KSE E es un silicato de etilo elastificado que contiene un componente orgánico, flexible, que impide la contracción del gel. El componente flexible hace que el gel no se contraiga y establezca puentes a distancias mayores. Por lo general, el silicato de etilo no puede hacer puentes a más de 50 µm. Al ser flexible, se adapta mejor a los ciclos de contracción-dilatación de la estructura rocosa (Hilbert y Boos 2001; Snethlage y Wendler 2000).

Tabla 2
RESUMEN DE LAS SERIES DE CONSOLIDANTES

Nombre de serie	*Serie A*	*Serie B*	*Serie C*	*Serie D*
Estado de conservación	Natural, no deteriorada	Artificialmente deteriorada	Artificialmente deteriorada	Artificialmente deteriorada
Consolidación con silicato de etilo KSE 300 diluido 1:2 en alcohol etílico		X		
Consolidación con silicato de etilo KSE 300 diluido 1:1 en alcohol etílico	X	X	X	X
Consolidación con silicato de etilo KSE 300	X	X	X	
Consolidación con silicato de etilo KSE 300 E				X

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Vista general del área de toma de muestra del lecho de la fuente ceremonial. Fotografía: Helen Jacobsen, 2011.

prehispánica. Mediante un estudio geológico se comprobó que la roca presentaba las mismas características que la parte tallada.

Además de las mismas características geológicas, era necesario que las muestras presentaran el mismo estado de conservación. La muestra no evidenciaba disgregación, por lo que era necesario deteriorar de manera artificial gran parte de los núcleos para que mostraran disgregación de partículas y un perfil de deterioro como el que, se presume, existe en la fuente, es decir, muchas fisuras cerca de la superficie del núcleo que disminuyen hacia el interior de la roca. Para deteriorar las muestras se trabajó con ciclos de calentamiento y enfriamiento (Simon 2001; Rüdrich 2002; Sheremeti-Kabashi 2002; Jacobsen 2006; Ahmad 2011; Ban *et al.* 2016). Después de este proceso, la mayoría de las probetas evidenciaba disgregación de partículas. A nivel microscópico se comprobó mayor presencia de fisuras cerca de la superficie, que disminuían hacia la parte inferior de los núcleos.

Antes de consolidar las muestras, es importante definir a qué profundidad debe llegar la consolidación. Existe consenso sobre la importancia de la profundidad (Hosek y Panek 1985; Sasse y Snethlage 1997; Price 2006; Wendler 2016: 22), pero hay divergencias acerca de cómo definirla. Lo mínimo que se debe consolidar es la zona decohesa; no obstante, algunos autores afirman que para obtener un perfil equilibrado de propiedades hacia el interior de la piedra es deseable consolidar un poco de la zona adyacente (Wendler 2016: 22). Otros especialistas proponen buscar "la máxima penetración del producto" (Laborde 2013: 89). Otra discusión es cómo determinar la zona decohesa. En ciertos bienes es posible llevar a cabo un estudio destructivo (secciones delgadas, sacar núcleos y estudiar propiedades como la dureza o estudiar la dureza al taladrar), pero en otros el acercamiento deber ser no destructivo.

Como se mencionó, no fue posible determinar la profundidad del deterioro de disgregación en la fuente. Por lo tanto, recurrimos a las recomendaciones de Snethlage y sus estudios en el Instituto de Conservación de Baviera. Utiliza el método del coeficiente de absorción de agua para definir el "horizonte de humedad media" e identificar hasta dónde debe penetrar el consolidante (Sasse y Snethlage 1997; Snethlage 1997). En Alemania, este método forma parte de los requerimientos para la consolidación (Snethlage y Wendler 1995: 14; Snethlage 1997: 81).

En la fuente, el coeficiente de absorción es alto en zonas con disgregación: 5 $l/m^2h^{0,5}$ y más. Según Snethlage (1997: 81), la consolidación

debe llegar a una profundidad de 6 cm. Se impregnaron las muestras hasta que el consolidante alcanzó esa profundidad. Mediante un flujo continuo que entraba por un lado de la muestra, se buscó que el consolidante penetrara. Una vez finalizada la consolidación, se limpió la superficie con alcohol y se almacenaron las probetas durante siete semanas bajo condiciones de 80% de humedad relativa.

EVALUACIÓN DE LAS MUESTRAS CONSOLIDADAS

Para evaluar los resultados, las propiedades de la piedra en su estado original se toman como punto de referencia. Se busca que la zona consolidada se aproxime a esos valores y que haya un perfil equilibrado hacia el interior de la piedra (Snethlage 1997; Domaslowski 2000; Price 2006). Con frecuencia, no se obtienen las propiedades deseadas en un estudio y surge la interrogante de cómo evaluar esos resultados. Además del requisito de similitud entre los valores del material original y los del material tratado, así como de la revisión de textos sobre consolidación de piedra, hasta la fecha hay pocos intentos que ayuden a profundizar esos conocimientos. Domaslowski (2000: 17) exige propiedades fisicomecánicas similares o por debajo de las originales, pero Sasse y Snethlage (1997: 237) sí definen desviaciones aceptables en los resultados.

Este trabajo se basa en los estudios y las experiencias desarrolladas desde la década de 1970 en la disciplina de la conservación de piedra, sobre todo en el Laboratorio Central de Conservación de Monumentos, en Baviera, Alemania. El llamado catálogo de requerimientos (Snethlage y Wendler 1995: 14; Snethlage 1997: 81) es la guía para la consolidación de piedra en Alemania. Aun así, persisten muchas interrogantes, como la validez de las desviaciones aceptables respecto de diferentes tipos de piedra. En este estudio se usó el catálogo de requerimientos para evaluar los resultados (véase la tabla 3), y más adelante se retomará la discusión de sus implicaciones.

En la mayoría de los estudios que se llevaron a cabo se obtuvieron resultados favorables en todas las series: porosidad abierta, permeabilidad al vapor de agua, coeficiente de absorción de agua, cambio de color, expansión térmica, expansión hídrica y velocidad de ultrasonido. El tratamiento con los productos seleccionados no generó grandes cambios y los valores se acercan a las propiedades de la piedra en buen esta-

Tabla 3
CONDICIONES QUE SE DEBEN CUMPLIR EN LA EVALUACIÓN DE LA CONSOLIDACIÓN (SNETHLAGE 1997: 81)

Propiedad	*Símbolo*	*Dimensión*	*Condición*
Propiedades visuales / cambio de color	—	—	Ningún cambio de color, ningún oscurecimiento, ningún brillo
Coeficiente de absorción de agua	w	$Kg/m^2\sqrt{h}$	$W_{tr} \leq w_o$
Profundidad de consolidación	s	cm	Más profundo que la zona de la humedad máxima, deducido del coeficiente de absorción de agua w = 0.1 – 0.5: x = 1 cm w = 0.5 – 3.0: x = 3 cm w > 3.0: x = 6 cm
Expansión hídrica	α_{hy}	mm / m	Ningún aumento frente a la piedra no tratada (máx. aumento aceptable < 20 %) (Snethlage y Wendler 1995: 14)
Expansión térmica	α_T	K^{-1}	Máx. aumento < 20% frente a la piedra no tratada (Snethlage y Wendler 1995: 14)
Factor de resistencia al vapor de agua μ	μ	—	Aumento ≤ 20% (Aumento ≤ 50%) (Snethlage y Wendler 1995: 14)
Resistencia de tensión-flexión	β_{BZ}	N/mm^2	$\beta_{BZ,tr} = \beta_{BZ,o}$ perfil equilibrado , si no: $(\beta_{tr} - \beta_o)/\beta_o < 0.5$ $\Delta\beta_i / \Delta x_o < 0.2$ N/mm² * mm
Módulo estático de elasticidad	E	kN/mm^2	$E_i \leq 1.5\ E_o$ y $E_i/\beta_i \leq E_o/\beta_o$ Y perfil equilibrado $\Delta E/\Delta x \leq 1$ kN / mm² * mm
Velocidad de ultrasonido	v_p	km/s	$v_{p\,tr} = v_{p\,o}$

Índice o: piedra original, sin tratar. Índice tr: piedra tratada. Índice x: profundidad.
Fuente: elaboración propia.

do. Sin embargo, en tres propiedades no hubo resultados favorables: el tiempo de penetración, la resistencia de tensión-flexión (dureza) y el módulo estático de elasticidad. En cuanto al tiempo de penetración, destaca que los dos productos en las diferentes concentraciones penetraron la estructura rocosa con relativa facilidad hasta alcanzar 3 cm

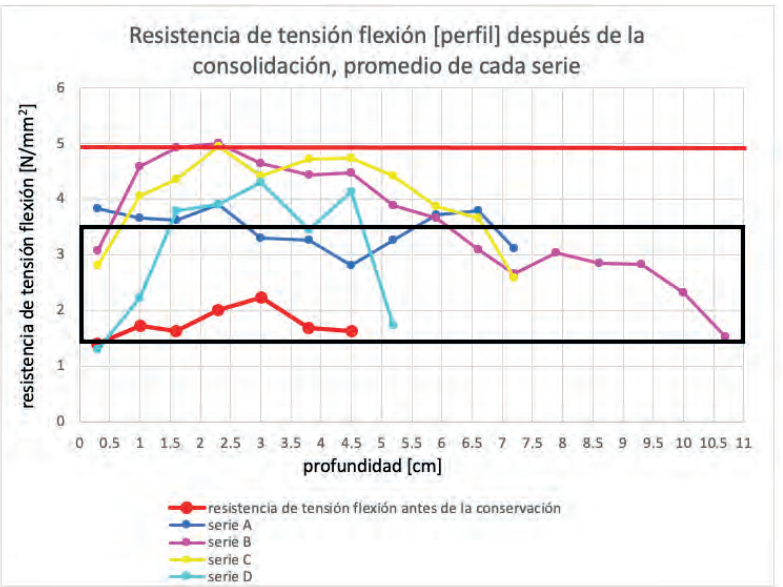


Figura 5. Diagrama de los resultados del estudio de la resistencia tensión-flexión en las cuatro series del estudio. El rectángulo negro marca los valores de la roca en su estado original. La línea roja marca el límite máximo aceptable de dureza según Snethlage (1997: 81).

después de una o dos horas. A partir de este momento, el comportamiento de los núcleos de todas las series fue muy desigual, la velocidad de penetración disminuyó. Para llegar a 6 cm de profundidad, los consolidantes necesitaban entre cuatro y diez horas. Esto es válido también para una profundidad menor.

En cualquier caso, el tiempo de penetración de los consolidantes es prolongado, lo que hace necesario un método que asegure su flujo constante para no correr el riesgo de consolidar una capa superficial muy fina. Cabe recordar que estos resultados provienen de una consolidación en laboratorio, con 50% de humedad relativa. Es muy probable que la consolidación *in situ*, en condiciones de entre 70 y 90% de humedad relativa, sea todavía más lenta. Por otra parte, los resultados tan heterogéneos entre las probetas, sin importar el tipo de consolidante, ilustran la gran heterogeneidad de la piedra y ponen de manifiesto una vez más la complejidad de la consolidación.

Las propiedades más relevantes en el estudio fueron la resistencia de tensión-flexión y el cálculo del módulo estático de elasticidad. Mien-

tras la primera revela si la consolidación logró su objetivo principal –la restauración de la dureza original en zonas decohesas–, la segunda señala el cambio en la elasticidad de la piedra y su capacidad de absorber tensiones. La figura 5 muestra el perfil de la resistencia tensión-flexión en las cuatro series del estudio. La serie A, en la que la roca se encuentra en su estado original y sin deterioro, permite determinar qué pasará si hay una cierta penetración del consolidante en las zonas intactas, alrededor de las zonas decohesas. Como era de esperarse, la dureza (resistencia tensión-flexión) de la piedra se elevó y su elasticidad disminuyó. Los resultados se encuentran dentro del margen de Snethlage (véase tabla 3) y su definición de desviaciones aceptables; además, son los perfiles de las dos propiedades muy equilibrados hacia adentro de la piedra.

También en las series B, C y D, con probetas artificialmente deterioradas, la dureza subió y la elasticidad bajó después de la consolidación. Como en la serie A, la dureza aumentó por encima de la dureza de la piedra en buen estado, pero según Snethlage, todavía dentro de un marco aceptable. Lo que hace dudar su idoneidad es que los perfiles son muy heterogéneos y no moderados. Llama mucho la atención que a casi medio centímetro de profundidad la dureza sube y la elasticidad baja de manera muy marcada.

Es importante subrayar que en la serie D, en la zona de los primeros milímetros, la dureza que se pretendía incrementar mediante la consolidación no aumentó en absoluto; es decir, la consolidación con el silicato de etilo (series B y C) logró estabilizar la parte superficial, pero la consolidación con el silicato de etilo elastificado (serie D) falló. En los dos casos se generan perfiles poco oportunos y, más importante todavía, los dos productos endurecen la roca hacia adentro.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Con el fin de encontrar un consolidante apto para tratar el deterioro por disgregación en la toba de la Fuente de Lavapatas, se ejecutó un estudio guiado por los criterios vigentes de compatibilidad, estabilidad, eficacia y retratabilidad del material. En este artículo se presentaron los problemas que se suscitaron en la implementación. A primera vista, parece fácil estudiar la compatibilidad de un material; sin embargo, se demostró que la evaluación de los resultados en particular puede ser

complicada. ¿Cómo se evalúan resultados que difieren de la piedra en buen estado? En este caso, la resistencia de tensión-flexión y el módulo estático de elasticidad no concordaron con los valores de la piedra original. Según Snethlage (1997: 81), podrían ser aceptables, pero se generaron perfiles poco homogéneos; por lo tanto, se decidió evaluar estos resultados como no aptos para una consolidación.

El consolidante de silicato de etilo cumplió el criterio de eficacia porque elevó la dureza en la zona decohesa. El consolidante de silicato de etilo elastificado no lo cumplió. Aunque el silicato de etilo logró mostrar su eficacia, un perfil tan poco homogéneo y un mayor aumento de dureza en una zona debajo de la superficie impiden una evaluación positiva. Los criterios de estabilidad y durabilidad, que reemplazan el de retratabilidad, requieren un estudio a largo plazo. Cabe resaltar las posibles dificultades de un monitoreo de toba por la heterogeneidad del material y el margen de los valores de las propiedades, verificados, entre otros, por Steindlberger (2020). A pesar de las dificultades que han llevado a no aplicar un consolidante hasta la actualidad, los resultados ayudan a orientar la investigación hacia dos caminos: correr una serie más con el objetivo de equilibrar los perfiles de dureza y elasticidad, y el monitoreo de probetas consolidadas en la fuente. La segunda opción comenzó en 2019.

BIBLIOGRAFÍA

Ahmad, Abdelraheem. 2011. "Characterization of Natural and Consolidated Stones from Jordan with Non-Destructive Ultrasonic Technique and Physico-Mechanical Methods". Tesis de doctorado. Dortmund: Technische Universität Dortmund.

Álvarez, María Paula, Catalina Bateman, Grecia Charry, Helen Jacobsen, Lina Fernanda Martínez, Marta Patricia Ramírez y Luz Stella Villalba. 2012. "Consolidado sobre las investigaciones en la Fuente de Lavapatas". Informe. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología e Historia.

Álvarez, María Paula, Catalina Bateman y Patricia Ramírez Nieto. 2008. "Programa de conservación de la Fuente de Lavapatas, Parque Arqueológico de San Agustín, Fuente Ceremonial del Lavapatas 1936-2008, Etapas II y III". Informe. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología e Historia.

Auras, Michael y Enno Steindlberger. 2005. "Verwitterung und Festigung vulkanischer Tuffe". *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, vol. 156, núm. 1: 167-175.

Bahamondez Prieto, Mónica. 1994. "Conservation Treatment of a Moai on Easter Island: A Laboratory Evaluation". En *Lavas and Volcanic Tuffs. Proceedings of the international meeting, Easter Island, Chile, 25-31 October 1990*, A. Elena Charola, Robert J. Koestler y Gianni Lombardi (eds.), 323-332. Roma: Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales.

Bahamondez Prieto, Mónica, Masaaki Sawada, Saihachi Inoue, Yoshiro Araki y Paula Valenzuela. 2007. "Ahu Tongariki: trabajos de conservación de sus 15 moai". *Conserva*, núm. 11: 55-64.

Bahamondez Prieto, Mónica y Paula Valenzuela. 2004. "Conservación de los Moai del Ahu Tongariki-Conservación del Patrimonio Arqueológico de isla de Pascua. Enero-abril 2004". Proyecto UNESCO-Japón-Isla de Pascua. Santiago de Chile: Centro Nacional de Conservación y Restauración/ Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos.

Ban, Matea, Anthony J. Baragona, Elisabeth Ghaffari, Johannes Weber y Andreas Rohatsch. 2016. "Artificial Aging Techniques on Various Lithotypes for Testing of Stone Consolidants". En *Science and Art: A Future for Stone. Proceedings of the 13th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone. 6th-10th September 2016, Paisley, Scotland*, vol. 1, John J. Hughes y Torsten Howind (eds.), 253-260. Paisley: University of the West of Scotland.

Bianchetti, Pietro Luigi, Gianni Lombardi, Stefano Marini y Costantino Meucci. 1994. "The Volcanic Rocks of the Monuments of the Forum and Palatine (Rome): Characterization, Alterations, and Results of Chemical Treatments". En *Lavas and Volcanic Tuffs. Proceedings of the international meeting, Easter Island, Chile, 25-31 October 1990*, A. Elena Charola, Robert J. Koestler y Gianni Lombardi (eds.), 83-105. Roma Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales.

Charola, A. Elena y Lorenzo Lazzarini. 1988. "The Statues of Easter Island: Deterioration and Conservation Problems". *Wiener Berichte über Naturwissenschaft in der Kunst*, núms. 4-5: 392-401.

Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS). 1992. *Reversibilität: das Feigenblatt in der Denkmalpflege?*, vol. 8. Múnich: Consejo Internacional de Monumentos y Sitios.

DIN 52102. 2006. Pruefverfahren fuer Gesteinskoernungen – Bestimmung der Trockenrohdichte mit dem Messzylinderverfahren und Berechnung des Dichtigkeitsgrades. DIN (Deutsches Institut fuer Normung e.V.) (eds.). Berlín: Beuth.

DIN 52450. 1985. Pruefung anorganischer nichtmetallischer Baustoffe; Bestimmung des Schwindens und Quellens an kleinen Probekoerpern. DIN (Deutsches Institut fuer Normung e.V.) (eds.). Berlín: Beuth.

DIN 52615. 1987. Waermeschutztechnische Pruefungen – Bestimmung der Wasserdampfdurchlaessigkeit von Bau- und Daemmstoffen. DIN (Deutsches Institut fuer Normung e.V.) (eds.). Berlín: Beuth.

DIN 52617. 1987. Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten von Baustoffen. DIN (Deutsches Institut fuer Normung e.V.) (eds.). Berlín: Beuth.

DIN 53752. 1980. Pruefung von Kunststoffen; Bestimmung des thermischen Laengenausdehnungskoeffizienten. DIN (Deutsches Institut fuer Normung e.V.) (eds.). Berlín: Beuth.

DIN 66133. 1993. Bestimmung der Porenvolumenverteilung und der spezifischen Oberflaeche von Feststoffen durch Quecksilberintrusion. DIN (Deutsches Institut fuer Normung e.V.) (eds.). Berlín: Beuth.

Domaslowski, Wieslaw. 2000. "Modifizierung von mineralischen Mörteln für die Stein-und Ziegelkonservierung". En *Dispergiertes Weißkalkhydrat für die Restaurierung und Denkmalpflege. Altes Bindemittel-Neue Möglichkeiten*, Elisabeth Jägers (ed.), 17-24. Petersberg: Imhof Velag.

Eggloffstein, Petra. 1989. "Vulkanische Tuffsteine als Werksteine an historischen Bauwerken in Ungarn und Deutschland. Verwitterungsverhalten und Konservierungskonzepte". Tesis. Colonia: Universität Karlsruhe-Fakultät für Bio-und Geowissenschaften-Mineralogisches Institut.

Forgó, Lea Z., Heidrun Stück, Edith Maróthy, Siegfried Siegesmund, Ákos Török y Jörg Rüdrich. 2006. "Materialverhalten von natuerlichen und modellhaft konsolidierten Tuffen". En ARKUS-Tagung: *Denkmalgestein Tuff*, IFS Bericht núm. 22-2006, 65-76. Maguncia: Institut für Steinkonservierung e. V.

Friese, Peter, Eberhard Wendler y Thomas Bolze. 2005. "Conservation and Restoration of Statues on Easter Island: Laboratory Experiments and Proposals for Statue Consolidation". En *The Reñaca Papers: VI International Conference on Easter Island and the Pacific*, Christopher Stevenson, José Miguel Ramírez Aliaga, Francis J. Morin y N. Barbacci (eds.), 493-498. Los Osos: The Easter Island Foundation and the University of Valparaíso.

Getty Conservation Institute, The. 2006. *La escalinata jeroglífica de Copán, Honduras. Resultados de los estudios y propuestas de conservación*. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.

Hernández de Alba, Gregorio. 1978. *La cultura arqueológica de San Agustín*. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología e Historia.

Hilbert, Georg y Markus Boos. 2001. "Arbeiten zur Entwicklung des 'elastifizierten' Kieselsäureesters". En *Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege*, vol. 104: *Konservierung von Wandmalerei*, 168-182, Múnich: Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege.

Hosek, J. y J. Panek. 1985. "Depth of Impregnation as the Criterium for Durability of Consolidated Stones". En *5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Proceedings*, vol. 2, 801-807. Lausana: École Politechnique Fédérale de Lausanne.

Jacobsen, Helen. 2006. "Marmorkonservierung. Vergleich ausgewaehlter Festigungsmittel zur Konservierung von Großkunzendorfer Marmor". Tesis de licenciatura. Potsdam: Universidad de Ciencias Aplicadas Potsdam.

___ . 2012. "Informe estudio de consolidantes para la decohesión de la Fuente de Lavapatas, San Agustín, Huila". Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología e Historia.

Kozub, Peter. 2008. "To the Determination of the Young's Modulus from the Biaxial Flexural Strength". En *11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 15-20 September, Toruń, Poland. Proceedings*, Jadwiga W. Lukaszewicz y Piotr Niemcewicz (eds.), 407-414. Toruń: Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.

Laborde Marqueze, Ana (coord.). 2013. *Proyecto Coremans. Criterios de intervención en materiales pétreos*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

Laurenzi Tabasso, Marisa y Stefan Simon. 2006. "Testing Methods and Criteria for the Selection/Evaluation of Products for the Conservation of Porous Building Materials". *Studies in Conservation*, vol. 51, núm. 1, supl. 7: 67-82.

Lazzarini, Lorenzo, Gianni Lombardi, F. Marconi y Costantino Meucci. 1996. "New Data on the Characterisation and Conservation of the Easter Island's Pyroclastics Used for the Moais". En *Proceedings of the 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Berlin 30 Sept.-4 Oct. 1996*, vol. 2, Josef Riederer (ed.), 1147-1158. Berlín: Möller Druck und Verlag.

Lukaszewicz, Jadwiga W. 1994. "The Application of Silicone Products in the Conservation of Volcanic Tuffs". En *Lavas and Volcanic Tuffs. Proceedings of the International Meeting, Easter Island, Chile, 25-31 October 1990*, A.

Elena Charola, Robert J. Koestler y Gianni Lombardi (eds.), 191-202. Roma: Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales.

Menzl, Birgit. 2002. "Der Rochlitzer Porphyrtuff-Moeglichkeiten der Festigung". Tesis de licenciatura. Potsdam: Universidad de Ciencias Aplicadas Potsdam.

Menzl, Birgit y Katja Schmeikal. 2002. "Die lineare thermische Dehnung". Manuscrito. Potsdam: Universidad de Ciencias Aplicadas Potsdam.

Michnia, Rochus y Ewa Piaszcynski. 2006. "Entwicklungen in der rheinischen Tuffsteinkonservierung – Stand 1990 bis 2005", ARKUS-Tagung: *Denkmalgestein Tuff*, IFS Bericht núm. 22-2006, 77-88. Maguncia: Institut für Steinkonservierung e. V.

Möllenkamp, Eva. 1996. *Möglichkeiten der Tuffsteinkonservierung. Die Portalfiguren des Kölner Rathauses*. Múnich: Siegl.

Muñoz Viñas, Salvador. 2003. *Teoría contemporánea de la restauración*. Madrid: Síntesis.

Paterno, María Cristina y A. Elena Charola. 2000. "Preliminary Studies for the Consolidation of Guadalupe Tuff from the Philippines". En *Proceedings of the 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Venice, June 19-24, 2000*, vol. 1., Vasco Fassina (ed.), 155-163. Ámsterdam: Elsevier Science.

Petzet, Michael. 1992. "Das Feigenblatt in der Denkmalpflege?". En *Reversibilität: das Feigenblatt in der Denkmalpflege?*, vol. 8, 9-14. Múnich: Consejo Internacional de Monumentos y Sitios.

___ . 2004. "Principles of Preservation. An Introduction to the International Charters for Conservation and Restoration 40 Years after the Venice Charter". En *International Charters for Conservation and Restoration. Monuments & Sites, I*, Michael Petzet y John Ziesemer (eds.), 7-29. Múnich: Consejo Internacional de Monumentos y Sitios.

Price, Clifford. 2006. "Consolidation". En *Stone Conservation. Principles and Practice*, Alison Henry (ed.), 101-126. Nueva York: Routledge.

Rüdrich, Jörg Michael. 2002. "Gëfuegekontrollierte Verwitterung natürlicher und konservierter Marmore". Tesis de doctorado. Gotinga: Georg-August-Universität Göttingen-Fakultät für Geowissenschaften und Geographie.

Sasse, Hans-Rainer y Rolf Snethlage. 1997. "The Methods for the Evaluation of Stone Conservation Treatments". En *Saving our Cultural Heritage. The Conservation of Historic Stone Structures, Dahlem Workshop Reports ES20*, Norbert S. Baer y Rolf Snethlage (eds.), 223-243. Chichester: John Wiley And Sons.

Sattler, Ludwig. 1992. *Untersuchungen zu Wirkung und Dauerhaftigkeit von Sandsteinfestigungen mit Kieselsäureester*. Forschungsbericht 9/1992. Múnich: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege.

Sheremeti-Kabashi, Flurije. 2002. "Untersuchungen der Gefuegeanisotropie von Carrara-Marmor und deren Einfluss auf die Verwitterung". Tesis de doctorado. Múnich: Ludwig-Maximilians-Universität München.

Siedel, Heiner, Detlef J. Honsinger y Manfred Breitbach. 1995. "Laborversuche zur Substanzverfestigung und Horizontalabdichtung". En *Die Tulpenkanzel im Dom zu Freiberg*, 119-128. Múnich: Karl Lipp Verlag Muenchen.s

Simon, Stefan. 2001. "Zur Verwitterung und Konservierung kristallinen Marmors". Tesis de doctorado. Múnich: Ludwig-Maximilians-Universität München.

Snethlage, Rolf. 1997. *Leitfaden Steinkonservierung*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Snethlage, Rolf y Eberhard Wendler. 1995. "Methoden der Steinkonservierung. Anforderungen und Bewertungskriterien". En *Denkmalpflege und Naturwissenschaft-Natursteinkonservierung I*, 3-40. Berlín: Ernst.

___ . 1997. "Moisture Cycles and Sandstone Degradation". En *Saving our Cultural Heritage. The Conservation of Historic Stone Structures, Dahlem Workshop Reports ES20*, Norbert S. Baer y Rolf Snethlage (eds.), 8-24. Chichester: John Wiley And Sons.

___ . 2000. *Chemical Compounds for Conservation of Natural Stone*. Múnich: Ludwig-Maximilians-Universität München.

Steindlberger, Enno. 2002. "Untersuchungen zum physiko-chemischen Verwitterungsverhalten hessischer Tuffsteine". Tesis. Fráncfort del Meno: Fachbereich Geowissenschaften/Geographie der Johann Wolfgang Goethe-Universität.

___ . 2020. "Konservierung hessischer Tuffe und Schalsteine unter Langzeitbeobachtung". En *Konservierungsstrategien für Rhyolithtuffmauerwerk*, IFS-Bericht núm. 60, 51-70. Maguncia: Institut für Steinkonservierung e. V.

Steindlberger, Enno y Michael Auras. 1999. "Hessische Tuffsteine und ihr Verwitterungsverhalten am Bauwerk". En *Materials Science and Restoration V: Proceedings of the Fifth International* WTA *Colloquium on Materials Science and Restoration-*MSR *V/Werkstoffeigenschaften und Bauinstandsetzen V*, vol. 2, 1481-1494. Friburgo: Aedificatio.

Stück, Heidrun, Lea Z. Forgó, Joerg Rüdrich, Siegfried Siegesmund y Ákos Török. 2008. "The Behaviour of Consolidated Volcanic Tuffs: Weathering

Mechanisms under Simulated Laboratory Conditions". *Environmental Geology*, núm. 56: 699-713.

Teutonico, Jeane Marie, A. Elena Charola, Eddy de Witte, Gabriele Grassegger, Robert John Koestler, Marisa Laurenzi-Tabasso, Hans-Rainer Sasse y Rolf Snethlage. 1997. "Group Report: How Can We Ensure the Responsible and Effective Use of Treatments (Cleaning, Consolidation, Protection)?". En *Saving our Cultural Heritage. The Conservation of Historic Stone Structures, Dahlem Workshop Reports ES20*, Norbert S. Baer y Rolf Snethlage (eds.), 293-313. Chichester: John Wiley and Sons.

Useche, Luz Angela. 1994. "Studies for the Conservation of the Facade of the Church of Santo Domingo, Popayan, Colombia". En *Lavas and Volcanic Tuffs. Proceedings of the International Meeting, Easter Island, Chile, 25-31 October 1990*, A. Elena Charola, Robert J. Koestler, Gianni Lombardi (eds.), 165-172. Roma: Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales.

Voute, Caesar. 1969. *Indonesia. Geological and Hydrological Problems Involved in the Preservation of the Monument of Borobudur*. París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

Wedekind, Wanja. 2016. "Weathering and Conservation of Monuments Constructed from Tuff and Sandstone in Different Environmental Conditions. Case Studies from Mexico, Germany, Jordan and Cambodia". Tesis de doctorado. Gotinga: Georg-August-Universität Göttingen-Fakultät für Geowissenschaften und Geographie.

Wendler, Eberhard. 1997. "New Materials and Approaches for the Conservation of Stone". En *Saving our Cultural Heritage. The Conservation of Historic Stone Structures, Dahlem Workshop Reports ES20*, Norbert S. Baer y Rolf Snethlage (eds.), 181-196. Chichester: John Wiley and Sons.

___ . 2006. "Probleme, Loesungsansaetze und Erfolge bei der Konsolidierung von verwittertem Lapillituff". En ARKUS-Tagung: *Denkmalgestein Tuff*, IFS Bericht núm. 22-2006, 89-100. Maguncia: Institut für Steinkonservierung e. V.

___ . 2016. "Engpaesse im Porenraum: Kriterien für die gezielte Auswahl und Rezeptierung von Steinfestigern". En *Unsere Denkmaeler sind steinreich*, IFS-Bericht núm. 51, 21-25. Maguncia: Institut für Steinkonservierung e. V.

Wittmann, Folker Helfrid y P. Prim. 1983. "Mesures de l'effet consolidant d'un produit de traitement". *Matériaux et Constructions*, núm. 16: 235-242.

Criterios y consideraciones para la aplicación de sílice coloidal en la elaboración de pastas de resane para reintegración formal y morteros de sacrificio

Nora Ariadna Pérez Castellanos[*]
Iván Gómez Murillo[**]
Denise Charúa Ayala[**]

Resumen
Como alternativa a la cal, se propone el uso de sílice coloidal como cementante para pastas de resane y de sacrificio. Estos morteros se han aplicado en distintas condiciones medioambientales, sustratos y proporciones de carga cementante. En ocasiones los resultados han sido exitosos, y en otras, poco concluyentes. En esta investigación se establecieron pautas para la aplicación y evaluación de los morteros hechos con sílice coloidal y se consideran también las características de los agregados como parte fundamental para diseñarlos. Se presentarán variables, como el manejo de granulometrías y proporciones para obtener mezclas diversas, y se puntualizará la aplicación del material.

Palabras clave: diseño de morteros, reintegración formal, morteros de sacrificio, sílice coloidal

Abstract
Among conservation and restoration processes carried out in buildings and decorative stone elements in Mexico and the world are the applica-

[*] Instituto de Investigaciones Estéticas, unam
[**] Restaurador/a independiente

tion of sacrificial layers or reintegration processes on different substrates. As an alternative to lime, the use of colloidal silica as a cementing agent for both reintegration and sacrifice pastes has been proposed and evaluated in many previous research projects. These mortars have been applied in different environmental conditions, substrates and aggregate binder proportions; where in some of the occasions the results have been successful and in others, little conclusive. The present investigation intends to establish guidelines for the application and evaluation of mortars made with colloidal silica, considering not only the binding agent but also the features of the aggregates as a fundamental part for the design of the mortar. The variables that need to be taken into consideration for the elaboration and application of mortars with colloidal silica as a cementing agent, the handling of particle sizes and proportions required to obtain different characteristics for the mortars, and finally, considerations to carry out the application of the material will all be presented.

Keywords: mortar design, formal reintegration, sacrifice mortars, colloidal silica

INTRODUCCIÓN

Los elementos pétreos han sido muy utilizados en la elaboración total o parcial de inmuebles y elementos decorativos adosados o exentos. Estos componentes sufren procesos de alteración o deterioro que son mitigados por trabajos de conservación y restauración: "es aconsejable utilizar técnicas preventivas que eliminen los agentes de alteración de su entorno o que disminuyan su intensidad en el proceso de deterioro progresivo de sus materiales" (Fort 2012).

Las pastas de reintegración o morteros de sacrificio son parte de estos tratamientos de eliminación y mitigación de daño. Las primeras buscan proteger el material pétreo, evitar las vías de penetración del agua y restituir las zonas dañadas para lograr la integración del elemento; por su parte, los segundos se aplican para crear una superficie que se degrada en lugar del material original, lo que controla el daño al que está expuesto cuando no es posible eliminar la causa. Para la elaboración de estos morteros se utilizan siempre materiales libres de sales y con características adecuadas de porosidad, resistencia y adherencia (Losada y Esbert 2003), con el objetivo de respetar criterios de

estabilidad, compatibilidad, integración visual y reversibilidad, fundamentales para proteger el patrimonio cultural durante una intervención.

El material principal empleado como cementante en pastas de reintegración y morteros de sacrificio ha sido el hidróxido de calcio con cargas de distinta naturaleza, por lo regular arenas, gravillas o mármoles triturados, aplicados sobre sustratos pétreos, independientemente de sus características o propiedades. Esta formulación resulta efectiva en varios casos debido a las propiedades cementantes del hidróxido de calcio y a su baja dureza respecto del material pétreo (Mora *et al.* 2003); por esta razón, esta clase de morteros se ha utilizado para todo tipo de sustratos pétreos y en toda clase de contextos (Orea 2013). No obstante, los morteros elaborados a base de hidróxido de calcio presentan problemas de integración visual en rocas de naturaleza silícea por sus propiedades ópticas y texturales diferentes. Debido a que sus partículas son muy pequeñas, penetran con facilidad en los poros del sustrato y forman velos blanquecinos difíciles de retirar de la superficie pétrea, lo que compromete el principio de reversibilidad del tratamiento. Además, el tiempo de secado puede ser muy largo, según las condiciones medioambientales.

La composición química de la cal determina que este material es la mejor opción de cementante para piedras calizas; sin embargo, en el caso de piedras ígneas cuyo componente principal son los silicatos es posible considerar otro tipo de cementante cuya naturaleza sea similar al objeto a restaurar. Estas inquietudes dieron lugar a la presente investigación, basada en experimentaciones previas que se llevaron a cabo en la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC), cuyo eje principal fue evaluar el uso de sílice coloidal como cementante de cargas para aplicar sobre sustratos pétreos ígneos (Mendiolea 1989; Lugo 2007; Cruz 2009; Grimaldi 2009, 2013). El presente trabajo tiene dos propósitos: determinar la eficacia del sílice coloidal como cementante de cargas para pastas de reintegración y morteros de sacrificio desde una perspectiva interdisciplinaria entre la ingeniería de materiales y la restauración de patrimonio; y establecer una metodología de aplicación, a partir de la evaluación de su desempeño bajo condiciones climáticas diversas, para ayudar a generar criterios para su uso adecuado.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MORTEROS EVALUADOS

El proceso de reintegración formal se lleva a cabo mediante la aplicación de una pasta para dar continuidad visual a un elemento o forma que se perdió por efectos de deterioro, como exfoliación, erosión, laminación, disgregación, grietas y fisuras. Los "Criterios de intervención en materiales pétreos", emitidos por el Instituto de Patrimonio Histórico Español (Losada y Esbert 2003), especifican que estas reintegraciones deben ceñirse sólo a la reposición del volumen arquitectónico y limitarse a los bordes de la falta.

Desde el punto de vista estético, un resane o reintegración formal nunca debe atraer la atención del espectador por su color o textura. También debe proporcionar una resistencia adecuada a los factores ambientales y tener una dureza menor que el material original para no propiciar deterioro físico en la roca. Para asegurar la efectividad de la adhesión, debe ser compatible químicamente con el sustrato pétreo (Mora *et al*. 2003) y permitir su eliminación sin causar daño al material original.

En el caso de los morteros de sacrificio, su función es proteger elementos pétreos mediante la aplicación de capas de pasta. La mezcla aplicada actúa de dos formas: la primera, como barrera contra los factores de degradación ambiental, como erosión por aire y lluvia, así como pérdidas por temperatura por la incidencia de radiaciones solares; y la segunda, como protección para frenar o disminuir la acción de los efectos de deterioro presentes en la piedra, como pulverulencia, disgregación, laminación y exfoliación, con el fin de evitar la futura pérdida de material original. Se denominan "morteros de sacrificio" porque se pretende que los procesos de deterioro tengan efecto en ellos para favorecer la estabilidad de los materiales subyacentes, en este caso, la superficie pétrea original.

CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN Y EL USO DE SÍLICE COLOIDAL COMO CEMENTANTE

La "Carta de Venecia" (1964) plantea en su artículo 10 que "cuando las técnicas tradicionales se revelan inadecuadas, la consolidación[1] de un

[1] Se entiende como consolidación no sólo un proceso, sino todas las acciones destinadas a asegurar la estabilidad material de un monumento.

monumento puede asegurarse apelando a otras técnicas más modernas de conservación y de construcción, cuya eficacia haya sido demostrada científicamente y garantizada en el curso de la restauración". En la búsqueda de materiales para intervenir el patrimonio pétreo, este trabajo busca indagar si el sílice coloidal puede utilizarse como cementante en morteros para sustratos pétreos como alternativa a la cal para mejorar el comportamiento de las pastas empleadas en rocas no calcáreas, asegurar la conservación a largo plazo de este tipo de patrimonio y cumplir con los criterios fundamentales de la disciplina, a saber:

- Compatibilidad: el dióxido de silicio es el componente principal de muchas rocas ígneas y metamórficas, a diferencia del carbonato de calcio, que se encuentra sobre todo en rocas sedimentarias de la región sureste del país (Orea 2013).
- Reversibilidad: en muchos casos, los morteros de hidróxido de calcio presentan un nivel de penetración muy alto en el sustrato, sobre todo en piedras muy porosas, y es difícil removerlos por el velo blanquecino que queda como residuo. Para remover el mortero elaborado a base de sílice coloidal sólo se requiere humectar y ejercer una acción mecánica ligera en la superficie.
- Integración visual: la coloración blanca de la cal es muy evidente en especial en piedras no calizas. Los morteros elaborados a base de hidróxido de calcio requieren reintegración cromática al terminar la aplicación. En cambio, el color de la pasta de los morteros elaborados a base de sílice coloidal se formula con cargas de acuerdo con el tono que se desea y una vez que cementa es incoloro.

El sílice coloidal es una solución acuosa de dióxido de silicio con una concentración de 30% a 40% de partículas de sílice en diversas dimensiones. En el caso de las dispersiones coloidales de sílice, las partículas del SiO_2 deben ser más pequeñas que una micra para no ser afectadas por la fuerza gravitacional, pero mayores a un nanómetro para que mantengan la calidad de solución (Okubo 1993). Las características del sílice coloidal más relevantes en la disciplina de la restauración son el pH de la mezcla y la presencia de un contraión, que puede generar enlaces con

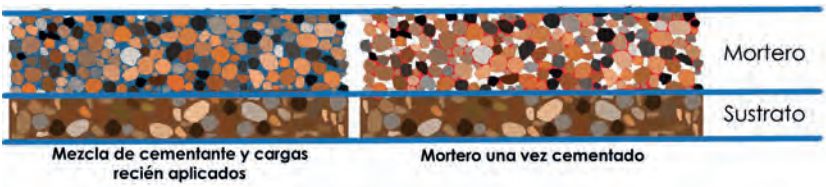


Figura 1. Diagrama del proceso de secado del mortero de sílice coloidal. Elaboración: Iván Gómez, 2015.

elementos presentes tanto en el sustrato como en las cargas y formar compuestos que quizá interfieran en el desempeño de la pasta.

La presencia del contraión y la concentración de sílice cambian la viscosidad del material y, en consecuencia, la forma de trabajarlo como cementante en morteros. Dado que no se desea un residuo químico en el mortero, para esta investigación se seleccionó la presentación de Ludox® TMA. El agua en la que está suspendido el sílice coloidal comienza a evaporarse, lo que eleva la concentración y favorece la formación de cristales que incrementan su volumen conforme pierden humedad (Okubo 2007; Sun *et al.* 2015) (véase la figura 1).

MODELO DE EXPERIMENTACIÓN

Se eligieron dos sustratos de roca de alto contenido silíceo que conforman una parte importante del patrimonio en el territorio nacional: basalto microvacuolar y arenisca siliciclástica; y tres condiciones climáticas para las pruebas de intemperización: clima templado, clima semiárido y clima tropical. Dado que un factor importante de deterioro es la contaminación atmosférica, se decidió incluir esta variante en el estudio. Las muestras de clima templado se ubicaron en el contexto urbano de la zona arqueológica Templo Mayor, en la Ciudad de México; la ciudad de Lagos de Moreno, Jalisco, fue el contexto semiárido, y la zona arqueológica El Tajín, en Veracruz, proporcionó el contexto tropical.

En cada sitio se colocaron dos sustratos de roca. A cada uno se le aplicaron una pasta de reintegración y un mortero de sacrificio intemperizados durante seis meses, con monitoreos mensuales. Asimismo, se colocaron muestras patrón en cámaras de envejecimiento para controlar los factores de intemperización y hacer una comparación de los re-

sultados finales; esto permitió identificar variables, no consideradas en el experimento, que afectaron los resultados.

CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE CARGAS

La pasta de reintegración formal tiene como objetivo mantener la unidad visual de un elemento, la textura y el color del sustrato. Para elaborarla se utilizan cargas con granulometrías y un grado de compactación similar al original. Por lo general, se utilizan cargas de menores dimensiones para formular una pasta compacta, resistente, permeable y capaz de homogeneizar la superficie a restaurar y ofrecer un comportamiento similar al de los materiales originales en caso de envejecimiento o intemperización.

En el caso de los morteros de sacrificio, el nivel de compactación debe ser menor al del sustrato original y la granulometría debe ser más elevada para permitir la formación de poros o vacuolas durante el secado, de manera que la porosidad de la pasta deje que la humedad se transmita hacia la superficie, sin retenerla entre el mortero y el sustrato. De no permitir la evaporación de manera efectiva, la humedad y las soluciones salinas podrían deteriorar el material original antes que el mortero de sacrificio (Mora *et al.* 2003). Para conseguir las características apropiadas para cada caso, se utilizaron cargas de granulometría fina para las pastas de reintegración (de 0.250 mm y 0.150 mm), y granulometría gruesa para los morteros de sacrificio (de 0.250 mm y 0.450 mm), como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Características de composición y granulometría de los agregados usados según el tipo de mortero. En este caso, se utilizó una mezcla de basalto microvacuolar molido y arenisca siliciclástica. Elaboración: Iván Gómez, 2015.

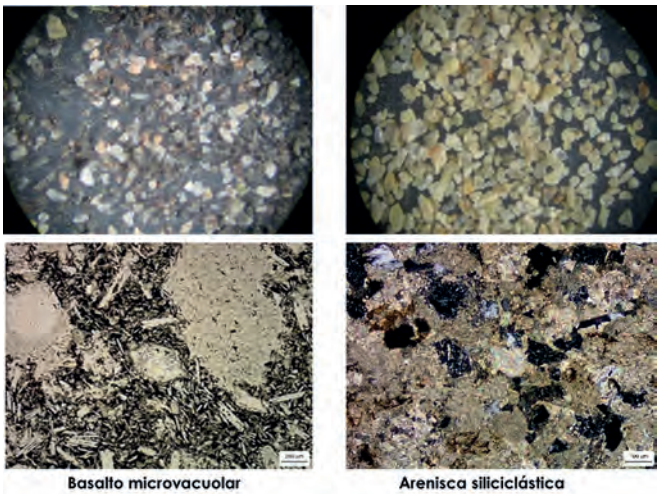


Figura 3. Imágenes de microscopía óptica de las piedras usadas como soporte y agregados para los morteros. Arriba: distribución de tamaños y color de granos. Abajo: análisis petrográfico para determinar su composición y compatibilidad. Fotografías: Iván Gómez, 2015.

Por otra parte, es deseable que tanto los morteros de sacrificio como las pastas de reintegración formal utilicen materiales de naturaleza semejante a los elementos originales para que tengan propiedades y comportamientos similares (Orea 2013). Los componentes de las cargas deben ser compatibles y no interactuar física ni químicamente con los elementos originales, además de poder eliminarse con facilidad y sin ocasionar daños al material original. Para la presente investigación se eligieron dos tipos de cargas: piedra de basalto microvacuolar molida y arenisca siliciclástica. Ambas están compuestas principalmente por dióxido de silicio (SiO_2), que favorece su compatibilidad con el material original (véase la figura 3).

Para determinar las proporciones más adecuadas para cada mortero, se hicieron pruebas con diferentes cargas, granulometrías y proporciones (Gómez 2016). La experimentación demostró que las granulometrías más aptas para las pastas de resane son de 0.425 mm para la arena de río y 0.150 mm para la piedra molida. En las pastas de reintegración, los resultados indicaron una proporción eficaz de dos partes de arena y una de piedra molida, mientras que para la mezcla de cargas con el cementante se planteó una proporción de 2:1. Para los morteros de sacrificio también se utilizó una proporción de dos partes de arena y una de piedra molida.

Para la mezcla de cargas con el cementante, se determinó una proporción de 3:1. Las propiedades evaluadas en los morteros fueron tiempo de secado, manejabilidad de la pasta, color, dureza, absorción de agua, adhesión al sustrato, reversibilidad y estado de conservación.

RESULTADOS

Ambos morteros presentaron un tiempo de secado adecuado en todas las condiciones. Aunque en los morteros de sacrificio fue más corto, no se consideró significativo porque la diferencia fue de entre 8 y 15 minutos. En cuanto a la manejabilidad, las pastas de resane presentaron características óptimas en todos los climas. Los morteros de sacrificio presentaron dificultades, en específico, en el clima semiárido, debido a la mayor proporción de carga; además, su exposición a condiciones ambientales de baja humedad y alta temperatura altera su manejabilidad. Respecto de la dureza, el color y la capacidad de absorción de agua, todas las muestras se observaron estables, salvo los morteros de sacrificio expuestos a condiciones tropicales, que presentaron una disminución en la capacidad de absorción de agua, ligada a las condiciones atmosféricas de alta humedad que se presentaron en los meses de monitoreo.

Tanto en las pastas de reintegración como en los morteros de sacrificio expuestos a condiciones tropicales se registró una alteración en el color por proliferación de microorganismos en las muestras. En cuanto a la reversibilidad, todas las pastas presentaron un comportamiento adecuado. Se observó mayor facilidad en la eliminación de las pastas aplicadas sobre el sustrato de arenisca siliciclástica debido a la superficie más homogénea de esta roca, la cual genera menor anclaje mecánico entre la pasta y el sustrato. A diferencia de los morteros elaborados con hidróxido de calcio, las pastas de sílice coloidal no modificaron el color del sustrato una vez removidos (véase la figura 4).

Los morteros de sílice coloidal se adhieren al sustrato principalmente por anclaje mecánico, con el apoyo de los cristales de dióxido de silicio que se forman al perder la humedad de la solución coloidal, y aportan cohesión. El anclaje de los morteros al sustrato varía de acuerdo con el tamaño de las cargas, la textura y la porosidad del sustrato. Los morteros de sacrificio, con cargas de mayores dimensiones, presentan más porosidad que le permite al cementante un mejor anclaje me-

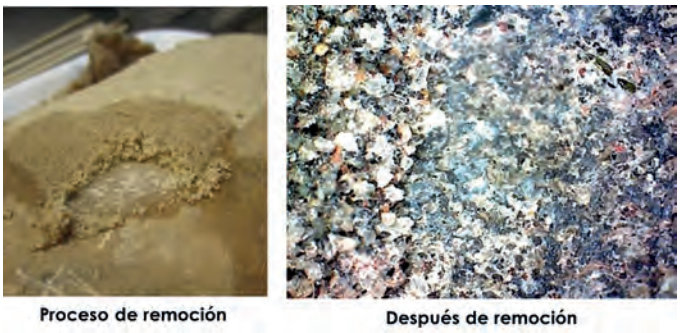


Figura 4. Se presentan imágenes del proceso de remoción a nivel macro (izquierda) y micro (derecha). Fotografías: Iván Gómez, 2015.

cánico y una mejor adhesión al sustrato, independientemente de su naturaleza.

Se observa que el anclaje mejora de manera significativa en el sustrato de basalto microvacuolar por las características de porosidad y grano de la superficie y los clastos angulosos de baja esfericidad que componen la roca. Por el contrario, las pastas de resane aplicadas sobre el sustrato de arenisca, mucho menos rugoso, con menor porosidad y una composición de numerosos clastos esféricos redondeados, no presentaron un buen anclaje debido a que el sustrato no permite la penetración del cementante en la matriz pétrea. En consecuencia, estas probetas sufrieron pérdidas parciales o totales antes de completar el experimento (véase la figura 5).

Figura 5. Distintas perspectivas de la adhesión del mortero al sustrato. Fotografías: Iván Gómez, 2015.

En las tablas 1 y 2 se resumen los resultados del experimento y se muestra el desempeño de las pastas de reintegración y los morteros de sacrificio, según la propiedad evaluada y la condición geoclimática a la que estuvieron expuestos.

Las pruebas arrojaron datos sobre las variables que influyeron en el desempeño de los morteros aplicados y ayudaron a identificar otros factores en su comportamiento que no fueron considerados en esta investigación, como el ataque biológico que sufrieron las pruebas intemperizadas en altas condiciones de humedad y temperatura.

La erosión por lluvia también fue determinante. En el caso de las pastas de reintegración que presentaban deficiencias de adhesión al sustrato, el impacto de las gotas produjo una fuerza mecánica que desprendió las partes ya debilitadas. En los morteros de sacrificio se produjo un fenómeno de erosión por salpicadura a causa de la superficie irregular

Tabla 1
EVALUACIÓN SISTEMÁTICA DEL DESEMPEÑO DE LAS PASTAS DE REINTEGRACIÓN DE ACUERDO CON LAS VARIABLES ESTUDIADAS

Etapas de evaluación	*Variables*	*Condición geoclimática*					
		Templado		*Semiárido*		*Tropical*	
		Basalto	*Arenisca*	*Basalto*	*Arenisca*	*Basalto*	*Arenisca*
Durante aplicación	Tiempo de secado (min)	42	55	37	50	47	55
	Manejabilidad de la pasta	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Durante intemperizado	Color	+++	+++	+++	+++	++	++
	Dureza	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	Absorción de agua	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Final de intemperizado	Color	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	Adhesión al sustrato	+++	—	+++	- —	+++	—
	Reversibillidad	++	+++	++	+++	++	+++
	Estado de conservación	+++	- —	+++	- —	+++	—

+++ Excelente resultado, ++ Buen resultado, + Resultado regular, - No cumplió
Elaboración: Iván Gómez, 2015.

Tabla 2
EVALUACIÓN SISTEMÁTICA DEL DESEMPEÑO DE LOS MORTEROS DE SACRIFICIO DE ACUERDO CON LAS VARIABLES ESTUDIADAS

Etapas de evaluación	*Variables*	*Condición geoclimática*					
		Templado		*Semiárido*		*Tropical*	
		Basalto	*Arenisca*	*Basalto*	*Arenisca*	*Basalto*	*Arenisca*
Durante aplicación	Tiempo de secado (min)	35	45	30	45	40	50
	Manejabilidad de la pasta	+++	++	+	+	+++	+++
Durante intemperizado	Color	+++	+++	+++	+++	++	++
	Dureza	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	Absorción de agua	+++	+++	+++	+++	++	++
Final de intemperizado	Color	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	Adhesión al sustrato	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	Reversibillidad	++	+++	++	+++	++	+++
	Estado de conservación	++	++	++	++	++	++

+++ Excelente resultado, ++ Buen resultado, + Resultado regular, - No cumplió
Elaboración: Iván Gómez, 2015.

del mortero, pues cuando una gota de agua se impacta, sólo una pequeña parte de su fuerza se transfiere hacia la superficie y el resto se distribuye a los lados. Esto genera pequeñas pérdidas de cargas y cementante que dan lugar a una degradación paulatina del mortero de sacrificio. En principio, esto sería deseable; no obstante, es necesario evaluar la durabilidad máxima de estos morteros en condiciones de lluvia.

PARÁMETROS PARA EL USO Y LA APLICACIÓN DE PASTAS DE REINTEGRACIÓN Y MORTEROS DE SACRIFICIO ELABORADOS CON SÍLICE COLOIDAL

Es importante caracterizar el sustrato original para diseñar el mortero más adecuado para cada caso (Losada y Esbert 2003). Antes de determinar el tipo de cargas que se utilizarán y sus proporciones adecuadas, se

deben evaluar sus características –en particular el color–, el grado de esfericidad y tamaño de partícula, y su desempeño con el cementante en diferentes proporciones, pues el origen de la carga determina las propiedades de la pasta, como color, textura, dureza y porosidad. En esta investigación se presentan las pruebas necesarias para elaborar el mortero, de manera que puedan replicarse (véase la tabla 3).

Tanto los aspectos de integración visual como los de conservación de la obra son determinados principalmente por las cargas; por eso es fundamental hacer pruebas en cada caso de estudio para diseñar la pasta más adecuada. No se aconseja establecer tipos de cargas y proporciones generales.

Durante la aplicación de las pastas, es necesario tomar en cuenta que el cementante, por ser una solución acuosa, tiende a ser absorbido por las vacuolas del sustrato sobre el que se aplica; por ello es pertinente humectarlo, para que el secado sea gradual y permita la formación de los cristales de sílice. También es necesario evitar la radiación solar directa durante el proceso, de manera que no se evapore el agua del sílice coloidal. Si se desea remover los morteros de sílice coloidal es necesario usar herramientas, y sólo en algunos casos, humedad. Se recomienda preparar suficiente pasta, porque no es posible guardar el sobrante y usarlo después, debido a que pierde propiedades de manejabilidad y adhesión.

Tabla 3
DIAGRAMA DE RELACIÓN DE PROPIEDADES DE LAS CARGAS CON LAS PROPIEDADES DEL MORTERO Y TÉCNICAS INSTRUMENTALES PARA SU CARACTERIZACIÓN

Qué	*Para qué*	*Con qué*
Identificación de materiales	Conocer las características de los materiales con los que se elaboran las pastas para predecir su comportamiento.	Análisis instrumentales
Color y forma de agregados	Estas características determinan propiedades de la pasta, como color, anclaje y adhesividad al sustrato, relacionadas directamente con su integración visual y su estabilidad.	Microscopía óptica
Fases minerales		Petrografía de corte transversal
Estructura cristalina		Difracción de rayos X
Composición elemental	Determina su compatibilidad con el sustrato original.	Fluorescencia de rayos X

Elaboración: Iván Gómez, 2015.

CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACIÓN DE MORTEROS DE SÍLICE COLOIDAL

En esta investigación partimos del supuesto de que las pastas de reintegración y los morteros de sacrificio con la misma composición de los sustratos pétreos en los que se aplican tendrían mejor comportamiento, y evaluamos cargas con contenido mineralógico elevado de sílice con cementante de sílice coloidal. Sin embargo, no observamos diferencias significativas con respecto a las pastas de cal, pues la adhesión al sustrato dependió sobre todo de sus características de porosidad y textura, independientemente de la composición de la pasta. Estos componentes pueden asegurar la estabilidad química de las pastas a largo plazo, a pesar de ser sometidas a procesos de intemperización en un medio contaminante.

Las cargas elegidas para elaborar las pastas de reintegración aportan un aspecto más natural al bien. En el caso de los morteros de sacrificio, es posible replicar las características del elemento protegido, ya que se imitan el color, la transparencia y la textura de la superficie pétrea, "integrándose armónicamente en el conjunto" ("Carta de Venecia" 1964), lo que evita la interrupción en la lectura de la obra. Por otra parte, los procesos también se optimizan al eliminar la necesidad de una reintegración posterior. Es importante mencionar que el color no presentó cambios en la materia de los morteros, lo cual indica que es sumamente estable, incluso en condiciones de insolación directa.

Se comprobó la reversibilidad de las pastas durante el proceso de remoción. A diferencia de un mortero elaborado con hidróxido de calcio, las pastas y los morteros elaborados con sílice coloidal no modifican la coloración del sustrato original una vez que son retirados. Es importante señalar que con mayores concentraciones de sílice coloidal las pastas alcanzan una alta dureza y es difícil retirarlas. El sílice coloidal posee la ventaja de secar rápido, en cerca de una hora; sin embargo, es necesario considerar que este aspecto puede resultar contraproducente si se preparan grandes cantidades de mortero, porque no es posible almacenarlo. También es necesario tomar en cuenta que utilizar sílice coloidal como cementante eleva significativamente los costos de la intervención en comparación con el costo de la cal.

Con base en los resultados de la experimentación, se puede concluir que los morteros de sílice coloidal presentan un comportamiento adecuado. Al igual que en las pastas de cal, el manejo adecuado de las

proporciones de cargas y cementante es de suma importancia para obtener una pasta manejable, sin pulverulencia y con adhesión al sustrato. El desempeño a mediano y largo plazo depende de las condiciones medioambientales a las que se exponen los morteros; en ese sentido, los resultados de esta experimentación mostraron que estas formulaciones son apropiadas para bienes en resguardo, que no se exponen a precipitaciones pluviales, pues este fenómeno degrada las pastas y genera pérdidas parciales o totales que dejan el bien sin protección.

REFLEXIONES FINALES

En numerosos documentos que establecen normas, principios y criterios para la protección del patrimonio cultural ("Carta de Venecia" 1964; "Carta internacional para la gestión del patrimonio arqueológico de ICOMOS" 1990; "Principios para el análisis, conservación y restauración del patrimonio arquitectónico" 2003; Losada y Esbert 2003), se expresa preocupación por las investigaciones del patrimonio cultural que se desarrollan aisladas e ignoran que comparten un problema con otras áreas (Losada y Esbert 2003). Este estudio es el resultado del trabajo de un equipo que busca diseñar y experimentar nuevos componentes en el campo de la ingeniería de materiales para resolver y mejorar los requerimientos específicos de conservación y restauración del patrimonio pétreo, con miras a que sea el punto de partida para desarrollar en México nuevos materiales diseñados en específico para la conservación del patrimonio en piedra.

En términos generales, el uso del sílice coloidal como cementante de pastas de reintegración y morteros de sacrificio es adecuado en ambientes controlados; es decir, resulta más útil en la restauración de elementos decorativos pétreos en interiores o de piezas que se encuentran en resguardo, dado que las pastas y los morteros diseñados para esta investigación no son aplicables en exteriores. Sería necesario profundizar la investigación y buscar una formulación que asegure la estabilidad de las pastas de reintegración y los morteros de sacrificio en condiciones de intemperización que causen impacto mecánico directo, como lluvia o granizo. También se considera pertinente profundizar el estudio de su comportamiento a largo plazo en condiciones diversas, con el fin de generar parámetros de durabilidad y estabilidad para determinar protocolos de mantenimiento, fundamentales en la conservación de patrimonio

monumental ("Carta de Venecia" 1964: art. 4; "Carta internacional para la gestión del patrimonio arqueológico" 1990: art. 6).

En ese sentido, es indispensable ahondar particularmente en la experimentación de pastas de reintegración y morteros de sacrificio, y considerar otras variables, como el ataque de microorganismos en condiciones tropicales, para determinar los agentes biológicos a los que este material es susceptible y establecer rangos de humedad y temperatura adecuados para su desempeño óptimo. También es crucial evaluar el comportamiento de pastas y morteros de sílice coloidal en presencia de humedad ascendente, porque hay productos que se solubilizan y migran a la superficie como consecuencia de la presencia de agua, que es un problema común en patrimonio pétreo monumental y sólo puede controlarse en parte, lo que exige desarrollar productos adecuados para asegurar el mínimo daño en las estructuras originales.

Es recomendable comparar distintas presentaciones de sílice coloidal con variantes en sus propiedades, sobre todo las desarrolladas en específico para la restauración, como Syton x30® y Syton w30®. También es relevante determinar si la presencia de un contraión estabilizante en la solución influye en el comportamiento de los morteros.

BIBLIOGRAFÍA

"Carta de Venecia". 1964. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/venice_sp.pdf (consultado el 26 de septiembre de 2021).

"Carta internacional para la gestión del patrimonio arqueológico". 1990. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/arch_sp.pdf (consultado el 26 de septiembre de 2021).

Cruz, Sandra. 2009. "Proyectos de conservación de 20 pinturas rupestres en La Pintada (Sonora) y El Ocote (Aguascalientes)". México: Instituto Nacional de Antropología e Historia-Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural.

Fort, Rafael. 2012. "Tratamientos de conservación y restauración de geomateriales: tratamientos de consolidación e hidrofugación". En *La conservación de los geomateriales utilizados en el patrimonio*, Rafael Fort y Elena M. Pérez-Monserrat (coords.), 125-132. Madrid: Universidad Complutense/Consejo Superior de Investigaciones Científicas/Programa Geomateriales-Instituto de Geociencias/Comunidad de Madrid.

Gómez, Iván. 2016. "Aplicación y evaluación del sílice coloidal como alternativa al hidróxido de calcio en la elaboración de pastas de resane para reintegración formal y de morteros de sacrificio". Tesis de licenciatura. Guadalajara: Escuela de Conservación y Restauración de Occidente.

Gómez, Lourdes y Angélica Peregrina. 2009. *Documentos internacionales de conservación y restauración*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia-Centro INAH Jalisco.

Grimaldi, Dulce. 2009. "Proyecto de Conservación de la Pintura Mural y otros acabados arquitectónicos de la Zona Arqueológica de El Tajín". México: Instituto Nacional de Antropología e Historia-Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural.

___ . 2013. "Proyecto de Conservación de la Pintura Mural y otros acabados arquitectónicos de la Zona Arqueológica de Cholula". México: Instituto Nacional de Antropología e Historia-Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural.

Losada, José María y Rosa María Esbert. 2003. "Criterios de intervención en materiales pétreos: conclusiones de las jornadas celebradas en febrero de 2002 en el Instituto Histórico Español". *Bienes Culturales. Revista del Instituto del Patrimonio Histórico Español*, núm. extraordinario 2: 1-34.

Lugo, César. 2007. "Estudio comparativo de morteros de hidróxido de calcio y óxido de silicio". Tesis de licenciatura. Guadalajara: Escuela de Conservación y Restauración de Occidente.

Mendiolea, Juan. 1989. "La sílica coloidal como consolidante de materiales pétreos *in situ*". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía-Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Mora, Paolo, Laura Mora y Paul Philippot. 2003. *La conservación de pinturas murales*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia/Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales.

Okubo, Tsuneo. 1993. "Polymer Colloidal Crystals". *Progress in Polymer Science*, vol. 18, núm. 3: 418-517.

___ . 2007. "Sedimentation and Drying Dissipative Patterns of Colloidal Silica (560 nm in Diameter) Suspensions in a Glass Dish and a Watch Glass". *Colloid and Polymer Science*, vol. 285, núm. 13: 1495-1503.

Orea, Haydeé. 2013. "El uso de la cal en la conservación de los monumentos arqueológicos e históricos: de la teoría a la práctica". En *La cal. Historia, propiedades y usos*, Luis Barba Pingarrón e Isabel Villaseñor Alonso (eds.), 141-160. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

"Principios para el análisis, conservación y restauración del patrimonio arquitectónico. 2003. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/structures_sp.pdf (consultado el 22 de septiembre de 2021).

Sun, Shaofan, Yudong Huang, Boxin Zhao. 2015. "Formation of Silica Colloidal Crystals on Soft Hydrophobic vs Rigid Hydrophilic Surfaces". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 467: 180-187.

Prevention, Moisture and Salts: A Story of Cooperation or Conflict?

David Odgers[*]

Abstract

This paper will look at the ways in which preventive conservation measures are applied to monuments and archaeological sites. These are often conceived as a means to reduce the effects of moisture ingress and salt crystallisation; however, in some cases, these steps have been found to produce adverse effects which conflict with that basic premise. This will be illustrated using a number of case studies particularly with regard to the removal and/or management of salts.

Keywords: preventive, salts, protection, shelter, assessment

Resumen

En este artículo se revisará cómo se aplican las medidas de conservación preventiva a monumentos y sitios arqueológicos. Éstas se conciben con frecuencia como un medio para reducir los efectos de la humedad y la cristalización de sales; sin embargo, en algunos casos, producen efectos adversos que contrastan con la premisa básica. Para explicarlo, se utilizarán varios casos de estudio, en particular los que implican remoción o manejo de sales.

Palabras clave: conservación preventiva, sales, protección, cubierta, evaluación

[*] Odgers Conservation Consultants

INTRODUCTION

Principles of conservation have always identified mitigation of causes of decay as a fundamental element of any intervention. The Historic England Principles of Conservation clearly and specifically states that "the primary purpose of any repair programme is to address the underlying causes and restrain the mechanisms of decay without changing the character" (Historic England 2008). In general terms, any mitigation strategy can only be developed following a detailed assessment of the monument or site including elements such as condition survey, decay mapping and targeted investigations.

This idea of mitigation can often be classified as a 'preventive' measure and can encompass a wide variety of practical steps. In the context of external stone monuments and sites, these most often involve reducing the ingress of moisture and the formation of salts and modifying or controlling the environment. This paper uses case studies to show how such preventive strategies can be successful but also where, through instigating alternative mechanisms of decay, they can be harmful. It highlights the need for more detailed and critical evaluation before preventive strategies are enacted.

TERMINOLOGY

Preventive conservation includes all measures and actions aimed at avoiding and minimizing future deterioration or loss. It is an ongoing process which aims to extend the life of cultural property, to reduce the risk of catastrophic loss of cultural property and to defer, reduce, or eliminate the need for new interventive treatment and to extend the effectiveness of existing treatment.

Preventive conservation is carried out within the context or on the surroundings of an item. These measures and actions are indirect; they do not interfere with the materials and structures of the items, and they do not modify their appearance. This area of conservation has more often been associated with steps taken for museum objects such as storage, handling, packing and transportation, security, environmental management (light, humidity, pollution and pest control) and emergency planning. But it is just as relevant to external stonework and, in the

context of stone monuments and structures, it can be more useful to think of it as:

- reducing further deterioration through temporary structural interventions;
- preventing the ingress of potentially damaging factors such as rainfall or salts;
- modifying or controlling the environment of the monument or building.

As with all preventive measures, the control can be considered as reversible although the effect on the stone may not be. This should not be confused with the idea of protection, which is considered to be the steps that are taken to apply a barrier directly to the stone surface that can slow down the decay of the stone. Protection in its simplest form might be a paint, limewash, shelter coat or hydrophobic coating, but it can also be extended to include surface treatments and even protective renders. There are occasions when the distinction between the two is blurred and the intervention could be considered to be both preventive and protective; a good example of this is the installation of a lead flashing on a decorative moulding on a building. This is installed as an indirect protection against rainfall, but also modifies the appearance.

PREVENTIVE MEASURES

Of all the criteria involved in preventive and protective measures, the fundamental cause to which both are addressed is water and the way it interacts with external stonework. It is not possible in the context of this paper to give a detailed account of the complex ways in which this interaction occurs, but most moisture profiles in stonework arise from a combination of the effects of rainfall (direct or indirect), ground water (rising or penetrative) or moisture in the air (condensation). The resulting problems will vary considerably depending on the type of stone, but include thermal cycling (especially freeze/thaw), hygric cycling and, most importantly, the dissolution, migration and formation of salts.

Possible measures for reducing the impact of moisture would include:

- ensuring existing measures are working (for example, checking roofs, gutters, drains and ground drainage);
- providing additional protective measures (for example, shelters);
- managing the external environment (for example, cutting back trees, managing indirect rainfall);
- inserting membrane to isolate monument from ground water;
- managing internal environments to reduce condensation.

Similarly attempts to reduce the effect of salt induced deterioration might include:

- removing the source of salts (for example, preventing the laying of de-icing salt);
- removing the moisture source that is required for salts to mobilise and crystallise;
- management of salts by removal as they appear;
- poulticing to remove existing salts;
- providing alternative moisture paths to allow preferential crystallisation of salts.

Many of the steps described might seem intuitive and logical. Unfortunately, all too often, this reliance on intuition can mean that detailed evaluation of the short, medium and long-term effects is not properly considered so that, in the worst cases, deterioration actually increases. The following case studies show a variety of situations that highlight some of these issues.

GENERAL STRATEGY FOR EVALUATION

Although many of the steps described might seem intuitive and logical, most are likely to lead to a change in the equilibrium that exists between the stone and its environment. It is imperative to understand the medium and long-term implications of these changes; because predic-

tion is difficult and often imprecise, this evaluation of consequences is too often missing from options appraisals, and this can lead to unintended and potentially damaging results. Therefore, there should be an obligation to identify the likely effects and if there are doubts as to what they might be, then maintaining the *statu quo* should perhaps be considered as the option that carries the least risk.

It is difficult to standardise the methods of evaluation required to make these judgments; they do not just involve measurement and analysis but must also include a broader appraisal of how the stonework interacts with its environment. Specifically, there are usually four main areas that must be understood and evaluated:

1. The nature of the damage – this requires knowledge of the substrate itself and how it has been affected by its location, use and environment. Apart from observation, such assessment might include analysis.
2. The underlying causes of deterioration – this would usually involve decay mapping and the assessment of how the stone interacts with moisture (from whatever source).
3. Whether the deterioration is active or historic, periodic or perpetual – archive photos and monitoring are key to understanding these issues.
4. How the deterioration will be controlled by preventive or other measures – this is not just a matter of trying to reduce those factors causing decay, but specific evaluation of what other effects such measures might have.

The following case studies provide examples of some of the factors involved.

CASE STUDY 1 – ROMAN BATH HOUSE, BILLINGSGATE, LONDON

Description

The Roman Bath House is situated in the basement of an office block on the side of the River Thames. The visible remains were excavated in 1848 and are those of a three-wing dwelling house built probably in the

Figure 1. Roman Bath House, Billingsgate, London. Part of the hypocaust and frigidarium *including sections of mosaic that have been re-laid on lead membrane. The foreground shows the use of crushed limestone as a porous medium to encourage moisture evaporation and salt crystallisation. © David Odgers, 2014.*

3rd century around a small bath house with surviving hypocausts. The standing remains mostly comprise stone and tile walls but with some well-preserved sections of *tesserae* floor and also *pilae*. The areas between the standing remains are a mixture of compressed backfill and earth.

The site which effectively sits within an existing 'shelter' is subject to a variable water level; the ground water rises up the porous materials (tile/brick/mortar) and leads to significant deposition of salts. In addition, although the site is closed, it has vents onto the street and so suffers from variable environmental conditions.

PRACTICAL AND PREVENTIVE MEASURES

Continuing decay of the standing remains, and a desire to open the site to the public (thereby excluding re-burial as an option), meant that in

1990, a strategy for practical and preventive conservation was drawn up. Stabilisation of the environmental conditions was practically impossible, so other steps needed to be taken to reduce salt contamination of the stone, tile and brick.

A number of options were considered and after small-scale trials had been undertaken and assessed, the following works were carried out:

- Desalination by poulticing; clearly this was only practical for smaller elements of the archaeology that could be lifted and separated from the ground water. It was impractical for larger sections of wall which sat on the endless reservoir of salts.
- Isolation of smaller sections of the archaeology (*e.g. pilae* and small sections of *tesserae*) from the ground by re-setting them on lead membrane.
- Pointing of joints with porous mortars devised to match the original mortar but also designed to attract salts and be sacrificial, thus requiring occasional replacement.
- Provision of compressed porous limestone layer (about 150 mm deep) around the archaeological sections. This simple preventive measure has been very successful as salts are attracted into the sand and every few years the top 50 mm of the sand (where salt concentrations are highest) is scraped off and replaced.

SUMMARY EVALUATION

This example shows how a simple and cheap technique has been of significant benefit to an important archaeological site. It has fulfilled the criteria of being open to the public, and although ground water levels are still high and salt crystallisation still takes place, the light-touch measures along with a continuing maintenance programme have been successful in significantly reducing deterioration of the original fabric. An additional advantage of this method is that by using different coloured aggregates, it has been possible to identify the various areas of the site (*e.g.* external, internal) and thus aid to the interpretation of the site.

Figure 2. Rochester Castle Keep. View from basement showing absence of floors and roof and spine wall with Romanesque arcading. It was proposed that a roof should be introduced, but a two-year monitoring programme suggested this would lead to increase deterioration of the stonework. © David Odgers, 2009.

CASE STUDY 2 – ROCHESTER CASTLE KEEP, UK

Description

The massive 12th century Keep of Rochester Castle lies next to the Medway estuary; it has been besieged and fought over many times in its long life. It bears the scars of battles and neglect and currently sits as a massive testament to Norman building skill; it has been without its roof or floors since the middle of the 17th century. There were proposals

to demolish it in 1738, but it was retained and then taken into local council ownership in the late 19th century when significant repairs were undertaken, including stabilising the turrets and battlements, grouting walls and reconstructing walkways at the top of the walls.

Proposed Works

In 1991, a proposal was drawn up for re-roofing and restoring the ground and basement floors, but this was rejected due to undeclared doubts about the effect of altering the microclimate of the keep interior and changing its appearance. Then, in 2004, a conservation report suggested that the poor state of the walls was an ongoing problem that urgently required resolution. Concern was expressed that severe winter conditions would be likely to cause accelerated deterioration particularly because the monument has no roof and therefore the walls were receiving double the amount of weather they were designed for. This rather specific and inaccurate conclusion resulted in a conservation programme that included the following:

- tops of walls should be rebuilt incorporating discrete parapet copings;
- rainwater pipes should be introduced and positioned internally;
- the Castle Keep should have a new roof.

Fortunately, before this work started, it was pointed out that no assessment had been carried out to establish the likely effect of these proposals. A two-year programme of investigation and analysis was carried out using detailed condition survey, visual observation of the interaction of stone and rainfall at different times of the year, sun shadow analysis, environmental data collection, records of previous interventions and comparison of existing condition with archive photography. Analysis showed that the principal mortar used in the original construction had a high salt content with an aggregate consisting mainly of shells and crucially and, importantly, the external walls were protected by a render.

The conclusions drawn at the end of the assessment can be summarised as below:

- Overall, the Keep is suffering from a process of incremental decay with occasional loss of stone fragments and original mortar particularly to the external walls. This is likely to continue in advance of any protection work.
- The most vulnerable areas are the Caen stone quoins which are small in size and generally not well bonded to the adjacent walls.
- Other principal architectural elements, such as the fine arcade to the spine wall, are neither catastrophically affected nor is there any evidence that decay is accelerating.
- There have been a number of previous interventions, particularly of pointing and stabilisation. Although these have been largely successful, the mortars used (generally cement or cement/hydraulic lime mix) are now failing.
- The powdering of stone and mortar observed in some areas is being driven by chloride salt crystallisation.
- Environmental monitoring confirms that the current equilibrium between stone and environment leads to incremental decay but general stability. Any attempt to substantially change the equilibrium is likely to result in excessive salt crystallisation as the saturated lower sections of the Keep would begin to dry out.

SUMMARY EVALUATION

This was a clear example of where the *statu quo* (with additional monitoring and maintenance, particularly of the Caen stones) would seem to be the best course of action as preventive conservation that changed the internal environment would have been inappropriate and led to enhanced decay. It remains open to the public although falls of fragments (mainly of mortar) mean that they are excluded from the base of the walls. This situation could be improved if there were an undertaking to reinstate the external render. Importantly, the heritage values associated with the Castle Keep have been maintained.

Figure 3. Howden Minster Chapter House. One side of the structure showing the advanced deterioration of the arcading which has accelerated since the introduction of a roof in 1984. There is loss in all areas, but it tends to be concentrated on a band running horizontally at mid-height. This continues to be monitored and has formed part of a research project with the Getty Conservation Institute. © David Odgers, 2013.

CASE STUDY 3 – HOWDEN MINISTER (UK)

Description

Howden Minster was established as a collegiate church in the 13th century and includes a chapter house (completed in 1400 and built of magnesian limestone) on the south side of the choir. The chapter house has highly decorated gothic style arcading and in 1750 its roof collapsed; by 1800, Howden Minster had effectively been divided into two parts with the nave and transepts being kept in repair and used for worship and the choir and chapter house in ruinous condition. The ruined area was taken into the guardianship of the Department of the Environment in 1971 and then transferred to English Heritage in 1984.

PREVENTIVE MEASURES AND SUBSEQUENT INVESTIGATIONS

Following concern about possible decay to the decorative arcading, it was decided that it would be appropriate to introduce a roof over the chapter house as a preventive strategy. It was something of a surprise therefore to find that over the following few years, decay of the stone increased dramatically. This led to significant research carried out by The Getty Conservation Institute and English Heritage.

EVALUATION AND INVESTIGATIONS

Analysis (Doehne 2006) revealed that the main type of salts that were causing the damage were potassium nitrate (probably from biological decay in ground water from the adjacent burial ground), sodium chloride (source unknown) and calcium and magnesium sulphate (from pollution). Of these, magnesium sulphate was the main culprit; this exists principally as epsomite ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) with slow phase changes occurring at high levels of RH.

Environmental monitoring showed that, despite open windows, internal conditions had a reduced range of RH values and temperature compared to external conditions; it also revealed that mid and upper levels of the arcading were subject to periodic condensation events. Other investigations included moisture profiles through the walls and time-lapse imaging. All of this was carried out to (1) try to understand why a simple preventive measure had led to such damage and (2) what could be done to slow the unintended consequences of deterioration.

The paper that describes all the relevant research results, general evaluation and various trials and interventions has yet to be published, but the main observations and conclusions are:

- Howden Minster stands about 10 km downwind from Drax power station that pumps out over 100,000 tonnes of SO_2 per year. This can react in the presence of water with magnesian limestone to form magnesium sulphate.
- During the period from the loss of roof and windows (1750) to the installation of the roof (1984), the interior

of the chapter house was subject to similar conditions to the exterior but less prone to direct rainfall. The result was limited historic decay of the internal panels.

- At the time of the installation of the roof, other preventive measures were taken, including reducing external ground level to below internal ground level and controlling indirect rainfall falling through the large open perpendicular windows using lead trays.
- As a result of the preventive measures, the interior environment dried out, so moisture movement then principally occurred through the stone from exterior to interior and as condensation events due to moist air condensing on dry cold surfaces. This moisture accelerated the reaction of deposited sulphur dioxide with magnesium from stone and mortar to form magnesium sulphate. The movement of this salt in and out of solution which was then deposited resulted in significant decay.

IDENTIFYING OPTIONS FOR NEW INTERVENTIONS

Although the research explained the observed phenomena, options as to how to minimise or reverse the effects included:

- Removal of the roof; discounted because of further change in equilibrium.
- Desalination; trials revealed that this was largely ineffective.
- Prevention of moisture movement from exterior by application of hydrophobic coating to external surface; discounted because of the need for re-application and uncertainty of possible long-term effects.
- Surface protection through various means including HCT (ammonium tartrate), lime-based coatings and porous lime render.
- Of these options, the one that appears to be the most successful is the application of a very porous lime render. This acts like a long-term sacrificial desalination poultice

> which deteriorates through salt crystallisation and provides protection for the vulnerable stone. The disadvantage, of course, is that the decorative surface is obscured and there is no endgame. Salts continue to be generated and moisture continues to move through the wall.

This case study provides an excellent example of where the medium to long term changes of equilibrium which resulted from simple preventive measures had not been evaluated. Although the building remains closed to the public there has been one unintended advantage in that the decay of magnesian limestone is now better understood.

CASE STUDY 4 – LALIBELA ROCK CHURCHES, ETHIOPIA

Description

The rock churches of Lalibela are a World Heritage Site that attracts hundreds of thousands of pilgrims regularly throughout the year. They are the spiritual centre of the Ethiopian Orthodox Church and are governed by rules and rituals handed down through generations of the clerical community since the 13th century.

In 2008, four protective shelters (with a framework of large steel stanchions embedded in concrete foundations) were erected over five of the rock-hewn churches in order to protect the churches from further weathering, in particular water infiltration from the roofs. It was understood that they were in place temporarily to allow conservation and repairs to be carried out. These modern shelters mostly replaced previous locally constructed shelters at the same location.

PREVENTIVE MEASURES

Concerns have been expressed by the community ever since the construction of the shelters and, in the last ten years, there has been an absence of any substantial work to the covered churches as well as a lack of any formal inspection and maintenance regime of the shelters themselves.

Analysis of the problems of the churches has been ongoing for decades, but much of it piecemeal and carried out by visiting experts with

Figure 4. Lalibela, Ethiopia. The shelter over the church of Beta Medhane Alem. Apart from any aesthetic considerations, the shelter has caused the rock of the roof to dry out completely so that the surface is now deteriorating. Removal of the shelter may now cause even further problems. © David Odgers, 2019.

little attempt at capacity building in the local community. There are two fundamental issues with regard to the fabric of the churches themselves:

- seismic and geological changes leading to significant discontinuities in the rock;
- composition of the rock itself with variable strata, poor cementing and high clay content (especially smectite content).

The effect of the shelters has been to change the environmental equilibrium and cause the clays to shrink and the rock especially on the roof to crumble and powder. Historically during the rainy season, the community sowed sheepskins together and put them over the roof to protect the rock; this was an effective form of preventive conservation. But now, as a result of the shelters and the sometimes-conflicting advice provided by experts, traditional regular care and maintenance of the churches by the community has declined.

When Tobeit Curtis (2013: 49) wrote the following statement, he was referring to a number of archaeological sites in countries around the Mediterranean, but he could well have had Lalibela in mind:

> In many cases where shelters have been unsuccessful, projects have been led by the aesthetic features meaning that the conservation and environmental information necessary to ensure effective functional performance is either not collected or it is given second place to the aesthetic design.

CONSERVATION MEASURES

Two of the unsheltered churches have been conserved using techniques based on lime mortars. This includes the application of a protective layer of mortar laid on a mesh over the roof of one of the churches (Biete Mikael). During the work, there were some challenging circumstances to overcome, including a general mistrust about the nature of the work, limited access to the structures, unclear management structure, difficulty in obtaining materials, and the experience and skills of the labour force. Despite these challenges, the work has been carried out to a high standard and has involved adopting a pragmatic approach, slowly adapting from the scientifically desirable to the practically achievable.

The conservation challenges for the churches that have been covered will be different as a result of the micro-climate that has existed under the shelter where the completely dry environment has led to significant crumbling of the rock. The interventions that will be needed to overcome these issues must be based on detailed examination and assessment of the stone, but must also build on materials and techniques already used in the recent projects.

EVALUATION

This is a complex —and expensive— story and, as yet, there is no end in sight. But it demonstrates the danger of reaching a conclusion without understanding the effect on the fabric itself, the local community, the heritage values, and the social, religious and environmental context in which the monument exists.

CASE STUDY 5 – HAGAR QIM TEMPLES

Description

These temples constructed on the cliffs of the Maltese coast date from around 3200 BC. They were excavated in 1839 and were constructed from bedrock and the local Globigerina limestone.

Figure 5. Hagar Qim Temples (South Temple), Malta. The shelter was constructed in 2009 as a temporary measure to allow for assessment and conservation. The effect of the shelter continues to be closely monitored. © David Odgers, 2013.

Preventive Measures

Deterioration from weathering —and in particular cracking and collapse of megaliths— has been found to be due to rainfall, increasing salt levels and sharp thermal fluctuations. This resulted in the design and construction of shelters in 2009 with the express purpose of slowing down deterioration. They were anticipated as being a temporary measure (15 years) to allow for assessment, analysis and remedial conservation to be carried out.

EVALUATION

The evaluation of the effect of the shelters is ongoing, but can be summarised as:

- there has been a drop in thermal fluctuations;
- the environmental conditions have been buffered by the shelter;
- there has been a reduction in wind erosion although the wind is now turbulent within the shelter;
- salts are still forming although the rate appears to be reduced;
- drying out of earth floors has led to an increase in surface accumulation of dust which includes salts.

Importantly it has been appreciated that microenvironment in a newly sheltered site is at a transitional stage that does not necessarily reflect longer-term trends so long-term monitoring is essential for the site to be understood.

CONCLUSIONS

Attempts to reduce and mitigate causes of decay (especially on external stonework) are an essential part of any conservation intervention. More often than not, they involve steps to manage the way in which the water interacts with the stone and how any salts produced as part of that interaction can be controlled. This requires detailed assessment

and data collection (for example environmental data, salt analysis). This information must then be interpreted and lead to a thorough understanding and critical evaluation of the medium and long-term consequences of any change made to that environment.

This is not an isolated process, and as data is accumulated (both before and after preventive measures have been put in place), it should be possible to identify key performance indicators which can be used to evaluate the effect. Although each and every site is unique and requires its own specific strategy, it should be possible to use those indicators as key considerations for any site where shelters or other preventive measures are being considered.

If there is no general agreement or policy that states what these performance indicators might be, then it is still essential that detailed assessment should be carried out and that conservators and other professionals should cooperate to understand all of the —sometimes conflicting— factors affecting the site or structure. This will allow reasoned judgments to be made that will help to ensure its long-term preservation.

BIBLIOGRAPHY

Ashurst, John and Francis Dimes. 1998. *Conservation of Building and Decorative Stone*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Cassar, JoAnn, Shirley Cefai, Reuben Grima and Katya Stroud. 2018. "Sheltering Archaeological Sites in Malta: Lessons Learnt". *Heritage Science*, n. 6. https://doi.org/10.1186/s40494-018-0201-6 (accessed on 31st July 2020).

Curteis, Tobit. 2013. "The Use of Environmental Survey and Monitoring in the Design and Evaluation of Archaeological Shelters". In *Protective Shelters for Archaeological Sites*, Zaki Aslan, Sarah Court, Jeanne Marie Teutonico and Jane Thompson (eds.), 40-50. Rome: British School at Rome.

Doehne, Eric. 2006. *Laboratory and Field Investigations for Magnesian Limestone Project*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.

Historic England. 2008. *Conservation Principles, Policies and Guidance*. https://historicengland.org.uk/images-books/publications/conservation-principles-sustainable-management-historic-environment/conservationprinciplespoliciesandguidanceapril08web (accessed on 14 April 2021).

Radley House Partnership. 2018. "Rochester Castle Keep – Assessment of the Condition of the Masonry", unpublished report.

Siegesmund, Siegfried and Rolf Snethlage. 2011. *Stone in Architecture*. London: Springer.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), International Council on Monuments and Sites (ICOMOS) and International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property (ICCROM). 2018. "Report of the UNESCO/ICOMOS/ICCROM Advisory mission to Rock-Hewn Churches, Lalibela (Ethiopia), 20-25 May 2018". https://whc.unesco.org/en/documents/169702 (accessed on 14 April 2021).

La prevención de humedad y las sales: ¿una historia de cooperación o de conflicto?

*David Odgers**

Resumen

En este artículo se revisará cómo se aplican las medidas de conservación preventiva a monumentos y sitios arqueológicos. Éstas se conciben con frecuencia como un medio para reducir los efectos de la humedad y la cristalización de sales; sin embargo, en algunos casos, producen efectos adversos que contrastan con la premisa básica. Para explicarlo, se utilizarán varios casos de estudio, en particular los que implican remoción o manejo de sales.

Palabras clave: conservación preventiva, sales, protección, cubierta, evaluación

Abstract

This paper will look at the ways in which preventive conservation measures are applied to monuments and archaeological sites. These are often conceived as a means to reduce the effects of moisture ingress and salt crystallisation; however, in some cases, these steps have been found to produce adverse effects which conflict with that basic premise. This will be illustrated using a number of case studies particularly with regard to the removal and/or management of salts.

Keywords: preventive, salts, protection, shelter, assessment

* Odgers Conservation Consultants
Traducción: Tomás Meraz Castaño

INTRODUCCIÓN

Los principios de la conservación siempre han identificado la mitigación de las causas del deterioro como un fundamento en cualquier intervención. El documento *Principles, Policies and Guidance* (2018), desarrollado por Historic England, establece con claridad que "el propósito de cualquier programa de intervención es atender las causas subyacentes y contener los mecanismos de alteración sin cambiar el carácter". En términos generales, cualquier estrategia de mitigación sólo puede desarrollarse siguiendo una valoración adecuada del monumento o sitio, que contemple el estudio de las condiciones del bien, el mapeo de los deterioros y la investigación focalizada.

La idea de mitigación puede entenderse como una medida preventiva y abarcar una gran variedad de tareas. En el contexto de los monumentos al aire libre, la mayoría de las veces estas labores involucran la modificación o el control del entorno para reducir el ingreso de humedad y la formación de sales. En este artículo se muestran ejemplos tanto de casos exitosos de prevención como de prácticas dañinas que han inducido otros mecanismos de alteración. Se resalta la necesidad de una evaluación crítica y detallada antes de aplicar estrategias preventivas.

TERMINOLOGÍA

La conservación preventiva incluye todas las medidas y acciones enfocadas en evitar o minimizar deterioros o pérdidas en el futuro. Es un proceso activo que pretende extender la vida del bien cultural y disminuir el riesgo de pérdida catastrófica al aplazar, reducir o eliminar la necesidad de futuras intervenciones y prolongar la efectividad del tratamiento utilizado.

La conservación preventiva se ejecuta en el contexto o en el entorno de un bien. Estas medidas y acciones son indirectas, no interfieren con los materiales ni la estructura de los bienes y no modifican su apariencia. Esta área de la conservación –el almacenamiento, manejo, embalaje y transporte, así como la seguridad, las condiciones ambientales (luz, humedad, contaminación y control de plagas) y la gestión de riesgos– se ha asociado a menudo con objetos de museo; sin embargo, es igual de relevante para las obras ubicadas en exteriores. En el contexto de monumentos y estructuras en piedra, es útil considerar que:

- reduce el deterioro mediante intervenciones estructurales temporales;
- evita la entrada de factores potencialmente perjudiciales, como la lluvia o las sales;
- modifica o controla el entorno del monumento o edificio.

Como ocurre con todas las medidas preventivas, el control puede considerarse reversible, aunque el efecto sobre la piedra no lo sea. Esto no debe confundirse con la idea de protección, procedimiento para aplicar una barrera directamente a la superficie de la piedra que puede frenar su deterioro. La protección, en su forma más simple, puede ser una capa de pintura, un encalado, una capa protectora o una capa hidrofóbica, pero también puede extenderse a tratamientos de superficie o revestimientos protectores. En ocasiones, una intervención puede considerarse tanto preventiva como protectora. Un ejemplo es la instalación de un tapajuntas de plomo en la moldura decorativa de un edificio, que se instala como protección contra las lluvias y cumple todos los criterios de conservación preventiva, salvo un ligero cambio de aspecto.

MEDIDAS PREVENTIVAS

De todos los criterios involucrados en las medidas de prevención y protección, la causa fundamental a la que se dirigen ambas es el agua y la forma en la que interactúa con la piedra en el exterior. En el contexto de este documento no es posible explicar con detalle la complejidad de esta interacción, pero la mayoría de los perfiles de humedad en la mampostería surgen de una combinación de los efectos de las precipitaciones (directas o indirectas), el agua subterránea (ascendente o penetrante) o la humedad del aire (condensación). Los problemas resultantes varían considerablemente según el tipo de piedra, pero incluyen los ciclos térmicos (en especial, congelación y descongelación), los ciclos hídricos y, lo que es más importante, la disolución, migración y formación de sales.

Las posibles medidas para reducir el impacto de la humedad incluyen:

- asegurarse de que las medidas existentes funcionen (por ejemplo, comprobar los tejados, las canaletas, los desagües y el drenaje a nivel del suelo);

- proporcionar medidas de protección adicionales (por ejemplo, refugios);
- gestionar el entorno externo (por ejemplo, talar árboles, gestionar las precipitaciones indirectas);
- utilizar membranas para aislar el monumento del agua subterránea;
- gestionar los ambientes internos para reducir la condensación.

De manera similar, los esfuerzos para reducir el efecto del deterioro inducido por las sales podrían contemplar:

- eliminar la fuente de sales (por ejemplo, evitar el uso de sal para deshielo);
- eliminar la fuente de humedad que se requiere para que las sales se movilicen y cristalicen;
- emprender un procedimiento con las sales mediante su eliminación conforme vayan apareciendo;
- aplicar papetas o emplastes para eliminar las sales existentes;
- proporcionar rutas de humedad alternativas para permitir la cristalización preferente de las sales.

Muchos de estos pasos pueden parecer intuitivos y lógicos. Es lamentable que esta proclividad a la intuición con demasiada frecuencia puede significar que la evaluación detallada de los efectos a corto, mediano y largo plazo no se considere como es debido, de modo que, en los peores casos, el deterioro aumenta como consecuencia. Los siguientes estudios de caso muestran una variedad de situaciones que evidencian algunas de estas cuestiones.

ESTRATEGIA GENERAL DE EVALUACIÓN

Aunque muchos de los pasos descritos pueden parecer intuitivos y lógicos, es probable que la mayoría conduzca a un cambio en el equilibrio entre la piedra y su entorno. Es imperativo comprender las consecuencias de esos cambios a mediano y largo plazo. Como la predicción es difícil y a menudo imprecisa, la evaluación de las consecuencias suele estar ausen-

te en la consideración de las opciones, lo que puede conducir a resultados no deseados y potencialmente perjudiciales. Por consiguiente, debería existir la obligación de determinar los efectos probables, y si existen dudas sobre éstos, el mantenimiento del *statu quo* debería considerarse la opción que entraña menos riesgos.

Es difícil estandarizar los métodos de evaluación necesarios para emitir estos juicios, pues no sólo implican la medición y el análisis, también deben incluir una valoración más amplia de la forma en que el artefacto de piedra interactúa con su entorno. Tobit Curteis (2013) escribe acerca de "la importancia del rendimiento sobre otros criterios de diseño y cómo la mayoría de las evaluaciones ambientales pueden hacerse visualmente o con un uso mínimo de tecnología".

Hay cuatro áreas principales que deben ser comprendidas y evaluadas:

1. La naturaleza del daño: requiere el conocimiento del sustrato y de cómo ha sido afectado por su ubicación, uso y entorno. Aparte de la observación, esa evaluación podría incluir los análisis correspondientes.
2. Las causas subyacentes del deterioro: por lo regular, implicaría la elaboración de mapas de deterioro y la evaluación de la interacción de la piedra con la humedad (de cualquier fuente).
3. Si el deterioro es activo o histórico, periódico o perpetuo: fotos de archivo y el monitoreo son clave para entender estos temas.
4. Cómo se controlará el deterioro mediante medidas preventivas o de otro tipo: no sólo es cuestión de tratar de reducir los factores que causan el deterioro, sino de evaluar qué otros efectos específicos podrían tener esas medidas.

En los siguientes estudios de caso se dan ejemplos de algunos de los factores que intervienen.

ESTUDIO DE CASO 1: BAÑOS ROMANOS, BILLINGSGATE, LONDRES

Descripción

Los Baños romanos están en el sótano de un bloque de oficinas a orillas del río Támesis. Los restos visibles se excavaron en 1848 y corresponden a

Figura 1. Baños romanos, Billingsgate, Londres. Parte del hipocausto y el frigidarium*, incluyendo secciones de mosaicos que se han colocado de nuevo sobre una membrana de plomo. Al frente, se muestra el uso de piedra caliza molida para promover la evaporación de humedad y la cristalización de sales. © David Odgers, 2014.*

una casa de tres habitaciones, construida quizá en el siglo III, alrededor de unos pequeños baños con hipocaustos que se conservan. Los vestigios en pie consisten principalmente en paredes de piedra y muros revestidos, con algunas secciones bien conservadas de piso de teselas y pilotes. Las áreas entre los vestigios elevados son una mezcla de relleno comprimido y tierra.

El sitio, que en efecto se encuentra dentro de un espacio "cubierto", está sujeto a variaciones en el nivel de agua. El agua subterránea sube por los materiales porosos (baldosas/ladrillos/mortero) y conduce a una importante deposición de sales. Aunque el sitio está cerrado, tiene respiraderos en la calle y, por lo tanto, sufre de condiciones ambientales variables.

Medidas prácticas y preventivas

El deterioro continuo de los vestigios que se mantienen y el deseo de abrir el sitio al público –lo que descarta la posibilidad de reenterrarlos– hicieron que en 1990 se elaborara una estrategia de conservación prác-

tica y preventiva. La estabilización de las condiciones ambientales era casi imposible, por lo que era necesario tomar otras medidas para reducir la contaminación salina de la piedra, las baldosas y los ladrillos.

Se examinaron varias opciones y, después de evaluar ensayos en pequeña escala, se llevaron a cabo los siguientes trabajos:

- Desalinización por aplicación de papetas. Este procedimiento sólo era práctico para elementos pequeños y exentos del sitio arqueológico, que podían ser levantados y separados del agua subterránea. No era práctico para secciones más grandes de la pared que se encontraban en el interminable depósito de sales.
- Aislamiento de secciones más pequeñas del asentamiento del suelo (por ejemplo, pilares y pequeñas secciones de baldosas) con una membrana de plomo.
- Resane de las juntas con morteros porosos concebidos para coincidir con el mortero original, atraer sales y ser sacrificados, por lo que requieren sustitución recurrente.
- Provisión de una capa de arena caliza comprimida (unos 150 mm de profundidad) alrededor de los vestigios arqueológicos. Esta medida preventiva tan sencilla ha tenido mucho éxito porque las sales son atraídas hacia la arena. Cada cierto número de años se reemplazan los 50 mm superiores de la arena con las concentraciones de sal más altas. Una ventaja adicional es que, al utilizar agregados de diferentes colores, ha sido posible identificar las diversas áreas del sitio (por ejemplo, externas e internas) y ayudar a su interpretación.

Resumen

Este ejemplo muestra cómo una técnica simple y barata ha sido de gran beneficio para un importante sitio arqueológico, que ha cumplido los criterios de estar abierto al público. Aunque los niveles de las aguas subterráneas siguen siendo elevados y todavía se produce la cristalización de sales, las medidas mínimas implementadas y un programa de mantenimiento continuo han conseguido reducir significativamente el deterioro del sustrato original.

Figura 2. Torreón del castillo de Rochester. Vista desde el sótano, en la que se aprecia la ausencia de suelos y techo, así como el muro con arcadas románicas. Se propuso introducir un techo, pero un programa de control de dos años sugirió que esto provocaría un mayor deterioro de la mampostería. © David Odgers, 2009.

CASO DE ESTUDIO 2: TORREÓN DEL CASTILLO DE ROCHESTER

Descripción

La enorme torre del castillo de Rochester, del siglo xii, se encuentra junto al estuario del río Medway. Ha sido asediada y disputada muchas veces en su larga vida. Lleva las cicatrices de las batallas y el abandono, y en la actualidad es un enorme testamento de la habilidad constructiva

normanda. Ha estado sin techo ni suelo desde mediados del siglo XVII. Hubo propuestas para demolerla en 1738, pero se mantuvo y a finales del siglo XIX pasó a ser propiedad del consejo local. Se hicieron importantes reparaciones, como la estabilización de las torrecillas y almenas, la consolidación de los muros y la reconstrucción de los pasillos en la parte superior de éstos.

Las obras propuestas

En 1991 se elaboró una propuesta para techar y restaurar los pisos de la planta baja y el sótano, pero fue rechazada debido a las dudas no declaradas sobre el efecto de alterar el microclima del interior de la torre y cambiar su apariencia. En 2004, un informe de conservación sugirió que el mal estado de las paredes era un problema constante que requería una solución urgente. Se expresó la preocupación de que las condiciones invernales severas causaran un deterioro acelerado, en particular porque el monumento no tiene techo; por lo tanto, las paredes recibían el doble de intemperismo para el que se diseñaron. Esta conclusión, bastante específica e inexacta, dio lugar a un programa de conservación que incluía:

- reconstrucción de la parte superior de los muros e incorporación de discretas molduras de parapeto para cubrir el canto superior de la pared;
- introducción y colocación interna de un sistema de canalización de agua de lluvia;
- techo nuevo para la torre del castillo.

Afortunadamente, antes de que comenzara esta labor se señaló que no se había hecho ninguna evaluación para establecer el efecto probable de estas propuestas. Se llevó a cabo un programa de investigación y análisis de dos años, con un estudio detallado del estado de conservación. Se observó la interacción de la piedra y la lluvia en diferentes épocas del año, se analizaron las sombras solares, se recopilaron datos ambientales, se registraron intervenciones anteriores y se comparó el estado actual con fotografías de archivo. El análisis demostró que el mortero principal utilizado en la construcción original tenía un alto contenido de sal con un agregado compuesto principalmente por conchas. Lo más importante era que los muros externos estaban protegidos por un revoque.

Las conclusiones de la evaluación pueden resumirse de la siguiente manera:

- La torre está sufriendo un proceso de alteración acumulativa con pérdida ocasional de fragmentos de piedra y mortero original, en especial en los muros exteriores. Es probable que esto continúe antes de que cualquier trabajo de protección se lleve a cabo.
- Las zonas más vulnerables son las esquinas hechas de piedra de Caen, que son pequeñas y por lo general no están bien unidas a los muros adyacentes.
- Otros elementos arquitectónicos principales, como la fina arcada de la pared principal, no se ven afectados catastróficamente ni hay pruebas de que el deterioro se esté acelerando.
- Ha habido intervenciones anteriores, en particular, resane y estabilización. Aunque han tenido mucho éxito, los morteros utilizados (por lo regular, de cemento o mezcla de cemento/cal hidráulica) están fallando.
- La pulverulencia de la piedra y el mortero observada en algunas zonas está siendo impulsada por la cristalización de cloruros.
- El monitoreo ambiental confirma que es probable que cualquier intento de cambiar sustancialmente el equilibrio resulte en una excesiva cristalización de sal, pues las secciones inferiores saturadas de la fortaleza comenzarían a secarse.

Resumen de la evaluación

Este es un claro ejemplo de que el *statu quo* (con monitoreo y mantenimiento adicionales, en particular de las piedras de Caen) parece el mejor curso de acción, porque una conservación preventiva que cambiara el entorno interno sería inapropiada y provocaría mayor deterioro. La torre sigue abierta al público, aunque la caída de fragmentos (principalmente de mortero) significa que quedan excluidos de la base de los muros. Esta situación podría mejorar si hubiera un compromiso de restablecer el aplanado exterior. Es importante destacar que se han mantenido los valores patrimoniales asociados a la torre del castillo.

Figura 3. Sala capitular de Howden Minster. Un lado de la estructura muestra el deterioro avanzado de las arcadas, que se ha acelerado desde la introducción de un techo, en 1984. Hay pérdidas en todas las zonas, pero tienden a concentrarse en una banda que corre horizontal a media altura. La situación sigue siendo objeto de monitoreo y forma parte de un proyecto de investigación de The Getty Conservation Institute. © David Odgers, 2013.

ESTUDIO DE CASO 3: HOWDEN MINSTER

Descripción

Howden Minster se estableció como una colegiata en el siglo XIII. Incluye una sala capitular en el lado sur del coro, completada en 1400 y construida con dolomita (caliza con contenido de magnesio). La sala capitular tiene arcadas de estilo gótico altamente decoradas. En 1750, su techo se derrumbó. En 1800, la Howden Minster había sido dividida en dos partes: la nave y los transeptos estaban en reparación y se utilizaban para el culto, y el coro y la sala capitular permanecieron en estado ruinoso. El área en ruinas fue puesta bajo la tutela del Departamento de Medio Ambiente en 1971 y luego transferida al English Heritage, en 1984.

Medidas preventivas e investigaciones posteriores

A raíz de la preocupación por el posible deterioro de la arcada decorativa, se decidió que sería apropiado introducir un techo sobre la sala capitular como estrategia preventiva. Fue una sorpresa encontrar que el deterioro de la piedra aumentó dramáticamente en los años siguientes. Esto condujo a una importante investigación llevada a cabo por The Getty Conservation Institute y el English Heritage.

Evaluación e investigaciones

Los análisis revelaron que las sales que causaban el daño eran de nitrato de potasio (quizá por la descomposición biológica del agua subterránea del cementerio adyacente), cloruro de sodio (de fuente desconocida) y sulfato de calcio y magnesio (debido a la contaminación). El sulfato de magnesio, el principal culpable, existe principalmente como epsomita ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), con cambios de fase lentos que se producen a altos niveles de humedad relativa. El monitoreo ambiental mostró una amortiguación limitada de las condiciones externas, a pesar de las ventanas abiertas, así como eventos regulares de condensación en los niveles medio y superior de la arcada. Otras investigaciones incluyeron perfiles de humedad a través de las paredes e imágenes a intervalos de tiempo. Todo se llevó a cabo para 1) tratar de comprender por qué una simple medida de protección había provocado tales daños y 2) qué se podía hacer para frenar las consecuencias no deseadas de esta medida.

A continuación, se presenta una sinopsis de los resultados de las investigaciones, la evaluación general y diversos ensayos e intervenciones:

- Howden Minster está a unos 10 km en el eje donde corre el viento desde la central eléctrica de Drax, que bombea más de 100 000 toneladas de SO_2 al año. Esto puede reaccionar en presencia de agua con la piedra caliza dolomítica para formar sulfato de magnesio.
- Durante el periodo comprendido entre la pérdida del techo y las ventanas (1750) y la instalación del tejado (1984), el interior de la sala capitular estuvo sujeto a condiciones similares a las del exterior, pero menos propenso a las precipitaciones directas. El resultado fue una alteración histórica limitada de los paneles internos.

- Cuando se instaló el tejado, se adoptaron otras medidas preventivas. Entre ellas, se redujo el nivel del suelo exterior a un nivel inferior al del suelo interior y se controlaron con bandejas de plomo las precipitaciones indirectas que caen por las grandes ventanas perpendiculares abiertas.
- Como resultado, el ambiente interior se secó. El movimiento de la humedad se produjo principalmente a través de la piedra del exterior e interior, y como eventos de condensación del aire húmedo en superficies frías y secas. Esta humedad aceleró la reacción del dióxido de azufre depositado con el magnesio de la piedra y el mortero para formar sulfato de magnesio. El movimiento de esta sal en ciclos de disolución y cristalización dio lugar a un importante deterioro.

Opciones

Aunque la investigación explicaba los fenómenos observados, las alternativas para minimizar o revertir los efectos fueron:

- Eliminación del techo: medida descartada debido a un mayor cambio en el equilibrio.
- Desalinización: las pruebas revelaron que esto era, en gran medida, ineficaz.
- Prevención del movimiento de la humedad desde el exterior mediante la aplicación de un revestimiento hidrofóbico a la superficie exterior: descartada debido a la necesidad de volver a aplicarla y a la incertidumbre de los posibles efectos a largo plazo.
- Protección de la superficie con varios medios: incluyendo HCT (tartrato de amonio), recubrimientos a base de cal y un aplanado poroso de cal.

De estas opciones, la que parece tener más éxito es la aplicación de un aplanado de cal muy poroso que actúa como un cataplasma de desalinización de sacrificio a largo plazo, que se deteriora por la cristalización de la sal y proporciona protección a la piedra vulnerable. La desventaja, por supuesto, es que la superficie decorativa se oscurece y es un trata-

miento que debe aplicarse de manera permanente. Se siguen generando sales y la humedad continúa moviéndose a través de la pared. Este es un excelente ejemplo de un caso en el que no se han evaluado los cambios de equilibrio a mediano y largo plazo que resultan de simples medidas preventivas. Aunque el edificio permanece cerrado al público, ha habido una ventaja no intencionada en la mejor comprensión del deterioro de la piedra caliza dolomítica.

ESTUDIO DE CASO 4: IGLESIAS EXCAVADAS EN ROCA DE LALIBELA

Descripción

Las iglesias rupestres de Lalibela son Patrimonio Mundial de la Humanidad y atraen a cientos de miles de peregrinos durante el año. Son el centro espiritual de la Iglesia Ortodoxa Etíope y se rigen por reglas y rituales transmitidos durante generaciones de la comunidad clerical, desde el siglo xiii. En 2008, se construyeron cuatro cubiertas de protección con un marco de grandes puntales de acero, incrustados en cimientos de hormigón, sobre cinco de las iglesias excavadas para protegerlas de la intemperie, en particular de la filtración de agua desde los tejados. Se entendía que eran temporales, para permitir la conservación y las reparaciones. Estas cubiertas modernas reemplazaron en gran parte a las anteriores, construidas en el mismo lugar.

Medidas preventivas

La comunidad ha expresado su preocupación desde la construcción de las techumbres porque en los últimos diez años no ha habido trabajo sustantivo en las iglesias ni un régimen consistente de monitoreo y mantenimiento de las cubiertas.

Los problemas de las iglesias se han venido analizado durante décadas, pero de manera muy fragmentada y por expertos visitantes, con pocos intentos de crear capacidades técnicas en la comunidad local. Hay dos cuestiones fundamentales con respecto a la estructura de las iglesias:

- los cambios sísmicos y geológicos que conducen a importantes discontinuidades en la roca;

Figura 4. Lalibela, Etiopía. Cubierta sobre la iglesia de Beta Medhane Alem. Aparte de las consideraciones estéticas, la cubierta ha provocado que la roca del techo se seque por completo, por lo que la superficie se está deteriorando. La eliminación de la cubierta puede causar aún más problemas. © David Odgers, 2019.

- la composición de la roca con estratos variables, cementación pobre y alto contenido de arcilla, en especial de esmectita.

Los efectos de las cubiertas han sido los siguientes: cambios en el equilibrio del ambiente y compactación de las arcillas, así como desmoronamiento y pulverización de la roca, sobre todo la del techo. Históricamente, durante la estación de lluvias, la comunidad obtenía pieles de

oveja y las ponía sobre el techo para proteger la roca como una forma eficaz de conservación preventiva. Ahora, como resultado de las nuevas cubiertas y el asesoramiento a veces contradictorio de los expertos, ha disminuido el cuidado y mantenimiento tradicional de las iglesias por parte de los miembros de la comunidad.

En la siguiente declaración Tobeit Curtis (2013: 49) se refería a una serie de sitios arqueológicos en países del Mediterráneo, pero bien pudo tener en mente a Lalibela:

> En muchos casos en que los refugios no han tenido éxito, los proyectos se han guiado por las características estéticas, lo que significa que no se recoge la información sobre conservación y medio ambiente necesaria para garantizar un rendimiento funcional efectivo o se le da un segundo lugar con respecto al diseño estético.

Medidas de conservación

Dos de las iglesias sin cubiertas se han conservado con técnicas basadas en morteros de cal. Esto incluye la aplicación de una capa protectora de mortero en una malla sobre el techo de una de las iglesias (Biete Mikael). Durante los trabajos, hubo que superar algunas circunstancias difíciles, entre ellas, la desconfianza general sobre la naturaleza del trabajo, el acceso limitado a las estructuras, una gestión poco clara, la dificultad para obtener materiales, así como la experiencia y las aptitudes de la mano de obra. A pesar de estos retos, la labor se ha llevado a cabo con un alto nivel de calidad y ha implicado la adopción de un enfoque pragmático, que se adapta con lentitud de lo científicamente deseable a lo alcanzable en la práctica.

Los desafíos de conservación para las iglesias cubiertas serán diferentes como resultado del microclima que ha existido bajo la cubierta, donde el ambiente completamente seco ha causado el desmoronamiento significativo de la roca. Las intervenciones necesarias para superar estos problemas deben basarse en una evaluación detallada de la piedra, pero también deben aprovechar los materiales y las técnicas utilizados en los proyectos recientes.

Evaluación

Esta es una historia compleja y costosa. Hasta el momento, no hay un final a la vista. No obstante, ejemplifica el peligro de llegar a una con-

clusión sin entender el efecto en el material, la comunidad local, los valores del patrimonio y los contextos social, religioso y ambiental del monumento.

ESTUDIO DE CASO 5: TEMPLOS DE HAGAR QIM

Descripción

Estos templos fueron construidos en los acantilados de la costa maltesa, en el lecho de roca caliza y adicionalmente de roca local de Globigerina, y datan alrededor de 3200 a. C. Fueron excavados en 1839.

Medidas preventivas

Se ha encontrado que el deterioro por la erosión, en particular el agrietamiento y el colapso de los megalitos, se debe a las lluvias, el aumento

Figura 5. Templos de Hagar Qim (Templo Sur), Malta. La cubierta se construyó en 2009 como medida temporal para su evaluación y conservación. El efecto de la cubierta sigue siendo objeto de un monitoreo detallado. © David Odgers, 2013.

de los niveles de sal y las fluctuaciones térmicas bruscas. Con el propósito expreso de frenar el deterioro, se diseñaron y construyeron las cubiertas en 2009. Se anticiparon como una medida temporal de quince años para facilitar la evaluación, el análisis y la conservación preventiva que se llevaría a cabo.

Evaluación

La evaluación del efecto de las cubiertas está en curso, pero puede resumirse en:

- descenso en las fluctuaciones térmicas;
- condiciones ambientales amortiguadas por la cubierta;
- reducción de la erosión eólica, aunque ahora el viento es turbulento dentro del refugio;
- las sales siguen formándose, aunque la tasa parece reducirse;
- desecación de los suelos de tierra que ha incrementado la acumulación de superficie de polvo, que incluye sales.

Es importante señalar que el microclima de un sitio recién protegido se encuentra en una etapa de transición que no refleja necesariamente las tendencias a largo plazo, por lo que el monitoreo es esencial para comprender el sitio.

CONCLUSIONES

Los intentos por reducir y mitigar las causas del deterioro, en especial en las piedras del exterior, son esenciales en cualquier intervención de conservación. La mayoría de las veces, implican medidas para gestionar la interacción del agua con la piedra y cómo se puede controlar cualquier sal que se produzca. Esto requiere una evaluación detallada, la recopilación de datos ambientales y el análisis de sales, entre otras cuestiones. Esta información debe ser interpretada y conducir a una comprensión profunda y a una revisión crítica de las consecuencias a mediano y largo plazo de cualquier cambio que se produzca en ese medioambiente.

No se trata de un proceso aislado. A medida que se acumulen los datos (antes y después de la aplicación de las medidas preventivas),

debería ser posible identificar los indicadores clave de rendimiento para evaluar dicho efecto. Aunque cada sitio es único y requiere su estrategia específica, debería ser posible utilizar esos indicadores como consideraciones clave para cualquier sitio en el que se proponga la colocación de cubiertas u otras medidas preventivas. Lamentablemente, por el momento no hay ningún acuerdo o política que establezca esos indicadores de rendimiento, pero esto no debería ser motivo para no hacer una evaluación detallada.

BIBLIOGRAFÍA

Ashurst, John y Francis Dimes. 1998. *Conservation of Building and Decorative Stone*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Cassar, JoAnn, Shirley Cefai, Reuben Grima y Katya Stroud. 2018. "Sheltering Archaeological Sites in Malta: Lessons Learnt". *Heritage Science*, núm. 6. https://doi.org/10.1186/s40494-018-0201-6 (consultado el 31 de julio de 2020).

Curteis, Tobit. 2013. "The Use of Environmental Survey and Monitoring in the Design and Evaluation of Archaeological Shelters". En *Protective Shelters for Archaeological Sites*, Zaki Aslan, Sarah Court, Jeanne Marie Teutonico y Jane Thompson (eds.), 40-50. Roma: British School at Rome.

Doehne, Eric. 2006. *Laboratory and Field Investigations for Magnesian Limestone Project*. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.

Historic England. 2008. *Conservation Principles, Policies and Guidance*. Londres: Historic England. https://historicengland.org.uk/images-books/publications/conservation-principles-sustainable-management-historic-environment/conservationprinciplespoliciesandguidanceapril08web (consultado el 14 de abril de 2021).

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS) y Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM). 2018. "Report of the UNESCO/ICOMOS/ICCROM Advisory Mission to Rock-Hewn Churches, Lalibela (Ethiopia), 20-25 May 2018". https://whc.unesco.org/en/documents/169702 (consultado el 14 de abril de 2021).

Radley House Partnership. 2018. **"**Rochester Castle Keep. Assessment of the Condition of the Masonry", informe inédito.
Siegesmund, Siegfried y Rolf Snethlage. 2011. *Stone in Architecture*. Londres: Springer.

El deterioro de los elementos pétreos con color de la Subestructura de Guerreros en Chichén Itzá: lineamientos prácticos para el control de sales

Claudia A. García Solís[*]
Yareli Jáidar Benavides[**]
Patricia Quintana Owen[***]
Javier Reyes Trujeque[****]
María Fernanda Escalante Hernández[*]

Resumen

Los pilares y las esculturas labradas en piedra caliza y pintadas, ubicadas en la subestructura del Templo de los Guerreros, en la zona arqueológica de Chichén Itzá, pasan por un proceso acelerado de deterioro por la cristalización de sales. Los cambios en las condiciones microambientales, las filtraciones de agua y la contaminación causada por el concreto armado de una restauración temprana dan como resultado la pérdida de color y la desintegración de la piedra caliza, que afectan notablemente su estabilidad y lectura. A partir del estudio y monitoreo de las condiciones microclimáticas en el interior de la subestructura, se desarrolla una metodología de intervención que incorpora lineamientos específicos en los tratamientos de desalinización para controlar el deterioro en los elementos de piedra con revestimientos con color.

[*] Centro INAH-Yucatán, Sección de Conservación
[**] Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM
[***] Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Mérida
[****] Centro de Investigación en Corrosión, UACAM/Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural, UNAM

Palabras clave: conservación de piedra, deterioro por sales, criterios, Templo del Chacmool, Chichén Itzá

Abstract
The painted pillars and sculptures carved in limestone located in the Substructure of the Warriors or Temple of the Chacmool at the archaeological site of Chichen Itza are going through an accelerated process of deterioration due to the effect of the crystallization of salts. Changes in the microenvironmental conditions, water filtrations and the contamination caused by the cement derived from a previous restoration result in the loss of superficial color and the disintegration of the limestone, which notably affects its stability and readability. Based on the study and monitoring of the microclimatic conditions inside the substructure, an intervention methodology has been developed establishing specific criteria to follow in the desalination treatments, which control the deterioration generated by salt crystallization.

Keywords: stone conservation, salt damage, criteria, Temple of the Chacmool, Chichen Itza

INTRODUCCIÓN

Pocos ejemplos de esculturas policromadas y pintura mural se han conservado en el sitio patrimonio mundial de la humanidad de Chichén Itzá a lo largo del tiempo. Los elementos pictóricos de la subestructura del Templo de los Guerreros (*ca.* 950 e. c.) son testimonios únicos de la apariencia de la antigua ciudad. Por esta razón, hace casi un siglo, el proyecto arqueológico de la entonces Carnegie Institution of Washington (CIW) logró abrir un espacio en el interior de la subestructura para apreciar estos elementos con la colocación de una losa de concreto armado y la consolidación del relleno arqueológico y los elementos arquitectónicos con morteros de cemento Portland.

Después de que el contexto de la Subestructura de Guerreros se expuso a filtraciones y condiciones de alta humedad durante décadas, los elementos pictóricos presentaron gran cantidad de sales solubles que indujeron la pérdida de sus formas y colores. El deterioro se produce cuando las sales que se encuentran en disolución pierden su equilibrio

termodinámico y cristalizan en el interior de los poros de los materiales pétreos (Steiger 2012); por ello, muchos de los estudios sobre el tema se abocan a generar metodologías para entender su comportamiento en los monumentos históricos bajo condiciones diversas (Arnold y Zenhder 1991; Charola *et al.* 2017) y evaluar los métodos más utilizados para su remoción (Heritage *et al.* 2013). No obstante, al ser tantas las variables por el tipo de sales y de deterioro, en la literatura no existen lineamientos específicos para el control y la estabilización del proceso de cristalización de sales en el patrimonio cultural.

Esta contribución ilustrará el caso de la conservación de los elementos policromos de la Subestructura de Guerreros, que implicó el diseño de una metodología de análisis y experimentación para conocer el comportamiento de las sales identificadas y generar una propuesta de conservación con énfasis en el control de sales (acciones de conservación preventiva y desalinización). A partir de esta experiencia como equipo interdisciplinario, proponemos una estrategia basada en lineamientos y criterios de conservación aplicable a casos similares que busquen soluciones para el problema de las sales.

LA SUBESTRUCTURA DE GUERREROS Y SUS ELEMENTOS DE PIEDRA POLICROMOS

Según los rasgos arquitectónicos descritos por Earl Halstead Morris, Jean Charlot y Ann Axtell Morris (1931, 363-367), la Subestructura de Guerreros tuvo características muy similares a lo que hoy se observa en la reconstrucción de la última etapa constructiva del Templo de los Guerreros, ubicado al noroeste de la Gran Nivelación de Chichén Itzá (véase la figura 1).

La Subestructura de Guerreros, también llamada Templo del Chacmool, está dentro del Templo de los Guerreros, entre el segundo y el último cuerpo del basamento. La construcción se desplazó hacia el sureste, lo que implicó la demolición parcial de las caras norte y oeste de la subestructura. Al igual que la última etapa constructiva, el Templo del Chacmool tiene un basamento escalonado, escalinatas orientadas hacia el oeste y un edificio superior de planta rectangular dividida en dos por un muro interior (Cuarto I y Cuarto II). En estos cuartos se levantan varios elementos policromos, como pilares y jambas con personajes en relieve, pintura mural y

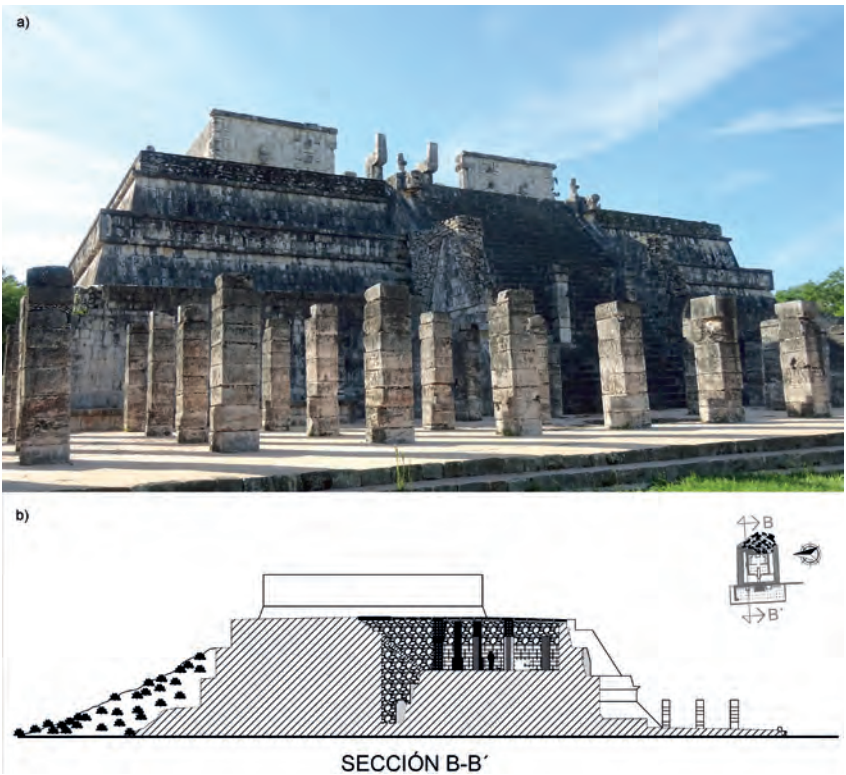


*Figura 1. Templo de los Guerreros, Chichén Itzá, y Subestructura o Templo de Chacmool: fachada principal oeste (a) y alzado con subestructura (b). Elaborado por Víctor Manuel Hernández García, con base en Morris, Charlot y Morris (1931). Secretaría de Cultura-*INAH*-Méx. Reproducción autorizada por el* INAH*.*

cuatro esculturas exentas (un chacmool y columnas serpentinas que formaban parte de la entrada principal). La mayoría de estos elementos conservan restos de color (véase la figura 2).

Se considera que los elementos policromos de la piedra caliza reúnen una serie de técnicas que dan a las representaciones de los volúmenes labrados una expresión realista (véase la figura 2). Los pilares y las jambas son bajorrelieves que tienen de siete a diez segmentos, los cuales se superponen y se unen con argamasas de cal. Los segmentos tienen forma de prismas rectangulares y están labrados en cada una de sus caras. Los personajes plasmados se distinguen por sus facciones y el fino detalle de su indumentaria. Para integrar el relieve entre secciones

Figura 2. Interior del Cuarto I de la Subestructura de Guerreros. Nótense los soportes de concreto de la cubierta, algunos encima de los pilares con color. Fotografía: Claudia García Solís. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

de piedra, los morteros de unión también se usaron para modelar y unificar las formas. Después se integró un tipo de lechada o capa de preparación para pintar su superficie, y se aplicaron un color rojo en los fondos para enfatizar el relieve y una paleta de seis colores (blanco, rojo, amarillo, azul, verde y negro) que ilumina las formas representadas. Las esculturas son bloques macizos también con la estratigrafía necesaria para la aplicación de color. Desde su descubrimiento, los elementos arquitectónicos y las esculturas policromas se han expuesto en un espacio artificial, construido a principios del siglo xx, cuyas características son el origen del deterioro de las formas policromadas.

LA INTERVENCIÓN DE LA CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON: EL CONTEXTO DE LOS ELEMENTOS POLICROMOS

La Subestructura de Guerreros fue objeto de la primera propuesta de restauración arquitectónica en el área maya. Durante los primeros años

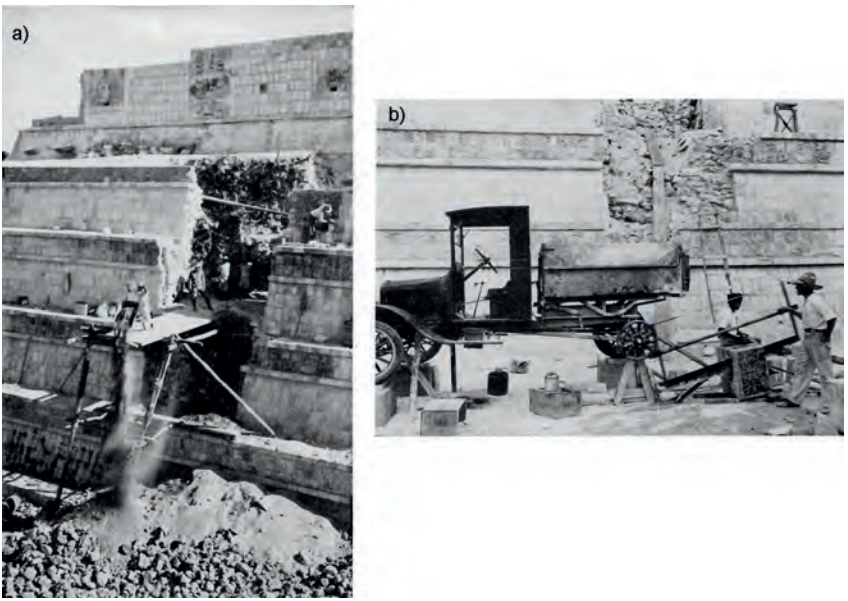


Figura 3. Intervención de la Carnegie Institution of Washington: excavación de la subestructura en la cara norte del basamento del Templo de los Guerreros (a) y corte de las pilastras de color (b). Fotografías: Earl Halstead Morris, Jean Charlot y Ann Axtell Morris (1931). Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

del proyecto de la CIW, entre 1926 y 1936, Earl Morris y su equipo abrieron un espacio interior en un basamento prehispánico con la finalidad de mostrar una etapa constructiva anterior. Esta estructura resulta innovadora para su época y el contexto del sitio arqueológico entonces; sin embargo, justo por el tipo de materiales utilizados y las soluciones técnicas, resultó un detonante de deterioro para los elementos pictóricos que aún se conservan.

Para dejar expuestos los elementos policromos y la configuración arquitectónica de la Subestructura de Guerreros, fue necesario levantar una estructura con un sistema de losas de concreto, vigas y pilares colados con núcleos de metal, obtenidos de rieles de tren. Este sistema se apoya sobre trabes de concreto armado, que se ocultan detrás de los rellenos constructivos consolidados con argamasas de cemento hidráulico con cargas, como se observa en la figura 3. Esta estructura compensa la extracción del relleno arquitectónico y otorga el apoyo necesario a par-

te de la fachada principal y a la sección noroeste del primer cuarto de la estructura superior del Templo de los Guerreros.

También fue necesario agregar soportes auxiliares (pilastras de concreto) en el Cuarto I de la subestructura para contener el peso de la fachada exterior. De los cuatro soportes, sobresalen dos que se apoyan en las pilastras originales del Cuarto II. En el Pilar 2, como se observa en una de las imágenes publicadas en el reporte de Morris, Charlot y Morris (1931: 145), los relieves fueron cortados y luego unidos a los soportes de concreto armado cuando la mezcla aún no había fraguado. Hasta la temporada de intervención en 2018 se identificó que sólo los bloques superiores de piedra fueron modificados y que se dejaron los cortes de los relieves de aproximadamente 4 cm de ancho adheridos al pilar (véase la figura 3a). En cambio, el colado de concreto sólo se apoya sobre el Pilar 3. Además de que los pilares originales siguen siendo elementos de soporte para la estructura superior, el cemento del colado de concreto armado, bajo las condiciones de humedad, ha generado un intercambio de sales con los materiales originales.

Desde que la subestructura se dejó abierta ha servido como frente de secado del agua de lluvia que se acumula en el exterior, lo que provocó que las juntas de cemento perdieran su coherencia durante todos estos años, se disgregaran y se acumularan en el piso. De igual manera, las filtraciones y el agua que entra por la cubierta han trasladado las sales solubles a los elementos policromos, cuyos ciclos de cristalización-disolución, la principal causa de deterioro, han ocasionado la pérdida de las capas de color y de los relieves labrados en piedra.

EL PROBLEMA DE LAS SALES EN LOS ELEMENTOS POLICROMOS DE LA SUBESTRUCTURA DE GUERREROS

Desde 2006 se han monitoreado las alteraciones en los elementos policromos y las condiciones de humedad relativa y temperatura en la Subestructura de Guerreros. Este seguimiento permitió identificar en 2014 la presencia de eflorescencias salinas que se generalizó en todo el contexto arqueológico. Se observó un aumento de la cristalización en la superficie de los relieves y se corroboró la estrecha relación entre las sales y la pérdida de las capas policromadas y los sustratos pétreos que ya se había identificado antes.

También en 2006 se reportó la pérdida de policromía en los relieves y las esculturas de la subestructura, así como la acumulación de agua por falta de impermeabilización en el edificio superior del Templo de los Guerreros, desde la restauración de la CIW (García *et al*. 2006). En los registros consta que, después de llover, el agua se filtraba a la subestructura por la cubierta y se acumulaba alrededor de las bases de los pilares y las esculturas debido a la poca porosidad de los pisos originales, que también mantenían elevada la humedad relativa interior.

La presencia constante de agua en la subestructura, por la degradación de la cubierta de concreto y los morteros utilizados para la consolidación de este espacio, es la causa de la adquisición de sales en los elementos policromos. Al lixiviarse por las filtraciones constantes, los componentes del concreto se disgregaron y acumularon como polvo en el piso de la subestructura. El agua, que también se encharcaba en las áreas cercanas de los pilares y las esculturas, además de disolver las sales del material acumulado, condujo las sales disueltas a estos elementos y los convirtió en frentes de evaporación y superficies idóneas para la cristalización.

Después de los trabajos de impermeabilización del edificio superior de Guerreros, en 2012, se observó un cambio notorio en la subestructura. Dos años después del cierre de las fuentes directas de humedad hubo un cambio drástico en las condiciones de humedad y temperatura, y las sales aparecieron en todo el contexto. Las eflorescencias no sólo se concentraron en las bases de las superficies que se anegaban antes de la impermeabilización; ahora también se observaban en los muros, el recubrimiento que cubría los pisos originales y las superficies que no estaban en contacto con el piso.

Con base en la apariencia macroscópica de las eflorescencias y con la ayuda de un microscopio óptico digital (50x y 100x), se distinguieron tres tipos (véase la figura 4):

- Sales cristalinas en forma de aguja. Se encontraron importantes concentraciones en la base de esculturas y pilastras, mezcladas con la tierra de protección del piso y debajo de las escamas de las capas de color. La observación con el microscopio confirmó su morfología angulosa.
- Sales tipo algodón. De textura suave y jabonosa, se agrupaban en las bases de las esculturas en las que solía acumularse mayor cantidad de agua. En general, eran de

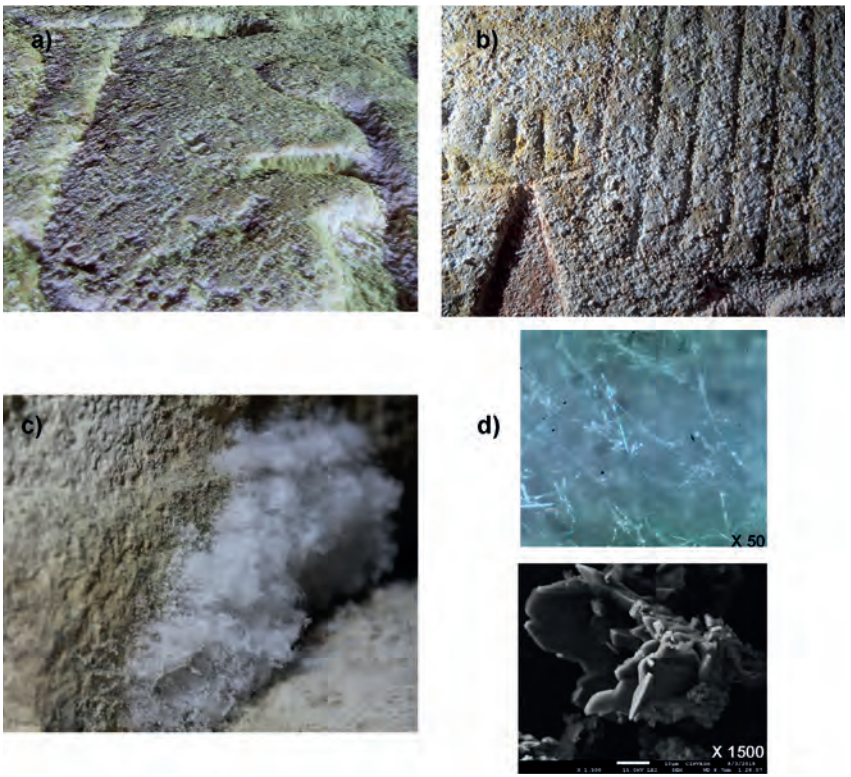


Figura 4. Tipos de sales identificados en los elementos policromos de la Subestructura de Guerreros: sales en forma de polvo (a), sales en forma de algodón (b) y sales en forma de aguja (c). Imágenes de microscopía óptica y microscopio electrónico de barrido de las sales en forma de aguja, correspondientes a sulfatos (d).

color blanco, a veces amarillentas y verdosas por estar mezcladas con microorganismos. Algunas tenían una textura suave y untuosa al tacto, como si conservaran un poco de humedad.

- Sales tipo polvo. De partícula fina y poco adherente, se encontraban en acumulaciones y dispersas sobre la mayoría de los elementos policromos y muros.

La mayor presencia de sales se observó en el cuarto oeste o Cuarto I, que tenía las principales filtraciones y escurrimientos de la cubierta.

Figura 5. Deterioro por sales: acumulación de sales en base y matriz de enterramiento (a), y pulverulencia y presencia de escamas en las capas pictóricas afectadas por el movimiento de sales (b).

Como se observa en la figura 5a, el grado de pérdida en los pilares ha sido gradual y ascendente. Las sales penetraban en solución por procesos capilares en las bases, pero debido a los cambios de temperatura es-

tacionales (periodo de estiaje y lluvias), las sales cristalizaron primero en la base y poco a poco alcanzaron las secciones de mayor altura. De igual manera, hubo una pérdida sucesiva de los elementos policromos, que empezó en las capas de color y después disgregó los relieves y soportes de piedra.

Durante el proyecto de intervención de 2019, se identificaron efectos de deterioro en las capas de color causados por una gran cantidad de eflorescencias y subeflorescencias en las secciones medias de los pilares. Se verificó que el deterioro variaba según el tipo de color. La fragmentación de las superficies a manera de escamas se concentraba en los colores azul y verde, mientras los pigmentos rojos y amarillos se encontraban dispersos y el enlucido, pulverizado. En casos extremos, las sales mantenían los restos de los pigmentos unidos al soporte (véase la figura 5b).

Ante el complejo problema de conservación que presentaba el contexto de la Subestructura de Guerreros y sus elementos policromos, se consideró necesario profundizar en la relación entre el comportamiento de las sales y el deterioro, con una metodología de estudio derivada del trabajo de un equipo interdisciplinario y acorde a los lineamientos de conservación del sitio arqueológico que se describen en el siguiente apartado.

CONSERVACIÓN INTEGRAL EN CHICHÉN ITZÁ Y METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LOS CONTEXTOS PICTÓRICOS

Chichén Itzá es uno de los nueve sitios arqueológicos de México enlistados como patrimonio mundial de la humanidad. Se considera una obra excepcional de ingenio humano por su arquitectura y acabados, que presentan una clara transición del estilo maya al llamado tolteca, cuya influencia fue notable en la región. Por ello, se tiene la responsabilidad de mantener o potenciar su autenticidad (la transmisión del significado del bien cultural) y asegurar su integridad (atributos, valores y significados), lo que conlleva estabilizar los materiales y facilitar la legibilidad de las representaciones iconográficas, uno de sus principales atributos.

Las acciones de conservación de los elementos adosados a la arquitectura, como la pintura mural, los relieves y las esculturas, se rigen por

un plan de manejo. La primera versión, de 2007, incluyó políticas de conservación a partir del consenso de un grupo de restauradores y académicos de otras disciplinas del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). Aunque la versión más reciente no incluye este apartado, se sigue utilizando como referencia que condensa algunos principios y criterios generales de la disciplina de conservación para ser aplicados al caso de Chichén Itzá:[1]

- priorizar la conservación directa de los bienes muebles asociados a inmuebles cuya estabilidad se encuentre en riesgo y que sean excepcionales debido a su escasez o sus atributos;
- orientar las intervenciones a la estabilización de los materiales constitutivos y recuperación de la unidad histórica-estética, en consideración a los usos sociales del sitio;
- evitar el uso de productos sintéticos para los procesos de consolidación en los materiales pétreos y fomentar la utilización de consolidantes que permitan su retratabilidad;
- fomentar en lo posible el uso de materiales y técnicas originales después de ser identificados y evaluados para lograr la compatibilidad con las intervenciones;
- contemplar medidas preventivas de conservación que garanticen la estabilización de los bienes arqueológicos desde su descubrimiento hasta su exposición;
- promover la investigación interdisciplinaria e interinstitucional mediante la suscripción de convenios con instituciones públicas y privadas dedicadas a la docencia y la investigación.

La conservación de la Subestructura de Guerreros de Chichén Itzá es prioritaria porque es uno de los pocos contextos arqueológicos en

[1] Los criterios que guían estas políticas generales incluyen la mínima intervención, con el fin de reducir en lo posible el impacto en los valores del objeto patrimonial ("Carta de Venecia" 1964; ICOMOS 2011); la compatibilidad fisicoquímica de los materiales de conservación, cuya composición y comportamiento debe ser igual o similar al material original, y la retratabilidad, es decir, que un objeto se pueda tratar cuantas veces sea necesario (Medina-González *et al*. 2009).

que se conservan los recubrimientos de color que ostentaba su arquitectura, en riesgo de perderse por las condiciones de exposición en las que se encontraban. Antes de definir los tratamientos, fue necesario implementar una metodología de estudio interdisciplinario e interinstitucional para identificar los materiales constitutivos y de alteración de las sales, y hacer una evaluación en la aplicación de consolidantes inorgánicos. Esto fue de gran ayuda en la propuesta que se ejecutó en fechas recientes con el fin de estabilizar los elementos pictóricos en su contexto.

En el caso particular de las sales, la metodología de estudio se enfocó en contestar las siguientes preguntas: ¿cuál es la naturaleza de las sales que identificamos visualmente?, ¿cuál es su origen?, ¿en qué condiciones se produce su cristalización?, ¿cuál es su comportamiento en los materiales pétreos bajo distintas condiciones de humedad y temperatura? La metodología de estudio fue la siguiente:

- Registro del comportamiento de los materiales en distintas épocas del año (antes y después de la impermeabilización) y análisis integral del problema del contexto arqueológico.
- Monitoreo de humedad y temperatura ambiental de la subestructura y elementos policromos (pilares) con el uso de *data loggers* digitales en diferentes épocas del año y registros termográficos.
- Identificación de sales por análisis semicuantitativos con tiras reactivas, difracción de rayos X (DRX) para distinguir fases cristalinas y microscopía electrónica de barrido acoplada a espectroscopía de emisión de rayos X secundarios (MEB-EDS) para identificar elementos y formas de cristales. Se tomaron veintiséis muestras de sales, la mayoría obtenidas cada 30 cm de altura de los elementos pictóricos (relieves, capas pictóricas y argamasas) y otras superficies del contexto de la subestructura (muros, elementos de concreto, recubrimiento del piso), para establecer su correlación con las sales identificadas en los pilares y las esculturas.
- Identificación del comportamiento de las sales por medio de un mapeo de resistividad eléctrica en el Pilar 8.

RESULTADOS PRELIMINARES

Identificación de condiciones medioambientales

Monitoreo de humedad y temperatura. Desde 2014, las mediciones de humedad y temperatura en el interior de la Subestructura de Guerreros indican que la mayor parte del año se conserva un ambiente con humedad relativa mayor a 80% y una temperatura promedio de 26 ˚C, menor y más estable que la exterior. Los cambios principales de las condiciones interiores se observan durante la temporada de sequía, cuando la humedad relativa puede alcanzar 60%, sobre todo de enero a abril, como se identificó en el registro anual de junio de 2015 a julio de 2016 (García *et al*. 2018: 13).

Las variaciones de temperatura interior son mínimas, pero cruciales para la estabilidad microambiental. El Cuarto I (poniente) muestra rangos más estables, pues su temperatura ambiental es menor. El Cuarto II (oriente) muestra variaciones de temperatura de 0.8 ˚C superiores al Cuarto I, y su humedad relativa puede ser 20% menor durante mayo, cuando se alcanzan los máximos valores de temperatura (García *et al*. 2018: 14).

Rangos de temperatura identificados con cámara térmica. Se utilizó como referencia el Pilar 8, ubicado en el Cuarto I, con mediciones cada 30 cm, aproximadamente. Se identificó que los cambios de temperatura alcanzan diferencias de entre 1.7 y 2 °C entre la base y la parte superior del pilar, cuya altura total es de un poco más de 3 m (Reyes *et al*. 2018: 7). Estas variaciones se reducen a apenas 0.4 ˚C en los meses de invierno (mediciones de enero de 2018). Las zonas de ventilación en el muro norte de la subestructura influyen en estos resultados.

Las variaciones de temperatura se perciben en cada una de las caras del Pilar 8, pero la cara sur sobresale por tener 0.5 ˚C menos de temperatura con respecto a las demás. Esto se debe a que se encuentra a menor distancia de unos de los muros interiores y se conserva más húmeda. Las demás caras se mantienen en rangos similares de temperatura entre sí, con diferencias entre los segmentos superiores e inferiores.

Se concluye que la cantidad de humedad contenida en los elementos policromos de cada cara influye directamente en los registros de temperatura. Se observa que las mediciones son mayores en los segmentos superiores del Pilar 8, donde se concentra el aire caliente en la subestructura, mientras en la parte inferior, el material calizo absorbió mayor cantidad de

agua y su temperatura es menor. Se infiere que los materiales se encuentran más secos en la parte superior.

Identificación de sales

Análisis mediante DRX. En las veintiséis muestras se identificó calcita ($CaCO_3$) como componente principal, algunas con presencia mayoritaria de yeso (sulfato de calcio) ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), seguida de cloruro de sodio o halita (NaCl) y con menor frecuencia, de thenardita (sulfato de sodio, $NaSO_4$).

Cabe resaltar las variaciones de sales según la altura, como se observa en el Pilar 8. Los sulfatos se identifican sobre todo en las bases y en algunos casos en la parte superior. En cambio, los cloruros aparecen hasta 1.5 m de altura, aproximadamente. La thenardita no es frecuente y varía su presencia dependiendo de la época.

La presencia de sulfatos y cloruros en los materiales de la cubierta y las argamasas utilizadas en los muros es alta, al igual que en depósitos de polvo que recubrían el piso original. Esto confirma que las fuentes de contaminación son los depósitos de polvo con material disgregado que recubrían el piso original y también explica la ausencia de estas sales en la parte superior de los pilares, donde sólo se identificaron depósitos de calcita en la superficie. Por otro lado, la presencia y ausencia de la thenardita deja abierta la posibilidad de que sea un subproducto de procesos termodinámicos que controlan la química de las soluciones salinas contenidas en el Pilar 8.

Análisis mediante MEB-EDS. Este análisis permitió identificar especies elementales constituyentes de fases minerales de sulfatos y cloruros, señalados antes por DRX. Se registraron formas cristalinas características de las sales que componen las muestras (véase la figura 4b).

Tiras reactivas para la identificación de aniones. La presencia de sulfatos y cloruros fue constante en casi todas las muestras. Se identificaron nitratos en menor medida. A diferencia de los resultados de DRX, los análisis de las áreas de color con tiras reactivas muestran una presencia constante de cloruros y sulfatos en los polvos que se obtuvieron después de la limpieza superficial. Aunque las eflorescencias no son tan evidentes, se confirma que las sales están activas en los sustratos pictóricos y que hay una relación clara con el desprendimiento y la pulverulencia que se presentan en los diferentes colores.

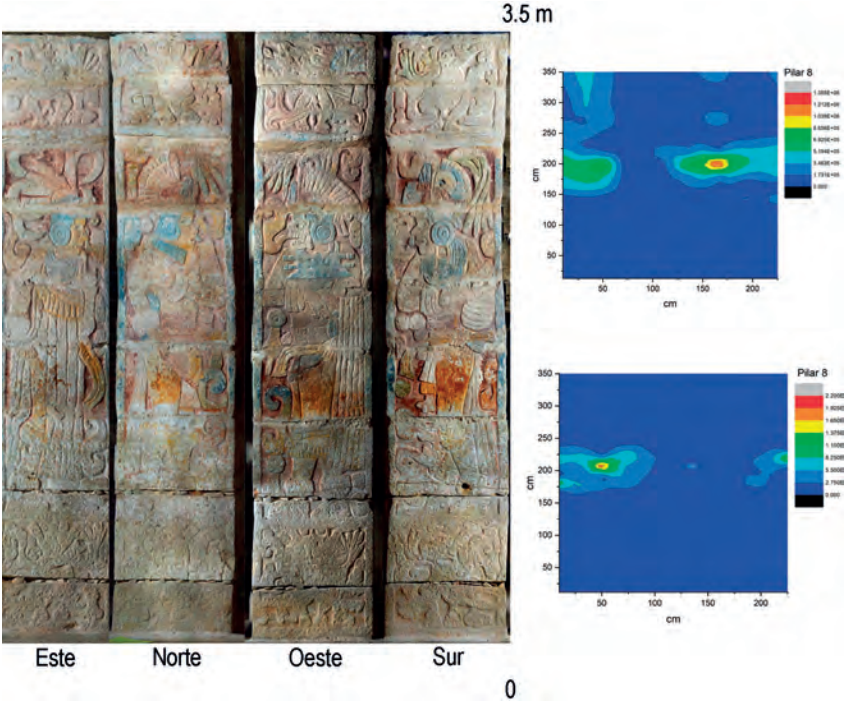


Figura 6. Caras del Pilar 8 (a). Comparación de resultados de las mediciones de resistividad eléctrica de mayo de 2018 y abril de 2019 (b). Fotografías: Eduardo Pérez Heredia y Jorge Reyes. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

Resistividad eléctrica

Como se observa en la figura 6a de las caras del Pilar 8, las mediciones mostraron en general bajos valores de resistividad en toda su superficie, lo que indica procesos activos de solubilización; sin embargo, los valores de resistividad se incrementan en la altura media del pilar, en áreas donde se conservan más acabados y policromía. También se notaron zonas de resistividad alta en los segmentos de piedra de las caras sur y este. Debemos resaltar dos aspectos importantes en este análisis: *1)* el papel de los acabados en los valores de resistividad medidos, y *2)* la alta concentración de sales en solución, lo que es una condición de riesgo potencial para generar deterioro cuando las condiciones de cristalización son viables por las variaciones estacionales de temperatura y humedad relativa (véase la figura 6b).

Los resultados de los estudios fueron fundamentales para conocer el tipo de sales presentes en los relieves, las condiciones de humedad y temperatura generales y en cada elemento decorativo, y sus fluctuaciones y variaciones. Estos aspectos ayudaron a entender el problema, enfocar la propuesta de conservación para control de sales y definir los tratamientos y límites de la intervención.

LA CONSERVACIÓN DE LA SUBESTRUCTURA DE GUERREROS ANTE EL PROBLEMA DE SALES

Como se mencionó, los resultados preliminares de los análisis fueron la base para la toma de decisiones ante la disyuntiva de extraer las sales o cambiar su composición con el método de consolidación florentino conocido como Ferrioni-Dini, que utiliza hidróxido de bario para inmovilizar los sulfatos de calcio presentes en los relieves. Ambos métodos son recomendados en otros casos de estudio (Giorgi *et al.* 2010; Yagüe 2016; Sawdy *et al.* 2010) y sirvieron de guía para establecer una propuesta de conservación que contempló los elementos policromos como un sistema definido por sus variantes técnicas y el contexto en el que se encuentran. Los factores que definieron la propuesta de conservación son:

- La fuente de contaminación de sales de la subestructura no se reducía a los elementos de concreto y las argamasas de cemento utilizados por la CIW, que se encuentran en contacto con los elementos pictóricos; también involucraba otros materiales del contexto que originalmente no tenían sales. Los recubrimientos de los pisos originales eran la fuente principal que concentraba los minerales lixiviados de la cubierta de concreto y el polvo originado por la disgregación de las argamasas de los muros y elementos de concreto.
- Las pruebas de resistividad eléctrica muestran que las eflorescencias salinas y subeflorescencias son un reflejo del contenido generalizado de sales en solución en el interior de los elementos pictóricos.
- Las fluctuaciones de humedad y temperatura influyen en los procesos de formación de las eflorescencias sali-

nas en la superficie de los elementos pictóricos, aunque no es la única causa de su cristalización. Las eflorescencias salinas se observan en la base de los pilares, donde la temperatura es menor y más estable con respecto a otras áreas. Se deduce que las eflorescencias salinas también se producen por precipitación, cuando la solución salina alcanza niveles de sobresaturación en el material pétreo.

- Las sales son un complejo iónico dinámico que cambia en condiciones específicas de humedad y temperatura, y su comportamiento difiere según su naturaleza. Por ejemplo, se considera que la thenardita es un neomineral formado por reacción química entre yeso y halita, presentes por lo regular en las eflorescencias que se forman en los pilares de la subestructura. Esta reacción sólo se produce cuando la temperatura se eleva durante periodos prolongados. En cambio, los cloruros se identificaron a diferentes alturas en los pilares y los sulfatos en su mayoría en la base.

Con esta información, la propuesta de conservación se dirigió a eliminar las sales cristalizadas, tomando en cuenta la fragilidad de las capas de color y de estuco afectadas, y a controlar las condiciones de humedad y temperatura para modificar el comportamiento de los tipos de sales identificados. Se demuestra que la estrecha vinculación de los resultados preliminares de los estudios y su aplicación en la práctica de la conservación, además de reducir el riesgo de la pérdida de las formas y el color, define con claridad los procesos y los límites de la intervención.

LINEAMIENTOS DE CONSERVACIÓN PARA EL CONTROL DE SALES: UNA APROXIMACIÓN

Los lineamientos generales que rigen por consenso la conservación en Chichén Itzá son el marco de referencia que delimita acciones y programas que buscan asegurar la permanencia de los atributos materiales y valores que distinguen al sitio. La Subestructura de Guerreros es un caso específico cuyo problema requirió un esfuerzo colectivo para gene-

rar una propuesta adecuada, que hasta el momento ha sido efectiva. Esta experiencia también aporta una serie de lineamientos específicos y procedimientos para el control de sales aplicables a casos similares.

Los lineamientos específicos para el control de sales se enlistan a continuación:

- La eliminación de fuentes de sales es una medida de conservación preventiva prioritaria que deberá ejecutarse antes de cualquier intervención. Además de retirar los resanes de cemento en contacto directo con los relieves y las esculturas en la subestructura, fue necesario remover todo el recubrimiento del piso y el material disgregado en los muros, para sustituirlo por materiales libres de sales solubles (morteros de cal y polvos de piedra previamente lavados).
- Dada la solubilidad de las sales presentes en los pilares, se debe restringir en lo posible el uso de agua en los tratamientos aplicados a los elementos pétreos. Las eflorescencias salinas en los pilares y las esculturas se removieron en seco en las zonas en que la policromía no se ponía en riesgo. En la consolidación de los sustratos de estuco no se utilizó agua de cal, sino suspensiones de hidróxido de calcio en alcohol isopropílico.[2]
- A partir de los tipos de sales presentes en los materiales pétreos y su comportamiento en condiciones específicas, las propuestas de conservación deberán concentrarse en disminuir las fluctuaciones y mantener un ambiente estable que reduzca la cristalización de las sales, si es que están disueltas. En la Subestructura de Guerreros, la entrada de aire caliente por los respiraderos ocasionaba variaciones que bajaban los niveles de humedad hasta 60%. La solución fue el cierre parcial de los respiraderos. Se ha mantenido un ambiente húmedo con un rango

[2] Se utilizaron nanopartículas de hidróxido de calcio (Nanorestore Plus) e hidróxido de calcio micronizado suspendido en alcohol isopropílico (HICAS 40). Las nanopartículas fijaron las partículas de color en superficie, mientras la cal micronizada se utilizó para consolidar restos de estuco. Los resultados fueron positivos, pues aseguran una concentración adecuada de consolidantes y la suspensión en alcohol no aporta más agua a los pilares.

menor de variación (arriba de 75%) que conserva los cloruros y sulfatos en disolución.

- En el caso de estratos disgregados o pulverulentos por la presencia de eflorescencias, los tratamientos de consolidación deberán aplicarse antes de los procesos de desalinización con consolidantes inorgánicos y afines al sustrato de aplicación. Como se observa en algunas secciones de pilares de la Subestructura de Guerreros, las sales prácticamente sostenían los pigmentos o las escamas; por ello se consolidaron las capas de color con nanopartículas de hidróxido de calcio. Con este método se fijó y dio coherencia a los sustratos pulverulentos y con escamas, al mismo tiempo que se extrajeron sales (pp. cloruros) con papetas impregnadas con agua destilada, como parte del proceso de consolidación.
- El control de sales no es un tratamiento de una sola aplicación ni una solución a corto plazo, pues su comportamiento es difícil de predecir por su naturaleza y combinaciones ante las fluctuaciones de los ambientes. Para compensar, es indispensable monitorear los bienes culturales afectados por sales y utilizar productos compatibles que fomenten la retratabilidad de los elementos pictóricos. Como en la subestructura, los sustratos pictóricos se consolidaron más de una vez, después de evaluar los resultados de varias temporadas de trabajo, de 2018 a 2019. Se prefirió el uso de consolidantes inorgánicos afines a su composición (nanopartículas de hidróxido de calcio y cal micronizada), por encima de polímeros sintéticos que no son compatibles con los materiales originales, generan películas que impermeabilizan la superficie y son altamente susceptibles a degradarse y ocasionar más daño bajo estas condiciones.

CONSIDERACIONES FINALES

La Subestructura de Guerreros es un ejemplo que ayuda a dimensionar el problema de las sales como una de las principales causas de la pérdida de

materiales pétreos que forman parte de bienes culturales. El problema de conservación resulta más complejo aún si se consideran tanto los soportes de piedra como sus acabados, es decir, las capas de policromía y estuco.

Las sales en los monumentos no son compuestos aislados. Están contenidas en los materiales pétreos y forman minerales complejos cuyo comportamiento varía según su origen, sus combinaciones y las condiciones a las que se someten. Por estas razones, la metodología de estudio propuesta pretende identificar la naturaleza de las sales, su comportamiento ante la presencia de otros minerales y las fluctuaciones de humedad y temperatura en el contexto de la subestructura y los elementos que las contienen.

La información derivada de la metodología de estudio y la experimentación, además de ser valiosa en términos académicos para el equipo interdisciplinario de investigación, tuvo una aplicación directa con muy buenos resultados al aminorar los efectos de deterioro causados por la presencia de sales en los elementos policromos. Ante un problema tan complejo, se debe profundizar en su identificación y reflexionar antes de emprender cualquier tratamiento; de lo contrario, una propuesta de conservación que replique tratamientos recomendados resultará contraproducente.

La experiencia en Chichén Itzá no sólo es relevante desde el punto de vista técnico, también se aproxima a la definición de lineamientos prácticos para el control de sales que pueden aplicarse a casos similares y que resultan pertinentes ante la ausencia de este tipo de propuestas. Estos lineamientos fueron resultado de un proceso metodológico interdisciplinario que se apoyó en los estudios y las mediciones, y en la observación detenida, la documentación rigurosa y el análisis del comportamiento de las sales y sus variaciones en el contexto en los últimos años, y tienen la intención de dar pautas y herramientas para fomentar las buenas prácticas en materia de conservación del patrimonio cultural.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro reconocimiento al Laboratorio Nacional de Nano y Biomateriales (Fondo Mixto-Yucatán 2008-108160, proyecto Conacyt LAB-2009-01-123913), al proyecto Red de Estudios Interdisciplinarios sobre Medio Ambiente y Conservación del Patrimonio Mexicano

y al Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural (proyecto Conacyt 299076). Agradecemos también el apoyo de Sarah Noemí Fajardo Reyes y Katia Joseline Pérez Ostos, del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural del Centro de Investigación en Corrosión; a Daniel Aguilar, por los análisis de DRX, y a Dora Huerta por el SEM-EDAX del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados de Mérida. Nuestra gratitud para el grupo de investigadores del CSGI por su apoyo constante desde el comienzo del proyecto al asesorarnos y facilitarnos los materiales. Por último, gracias a los estudiantes de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía que colaboraron en las temporadas de 2018 y 2019.

BIBLIOGRAFÍA

Arnold, Andreas y Konrad Zehnder. 1991. "Monitoring Wall Paintings Affected by Soluble Salts". En *The Conservation of Wall Paintings. Proceedings of a Symposium Organized by Courtauld Institute of Art and The Getty Conservation Institute, London, July 13-16, 1987*, Sharon Cather (ed.), 103-136. Marina del Rey: The Getty Conservation Institute.

"Carta de Venecia". 1964. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/venice_sp.pdf (consultado el 20 de julio de 2020).

Charola, A. Elena, Inge Rörig-Dalgaard, Jacek Chwast y Jan Elsen. 2017. "Salt Crystallization Tests: Focus on their Objective". Ponencia. 4th International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures, 20-22 de septiembre, Potsdam. https://core.ac.uk/download/pdf/144131026.pdf (consultado el 8 de agosto de 2020).

Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS). 2011. "Criterios de conservación del patrimonio arquitectónico del siglo XX. Documento de Madrid 2011". https://icomos.es/wp-content/uploads/2020/01/documento-de-madrid-icomos.pdf (consultado el 8 de agosto de 2020).

García S., Claudia, Fernanda Escalante y Yareli Jáidar. 2018. "Subproyecto Contexto pictórico de la Subestructura de Guerreros en Chichén Itzá. Problemática y propuesta de conservación". Proyecto de Conservación Integral de Chichén Itzá 2018: Subestructura de Guerreros, La Iglesia, Juego de Pelota. Informe. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

García S., Claudia, Peter Schmidt, Eduardo Pérez de Heredia, Gabriel Eúan, Luis García, Fernando Burgos y Braulio Quiñones. 2006. "Diagnóstico general de conservación del área de visita del sitio arqueológico de Chichén Itzá". Informe. Mérida: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Giorgi, Rodorico, Moira Ambrosi, Nicola Toccafondi y Piero Baglioni. 2010. "Nanoparticles for Cultural Heritage Conservation: Calcium and Barium Hydroxide Nanoparticles for Wall Painting Consolidation". *Chemistry. A European Journal*, vol. 16, núm. 31: 9374-9382.

Heritage, Alison, Adrian Heritage y Fulvio Zezza (eds.). 2013. *Desalination of Historic Buildings, Stone and Wall Paintings*. Londres: Archetype.

Medina-González, Isabel, María del Carmen Castro Barrera, Valeria García Vierna, María Eugenia Marín Benito y Patricia Meehan Hermanson. 2009. "Una primera aproximación a la normativa de conservación del patrimonio cultural de México". En *La conservación-restauración en el INAH. El debate teórico*, Renata Schneider (coord.), 137-152. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Morris, Earl Halstead, Jean Charlot y Ann Axtell Morris. 1931. *The Temple of the Warriors at Chichen Itzá, Yucatán*. Washington, D. C.: Carnegie Institution of Washington.

Reyes, Javier, Sara N. Fajardo y Karla A. Hernández. 2018. "Estudio exploratorio sobre el deterioro ambiental del Pilar No. 8 del Templo de los Guerreros de Chichen Itzá, Yucatán, empleando métodos no destructivos". Campeche: Universidad Autónoma de Campeche-Centro de Investigación en Corrosión.

Steiger, Michael. 2012. "Crystal Growth and Phase Equilibria in Porous Materials". En *Transport and Reactivity of Solutions in Confined Hydrosystems*, Lionel Mercury, Niels Tas y Michael Zilberbrand (eds.), 187-198. Dordrecht: Springer.

Sawdy, Alison, Barbara Lubelli, Victoria Voronina y Leo Pel. 2010. "Optimizing the Extraction of Soluble Salts from Porous Materials by Poultices". *Studies in Conservation*, vol. 55, núm. 1: 26-40.

Yagüe Gómez-Reino, Silvia. 2016. "Consolidación con materiales inorgánicos en restauración de pintura mural. La visión de la 'Scuola Florentina'". Tesis de doctorado. Valencia: Universitat Politècnica de València-Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales.

La reintegración cromática en superficies pétreas expuestas a luz natural

Juan Manuel Rocha Reyes[*]
Ana Jose Ruigómez Correa[*]

Resumen
En la conservación y restauración de bienes culturales, el término "reintegración" se refiere a procedimientos para aminorar la interferencia perceptual de ciertos deterioros. En su acepción de "reintegración cromática", se ha instrumentado en bienes muebles como la pintura y la escultura, pero en el caso de los inmuebles o inmuebles asociados no ha sido debidamente planteada. En algunas edificaciones con acabado arquitectónico pétreo encontramos ejemplos de reintegraciones cromáticas miméticas con resultados poco afortunados o adversos a la percepción óptima del bien cultural. La reintegración cromática en la conservación y restauración de bienes culturales debe considerar la complejidad de las superficies pétreas en relación con su apreciación bajo luz natural. En este artículo se exploran los conceptos de reintegración, reintegración cromática y mimetismo, y su aplicación práctica en intervenciones de recubrimientos pétreos. El caso de estudio es la portada principal del templo de San Francisco Javier del antiguo Colegio Jesuita de Tepotzotlán, Estado de México.

Palabras clave: reintegración cromática, recubrimientos pétreos, efectos de luz en superficies pétreas, resane, criterios de intervención

[*] Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural, INAH

Abstract
In conservation and restoration of cultural property the term "reintegration" refers to procedures used to reduce perceptual interference of certain deteriorations. As "chromatic reintegration", it has been implemented in movable property such as painting and sculpture; however, in the case of immovable property it has not been properly employed. In some buildings with a stone architectural finish we find examples of mimetic chromatic reintegration with unfortunate results or adverse to the optimal perception of the cultural asset. Chromatic reintegration in conservation and restoration of cultural property must consider the complexity of stone surfaces in relation to their appreciation under natural light. This paper explores concepts of reintegration, chromatic reintegration and mimicry, and their practical application in stone coating interventions. The case study is the main facade of the Temple of San Francisco Javier of the former Jesuit College of Tepotzotlan, in the State of Mexico.

Keywords: chromatic integration, stone coatings, effects of light on stone surfaces, infills, intervention criteria.

> La arcilla es la vida, el yeso es la muerte y el mármol es la resurrección.
>
> Bertel Thorvaldsen
> (en Eiler Rassmussen 2000: 128)

INTRODUCCIÓN

La piedra es uno de los primeros materiales utilizados por el ser humano. Desde el pasado más lejano, tenemos testimonios de su utilización como material fundamental de protección del entorno. Más allá de su función primigenia, este elemento accesible, resistente y duradero también permitió crear ambientes confortables y objetos atractivos y expresivos, a los que ahora calificamos como "bellos", rasgo que trascendió su función como simple componente de estructuras protectoras.

Después de milenios de civilización, tenemos un inconmensurable patrimonio conformado por piedras. Desde la inabarcable monumenta-

lidad de una pirámide hasta una cuenta ornamental, los objetos manufacturados en piedra han nutrido nuestro patrimonio cultural *ad infinitum*. El material pétreo puede ser un elemento constructivo, estar asociado a éste y ser manufacturado para dar a las edificaciones una apariencia específica, o puede constituir objetos aislados, independientes y transportables, conocidos genéricamente como esculturas.

En este artículo se explorará la segunda categoría, es decir, la que comprende las piezas extraídas y transformadas para revestir superficies –conformadas en su totalidad o en parte con material pétreo– hoy consideradas bienes culturales asociados. Los recubrimientos pétreos han sido elaborados para revestir superficies interiores y exteriores que presentan características distintas. Los recubrimientos pétreos exteriores están expuestos a todos los elementos del espacio natural, lo que hace más compleja y apremiante una intervención para su preservación. Aquí nos enfocaremos en los recubrimientos pétreos expuestos al medio ambiente exterior que datan de la época virreinal mexicana o colonial para exponer el problema de la reintegración del material pétreo.

Este periodo histórico dejó un gran legado de patrimonio edificado con recubrimientos pétreos, concebidos en la mayoría de los casos como acabados, en el sentido más laxo de esta palabra, es decir, para ser un elemento protector. Al constituir la última fase de la elaboración de una obra arquitectónica, los recubrimientos pétreos se convirtieron en el componente divisorio entre el edificio y el escenario exterior, por lo tanto, en el elemento mediante el cual se posibilitaba su percepción. Nichos o superficies lisas, guardapolvos o molduras, relieves o portadas principales constituyen el medio para que el edificio sea apreciado por el espectador.

El hecho de que una considerable cantidad de construcciones virreinales se encuentre en grandes conglomerados urbanos, como la Ciudad de México, reforzó nuestra elección como horizonte de atención, pues sus recubrimientos pétreos se encuentran expuestos a fenómenos como la contaminación ambiental o el vandalismo, lo que hace fundamental cualquier reflexión encaminada a su conservación o restauración. El problema que se pretende tratar ha sido polémico en el ámbito de la conservación y restauración de bienes culturales muebles, pues en más ocasiones de las convenientes su aplicación en terminados pétreos virreinales ha sido desafortunada: la reintegración cromática. El proceso de aplicación de pastas de resane se ejecuta en la mayoría de los casos

Figura 1. Vista panorámica de la fachada del templo de San Francisco Javier del antiguo Colegio Jesuita de Tepotzotlán, Estado de México. Fotografía: Ana Jose Ruigómez Correa, noviembre de 2019. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

sin el tiempo suficiente, de un modo apresurado, o con base en las formulaciones y los criterios de aplicación que se han utilizado tradicionalmente.

Por estas razones y para adoptar medidas exitosas y compatibles con nuestro pleno derecho a disfrutar el patrimonio cultural, expondremos a continuación una serie de contenidos y reflexiones para precisar y enriquecer la reintegración cromática, considerada aquí un concepto generado y generador de criterios de intervención. Nuestro estudio de caso será una de las portadas más bellas y representativas del periodo virreinal mexicano: la portada principal del templo de San Francisco Javier del antiguo Colegio Jesuita de Tepotzotlán, Estado de México, ahora Museo Nacional del Virreinato.

LA NOCIÓN DE "REINTEGRACIÓN"

La reintegración es una de las nociones más discutidas en el ámbito de la conservación y restauración de bienes culturales. Si bien la idea que tenemos hoy de ella estaba implícita en la práctica de las intervenciones del pasado y había sido planteada en parte en las discusiones sobre el patrimonio cultural en el siglo XIX, es hasta el siglo XX cuando se conforma plenamente, en particular en Italia. Entre los registros normativos del área, contamos con los "documentos italianos" o las "cartas del restauro", fundamentales en el desarrollo de nuestra disciplina. Por una parte, han expresado discusiones sobre tópicos trascendentes en periodos históricos específicos, y por la otra, han planteado ideas fundamentales para la reflexión posterior, no sólo dentro del ámbito italiano, sino también internacional.

La primera "Carta del Restauro" se emitió en Roma en 1932, con la participación del italiano Gustavo Giovannoni (1873-1947), que había colaborado en la redacción de la "Carta de Atenas" un año antes, por lo cual aquélla contiene indicios del documento griego, entre los que prefigura la reintegración. En la tercera "Carta de Restauro", expedida en 1987, tenemos las argumentaciones más satisfactorias, que además han mantenido su vigencia hasta la fecha. En el inciso *a* de su artículo 7, se menciona:

> [Las] reintegraciones de pequeñas partes verificadas históricamente, marcando de modo claro adiciones y reintegraciones, aunque sin excederse en la señalización de las mismas, al fin de no alterar la armonía del contexto […] deberán ser distinguibles a simple vista –aunque en una visión aproximada–, recurriendo a formas de ejecución diferentes de la históricas, en particular en los puntos de unión con las partes antiguas.

Aquí constatamos la preocupación desde el origen de la disciplina con respecto al equilibrio necesario entre lo original, entendido como lo que resulta primigenio en el objeto –muchas veces relacionado con lo que fue planeado por el autor o los autores–, y lo que se ha transformado, eliminado o agregado desde su percepción.

En el apartado *c* leemos sobre la "sistematización de obras con lagunas, reconstruyendo intersticios de poca entidad con técnica claramente

diferenciable a simple vista, o con zonas neutras colocadas en un nivel diferente al de las partes originales". Esto complementó el significado de la reintegración y expuso dos cuestiones fundamentales: la honestidad perceptual de la intervención –que el espectador pueda discernir qué es original y qué no– y la noción de "laguna".

La cuestión de la laguna nos remite al discurso del filósofo italiano e historiador del arte Cesare Brandi (1906-1988),[1] para quien se trata de algo que falta, por lo tanto, es inexistente. Esto es indeseable porque obstaculiza la percepción del objeto. Las autoras españolas Ana María Macarrón Miguel y Ana González Mozo explican que las lagunas constituyen

> fenómenos físicos: realmente son ausencias de materia original […]. Representan algo que estuvo y ya no está, pero no tienen ningún tipo de relación objetiva con la obra. Existen como formas extrañas, y su manera de formar parte de la imagen es "ser una ausencia de fragmentos de ésta". El cerebro las interpreta como "discontinuidades formales" (2011: 137).

En el anexo D de la "Carta de Restauro" de 1987, se afirma:

> Siendo de capital importancia la conservación de la materia que forma la obra, no se debe excluir la posibilidad de restituir, donde sea posible, una continuidad de lectura de la imagen. La reintegración deberá ser la interpretación crítica de la laguna y detenerse cuando se convierta en una hipótesis. Los medios empleados deberán ser reversibles y el sistema distinguible a distancia próxima del original.

En la cita anterior, la argumentación en torno a la reintegración se redondea con la certeza de que ésta se resuelve en la presentación del objeto a los espectadores, que es cuando acontece la percepción plena y cabal y se cierra el círculo del proceso, pese a las pérdidas del devenir

[1] Brandi estuvo involucrado en la rehabilitación de los bienes culturales italianos que resultaron dañados en la Segunda Guerra Mundial. Esta experiencia enriqueció su filosofía de la praxis de la conservación y restauración de bienes culturales, reunida en la *Teoría de la restauración* (1963). Su participación en la redacción de la segunda "Carta de Restauro" (1972) quedó de manifiesto, entre otras razones, por el uso del concepto "laguna".

temporal. El restaurador deberá considerar las lagunas como la evidencia de lo que el objeto ha perdido y el grado en el que afecta su percepción:

> La importancia de la reintegración de imagen, como operación propia y específica de la restauración moderna, va mucho más allá de la capacidad técnica para resolver la falta de figuración. Junto a dicha capacidad y en un lugar prioritario hay que situar la necesidad (y, por tanto, la exigencia) de poseer un profundo conocimiento de la estructura formal de la obra. Sólo así el restaurador podrá estar en condiciones de entender el significado de las lagunas y aportar una solución.

Influenciado por los filósofos Edmund Husserl (1859-1938) y Martin Heidegger (1889-1976), Brandi creía en la existencia e interacción entre la materia y la imagen. Las lagunas, que pueden haberse originado en la materia o el soporte, son determinantes cuando se presentan en la imagen, encargada de hacer perceptible el objeto, como una especie de epidermis. Las lagunas son pérdidas de imagen y en la misma medida imposibilitan la percepción del objeto. Su restitución presenta al objeto de la mejor manera posible, siempre y cuando no lo altere ni engañe o mienta a los espectadores. De nueva cuenta, Macarrón Miguel y González Mozo concluyen:

> Reintegrar significa reincorporar. Restituir algo en su anterior posición, recobrarse enteramente de lo que se había perdido […]. El problema radica en la intención, la formulación del proyecto de partida, de los principios que deben guiar la intervención, los objetivos que quieren cumplirse y la técnica con la que se va a trabajar (2011: 138).

Como ejemplo de la vigencia de la especulación en torno a la reintegración, el glosario de Ana Calvo, uno de los primeros catálogos conceptuales en español, afirma que "reintegración" es

> [la] acción y efecto de reintegrar o restituir una parte perdida. Técnica de restauración que permite integrar estéticamente una obra completando sus pérdidas, ya sean de soporte, de decoración o de policromía. Con independencia del criterio estético seleccionado, se limita exclusivamente a las lagunas existentes […], y se realiza con materiales inocuos, reversibles y reconocibles con respecto al original. La reintegración no

Figura 2. Ejemplo de laguna de pintura de mural sin reintegrar. Claustro alto del convento del Carmen, San Ángel, Ciudad de México. Fotografía: Juan Manuel Rocha Reyes, 2012. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

siempre es necesaria para la conservación del objeto, y, generalmente, se trata de una intervención del tipo estético (1997: 188).

LA REINTEGRACIÓN CROMÁTICA

En las primeras reflexiones teóricas en el campo de la conservación y restauración de bienes culturales del siglo XIX, la atención se centró en fundamentar las intervenciones en los bienes inmuebles. En el siglo XX, en particular después de la Segunda Guerra Mundial, las consideraciones

sobre los bienes inmuebles y bienes muebles asociados fueron incluidas poco a poco en algunos textos y documentos normativos, lo que fue completando y enriqueciendo el léxico de la disciplina, por ejemplo, con los conceptos de reintegración y laguna.

Nos parece conveniente comentar algunos rasgos que serán de utilidad. El artista plástico José María González Cuasante considera que "la percepción visual divide sus objetivos en dos grandes apartados: la forma visual y el color. La primera hace referencia a la estructura de los objetos y el segundo a la cualidad de la luz que reflejan. Una se fija en los bordes y el otro en las reflectancias" (González *et al.* 2005: 16). En otras palabras, la forma y el color son los dos ejes de la percepción visual; por lo tanto, la reintegración de lagunas tiene que atenerse a ellos. En este punto, nos parece ilustrativo comentar que los argumentos sobre esta cuestión surgieron de discusiones sobre la intervención de expresiones artísticas, como la pintura de caballete y mural o la escultura, percibidas mediante la representación bidimensional o tridimensional, en donde las lagunas pueden obstaculizar de manera dramática su correcta lectura.

La reintegración de lagunas no responde sólo a la carencia de color, sino también de forma. La reflexión de la forma ha recorrido casi toda la historia de la estética. Para Platón (*ca.* 427-347 a. C.), las formas eran elementos perfectos e ideales a los cuales aspiraban las cosas del mundo por imitación, mientras que para su alumno Aristóteles (384-322 a. C.), la forma es indisociable de la materia de un objeto; como causas de su existencia, la primera sólo rodea, circunda o limita a la segunda. Con estos fundamentos y algunos complementos ideológicos, estos conceptos ingresaron a la creación artística occidental hasta la mitad del siglo XIX, cuando todo lo relacionado con la forma y lo formal entró en una crisis que generó profundos cambios en todas las artes.

Así como lo formal se implicó en la creación artística, lo hizo también en la percepción de sus objetos, tanto artísticos como los considerados fuera de esa categoría. Los creadores plasmaban en la materia lo que querían representar por medio de formas para que los espectadores las reconocieran. Esto nos remite a la noción estética de mímesis, término griego utilizado para designar todo aquello que imita la forma de lo representado. Como podemos suponer, lo formal se infiltró en nuestro ámbito con la certeza de que un bien cultural es percibido por los espectadores por medio de su forma, y es pensado y conocido de acuerdo con lo que formalmente demuestra; de ahí que haya surgido la expre-

sión "reintegración mimética". Calvo advierte que puede llegar a ser: "'Fantasía' llamada también ilusionista [que] intenta igualarse con el original y reconstruir la imagen, y se practicó en el pasado siendo criticada en muchos casos por defectos de ejecución, y desestimada actualmente por considerarse una falsificación" (1997: 188).

En general, la reintegración mimética no ha tenido una connotación positiva en nuestra área de trabajo, en particular cuando el restaurador se ha tomado demasiado en serio su capacidad para imitar formas y colores; sobre esto, las autoras italianas Cristina Giannini y Roberta Roani afirman: "En el siglo XIX, la reintegración, impuesta por consideraciones de tipo estético e ideológico y, entre los aficionados, por motivos comerciales, tenía como finalidad reconstruir las lagunas de manera mimética y en muchas ocasiones arbitraria, con efectos próximos a la falsificación" (2008, 175).

El adjetivo "cromático" alude a la propiedad de color que poseen los objetos. Es uno de los fenómenos que más se han resistido a ser definidos. Para el académico González Cuasante, "la importancia del léxico es fundamental para transmitir todo tipo de experiencias y la pobreza del mismo para designar el color ha podido ser una continua fuente de equívocos y falsas interpretaciones del verdadero significado que se [quiere] expresar" (González *et al*. 2005: 16).

En un intento por superar la dificultad anterior, el *Diccionario Akal del color* lo define como la "valoración perceptiva de la pureza que un observador atribuye a un color tonal […]. Pureza perceptual que se asocia a las sugerencias de color dependientes" (Sanz y Gallego 2001: 293). De este fragmento de una definición mucho más extensa, extraemos una idea fundamental para nuestro trabajo: el color no es algo continuo, plano o uniforme; todo lo contrario, depende de las variaciones de color derivadas o dependientes, como expresa la cita. Estas variaciones se asocian a un color originario, que es al que por lo general acudimos para describirlo.

Otra dificultad para definir lo relativo al color es la superficie que lo "posee", puesto que "la reflexión difusa se debe a que la superficie reflectora no es lisa y presenta una elevada heterogeneidad óptica que provoca que la luz se refleje en todas las direcciones" (Fernández 2005: 34). El color es percibido con la misma cantidad de variaciones que tiene una superficie para reflejar la luz. Otro factor es el origen de la iluminación:

> Se adopta la luz como uno de los ejes esenciales, junto con el movimiento, sobre los que se articula la obra, no sólo como un factor dinamizador sino también como elemento primordial en la percepción final del proceso; la obra adquiere, en consecuencia, un carácter en el que predomina la inmaterialidad, dejando en un segundo plano tanto el volumen definido y corpóreo como la materia de la escultura (De Arriba del Amo 2006: 131).

Pese a lo complicado del fenómeno del color, su utilización en la creación de bienes culturales ha sido fundamental como una propiedad de los objetos y un atributo para transmitir significados:

> Los artistas, preocupados no sólo por expresar la concreción individual de los objetos sino el contexto en el que aparecen, [fueron] muy sensibles a estas variaciones, aunque no lleguen a ser claras y evidentes. De hecho, [desarrollaron] bastante la capacidad de detectar pequeñas modificaciones de cambios de luz y de reflejos (González *et al*. 2005: 127).

La reintegración cromática supone subsanar la carencia parcial o total de las partes para recobrar la forma y el color, completar perceptualmente su continuidad de tejido figurativo y retener la imagen entera en la subjetividad de los espectadores.

LA REINTEGRACIÓN CROMÁTICA EN RECUBRIMIENTOS PÉTREOS

El universo que conforma el patrimonio cultural pétreo asociado a edificaciones es inmenso. De acuerdo con una clasificación básica por su función como elemento constructivo, en una primera categoría podemos incluir toda piedra utilizada en la cimentación y estructura de las edificaciones, que en la mayoría de los casos se asocia a otros elementos, como materiales de relleno o argamasas para unir los segmentos de piedra. Una segunda categoría reúne a la piedra concebida para otorgarle a las edificaciones una apariencia y una forma específicas, es decir, el recubrimiento. En tercer lugar encontramos la piedra transformada en objetos aislados, independientes de los ámbitos anteriores y trasladables, conocidos como esculturas.

En la actualidad, este tipo de objetos son considerados bienes culturales asociados[2] y son llamados recubrimientos, terminados o acabados arquitectónicos. Al igual que otros bienes culturales asociados, como la pintura mural o los retablos, la intervención deberá considerar su relación con el bien cultural inmueble al que pertenecen. Paolo Mora, Laura Mora y Paul Philippot, en su clásico libro *La conservación de las pinturas murales*, expresaron reflexiones importantes sobre la naturaleza de la pintura mural que pueden aplicarse a estos bienes:

> [Unidos] al muro y por consiguiente a la arquitectura, [adquieren] un estatus diferente […]. No sólo difieren las condiciones materiales de ejecución, sino que con la modificación del contexto se modifica también la naturaleza íntima de la imagen; podríamos decir, su "estatus de realidad" […] su marco es la arquitectura misma en la cual está comprendido el espectador (1999: 31).

En cuanto a su manufactura, los recubrimientos pétreos se conforman por fracciones de piedra labrada o sillares, unidos a un soporte que funciona como elemento estructural del edificio. El hecho de que sean recubrimientos es fundamental para nuestras intenciones, pues nos indica que los creadores deseaban que las características del material pétreo lucieran en el exterior de las edificaciones.[3]

A continuación, nos acercaremos a las propiedades estéticas del material pétreo, que posee dos características fundamentales al ser un conglomerado de minerales ordenados por medio de cristales. La primera es su variedad de color; debido a la formación geológica, su apariencia cromática es muy variada y puede cambiar de un centímetro a otro. La segunda es su naturaleza cristalina, que provee la cualidad única de interactuar con la luz:

[2] El término tradicional empleado en la disciplina ha sido "bienes culturales inmuebles por destino". En fechas recientes se ha adoptado el apelativo más preciso de bienes culturales asociados, porque la totalidad de bienes culturales, hasta edificios, tienen la posibilidad de ser transportados.

[3] Una considerable cantidad de edificaciones de la época virreinal mexicana presenta recubrimientos pétreos cuyo objetivo no era ser expuestos. Esto se debe a la eliminación de aplanados en construcciones de esa época durante las últimas décadas del siglo XIX y las primeras del XX, que respondió a la inclinación de otorgarle a las construcciones la apariencia de las zonas arqueológicas recién abiertas al gran público, como Teotihuacán, Tula y Chichén Itzá.

Figura 3. Portada del templo de San Francisco Javier. Fotografía: Ana Jose Ruigómez Correa, septiembre de 2019. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

Figura 4. Detalle de la portada del templo de San Francisco Javier. Fotografía: Ana Jose Ruigómez Correa, septiembre de 2019. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

Figura 5. Reposición de elemento en un edificio del centro histórico de la Ciudad de México. Fotografía: Ana Jose Ruigómez Correa, octubre de 2019.

> La radiación emitida por una fuente o la distribución espectral de un iluminante se modifica cuando atraviesa un medio físico, y la luz experimenta cambios de velocidad, difusión y dirección que se deben a la presencia de partículas gaseosas, sólidas o líquidas que están suspendidas en el aire, así como al paso de un medio físico a otro (González *et al.* 2005, 16).

Cuando observamos el material pétreo, apreciamos destellos que cambian según nuestro ángulo de visión. En un análisis petrográfico se pueden distinguir los cristales y otras partículas amplificadas, que en conjunto le otorgan esa belleza única.

PROBLEMAS DE REINTEGRACIÓN CROMÁTICA EN RECUBRIMIENTOS PÉTREOS

Los recubrimientos pétreos son bienes culturales asociados de enorme complejidad. Al deterioro natural y progresivo de cualquier superficie

Figura 6. Tipos de reintegración cromática en el mismo edificio. Restitución de piedra y engobe. Avenida 5 de Mayo, centro histórico de la Ciudad de México. Fotografía: Ana Jose Ruigómez, octubre de 2019.

pétrea expuesta a condiciones ambientales, debemos sumar dos agravantes. El primero es la técnica constructiva, que en la mayoría de los casos agrupa una gran cantidad de piezas de diversas dimensiones, pesos, formas[4] y tipos de material pétreo; el segundo es la urbanización de las últimas décadas y sus implicaciones, como la contaminación, la explotación irracional del turismo y el vandalismo.

La reintegración cromática en recubrimientos pétreos tiene que aplicarse, por principio, en todo espacio que carezca de éstos, como en lagunas y juntas, es decir, el espacio que une los fragmentos de elementos pétreos, rellenados y reintegrados a la superficie circundante original por

[4] La estereotomía, materia establecida en el siglo XIX, se propuso estudiar, establecer y sistematizar todo lo relacionado con el corte de la piedra, a partir de la vasta tradición europea. Ahora es poco considerada por la arquitectura y la conservación y restauración. La disposición y el corte de las piezas de piedra se concebía desde el momento más temprano de la planeación de una fachada. Obedecía a razones prácticas, pero también estéticas. Esto nos hace reflexionar sobre el desempeño de los recubrimientos pétreos como simple envoltura de las edificaciones. La obra de Enrique Rabasa Díaz (2000) constituye uno de los escasos estudios actuales sobre esta importante materia.

Figura 7. Capa de color sobre pasta de resane. Edificio de Correos, centro histórico de la Ciudad de México. Fotografía: Ana Jose Ruigómez Correa, octubre de 2019.

Figura 8. Pasta de resane coloreada y capa de pintura. Edificio de Correos, centro histórico de la Ciudad de México. Fotografía: Ana Jose Ruigómez Correa, octubre de 2019.

Figura 9. Vista general de un edificio en la avenida 5 de Mayo, centro histórico de la Ciudad de México. Fotografía: Ana Jose Ruigómez Correa, octubre de 2019.

cuestiones de conservación y estética, con el propósito de eliminar toda interrupción o laguna que obstaculice la percepción idónea –formal y cromática– de un recubrimiento pétreo. Reintegrar sería recolocar, si el faltante se conserva; y recrear, si el faltante ha desaparecido, pero hay fuentes confiables y convincentes para reproducir su forma y aminorar su ausencia.

De acuerdo con nuestra experiencia en proyectos de conservación y restauración de superficies y recubrimientos pétreos, por lo general hay una elección errónea de los materiales utilizados en las intervenciones, por ejemplo, pastas listas para ser usadas en actividades recreativas, didácticas o artísticas, pero no para conservación y restauración de bienes culturales; resinas epóxicas utilizadas en mecánica, fontanería o electrónica; o aditivos poliméricos sintéticos para preparar pastas, como el Mowilith, Primal o Paraloid. La razón primordial de la elección de estos materiales radica en su inmediatez de actuación y en que aparentan poseer una plasticidad que facilita su aplicación y modelado.

Con la coloración de las pastas de resane de los recubrimientos pétreos se ha pretendido conseguir una reintegración cromática y con ella, la ansiada "unidad de imagen alterada o perdida" (Sanz y Gallego 2001: 293). Existen varias intervenciones poco afortunadas en las que se conjuntan la elección errónea de los materiales para elaborar las pastas de resane y su coloración imprecisa.

Observamos dos tendencias generales en la coloración de pastas de resane. La primera es la aplicación de una pasta de resane y sobre ésta una capa de color que pinta la laguna. La segunda consiste en colorear la pasta para no aplicar la capa de pintura subsecuente. En ocasiones, se llevan a cabo ambas prácticas: se colorea una pasta de resane, y una vez que ha fraguado, se aplica una capa de color. Creemos que el problema no radica en las acciones, sino en la elección de los materiales.

El problema surge de lo que llamamos un falso criterio. Como afirma Calvo, en los criterios utilizados para reintegrar el color a una superficie pétrea encontramos posturas muy divididas y extremas: "el tema de la reintegración ha sido siempre polémico, existiendo diferentes modas, según las épocas, y se ha llegado, en algunos casos, a posturas extremas" (1997: 188). Consideramos que tanto el criterio arqueológico –que elige un color general y homogéneo para colorear o recubrir las pastas de resane y sólo disimular o llevar a fondo los faltantes– como el extremo de preferir la reintegración mimética –la cual no sólo persigue recrear la forma pétrea sino también su color y apariencia–, que compite con el sustrato original, son poco exitosas porque no hay un conocimiento o una reflexión acerca de las particularidades del material pétreo y su comportamiento en su exposición a la luz natural en exteriores.

Ante este panorama, la praxis de la reintegración cromática puede ingresar con pleno derecho y utilidad al campo de la intervención de bienes culturales, como los recubrimientos pétreos que conforman las portadas; sin embargo, tiene que plantearse de manera específica y dejar a un lado los preceptos teóricos que la circunscribieron al ámbito de la intervención de la pintura, la escultura y otros bienes muebles. La acusada dependencia de este tipo de objetos, de sus propiedades formales y figurativas, sus dimensiones y la necesidad de ser exhibidos en ambientes controlados y museísticos obstaculizan la utilización de la reintegración cromática en los objetos que nos interesan.

LA PORTADA PRINCIPAL DEL TEMPLO DE SAN FRANCISCO JAVIER DEL ANTIGUO COLEGIO JESUITA DE TEPOTZOTLÁN

Para ejemplificar las ideas tratadas hasta ahora, hemos elegido la intervención en el recubrimiento pétreo de la portada principal en el

acceso a un templo. Este bien cultural fue construido durante el periodo comprendido entre la primera mitad del siglo XVI y la segunda mitad del XIX.

Como parte de la implantación del cristianismo en México, en el siglo XVI, se edificaron templos con los diseños y sistemas constructivos que se habían desarrollado hasta entonces en Europa. Las puertas o portadas de los templos, por lo general de grandes dimensiones, se convirtieron en espacios ideales no sólo para alojar obras artísticas, sino también para emitir mensajes ideológicos por medio de la iconografía cristiana, desarrollada desde el principio del cristianismo, que continuó durante el virreinato mexicano. Aunque no todas las portadas virreinales fueron hechas piedra, con mucha frecuencia se aprovecharon las posibilidades de este material para construir obras fundamentales para el desarrollo artístico mexicano.

La localidad de Tepotzotlán –de las palabras en náhuatl *tepotzotl* y *tlan*, "cerro del jorobado"– se encuentra al noroeste de la Ciudad de México, en el Estado de México. La orden franciscana llegó a este asentamiento otomí durante el periodo de evangelización de los pueblos mesoamericanos en el siglo XVI. Aunque se presume que se construyó una capilla por ser un punto intermedio entre la Ciudad de México y Cuautitlán, que ya contaba con un convento, Tepotzotlán adquirió relevancia con la llegada de los jesuitas y la edificación de su Colegio Noviciado y Casa de Probación de Tepotzotlán entre 1606 y 1767, cuando la orden fue expulsada. El inmueble es conocido hoy como antiguo Colegio Jesuita de Tepotzotlán y funciona como Museo Nacional del Virreinato, dependiente del Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Del amplísimo inmueble, elegimos la portada principal del templo de San Francisco Javier, erigida en la fase barroca de la construcción, en la segunda mitad del siglo XVIII, que se ha convertido en uno de los ejemplos más representativos de ese estilo en nuestro país. La portada puede apreciarse en su totalidad desde diferentes puntos de visión, pero también fue concebida para observar los planos, los relieves, los nichos y las esculturas que la conforman. Una portada de este tipo puede considerarse una enorme escultura de piedra, cuya contemplación puede explicarse por:

> La relación de tiempo [que] se mantiene de manera explícita a través del recorrido que debemos realizar para la recepción de la obra (ya que

*Figuras 10 y 11. Portada del templo de San Francisco Javier captada con luz de la mañana. Fotografías: Ana Jose Ruigómez Correa, septiembre de 2019. Secretaría de Cultura-*INAH-*Méx. Reproducción autorizada por el* INAH.

*Figuras 12 y 13. Portada del templo de San Francisco Javier captada con luz del atardecer. Fotografías: Ana Jose Ruigómez Correa, septiembre de 2019. Secretaría de Cultura-*INAH-*Méx. Reproducción autorizada por el* INAH.

> la obra escultórica involucra al espectador y le incita a trasladarse y moverse en torno a ella) y poder consumar su visualización a través de los diferentes puntos de vista que ofrezca, o bien a través del movimiento de la propia obra, que acontece en un espacio determinado y, por tanto, requiere de un tiempo para lograr su apreciación (Blanch 2006: 29).

La percepción de la portada conjuga los aspectos simbólicos que los espectadores tienen que interpretar con la delectación estética de sus materiales, formas y colores. Es posible que los visitantes no conozcan muchos de los mensajes contenidos en las imágenes representadas; sin embargo, la belleza de la totalidad del bien cultural es suficiente para ocasionar una experiencia que despierte su interés por indagar acerca de ellos. Lo anterior se extiende a todo el inmueble, aunque otros elementos no sean tan notables por sus propiedades estéticas:

> La arquitectura, por su parte, siempre se sirvió del color y de la decoración figurativa, esculpida o pintada, y es un error reciente, fundado en el positivismo del siglo XIX y el purismo abstracto del siglo XX, concebir las artes divididas según las técnicas de ejecución de las obras. En todas las épocas el color y la decoración pictórica fueron previstos *ab initio* como parte integrante del conjunto monumental […]. Separar arquitectura y color o decoración es falsear el acercamiento, desnaturalizando su carácter propio y –cuando se llega a la separación material– desmembrar una totalidad estética e histórica (Mora *et al*. 2003: 32).

Lo que podemos denominar una contemplación reflexiva y detallada de la portada nos permitió apreciarla como en un bien cultural elaborado en piedra. Con las dimensiones y la complejidad de esta portada, algo tan cotidiano como la luz natural modifica la percepción de las representaciones de una hora a otra. Observamos cómo las características de la luz natural, sin duda consideradas por su creador o creadores, aumentan las cualidades del material pétreo. Así como la composición química y la ordenación cristalina de la superficie pétrea es diferente de un espacio a otro, la luz natural también cambia de un momento a otro. La intensidad y la cualidad de la luz se transforman de acuerdo con la estación del año, la posición del sol, la presencia de nubes y otros fenómenos atmosféricos:

> Las variaciones que se derivan de las condiciones de iluminación y del medio ambiente suelen pasar más desapercibidas para la mayoría de la gente. Y sin embargo, la composición espectral total del conjunto que forman la luz y los objetos presentan una amplísima gama de variaciones. La luz del día, generalmente considerada como blanca, se va transformando a lo largo de toda la jornada desde la salida del sol hasta el ocaso. Por la mañana suele ser una luz algo azulada, que se hace más blanca al mediodía, para volverse progresivamente más cálida, amarilla, anaranjada y rojiza al ponerse el sol (González *et al*. 2005: 126).

Lejos de intervenciones oportunistas, apresuradas y enfocadas en elementos que no consideran su pertenencia y dependencia a contextos, los restauradores deberán comprender, ante todo, que un bien cultural como el que nos ocupa deberá ser percibido en todas sus dimensiones y por espectadores diversos, con intereses variados respecto del bien cultural, como fruición estética, indagación histórica, intriga o expectación. Las tonalidades, las sombras, los contornos, las líneas y los volúmenes cambian con la luz y sus propias alteraciones, mientras las subjetividades y los intereses condicionan la mirada de los espectadores. Si todos los elementos que conforman lo que consideramos como reintegración cromática no permiten a los visitantes una experiencia con esa riqueza, al menos no tenemos derecho a obstaculizarla con procesos erróneos e inadecuados.

CONCLUSIONES

El hecho de considerar la reintegración cromática como proceso más que como concepto permite plantear algunas reflexiones y establecer criterios de intervención dirigidos a mejorar las acciones sobre los recubrimientos pétreos:

- Analizar los valores cromáticos de los cambios de la superficie mediante sistemas normativos de medición de color. Los resultados tendrán que confrontarse con la visión empírica de todas las subjetividades que aporten datos pertinentes para registrar la variedad de colores y tonos del material pétreo.

- Elegir los materiales para elaborar las pastas de resane con sustento en su idoneidad para ser aplicados en un recubrimiento pétreo, antes y de manera independiente del diseño de intervención estética. Se busca evitar casos en los que, incluso poco tiempo después de la intervención, los materiales inadecuados utilizados ocasionan deterioros que también afectan la percepción estética del bien cultural.
- Diseñar la intervención en juntas y áreas que deben ser rellenadas después de comprender las variaciones en la apariencia de la superficie pétrea. En un bien cultural con las dimensiones y el contexto de una portada, la elección del material que debe ser reintegrado y la manera de llevarlo a cabo serán más asertivas y duraderas.
- Atender la superficie de los resanes deberá ser el objetivo de una reintegración cromática exitosa, en la que lo mimético podrá comprenderse como una imitación de la superficie pétrea, pero con todas las propiedades específicas de ésta y con la consideración de las variaciones apuntadas antes. Podemos afirmar que es casi imposible, por ahora, lograr la imitación total de un material tan singular y extraordinario; sin embargo, es posible integrar el nuevo material al evitar la notoriedad progresiva que puede adquirir con el paso del tiempo y la competencia desfavorable con el original.
- La reintegración cromática de superficies pétreas tendrá que perseguir, por principio, la conservación del bien cultural desde el material elegido. En el plano estético, tendrá que respetar la infinita riqueza perceptual de la piedra y las señales que den testimonio del paso del tiempo y que permiten la plena valoración del bien cultural como documento histórico.

BIBLIOGRAFÍA

Arriba del Amo, Pablo de. 2006. "Movimiento". En *Conceptos fundamentales del lenguaje escultórico*, Paris Matía (coord.), 103-134. Madrid: Akal.

Blanch González, Elena. 2006. "Espacio". En *Conceptos fundamentales del lenguaje escultórico*, Paris Matía (coord.), 7-36. Madrid: Akal.

Brandi, Cesare. 1963. *Teoria del restauro*. Roma: Edizioni di Storia e Letteratura.

Calvo, Ana. 1997. *Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos de la A a la Z*. Barcelona: Ediciones del Serbal.

"Carta de Atenas [1931]". 1996. En *Antología de textos sobre restauración*, María José Martínez Justicia (sel.), 57-62. Jaén: Universidad de Jaén.

"Carta de 1987 de la Conservación y Restauración de los Objetos de Arte y Cultura" ("Carta del Restauro [1987]"). 1996. En *Antología de textos sobre restauración*, María José Martínez Justicia (sel.), 195-239. Jaén: Universidad de Jaén.

"Carta del Restauro [1932]". 1996. En *Antología de textos sobre restauración*, María José Martínez Justicia (sel.), 163-167. Jaén: Universidad de Jaén.

"Carta del Restauro [1972]". 1996. En *Antología de textos sobre restauración*, María José Martínez Justicia (sel.), 169-194. Jaén: Universidad de Jaén.

Eiler Rasmussen, Steen. 2000. *La experiencia de la arquitectura. Sobre la percepción de nuestro entorno*. Madrid: Mairea.

Fernández Quezada, Blanca. 2005. "Luz y aspecto físico del color". En *Introducción al color*, José María González Cuasante, María del Mar Cuevas Riaño y Blanca Fernández Quezada, 25-37. Madrid: Akal.

Giannini, Cristina y Roberta Roani. 2008. *Diccionario de restauración y diagnóstico*. San Sebastián: Nerea.

Gómez Consuegra, Lourdes (comp.) y Angélica Peregrina (coord.). 2009. *Documentos internacionales de conservación y restauración*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia/Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.

González Cuasante, José María, María del Mar Cuevas Riaño y Blanca Fernández Quezada. 2005. *Introducción al color*. Madrid: Akal.

González-Varas, Ignacio. 1999. *Conservación de bienes culturales. Teorías, historia, principios y normas*. Madrid: Cátedra.

Holl, Steven. 2018 [2011]. *Cuestiones de percepción. Fenomenología de la arquitectura*. Barcelona: Gustavo Gili.

Macarrón Miguel, Ana María y Ana González Mozo. 2011 [1998]. *La conservación y restauración en el siglo* XX. Madrid: Tecnos.

Martínez Justicia, María José. 1996. *Antología de textos sobre restauración*. Jaén: Universidad de Jaén.

___ . 2000. *Historia y teoría de la conservación y restauración artística*. Madrid: Tecnos.

Mora, Paolo, Laura Mora y Paul Philippot. 2003 [1999]. *La conservación de las pinturas murales*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia/Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales.

Pallasmaa, Juhani. 2006. *Los ojos de la piel*. Barcelona: Gustavo Gili.

Plazaola, Juan. 2007 [1973]. *Introducción a la estética. Historia, teoría, textos*. Bilbao: Universidad de Deusto.

Rabasa Díaz, Enrique. 2000. *Forma y construcción en piedra. De la cantería medieval a la estereotomía del siglo* XIX. Madrid: Akal.

Sanz, Juan Carlos y Rosa Gallego. 2001. *Diccionario Akal del color*. Madrid: Akal.

Tatarkiewicz, Wladyslaw. 2002 [1986]. *Historia de seis ideas. Arte, belleza, forma, creatividad, mímesis, experiencia estética*. Madrid: Tecnos.

Criterios y experiencias recientes sobre la rehabilitación estructural de edificios patrimoniales construidos con mampostería de piedra

Roberto Meli Piralla[*]
Abraham Roberto Sánchez Ramírez[*]

Resumen
Al llegar a la Nueva España, los conquistadores quedaron impresionados por la majestuosidad de las pirámides y otras obras prehispánicas que encontraron en las poblaciones principales. Aprovecharon el conocimiento y la experiencia de los constructores locales para erigir sus edificios y obras de infraestructura con piedras naturales; sin embargo, tuvieron que enfrentar condiciones inesperadas que dificultaron la construcción de sus obras, como la actividad sísmica de la región y los suelos fangosos de la Ciudad de México. En muchos casos, estas dificultades los obligaron a reforzar las obras o a reconstruirlas. En menor medida, las obras que resultaron dañadas fueron abandonadas. Este trabajo presenta una visión general de los métodos de análisis de estructuras históricas y su aplicación a las obras erigidas con mampostería de piedras naturales, sujetas a los efectos de los sismos y los hundimientos del subsuelo.

Palabras clave: mampostería de piedra, rehabilitación estructural, asentamientos diferenciales

[*] Instituto de Ingeniería, UNAM

Abstract
When the Spanish conquerors arrived in New Spain they were impressed by the majestic pyramids and other pre-Hispanic works found in the main cities. The conquistadors took advantage of the knowledge and experience of local builders to erect their main buildings and other works of infrastructure using natural stones; however, they faced different challenges that put in risk the integrity of the constructions. The worst challenges were brought by the seismic activity of the region and the muddy soils of Mexico City. In many cases, these difficulties forced them to reinforce or rebuild. To a lesser extent, they abandoned constructions that were badly damaged. The aim of this work is to present an overview of the methods used for the analysis of historical structures and their application to masonry with natural stones, subject to the effects of earthquakes and subsoil subsidence.

Keywords: stone masonry, structural rehabilitation, differential settlements

INTRODUCCIÓN

La actividad sísmica en México es frecuente y llega a alcanzar magnitudes muy elevadas. De acuerdo con el catálogo de sismos del Servicio Sismológico Nacional, desde 1900 han ocurrido en el país más de doscientos eventos de magnitud 6.5 grados en la escala de Richter o mayor, tres de ellos superiores a 8. En el Valle de México, además, la sobreexplotación intensiva de los acuíferos subterráneos para abastecer de agua a la población ha provocado el hundimiento de la superficie del terreno en buena parte de la capital del país (Figueroa 1973). Ambos fenómenos generan daños diversos a las construcciones históricas de mampostería de piedra, alteran su funcionamiento normal y ponen en riesgo su integridad y estabilidad.

La restauración de los edificios patrimoniales deteriorados o dañados era una labor casi exclusiva de arquitectos. Las intervenciones se concentraban en la superestructura y en su mayoría consistían en sellar agrietamientos y reconstruir zonas afectadas; en menor medida, robustecían algunas partes de la estructura o añadían nuevos elementos. Los alcances de estas intervenciones dependían de la experiencia y el crite-

rio del responsable, quien por lo general buscaba recuperar el aspecto original de la parte afectada.

Hasta la mitad del siglo xx se comenzó a considerar el apoyo de un ingeniero en los equipos de restauración en la Ciudad de México. En aquel momento se agudizó la sobreexplotación de los acuíferos para abastecer de agua a una población que crecía de manera vertiginosa, lo que acentuó el hundimiento irregular del terreno (SMMS 1992). En consecuencia, muchas edificaciones, en particular las construidas con mampostería de piedra, resultaron dañadas por los asentamientos diferenciales en sus cimientos. En la gran mayoría de ellas, las afectaciones continúan avanzando. Ante un escenario más complejo, la aplicación de técnicas tradicionales resultó insuficiente y fue necesario incorporar la ingeniería, que ahora colabora en la preservación del patrimonio en un marco de trabajo interdisciplinario junto a otras ramas del conocimiento.

En el campo de la ingeniería estructural, las herramientas analíticas han permitido entender mejor el desempeño de este tipo de edificaciones ante diversas solicitaciones, en especial ante sismos y hundimientos diferenciales, aunque hay que reconocer sus limitaciones al tratar de aplicarlas en estas obras. La misma especialidad ha facilitado conocer las propiedades mecánicas de algunas mamposterías y comprender la dinámica de sus estructuras para incorporar sistemas de refuerzo con nuevos materiales, sobre todo cuando la seguridad del edificio es precaria. La participación de la ingeniería también ha sido reconocida en la solución de problemas de mayor complejidad, en especial para el refuerzo de cimentaciones, el apuntalamiento total o parcial de estructuras pesadas, la estabilidad de túneles de exploración arqueológica, el movimiento de un inmueble para cambiarlo de lugar o el traslado de una pesada obra prehispánica.

MAMPOSTERÍA DE PIEDRA

En general, las obras coloniales se construyeron con mampostería de piedras naturales, dispuestas en diferentes arreglos y unidas con un mortero de cal, arena y agua en distintas proporciones, aunque también se utilizaron mezclas a base de cal y arcilla o simplemente arcilla. El tipo de aglutinante dependía de la disponibilidad de la cal en la región donde se erigían las obras. En ciertos casos, los morteros se

completaron con otro componente para mejorar sus propiedades físicas o mecánicas. El mortero cumple con varias funciones, como llenar huecos entre las piedras, propiciar una mejor y más eficiente transmisión de cargas entre las piedras de un mismo elemento constructivo, así como nivelar y alinear las piedras.

Las piedras utilizadas en las mamposterías tienen diferente tamaño, forma y origen. Por lo regular se aprovecharon los bancos de material próximos a las obras. En ocasiones, las piedras más grandes se utilizaron para formar la cimentación y las más pequeñas o ligeras se reservaron para las partes altas, debido a la dificultad de elevar las piezas pesadas durante el proceso constructivo. La forma de las piedras era con frecuencia irregular. En varias regiones del país, en las obras asentadas en zonas próximas a los ríos se utilizaron cantos rodados, es decir, piedras alojadas en los lechos de los afluentes que se mueven por la corriente de agua y se desgastan de manera natural, lo que les confiere una forma redondeada.

La mampostería, de acuerdo con la disposición de las piedras, puede dividirse en dos grupos: mampostería organizada, formada por el aparejo de sillares, y mampostería irregular, en que las piedras naturales sin labrar se colocan y se distribuyen de manera irregular en una matriz de mortero, cuidando que las caras exteriores de estos gruesos elementos formen una superficie plana. Entre las mamposterías irregulares, es común el arreglo conocido como tres lienzos o tres hojas. Se trata de tres capas verticales de mampostería: la central es un relleno ciclópeo de piedras y mortero, y las externas, por lo regular de menor espesor, presentan un orden en las piezas para que la superficie expuesta quede plana. En este arreglo, es común que las piedras utilizadas en las caras exteriores sean distintas a las de la capa central. En algunos casos, se implementan detalles constructivos para que las tres capas funcionen de manera integral en toda su altura (véase la figura 1). En la figura 2 se muestra un muro del exconvento de San Pedro Apóstol, en Jantetelco, estado de Morelos, en el que se aprecia el arreglo de tres capas. Combinaciones de este tipo de mamposterías son difíciles de identificar a simple vista; con frecuencia se requieren sondeos o calas para conocer la composición interior y el arreglo de las piedras.

En la Ciudad de México predominó el uso del tezontle, una piedra volcánica ligera y porosa que, además de facilitar la construcción por su baja densidad, permitió reducir el peso del edificio y la presión que éste ejerce sobre el suelo. Una mampostería de tezontle es más ligera que las

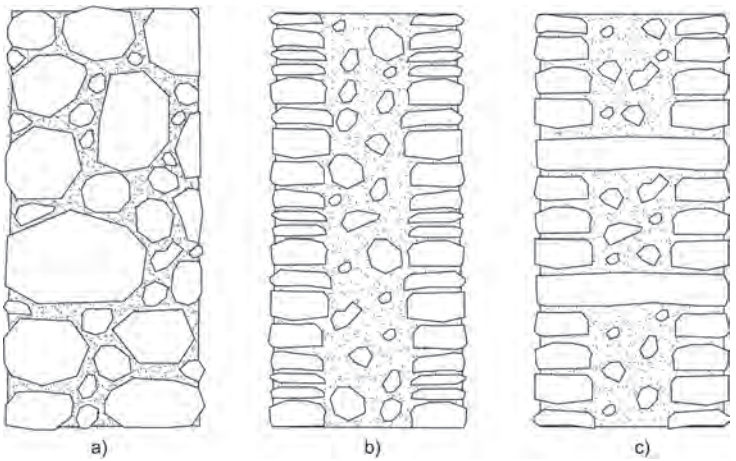


Figura 1. Arreglos típicos de mampostería: a) *mampostería de piedra irregular*; b) *mampostería con paramentos desconectados del interior*; c) *mampostería con paramentos y piedras de amarre*. *Elaboración propia*.

Figura 2. Mampostería de tres capas con paramentos de cantos rodados. *Fotografía: Abraham Roberto Sánchez Ramírez*.

Figura 3. Catedral de México. Mampostería de piedras labradas en columnas, arcos y pilastras. Fotografía: Abraham Roberto Sánchez Ramírez. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

de otras piedras; sin embargo, posee una resistencia a la tensión mayor a la de la mampostería de ladrillo. Las piedras labradas rara vez se utilizaron para formar muros completos. Se destinaron principalmente para formar columnas, pilastras, arcos, nervaduras, algunas plementerías, contrafuertes y elementos ornamentales (véase la figura 3).

VULNERABILIDAD DE LOS EDIFICIOS HISTÓRICOS

Las obras de piedra son construcciones muy robustas, pero también muy pesadas y frágiles. Sus sistemas estructurales se desarrollaron con base en los grandes edificios civiles y religiosos de España, de regiones con actividad sísmica baja o nula; por lo tanto, están pensados para soportar su propio peso, pero son poco aptos para resistir las fuertes sacudidas inducidas por los movimientos del suelo sobre el que fueron desplantados. Este tipo de estructuras son en particular vulnerables a sismos generados a poca distancia y mucho menos sensibles a los movimientos de los grandes sismos lejanos.

La experiencia sismológica más reciente se vivió en septiembre de 2017. El primer evento ocurrió el día 7, con una magnitud 8.2 y epi-

centro fuera de la costa, en los límites entre los estados de Oaxaca y Chiapas. Causó daños importantes en la zona costera de ambas entidades, en especial en templos y viviendas hechos de adobe o mampostería de piedra. A pesar de su magnitud, el sismo no tuvo repercusiones graves en el altiplano central, debido a la lejanía en la que se encuentra. Este sismo fue causado por la ruptura de un extenso tramo de la placa de Cocos, hecho que lo caracteriza como un sismo de falla normal.

El segundo evento, de magnitud 7.1, tuvo lugar el 19 de septiembre. También fue un sismo típico de falla normal, con características similares al ocurrido en Tehuacán en 1999, con epicentro en los límites entre los estados de Puebla y Morelos, 17 km hacia el sureste del poblado de Axochiapan, Morelos. De acuerdo con el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), los eventos de 2017 dañaron casi dos mil cuatrocientos edificios coloniales en once entidades. La gran mayoría de estas construcciones se ubica en los estados de Oaxaca, Puebla, Morelos y el Estado de México.

Los inmuebles históricos de la Ciudad de México habían mostrado un desempeño relativamente bueno ante los sismos que habían sacudido a la ciudad a lo largo de su existencia. En específico, estos edificios tuvieron un mejor desempeño en el terremoto del 19 de septiembre de 1985, de magnitud 8.1, que en el sismo de 2017. En este último, alrededor de ciento treinta edificios históricos resultaron afectados. La magnitud de los daños se acentuó debido a la cercanía del epicentro y por los daños previos en sus estructuras, acumulados por una combinación de varios factores a lo largo del tiempo.

Entre los factores más significativos que aumentan la vulnerabilidad de estas edificaciones destacan los siguientes: las deficiencias constructivas de origen, la distorsión angular que experimentan sus muros –provocada por la subsidencia irregular del terreno–, la degradación de los materiales por la acción del medioambiente, las alteraciones estructurales para adecuar los espacios a los múltiples usos que se les da a este tipo de inmuebles, las intervenciones desatinadas, el retiro de recubrimientos exteriores y, sobre todo, la falta de mantenimiento.

En la Ciudad de México, el mayor riesgo para la estabilidad de estas construcciones es el hundimiento irregular que experimentan sus cimentaciones; este fenómeno generalmente ocurre de manera gradual y suele ser poco perceptible en periodos cortos. En otras regiones del país

Figura 4. Puente Guadalupe, Irapuato, Guanajuato. Daños provocados por la subsidencia irregular del terreno de apoyo. Fotografía: Abraham Roberto Sánchez Ramírez.

esto también se está convirtiendo en un problema grave (véase la figura 4). Los asentamientos diferenciales a los que están sujetos los cimientos de estos inmuebles generalmente son provocados por la extracción de agua del subsuelo para abastecer a la población, aunque también suelen contribuir otros aspectos, tales como la irregularidad arquitectónica del inmueble, las modificaciones que se realizan en la estructura, la irregularidad en la transmisión del peso de ésta al terreno de apoyo, así como diferentes soluciones de cimentación en un mismo inmueble. Una descripción amplia de los problemas geotécnicos de la ciudad puede encontrarse en Santoyo *et al.* (2005).

CRITERIOS PARA EVALUAR LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL

En el pasado, y con frecuencia aún en el presente, la evaluación de la seguridad de las estructuras de mampostería de piedra y el diseño para su rehabilitación se han basado en juicios cualitativos de daños visibles y

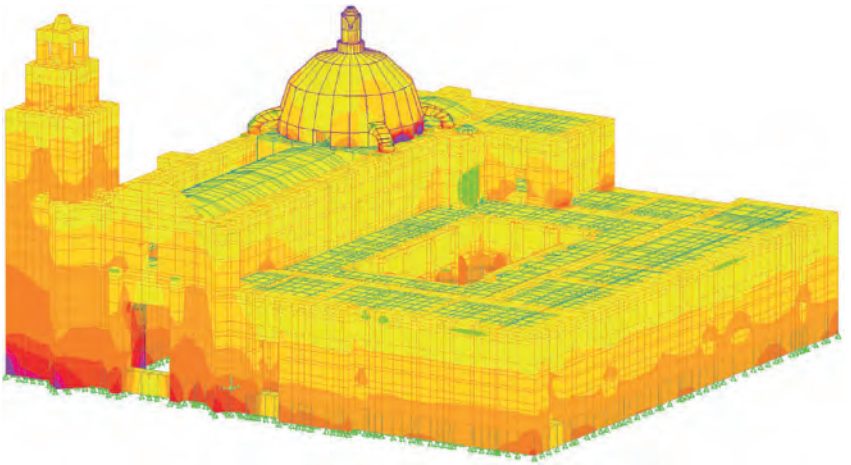


Figura 5. Modelo de elemento finito. Distribución de esfuerzos axiales ante peso propio en la dirección del eje vertical. Parroquia de San Pedro Apóstol, Jantetelco, Morelos. Elaboración propia.

medidas correctivas aplicadas antes a casos similares. Las primeras guías para determinar la seguridad de las construcciones fueron reglas geométricas que definían las relaciones que debían guardar las dimensiones de los principales elementos estructurales. Más adelante surgieron métodos para determinar la trayectoria de las fuerzas internas de las cargas sobre la estructura para que pudieran transmitirse hasta la cimentación y hasta el terreno de apoyo.

Con el progreso vertiginoso de las computadoras, se ha convertido en una práctica común hacer análisis complejos con modelos elástico-lineales de elemento finito de la estructura completa para estudiar su respuesta ante cargas estáticas y dinámicas (véase la figura 5). Con frecuencia, los resultados de estos análisis son usados directamente para evaluar la seguridad o el diseño, sin considerar las diferencias causadas por la anisotropía del material y la no linealidad de la respuesta estructural atribuible sobre todo al estado de agrietamiento que surge incluso ante incrementos bajos de esfuerzos. En la práctica, rara vez se utilizan los análisis no lineales, principalmente por la falta de conocimiento respecto de las propiedades mecánicas y las leyes constitutivas de los materiales.

ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN A LO LARGO DE LA HISTORIA

En términos generales, el interés en la conservación de edificios históricos en México ha sido notable, no sólo en la capital u otras ciudades grandes, sino también en localidades remotas, donde la población local promueve y participa en la restauración de los edificios religiosos. En el pasado, la evolución de las técnicas de rehabilitación avanzó con lentitud. En la gran mayoría de las intervenciones se utilizaban técnicas y materiales similares a los de la construcción original, y las medidas correctivas se enfocaban en restituir la capacidad estructural original: se sellaban las grietas y se reconstruían las áreas con daños severos.

El propósito de esta actividad constante de conservación es que miles de estos inmuebles alrededor del país perduren hasta nuestros tiempos. No obstante, los últimos sismos mostraron que esas técnicas de restauración no redujeron de manera significativa la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones restauradas; muchas de las grietas intervenidas en el pasado sólo se habían resanado y no tenían detalles constructivos que restituyeran la integridad de los elementos afectados. En muchos casos, esto favoreció que las grietas se abrieran de nuevo, y en otros, que se produjeran colapsos parciales delimitados por agrietamientos causados por sismos anteriores. Esto se atribuye a que las grietas en las mamposterías pueden resanarse en buena medida y una mano de obra de calidad hace que el daño no sea visible. Sin embargo, los agrietamientos en un inmueble se asocian por lo general a la deformación de la estructura, con la complejidad que implica subsanarla.

La distribución de esfuerzos internos de la mampostería al concluir la construcción de un inmueble se modifica con el paso del tiempo. En ciertos elementos se producen concentraciones de esfuerzos, y en otros, la pérdida de confinamiento. Esta situación se agudiza con la edad de la construcción, porque el daño se acumula, ya sea por la repetición de los sismos, la evolución de los hundimientos diferenciales, la falta de mantenimiento, las alteraciones en su estructura o por la combinación de estos factores.

Desde comienzos del siglo xx, la disponibilidad de materiales industrializados ocasionó que se aplicaran procedimientos de refuerzo más drásticos e invasivos; los materiales estructurales fueron reemplazados total o parcialmente y se agregaron retículas de concreto que alteraron el diseño arquitectónico original. Se añadieron elementos

Figura 6. Daños en las torres del templo de San Pedro, en Coquimatlán, Colima, causados por el sismo del 21 de enero de 2003. Antes del sismo, los campanarios estaban reforzados con elementos de concreto. Al colapsar uno de ellos, se observó que el acero de refuerzo longitudinal de las columnas no fue anclado correctamente en sus extremos. Durante el sismo, esto contribuyó a la formación de las articulaciones que desencadenaron el mecanismo de colapso. Fotografía: Abraham Roberto Sánchez Ramírez. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

estructurales robustos de concreto o acero. El enfoque se centró en superar las debilidades inherentes de los materiales y las estructuras originales. Los resultados, en términos de comportamiento estructural, han sido variables. Se han encontrado casos de comportamiento sísmico inadecuado que se atribuye sobre todo a deficiencias tanto en el diseño como en la construcción de los nuevos elementos (véase la figura 6), pero también a la falta de compatibilidad entre los materiales nuevos y los antiguos. No obstante, se debe reconocer que la vulnerabilidad de muchas de estas edificaciones se redujo gracias al uso de materiales nuevos, tanto en la cimentación como en la superestructura.

En las últimas décadas, se ha propiciado un acercamiento mucho más cuidadoso a la conservación estructural de inmuebles históricos dañados o vulnerables. Soluciones basadas en estudios multidisciplinarios y en diagnósticos que toman en cuenta el comportamiento estructural y los efectos de las medidas de rehabilitación han logrado minimizar las

Figura 7. Edificio El Carolino. Refuerzo de arquerías mediante tensores para restringir la deformación fuera de su plano. Fotografía: Abraham Roberto Sánchez Ramírez. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

alteraciones a la estructura original, así como disminuir la vulnerabilidad de las edificaciones frente a los sismos y ante la subsidencia irregular del terreno de apoyo.

La figura 7 muestra el caso de la arquería que rodea el patio principal del edificio El Carolino, que fuera sede del Colegio de la Compañía de Jesús, en la capital del estado de Puebla. La arquería se deformó fuera de su plano a causa del sismo del 15 de junio de 1999, con epicentro en la localidad de Tehuacán, en la misma entidad. Para evitar que la deformación avanzara como consecuencia de sismos futuros, la fachada se afianzó al cuerpo principal del edificio con un juego de tensores. En la figura se aprecian un perfil metálico, utilizado para anclar los tensores del lado de las arquerías, y un arreglo radial de atiesadores delimitado por un anillo elíptico para reforzar localmente los puntos de sujeción de los tensores. El refuerzo se incorporó discretamente a estas fachadas y es de carácter reversible.

La Capilla de la Emperatriz forma parte del conjunto arquitectónico del Palacio Nacional. La figura 8 muestra una vista general de su interior. Se aprecia un juego de tensores añadido para evitar que la cubierta abovedada incrementara su claro, debido a que crecía de manera lenta y continua conforme se incrementaban los asentamientos diferenciales

Figura 8. Capilla de la Emperatriz, Ciudad de México. Uso de tensores para reforzar su bóveda. Fotografía: Abraham Roberto Sánchez Ramírez.

Figura 9. Refuerzo de una columna de piedra con zunchos de acero, Palacio Nacional, Ciudad de México.

Figura 10. Arco metálico contemporáneo para restituir la aportación estructural que proporcionaba un muro de carga, eliminado para ampliar el espacio. Fotografía: Abraham Roberto Sánchez Ramírez.

del suelo compresible que subyace a sus cimientos. Los tensores son sistemas de refuerzo reversibles, eficientes y económicos, motivo por el cual han sido ampliamente utilizados desde hace más de cinco siglos, sobre todo en Europa.

Los zunchos metálicos, también elementos de refuerzo reversibles, se utilizan desde la antigüedad, en particular para confinar columnas con problemas de resistencia. Este tipo de refuerzo, además de económico, es eficiente. Desde el punto de vista estructural, mejora la resistencia de los elementos e incrementa su capacidad de deformación. Estas cualidades han fomentado su uso, incluso en columnas de construcciones contemporáneas. La figura 9 ilustra la aplicación de este refuerzo en un par de columnas de uno de los edificios del Palacio Nacional. La figura 10 muestra un arco de acero que refuerza otro de mampostería, una intervención reversible, aprovechada por la museografía.

En la Ciudad de México, algunos inmuebles patrimoniales han visto comprometida su integridad debido a la magnitud de los asentamientos diferenciales en sus cimientos y, sobre todo, a la configuración y la tasa con la que estos movimientos avanzan. En esos inmuebles ha sido nece-

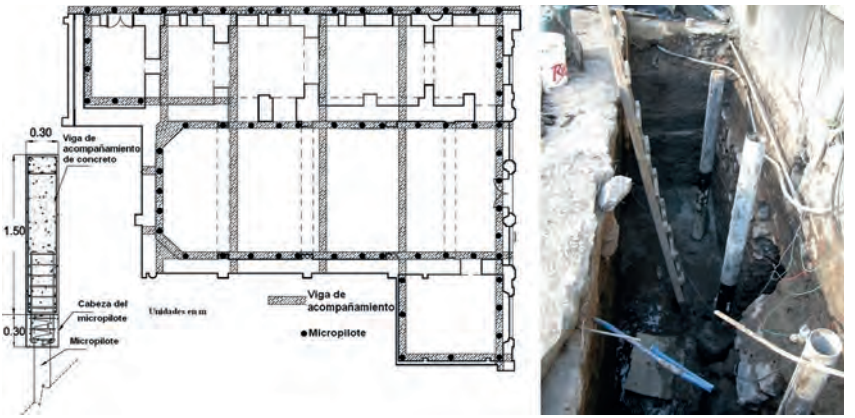


Figura 11. Refuerzo de la cimentación del templo de Corpus Christi, en el Centro Histórico de la Ciudad de México. La intervención incluye micropilotes y contratrabes de concreto reforzado.

sario no sólo consolidar su estructura, sino reforzar sus cimentaciones. Un caso es el templo de Corpus Christi, en el centro histórico de la Ciudad de México, frente al Hemiciclo a Juárez. Los cimientos del inmueble se reforzaron con micropilotes y contratrabes de concreto armado. La figura 11 ilustra esta solución, y una descripción más amplia puede consultarse en Meli *et al.* (2006).

COMENTARIOS FINALES

En México, la conservación de los edificios de piedra es una especialidad que se practica poco con fines preventivos. Los recubrimientos de muchos de estos edificios fueron retirados, en especial de las caras exteriores de los muros. Aunado al aumento de la contaminación ambiental y la erosión provocada por el viento y la lluvia, esto ha acentuado el deterioro de la integridad estructural de las mamposterías, es decir, las características originales con las que se diseñaron y construyeron, y las ha hecho más vulnerables ante diversas solicitaciones, en ciertos casos incluso ante su propio peso.

Este escenario hace que la conservación, la restitución y el mejoramiento de la integridad estructural de los edificios de piedra constituya

un reto serio, en especial cuando estos inmuebles se ubican en zonas afectadas por la actividad sísmica o por la subsidencia del terreno de apoyo, que se está convirtiendo en un problema grave en otras partes del país, como en la zona del Bajío.

Es esencial que las nuevas intervenciones vayan más allá de las medidas correctivas habituales para incrementar la capacidad estructural y mejorar el desempeño de estos edificios ante sismos y hundimientos diferenciales del terreno. Para ello, se requerirá avanzar en estudios experimentales en laboratorio y en el sitio para comprender mejor el desempeño tanto de los sistemas estructurales ensamblados con mamposterías de piedra como de los sistemas de refuerzo implementados. Es deseable que los estudios incluyan pruebas en mesas vibradoras de modelos a escala de las estructuras y el monitoreo de edificios con redes automáticas de instrumentos para registrar la respuesta ante efectos por movimientos sísmicos o asentamientos diferenciales.

Será necesario promover y apoyar la investigación multidisciplinaria de estos temas debido a la frecuencia con la que ocurren los sismos en nuestro país y la vulnerabilidad particular de los edificios patrimoniales a los eventos de este tipo. Asimismo, es importante documentar las intervenciones para dejar testimonio de ellas y que puedan ser evaluadas en el futuro; esto permitirá identificar las más promisorias y las que requieren ajustes para mejorar su desempeño y que podrán continuar empleándose en otras ocasiones. La documentación también será útil para descartar aquellas que no aportaron beneficio alguno o cuya implementación haya causado daños mayores.

BIBLIOGRAFÍA

Figueroa, Germán E. 1973. "El hundimiento de la Ciudad de México. Breve descripción". *Agua para el Valle de México*, vol. 11, núm. 4: 217-232.

Marsal, Raúl J., Fernando Hiriart y Raúl Sandoval. 1951. *Hundimiento de la ciudad de México. Observaciones y estudios analíticos*. México: Ediciones ICA.

Marsal, Raúl J. y Marcos Mazari. 1959. *El subsuelo de la Ciudad de México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Ingeniería.

Meli, Roberto, Darío Rivera y Eduardo Miranda. 2001. "Measured Seismic Response of the Mexico City Cathedral". En *Historical Constructions 2001. Possibilities of Numerical and Experimental Techniques. Proceedings of the*

3rd. International Seminar, Paulo B. Lourenço y Pere Roca (eds.), 877-886. Guimarães: Universidade do Minho.

Meli, Roberto y Roberto Sánchez Ramírez. 1997. "Rehabilitation of the Mexico City Cathedral". *Structural Engineering International Journal*, vol. 7, núm. 2: 101-106.

Meli, Roberto, Enrique Santoyo, Abraham R. Sánchez-Ramírez y Efraín Ovando. 2006. "Restauración del templo de Corpus Christi. Aspectos estructurales y geotécnicos". Ponencia. XV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2-4 de noviembre, Puerto Vallarta.

Méndez, Edgar. 2009. "Evaluation of Mexico City Subsidence". En *Memoria del Taller "Ingeniería geotécnica en zonas urbanas afectadas por hundimiento regional"*, 41-46. Comité Técnico 36 de la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos (ISSMGE TC-36).

Mooser, Federico. 1975. "Mapa geológico del Valle de México". En *Memoria de las obras del drenaje profundo del Distrito Federal*, Roberto Ríos (dir.). México: Departamento del Distrito Federal-Dirección General de Obras.

Ovando, Efraín, Enrique Santoyo y Víctor Hernández. 2005. "Aspectos geotécnicos para la preservación de cinco monumentos arquitectónicos en la Ciudad de México". En *Reunión conmemorativa Enrique Tamez González*, 79-98. México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

Santoyo, Enrique y Efraín Ovando Shelley. 2001. "Injected Mortars to Reduce the Compressibility of the Subsoil in Mexico City's Metropolitan Cathedral". Ponencia. 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Estambul.

Santoyo, Enrique, Efraín Ovando Shelley, Federico Mooser y Elvira León Plata. 2005. *Síntesis geotécnica de la cuenca del valle de México*. México: TGC Geotecnia.

Servicio Sismológico Nacional (SSN). 2020. "Catálogo de sismos". http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo (consultado el 14 de abril de 2021)

Singh, Shri Krishna, Mario Ordaz, Javier Francisco Pacheco, Roberto Quaas, Leonardo Alcantara, Sergio Alcocer, Carlos Gutiérrez, Roberto Meli y Enrique Ovando. 1999. "A Preliminary Report on the Tehuacan, Mexico Earthquake of June 15, 1999", *Seismological Research Letters*, vol. 70, núm. 5: 489-504.

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (SMMS). 1992. *La Catedral y Sagrario de la Ciudad de México. Corrección del comportamiento de sus cimentaciones*, volumen Marsal. México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

Desarrollo del protocolo para la evaluación de los tratamientos de restauración en soporte pétreo

Livio Ferrazza[*]
Ana Laborde Marqueze[**]
María Antonia García Rodríguez[**]
Consuelo Ímaz Villar[**]
Pedro Pablo Pérez[**]

Resumen
La metodología de evaluación de los tratamientos de restauración en piedra –limpieza y estabilización– es una línea de investigación del Instituto del Patrimonio Cultural de España y del Instituto Valenciano de Conservación, Restauración e Investigación, dentro del proyecto "Evaluación de la eficacia y evolución en el tiempo de tratamientos de limpieza y consolidación de materiales inorgánicos presentes en los bienes culturales" y el "Programa de puesta a punto y mejora de metodología y protocolos de conservación y restauración", del Plan Nacional de Investigación en Conservación. La finalidad es proponer de manera objetiva y fiable metodologías óptimas de intervención con base en la normalización de los ensayos *in situ* y los estudios de laboratorio necesarios para evaluar el riesgo y la eficacia de los tratamientos de estabilización y limpieza, de manera que sea posible obtener una valoración integral, objetiva y científica de cada intervención, para las condiciones particulares de cada obra.

Palabras clave: metodología, evaluación, piedra, policromía, limpieza

[*] Instituto Valenciano de Conservación, Restauración e Investigación
[**] Instituto del Patrimonio Cultural de España, Ministerio de Cultura y Deporte

Abstract
The evaluation methodology of stone restoration treatments is developed as a research line at the Institute of Cultural Heritage of Spain and the Valencian Institute of Conservation, Restoration and Research, within the project "Evaluation of the effectiveness and evolution throughout time of cleaning and consolidation treatments of inorganic materials present in cultural heritage" and the "Development and improvement of methodology and protocols for conservation and restoration" of the National Conservation Research Plan. The purpose is to normalize the necessary tests *in situ* and lab studies for the evaluation of the risk and the effectiveness of stabilization and cleaning treatments. In this way it is possible to obtain a comprehensive, objective and scientific evaluation of each intervention for the particular conditions of each work, allowing to propose optimal intervention methodologies, objectively and reliably.

Keywords: methodology, evaluation, stone, polychromy, cleaning

INTRODUCCIÓN

Esta memoria se elabora sobre la base de la experiencia del Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE) y del Instituto Valenciano de Conservación, Restauración e Investigación (IVCR+i) en el campo específico de la investigación y la conservación-restauración en soportes pétreos con o sin estratos de policromías. Desde 2011 hemos desarrollado una metodología centrada en la evaluación de los tratamientos de estabilización y limpieza de materiales inorgánicos porosos, necesaria para determinar la aplicabilidad, la eficacia y el riesgo del tratamiento, con base en la naturaleza del material a intervenir y su estado de conservación. La finalidad de esta metodología es normalizar los ensayos *in situ* y los estudios analíticos de laboratorio necesarios para evaluar el riesgo y la eficacia de los sistemas de consolidación y limpieza en superficies pétreas con o sin policromías. Mediante la creación de un protocolo de trabajo, la normalización de las pruebas debe servir como guía a la hora de elegir la modalidad de aplicación y los parámetros idóneos para cada tipo de tratamiento, después de definir las zonas críticas de control.

En gran parte de los trabajos de restauración de bienes culturales, los técnicos restauradores valoran la idoneidad de las metodologías de inter-

vención y los productos de tratamiento para limpieza, consolidación y protección, por medio de una atenta observación superficial de los materiales tratados. Por lo general, esta valoración se lleva a cabo con instrumentos y herramientas básicos para tomar decisiones a pie de obra, sin análisis de laboratorio más complejos que necesitan extracción de muestras.

En esta primera observación, aspectos como la textura, la morfología, el color y la homogeneidad aportan datos para diagnosticar si un producto o una metodología de intervención determinados son aptos o no para restaurar la obra. En este contexto, se considera necesario sistematizar los procesos de estudio y seguimiento de las intervenciones de restauración con un protocolo de trabajo que permita, de manera rápida y con criterio científico, obtener resultados de valoración de las metodologías y los productos utilizados (Ontiveros *et al.* 1996: 60-61; Villegas y Ontiveros 1998: 45-49).

El seguimiento de las intervenciones debe echar mano de métodos de ensayos y técnicas de análisis accesibles en centros de investigación y universidades, como las técnicas cromatográficas, espectrométricas y microscópicas. Con un número reducido de técnicas de análisis es posible dilucidar la eficacia y el riesgo de los tratamientos de restauración, y contribuir a la planificación y ejecución de las fases de intervención, de acuerdo con las casuísticas que se presenten y el diagnóstico de las alteraciones determinadas en los estudios previos.

Los resultados son parte de la investigación del proyecto "Evaluación de la eficacia y evolución en el tiempo de tratamientos de limpieza y consolidación de materiales inorgánicos presentes en los bienes culturales" (HAR2010-21455) y del "Programa de puesta a punto y mejora de metodología y protocolos de conservación y restauración", del Plan Nacional de Investigación en Conservación (PNIC) del Ministerio de Cultura y Deporte del Gobierno de España (http://www.investigacionenconservacion.es/index.php/14-pnic).

Entre las obras de piedra en las que se ha aplicado la metodología de evaluación, figuran los conjuntos escultóricos en piedra policromada del Pórtico de la Gloria, de la catedral de Santiago de Compostela (véase la figura 1), la escultura de la Virgen Blanca de la colegiata de Santa María de Calatayud, en Zaragoza (véase la figura 2), la portada de la basílica arciprestal de Morella, en Castellón, y la portada principal de la iglesia de Nuestra Señora de la Asunción de Corral de Almaguer, en Toledo. La complejidad y variabilidad de la casuística que presentan las obras

Figura 1. Detalle del Pórtico de la Gloria, catedral de Santiago de Compostela.

hacen de ellas un caso de estudio fundamental en la elaboración del protocolo para la evaluación de los tratamientos de restauración (Pablo *et al.* 2017: 134-151; Cortázar y Sánchez 2017: 114-170).

Al aplicar el protocolo es posible valorar en cada momento la eficacia y el riesgo asociados a cada tratamiento de restauración y producto aplicado, así como determinar el nivel de consolidación o limpieza alcanzado sobre la superficie pétrea o policromía, la permanencia de residuos y los cambios de color, textura y compacidad. Con una evaluación integral, objetiva y científica del riesgo que cada intervención de restauración representa para las condiciones particulares de cada obra, se pueden proponer metodologías óptimas de intervención de manera objetiva y fiable.

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE RESTAURACIÓN

Evaluación del tratamiento de consolidación

La evaluación de los tratamientos de estabilización de los materiales pétreos o pictóricos comienza en el laboratorio con la selección y ade-

Figura 2. Escultura en piedra policromada de la Virgen Blanca de la colegiata de Santa María de Calatayud, Zaragoza, y fase de restauración de la obra en el IPCE.

cuación de probetas de soportes con características semejantes a las de la obra y de probetas films de los consolidantes, polímeros acrílicos u otros a estudiar. Es necesario determinar y evaluar los materiales que deben utilizarse y su metodología de aplicación. Con técnicas instrumentales, se estudia el envejecimiento acelerado en condiciones controladas de temperatura, humedad y luz ultravioleta visible (vis-UV); la variación de las propiedades químicas (composición, pH); físicas (elasticidad, morfología, color, brillo) y mecánicas (capacidades adhesivas, cohesivas, etcétera) de los polímeros, y la aplicabilidad en los tratamientos de consolidación, su eficacia y limitaciones.

Entre las técnicas instrumentales necesarias figuran la microscopía estereoscópica, la microscopia óptica vis-UV, la microscopía electrónica de barrido con microanálisis SEM-EDX, la espectroscopia infrarroja FTIR,

el espectrofotómetro visible, el pH-metro, la torre de comportamiento mecánico y la cámara de envejecimiento acelerado. La metodología general de trabajo será:

- Delimitar y seleccionar los polímeros naturales y sintéticos (orgánicos e inorgánicos) según su función (consolidante, adhesiva).
- Preparar probetas sobre las que ensayar los polímeros.
- Aplicar los materiales según un protocolo para testar diferentes productos, usando diferentes porcentajes, tiempos de contacto y metodología de aplicación.
- Poner en marcha el envejecimiento acelerado de las probetas en condiciones controladas de temperatura, humedad y luz vis-UV.
- Evaluar los cambios físicos, químicos y mecánicos después del tratamiento y posterior envejecimiento de las probetas (color, brillo, pH, penetración, nivel de adhesión y consolidación, nivel de recuperación deformaciones, levantamientos, etcétera).
- Obtener, interpretar resultados y extraer conclusiones.

En este estudio se valoran los cambios en las propiedades de los sustratos pétreos y de las policromías antes y después de la aplicación del tratamiento. Se evalúan variables como penetrabilidad del producto consolidante, modificación de la porosidad y permanencia de residuos, y se cuantifican la capacidad de adsorber agua y las variaciones de adhesión-cohesión entre los constituyentes o el cambio de la rugosidad superficial. Asimismo, se estudian las variaciones de las propiedades estéticas superficiales, como el cambio del color, el brillo, la rugosidad y la morfología. Las conclusiones permitirán seleccionar los materiales para los ensayos directos en la obra. En este caso, se propone una metodología de evaluación en la obra similar a la que se presenta a continuación para los tratamientos de limpieza.

Evaluación del tratamiento de limpieza

La metodología de evaluación de la eficacia y el riesgo de los sistemas de limpieza se articula en dos fases de trabajo. La primera fase consiste en estudiar los materiales y hacer un diagnóstico del estado de conserva-

ción general de la obra. Mediante análisis con o sin toma de muestras, se caracterizan los materiales de carácter histórico y los no originales. Este estudio contempla la caracterización de los materiales de alteración, tanto en el soporte como en las capas pictóricas.

Los resultados permiten establecer las condiciones metodológicas de la segunda fase de trabajo, relativa a la evaluación de la eficacia y el riesgo de los procedimientos de limpieza. La metodología debe tener un carácter progresivo. Comienza por una batería de análisis básicos no destructivos acometidos en obra y se desenvuelve hasta otros de mayor complejidad que se ejecutan en laboratorio y precisan muestras. En cuanto a los sistemas de limpieza, se aplicarán a partir de la selección de áreas de ensayo específicas en la obra. Las áreas de ensayo tendrán características de composición y superficiales similares entre ellas para hacer un estudio comparativo. En el diagrama 1 se muestra el recorrido metodológico de esta fase de estudio.

Tras la aplicación del sistema de limpieza, el restaurador puede valerse de una primera metodología de evaluación que incluye observaciones y medidas para determinar su incidencia (véase el diagrama 2). Este estudio permite detectar si un determinado sistema de limpieza es demasiado agresivo y representa un riesgo para la conservación de los materiales constitutivos. En ese caso, el sistema propuesto se descarta,

Diagrama 1
Metodología de estudio del área de ensayo. Fuente: elaboración propia

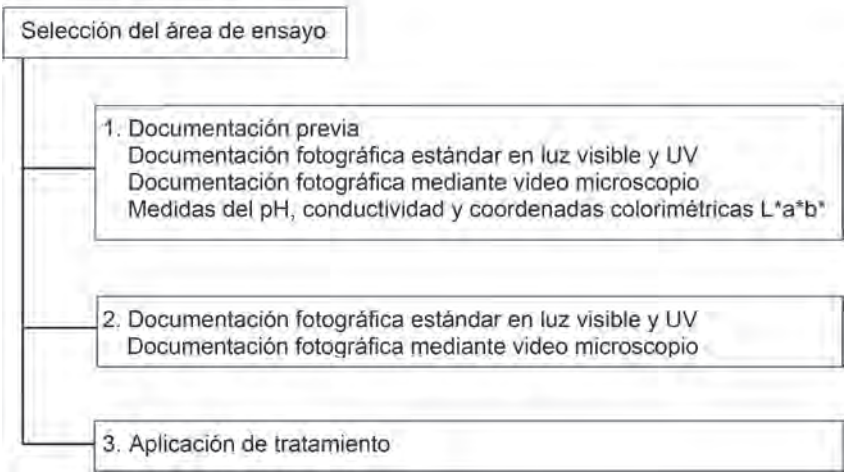
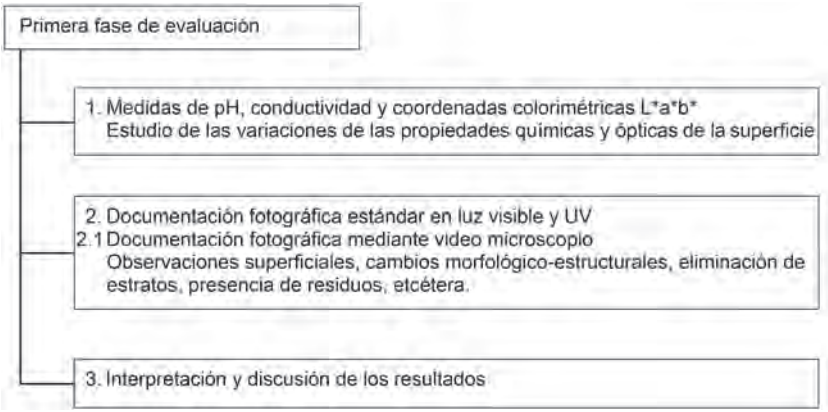


Diagrama 2
Primera fase de evaluación del tratamiento de limpieza sobre el área de ensayo
Fuente: elaboración propia



no es necesario seguir con el estudio. Si el sistema ensayado se considera adecuado, se extraen muestras para la valoración en laboratorio con la metodología de la segunda línea de evaluación.

En esta fase, la evaluación se efectuará mediante la documentación fotográfica general y en detalle, con macrofotografía y con videomicroscopio (véase la figura 3), necesaria para observar la incidencia del sistema de limpieza ensayado y determinar:

- Grado de limpieza alcanzado mediante la observación de la remoción total o parcial de las capas de recubrimientos, costras o depósitos.
- Posibles daños mecánicos, levantamientos o pérdida de materiales de la obra.
- Posibles alteraciones morfológicas de la piedra o superficies policromadas con la observación de residuos de los materiales de limpieza, como gel, fibras de algodón, residuos de esponjas, etcétera. Alteraciones morfológicas causadas por la acción mecánica del tratamiento, como en el caso de estrías, abrasión o fractura.
- Control de los cambios físicos o químicos de la superficie tratada mediante medida del pH, conductividad y coordenadas colorimétricas.

Figura 3. Policromía sobre piedra del Pórtico de la Gloria de la catedral de Santiago de Compostela. Valoración con video microscopio del grado de limpieza alcanzado. Fotografías: IPCE.

La metodología de la siguiente fase de estudio permite la valoración en laboratorio mediante análisis morfológico-estructurales y químicos de muestras de la obra y de los materiales de limpieza utilizados. Cada muestra se observará mediante microscopía estereoscópica para determinar sus características y compararlas con una muestra de referencia extraída antes de la limpieza. La comparación servirá para apreciar posibles cambios morfológicos en la superficie, remoción de depósitos o daños mecánicos. El estudio se completa mediante la técnica SEM-EDX, que contempla cuestiones como:

- composición química de la superficie, antes y después del tratamiento;
- presencia o ausencia de depósitos de suciedad superficial (partículas ambientales, restos biológicos, partículas de contaminación, productos secundarios de alteración, etcétera);
- variaciones en la porosidad de la superficie, en relación con su estado inicial;

- alteraciones físicas, sobre todo en el caso de limpiezas mecánicas, que pueden implicar procesos como estriados, rotura de granos, descohesión intergranular, microtrituración, erosiones diferenciales, etcétera;
- formación de productos secundarios (recristalización de componentes originales, neoformación de fases minerales, generación de películas superficiales, etcétera), evidentes sobre todo en el caso de limpiezas químicas.

La valoración continúa con el estudio de secciones estratigráficas. Las muestras se observan con un microscopio óptico provisto de luz reflejada y polarizada, e iluminación ultravioleta, y después con el SEM-EDX. Respecto del estudio estratigráfico de la muestra de referencia, se aprecian el nivel de limpieza alcanzado y las posibles alteraciones fisicoquímicas y mecánicas que el tratamiento puede producir. Mediante ambas técnicas microscópicas se determinarán cuestiones como:

- composición química del estrato más superficial antes y después del tratamiento;
- variaciones texturales de la muestra tratada en relación con la no tratada, tanto en superficie como en estratos más internos, con especial atención a aspectos como aparición de microfisuras superficiales o profundas, descohesión intergranular, erosión de granos constituyentes de piedra o policromía;
- espesor existente del estrato o estratos que quieren eliminarse en relación con el espesor inicial;
- modificaciones químicas en capas y compuestos granulares (piedra, cargas, pigmentos), con especial atención a fenómenos como generación de productos secundarios (capas o granos), disolución de componentes originales, remoción o modificación del aglutinante, etcétera.

En las figuras 4 y 5 se aprecia el estudio estratigráfico que compara una muestra de policromía sobre piedra extraída, antes y después del tratamiento de limpieza. Por el contrario, en la figura 6 se muestra un caso con un excesivo nivel de limpieza. Se observa una remoción completa de la capa superficial, con afección parcial de la policromía. Mediante

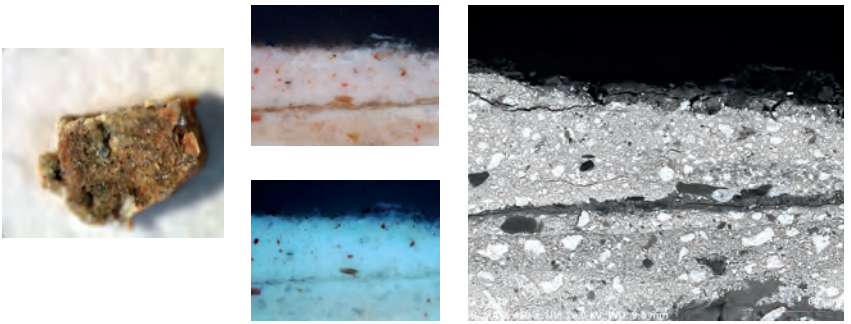


Figura 4. Superficie de la muestra de policromía de referencia observada con microscopía estereoscópica y estudio estratigráfico con microscopía óptica y microscopía electrónica. Fotografías: IPCE.

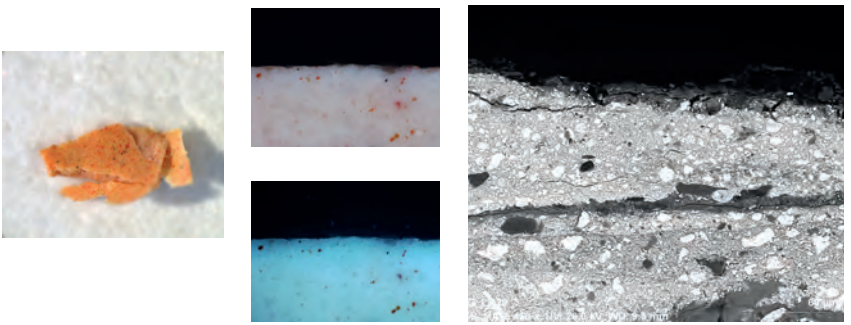


Figura 5. Superficie de la muestra de policromía después del tratamiento de limpieza. El tratamiento permite conservar un fino estrato de depósito para respetar la integridad de la policromía. Fotografías: IPCE.

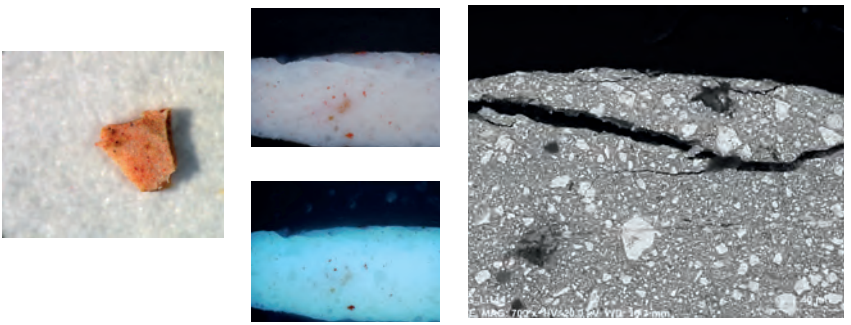


Figura 6. Superficie de la muestra de policromía después del tratamiento de limpieza observada con microscopia estereoscópica y estudio estratigráfico. Se observa la completa remoción del depósito superficial y una pérdida parcial de la policromía. Fotografías: IPCE.

el estudio estratigráfico se observa cómo las partículas del pigmento quedan expuestas tras la remoción del depósito y se produce una pérdida parcial de la capa de color.

ANÁLISIS ESPECÍFICOS

Riesgo de lixiviación de la capa de policromía al óleo

Este procedimiento analítico es aplicable sólo en obras que presentan una policromía al óleo. Los análisis tienen como finalidad detectar compuestos orgánicos relacionados con la presencia de aglutinantes grasos, para evaluar el riesgo de lixiviación de la capa pictórica durante la limpieza (Sánchez *et al.* 2012: 317-328; Graham 1953: 500-506), y detectar si existe un mecanismo de extracción de algunos componentes orgánicos de bajo peso molecular presentes en la policromía.

Mediante la técnica de cromatografía de gases acoplada a un espectrómetro de masas (GC-MS), se analizan los materiales utilizados en la limpieza, como geles, materiales de aclarado, etcétera, para detectar los compuestos que constituyen a los aglutinantes grasos y se monitorea la presencia de ácido azelaico y ácido subérico como elementos indicativos de la lixiviación de algunos componentes de la capa pictórica. Es importante utilizar un patrón interno (ISTD).[1] En todas las muestras en las que la relación del área del ácido azelaico con respecto al área del ISTD supere el umbral establecido del blanco (muestra tomada en zona donde no hay policromía), se concluye que existe un riesgo de lixiviación de algunos componentes de la capa pictórica.

En los cromatogramas de las figuras 7 y 8 se muestran los resultados del estudio de evaluación del riesgo de lixiviación de un sistema de limpieza con geles en la policromía del Pórtico de la Gloria, basados en la presencia de los marcadores seleccionados. Los análisis cromatográficos de las muestras de blanco (referencia inicial) indican la presencia de cantidades apreciables de ácidos grasos, en especial ácido palmítico y ácido esteárico. No se detecta ácido azelaico. Al analizar el extracto del gel aplicado en el tratamiento de limpieza, el análisis GC-MS determina la presencia de ácido azelaico, que indica un posible mecanismo de lixiviación de la capa de policromía.

[1] Como ISTD, se utiliza una disolución metanólica de 50 µg/ml de ácido nonadecanoico.

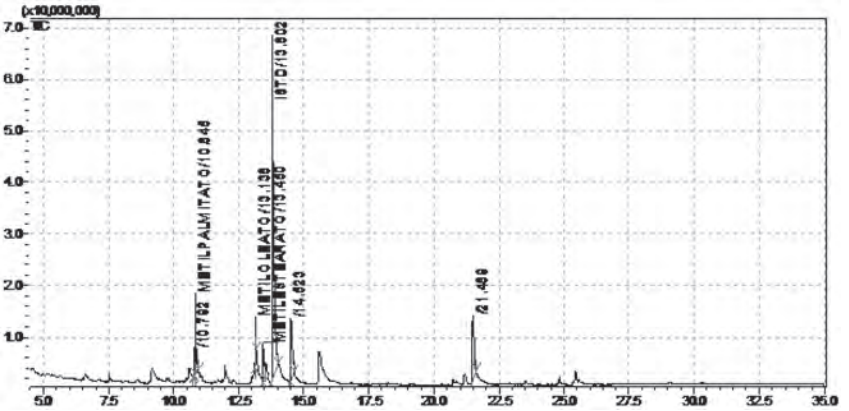


Figura 7. Cromatograma de la muestra de referencia (blanco) en la que no se detecta la presencia del ácido azelaico.

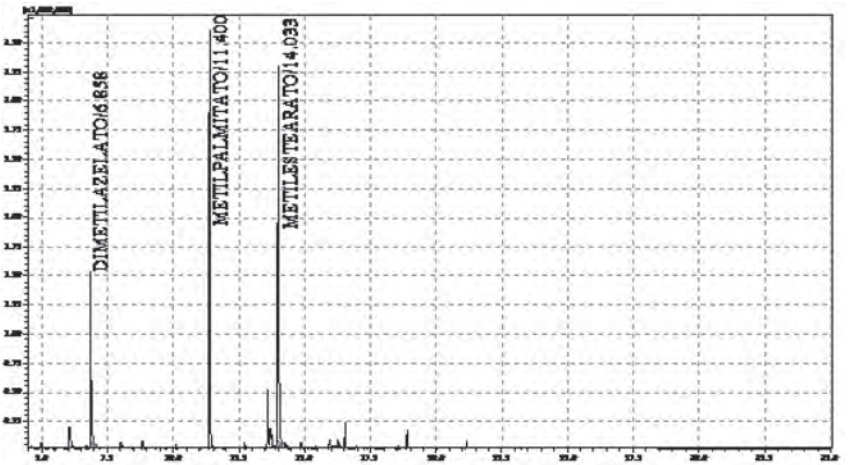


Figura 8. Cromatograma de la muestra de extracción del gel utilizado para la evaluación del sistema de limpieza.

ANÁLISIS PARA LA VALORACIÓN DE LA PERMANENCIA DE RESIDUOS

El objetivo de este método analítico es detectar sobre la superficie de la obra residuos relacionados con los materiales utilizados en la limpieza

(geles de Agar, Solvent gels, hidrogeles, tensoactivos, espesantes, agentes quelantes, etcétera) o residuos de los sistemas de aclarado (hisopos de algodón, esponjas naturales o acrílicas). Estos materiales representan un riesgo para la conservación por su posible interacción fisicoquímica con los materiales constituyentes de la obra o con los agentes medioambientales. Para detectar los componentes (marcadores) presentes en los materiales utilizados en el sistema de limpieza, se utiliza cromatografía de gases acoplada a un espectrómetro de masas (GC-MS) o pirólisis acoplada a un sistema de gases-masas (PYR-GC-MS).

Este procedimiento es aplicable a todas las técnicas pictóricas. Otros materiales utilizados en sistemas de limpieza pueden ser identificados mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) o microscopía electrónica de barrido-microanálisis por dispersión de energías de rayos X (SEM-EDX). El análisis se hace sobre sistemas de aclarado después de la limpieza. También es posible analizar muestras de policromías extraídas después del tratamiento para valorar la presencia de residuos. En este caso, es aconsejable disponer de muestras iniciales de referencia.

CONCLUSIONES

La puesta a punto del protocolo supone validar un sistema para valorar de forma eficaz la incidencia de los tratamientos de restauración, tanto preliminares como a lo largo del proceso de intervención. Este aspecto es de gran importancia debido a la heterogeneidad en la composición y el estado de conservación de los materiales pétreos con o sin policromías, y a que las situaciones no son constantes a lo largo de las actuaciones, lo que permite ajustar los tratamientos según las circunstancias. La posibilidad de convertir el protocolo en norma nacional por medio de la Asociación Española de Normalización y Certificación y estándar europeo validado por el European Committee for Standardization, garantizaría el impacto y la utilidad de las líneas de investigación desarrolladas en el ámbito de la conservación de los bienes culturales y promovería las buenas prácticas y el control de calidad en las intervenciones de restauración en piedra.

BIBLIOGRAFÍA

Bustamante Montoro, Rosa y Francisco Javier Alonso Rodríguez. 2012. "Normalización del análisis de la piedra y conservación del patrimonio cultural". En *VIII Congreso Geológico de España, Oviedo, 17-19 julio 2012*, Luis Pedro Fernández González *et al.* (eds.), 1576-5172. Salamanca: Sociedad Geológica de España (Geo-Temas 13).

Cortázar García de Salazar, Mercedes y Andrés Sánchez Ledesma. 2017. "Estudio de la secuencia de policromías y de la composición de los materiales empleados en las decoraciones del conjunto escultórico del Pórtico de la Gloria de la catedral de Santiago de Compostela". *Informes y Trabajos*, núm. 15: 114-169.

Graham, Ian. 1953. "The Effect of Solvents on Linoxyn Films". *Journal of the Oil and Colour Chemists' Association*, núm. 36: 500-506.

Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE). 2020. "PNIC 2015-05. Protocolo de evaluación del riesgo para la intervención en conjuntos escultóricos de piedra policromada". http://www.investigacionenconservacion.es/index.php/proyectos-pnic/p5/1563-pnic2015-05-protocolo-de-evaluacion-del-riesgo-para-la-intervencion-en-conjuntos-escultoricos-de-piedra-policromada (consultado el 14 de abril de 2020).

Ontiveros, Esther, Rosario Villegas, Manuel Alcalde y Eduardo Sebastián. 1996. "Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones". *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, núm. 15: 60-61.

Pablo Pérez, Pedro, María Antonia García y Livio Ferrazza. 2017. "Aportación de los estudios científicos a la restauración del Pórtico de la Gloria de la catedral de Santiago de Compostela: análisis de las alteraciones". En *La ciencia y el arte VI. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio*, Miriam Bueso (dir.), 134-151. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

Sánchez Ledesma, Andrés, Carmen Muro García y María Dolores Gayo García. 2012. "Protocolo para la evaluación del riesgo de sistemas de limpieza con disolventes orgánicos en superficies pintadas al óleo". En *Conservación de Arte Contemporáneo. 13ª Jornada*, 317-328. Madrid: Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía.

Villegas, Rosario y Esther Ontiveros. 1998. "Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: propiedades hídricas. 1ª parte". *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, núm. 22: 45-49.

Metodología de intervención de piedra caliza en sitios del sur de Campeche. Una visión retrospectiva a trabajos hechos entre 1996 y 2003 por la CNCPC-INAH

*Valeria Amparo García Vierna**

Resumen

De 1996 a 2003, la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC) impulsó acciones encaminadas a frenar el deterioro progresivo e intenso de la piedra caliza en sitios arqueológicos del sur de Campeche, en particular la empleada en las fachadas de las portadas teratomorfas. Como parte de los tratamientos de conservación, se hicieron pruebas de recubrimientos de sacrificio y de consolidación con formiato de bario, y se buscó restablecer elementos arquitectónicos como elementos de protección. Entre los sitios intervenidos, sobresale la zona arqueológica de Chicanná, que en fechas recientes fue objeto de trabajos de conservación e investigación, como parte del Curso Internacional de Conservación de Piedra, organizado por el Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM, por sus siglas en inglés) y la CNCPC. En este contexto, es necesario reflexionar sobre los primeros trabajos y analizar de manera crítica los aciertos y errores que pueden dar luz a los nuevos procesos de documentación e investigación del deterioro y la preservación de la piedra en esta región. Esta revisión permitirá delinear algunas nociones en torno a las intervenciones en elementos pétreos expuestos en condiciones de clima tropical. Dados los fenómenos climáticos que afectan la zona, se prevé que en los próximos años se agudicen los procesos de deterioro y las pérdidas consecuentes. Es importante plantear una estrategia para

* Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural, INAH

tratar las superficies de piedra expuestas como parte de los mosaicos decorativos típicos de la región.

Palabras clave: piedra caliza, conservación, investigación, evaluación

Abstract
From 1996 to 2003, the National Conservation Coordination of Cultural Heritage (CNCPC) carried out a series of efforts to slow down the intense and progressive deterioration of limestone, particularly that used on the theriomorphic facades of structures in archaeological sites in southern Campeche. As part of the conservation treatments, tests were carried out with sacrificial layers as well as consolidation with barium methods, in addition to seeking to restore architectural features as protective elements. Among the sites intervened in those years, the case of the archaeological zone of Chicanna stands out, where conservation and research work has recently been resumed with the International Course of Stone Conservation organized by International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property and CNCPC. In this context, it becomes relevant to reflect on those initial efforts in order to examine them critically and evaluate the errors and the progress that today can help us to shed light on more recent processes of documentation and research of deterioration, and the preservation of limestone in this cultural region. Additionally, this review will outline some conceptual notions on the intervention of stone elements affected in tropical weather conditions. Similarly, considering the climatic phenomena that are currently affecting this area, it is likely that the processes of deterioration and consequent loss of stone elements will increase in the coming years, wherefore it is important to propose a strategy to extensively approach the exposed stone surfaces of the decorative mosaics typical of the region.

Keywords: limestone, conservation, reseach, assesment

INTRODUCCIÓN

En 2018, quince años después de la última intervención que se llevara a cabo en la región, tuve la oportunidad de regresar a la zona arqueológi-

ca de Chicanná. Observé con gran satisfacción que las intervenciones y pruebas de casi veinte años atrás se conservan como testigos de un proceso experimental inicial que continúa arrojando resultados dignos de ser evaluados. La experiencia de varios años permite valorar hoy esos trabajos, mediante un proceso de crítica del proyecto y de evaluación de la efectividad de las intervenciones y las pruebas experimentales.

Han surgido preguntas: de las pruebas realizadas, ¿cuáles funcionaron y cuáles no? ¿Cumplieron el objetivo para el que se diseñaron? ¿Funcionaron de igual forma los distintos materiales aplicados? ¿Funcionaron igual en todos los sustratos? ¿Cómo se determina el grado de efectividad? Del proyecto mismo, es posible cuestionarse qué objetivos se lograron, qué experiencias positivas pueden aplicarse a otros proyectos, qué desaciertos o fallos pueden ser de utilidad para otros casos, qué resta por hacer para dar continuidad a la evaluación que comenzó a finales de la década de 1990. En contraste con el momento actual, surgen interrogantes: ¿ha cambiado la situación en materia de conservación del material pétreo? ¿Han cambiado las condiciones medioambientales? ¿Han cambiado las condiciones institucionales para llevar a cabo el trabajo interdisciplinario?

El proyecto de conservación de piedra caliza en el sur de Campeche

En 1996, por iniciativa de Haydeé Orea Magaña, jefa del entonces Departamento de Conservación Arqueológica y Pintura Mural de la CNRPC, se puso en marcha el "Proyecto de Investigación para la Conservación de Piedra del Sur de Campeche", a cargo de quien suscribe.[1] En 1995, restauradores y arqueólogos recorrieron zonas arqueológicas de Campeche, Quintana Roo y Yucatán. Preocupados por el deterioro inminente y la pérdida de elementos decorativos y constructivos de piedra caliza y morteros de estuco, acordaron colaborar para buscar soluciones conjuntas desde diversas perspectivas. Así surgió el proyecto.

Tanto para arqueólogos como para restauradores se ha hecho evidente que muchos de los procesos de deterioro de la piedra caliza y sus

[1] Desde el comienzo, el proyecto contó con la colaboración de la restauradora Claudia A. García Solís, primero bajo contrato y después como personal de base del Centro INAH Yucatán. García Solís participó tanto en el trabajo de campo como en las fases de investigación documental y analítica.s

derivados (pisos, aplanados, relieves en estuco, pintura mural) se activan y aceleran de manera exponencial después de los trabajos de excavación, liberación y consolidación de las estructuras arquitectónicas. El deterioro se presenta en una serie de pérdidas y en el menoscabo material de la piedra, pues el material pétreo busca estabilizarse con el medio ambiente circundante por los cambios en las condiciones de humedad, temperatura, exposición a lluvia y sol, etcétera. Las condiciones específicas del clima tropical, aunadas a las características de los tipos de piedra caliza prevalecientes en la región, favorecen procesos fisicoquímicos de disolución, absorción de humedad y cristalización de sales. La formación de colonias de microorganismos y el desarrollo de especies vegetales activan procesos bioquímicos en los sustratos pétreos en los que se arraigan, además de afectar la estructura física de los materiales. Todos estos procesos de deterioro destruyen la piedra y las evidencias materiales.

Ante un panorama complejo en materia de preservación, se propuso que el proyecto fuera de intervención e investigación. Se consideró necesario someter a prueba procedimientos de conservación y restauración, con el fin de evaluar su efectividad a corto y mediano plazo. Se buscó integrar una metodología para la intervención de elementos de piedra caliza a partir de lineamientos y criterios de trabajo e investigación específicos, pues hasta ese momento no existía en México una especialización en conservación para bienes culturales de material pétreo. Se pretendía valorar el empleo de cal, morteros y productos inorgánicos, en contraste con el uso de polímeros sintéticos y productos orgánicos, ampliamente utilizados en décadas anteriores por algunos colegas.

Es importante señalar que las composiciones ornamentales de fachadas y frisos en los estilos arquitectónicos de esta región, conocidos como Río Bec, Chenes y Petén, casi en su totalidad están conformadas por elementos escultóricos integrados en forma de mosaicos. La degradación material de algunos de los componentes representa la deformación del diseño integral y la pérdida de datos y evidencias, como capas pictóricas o de color, detalles escultóricos, huellas de manufactura, apariencia general, juegos de luces y sombras producidas por la diferencia de planos, etcétera. Esta pérdida de información ha preocupado a académicos de distintas disciplinas, porque se traduce en una pérdida de los valores documentales y plásticos, y en el detrimento de la experiencia estética de los visitantes.

INTERVENCIONES DE RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN REALIZADAS

A lo largo de seis años, hubo varias temporadas de trabajo en la zona arqueológica de Chicanná. Se intervinieron la fachada teratomorfa de la Estructura II, su pintura mural, la cubierta, los pisos y los aplanados de las crujías interiores; la fachada principal de la Estructura VI, y una parte de la fachada sur de la estructura XX. Se intervino la fachada de la Estructura I y se determinó necesario un trabajo más profundo, que fue posible gracias a la colaboración con el Proyecto Arqueológico Becán, a cargo de la arqueóloga Luz Evelia Campaña Valenzuela, entre 1999 y 2001. En la región Río Bec, en las zonas arqueológicas de Xpuhil, Becán y Hormiguero, se registraron deterioros de elementos asociados a la arquitectura y se elaboraron diagnósticos de estado de conservación que fueron la base para diseñar planes de intervención.

El aspecto más importante fue la incorporación de la aplicación de morteros de recubrimiento a la metodología de intervención como parte de los tratamientos básicos de estabilización de los elementos pétreos, pensados para cumplir dos funciones: protección y sacrificio.[2] En el primer caso, el recubrimiento es un material de resguardo ante los agentes externos de deterioro, como los cambios de temperatura causados por las variantes en los periodos de insolación, la erosión eólica o mecánica por escurrimientos de agua, la acción de microorganismos y microvegetación, entre otras condiciones atmosféricas. En el segundo caso, se busca que las sales cristalicen o se precipiten en este estrato receptor y no en la piedra original.

Algunas de las características que se propusieron para usar la capa de sacrificio fueron:

- Menor dureza que el material original.
- Mayor porosidad que el material original, pero con una superficie suficientemente homogénea y depurada para cumplir su función de protección.

[2] Desde el comienzo del proyecto, se entiende por recubrimiento de protección el revestimiento aplicado a la superficie de la piedra para aislarla parcialmente de los agentes de deterioro externos, como erosión eólica e hídrica, desarrollo de microorganismos, etcétera. El recubrimiento de sacrificio es el revestimiento aplicado sobre la superficie de la piedra para fungir como el frente último de secado de las sales que migran desde el interior del material pétreo; es una capa prescindible y de fácil sustitución que protege el material original.

Figura 1. Aspecto general de un panel con cascadas de mascarones, Estructura VI de Chicanná, Campeche. En la parte inferior se observan pruebas de recubrimientos aplicados en 1996. Fotografía: Proyecto "Conservación de piedra en el sur de Campeche" (acervo histórico, fototeca de la CNCPC-INAH*). Secretaría de Cultura-*INAH*-Méx. Reproducción autorizada por el* INAH*.*

- Compatible con el material del elemento a proteger.
- Estable química y físicamente.
- Reversible y retratable.
- Legible y respetuosa históricamente; es decir, con una apariencia similar al material que busca proteger, sin pretender emular el aspecto que el aplanado o enlucido pudo tener en el pasado ni el acabado liso de la piedra al momento de su talla. Tanto el color como la textura deberían reproducir las características actuales del material que protegen y su entorno inmediato.

Hubo dos variantes de pruebas de recubrimientos:

- Lechadas de protección: lechadas de cal pigmentadas con una carga integrada, aplicadas con presión directamente sobre la superficie irregular de la piedra por medio de brochas o brochuelos, para obtener una superficie intrincada y rugosa.
- Aplanados de sacrificio: mortero de cal y cargas de diferente granulometría, aplicados con espátulas para lograr una superficie de un grosor entre 0.5 y 1.5 cm en las zonas de mayor irregularidad. Mientras el mortero aún estaba mordente, se aplicaban pigmentos suspendidos en agua de cal para obtener una apariencia cromática similar al entorno inmediato. Se hicieron pruebas en elementos de piedra tallados, como los mosaicos de paneles y fachadas, y en superficies más amplias, como las secciones de sillares en la base de muro, que requirieron sólo recubrimientos de protección.

A la par de las intervenciones y las pruebas, se llevaron a cabo acciones de mantenimiento en los edificios trabajados: se eliminó vegetación en las inmediaciones, se canalizaron adecuadamente las caídas de agua de lluvia, se completaron áreas de pisos y se cubrieron con pisos superpuestos[3] con la pendiente suficiente para drenar el agua, entre otras medidas preventivas. Tanto las pruebas como las intervenciones se registraron en fichas diseñadas para el proyecto, con la intención de sistematizar la información.

Se puede decir que el proyecto operó con un presupuesto bajo en términos generales, pero hubo estrategias de gestión que le dieron continuidad a lo largo de casi una década. Por un lado, fue posible que alumnos de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, la Escuela de Conservación y Restauración de Occidente y la Universidad Externado de Colombia hicieran su servicio social –algunos se involucraron de manera directa o indirecta en los temas de in-

[3] Esta superposición de pisos se consideró en su momento como un recubrimiento de sacrificio, aplicado para preservar los estratos originales, visto como un elemento reemplazable en un programa de mantenimiento.

vestigación–, y por el otro, se articuló con el Proyecto Arqueológico Becán, a cargo de la arqueóloga Campaña Valenzuela, quien mostró interés en la metodología de trabajo y con quien fue posible discutir, enriquecer y llegar a acuerdos para la intervención de elementos decorativos de las fachadas, primero en Chicanná y luego en Becán.[4] Una de las fortalezas del proyecto fue tratar varios sitios de una región de manera simultánea, cada uno con sus particularidades técnicas y contextos, que a la vez permitían explicar fenómenos generales y viceversa.[5]

INVESTIGACIÓN

Se desarrollaron cuatro líneas de investigación, que se reseñan a continuación.

Caracterización del deterioro de la piedra caliza en la región

Se derivó del trabajo de tesis de las restauradoras Claudia García Solís y Berenice Valencia Pulido (1997) sobre una tipificación de piedras calizas usadas en los edificios del sitio y sus respectivos patrones de deterioro. Dada su precisión, esta clasificación fue usada en el proyecto general para identificar el comportamiento de los tipos de piedra más comunes en la arquitectura de la región. En años posteriores, como iniciativa independiente, han continuado su trabajo de caracterización de deterioro para ampliar las propuestas de explicación y las alternativas de tratamiento (Straulino 2010).

Estabilización de sales y consolidación con bario (hidróxido y formiato)

En un comienzo, también como parte de los planteamientos del trabajo de tesis de García Solís y Valencia Pulido (1997), se propuso la aplicación de formiato de bario como material consolidante e inmovilizador

[4] Las restauradoras Claudia García S. (1999-2001), Judith Cárdenas (2000-2001), Cristina Ruiz (2003) y Yareli Jáidar Benavides (2003-2004) se incorporaron al Proyecto Arqueológico Becán y trabajaron ahí mismo y en Chicanná en distintas temporadas entre 1999 y 2004. Integraron algunas de las metodologías que habían empleado y generado en el "Proyecto de conservación e investigación de piedra caliza del Sur de Campeche", recibieron retroalimentación de sus experiencias y ampliaron la visión del problema, las expectativas de solución y la experiencia colectiva en torno al tema.

[5] El proyecto "Conservación-restauración del relieve de estuco del Friso de la Sub 1A de Balamkú" también se ejecutó de manera simultánea en el estado de Campeche entre 1994 y 2007.

de sales. Después se hicieron otras pruebas con el método de hidróxido de bario de Lewin, con variaciones en los tiempos y las formas de aplicación, en Chicanná y Becán, en secciones de elementos decorativos muy específicos.

Recubrimientos de sacrificio

Se probaron lechadas con carga y morteros para los recubrimientos, con variaciones en los materiales; por ejemplo, se usó cal apagada de piedra, cal química (de uso innovador en ese momento), diferentes proporciones y características de las cargas, formas de aplicación, extensión en la superficie, aditivos, y variables según texturas, entre otras.

Aditivos para la cal: uso de chucum

El chucum, extraído de la corteza conocida en la región como majagua, se adicionó a las primeras pruebas de recubrimientos de sacrificio. Reportó buenos resultados y se propuso probar otros materiales porque no siempre se puede obtener el chucum, por su distribución geográfica. Se experimentó con cuatro posibilidades: chucum (*Pithecellombium albi-*

Figura 2. Detalle del panel de la Estructura VI de Chicanná, Campeche. Se observa parte de un elemento escultórico cubierto con un mortero de sacrificio, a manera de prueba. En blanco, se advierten concentraciones salinas migradas desde el estrato pétreo. Esto verifica la efectividad del recubrimiento. Fotografía: Proyecto "Conservación de piedra en el sur de Campeche" (acervo histórico, fototeca de la CNCPC-INAH*). Secretaría de Cultura-*INAH*-Méx. Reproducción autorizada por el* INAH*.*

cans), ramón (*Brosimum alicastrum*), chacah o chacá *(Bursera simaruba)* y álamo. Esta línea se complementó con las investigaciones de tesis de las restauradoras María Cristina Ruiz Martin (2007) y Yareli Jáidar Benavides (2006) acerca de estos productos naturales como materiales de restauración, en específico como aditivos para morteros y fijativos, con la experiencia en el norte de Yucatán.

Condiciones medioambientales

Desde 1996 se consideró fundamental explicar los fenómenos de preservación y deterioro de acuerdo con condiciones específicas, es decir, buscar relaciones causales entre las variaciones de humedad relativa y temperatura, y los procesos de deterioro, en específico los mecanismos relacionados con la solubilización y cristalización de sales. Durante varias temporadas de trabajo se registraron las condiciones en diferentes puntos de los sitios. Las técnicas de medición fueron muy básicas. Quizás han caído en desuso ante la preferencia de tecnologías sofisticadas e innovadoras, pero siguen siendo eficientes y de bajo costo.

CONSIDERACIONES EN TORNO A LAS INTERVENCIONES

Nuestras consideraciones se han orientado en dos sentidos: una valoración del proyecto mismo y una evaluación de lo que hoy, veinte años después y con otras experiencias comparativas, podemos decir acerca de los tratamientos y las pruebas que fueron parte del proyecto, en particular acerca de los recubrimientos.

Evaluación del proyecto

Como una herramienta metodológica de evaluación del proyecto, partimos de un modelo ideal y consideramos que incluye diferentes estadios.

Intervención de restauración

Las intervenciones en Chicanná y Becán marcaron una diferencia en el estado de preservación de los elementos, en específico de los mosaicos de piedra. Las acciones emprendidas en los elementos decorativos y en su entorno inmediato mejoraron su legibilidad y apreciación, además de restablecer condiciones favorables para su preservación al usar elemen-

Figura 3. Modelo de evaluación de proyectos de intervención. Elaboración propia.

tos constructivos propios para su protección, como cornisas, enmarques, etcétera. Las intervenciones se relacionaron cada temporada. La metodología de intervención evolucionaba con las observaciones y esto permitió construir nuevas hipótesis para la siguiente temporada, así como dar lugar a un proceso progresivo de retroalimentación.

Formación de cuadros profesionales y personal auxiliar

Desde el principio se reconoció la imperante necesidad de formar equipos de trabajo, pues la conservación de elementos de piedra *in situ* es una empresa que requiere del trabajo colectivo de varias generaciones de restauradores. Un aspecto vital del proyecto fue integrar estudiantes y egresados de escuelas de restauración, aunque fuera una sola temporada. Esto obligó al equipo base a abrirse a críticas, cuestionamientos y retroalimentación, lo que fomentó la evolución de ideas y argumentos. Las aportaciones de los colaboradores fueron de gran valor. Este aprendizaje experimentado sirvió para atender problemas de conservación en otros sitios arqueológicos de la región.

En particular, los aspectos teórico-metodológicos fueron reconocidos como elementos de valor para quienes participaron en el proyecto, pues se formó personal auxiliar que apoyara en otras iniciativas. Aunque se logró por temporadas, la fluctuación del personal local formado no permitió tener continuidad. Aun así, la experiencia fue valiosa por la interacción con habitantes de la región.

Investigación de campo y laboratorio

La investigación de campo fue la que logró mayores avances. Las pruebas experimentales y su evaluación son hasta la fecha un corpus valioso de información para conocer el comportamiento de recubrimientos de sacrificio y protección en materiales pétreos calizos, y caracterizar los tipos de roca caliza y patrones de deterioro de la región. La relevancia de las preguntas que originaron esas pruebas sigue vigente y requiere un nuevo acercamiento para su evaluación y sistematización.

La documentación de las intervenciones y pruebas necesita ser actualizada en una base de datos práctica y accesible. Por su parte, las fichas de registro de estado de conservación, intervenciones y pruebas experimentales han servido como modelo para otros sitios y regiones. Los análisis de laboratorio son los que mayor aplazamiento han tenido. Hace falta hacer estudios con técnicas analíticas contemporáneas para complementar las identificaciones de hace casi dos décadas y profundizar en la caracterización de materiales usados como productos de conservación y de degradación.

Políticas, normas y lineamientos

En las primeras fases del proyecto se establecieron algunos lineamientos básicos que se consideró importante mantener a lo largo del proyecto, en particular para la aplicación de pruebas en consideración de la fluctuación de los integrantes de los equipos, con el fin de mantener una coherencia con los objetivos y consistencia a lo largo del tiempo. Entre ellos, destacan:

- Realización de pruebas localizadas, tanto de materiales como de procedimientos y/o tratamientos con un periodo de monitoreo y seguimiento antes de optar por su uso más extensivo.

- Preferencia por acciones integrales preventivas antes de llevar a cabo las intervenciones sobre los elementos escultóricos asociados a la arquitectura.
- Registro y documentación de observaciones hechas en campo, de efectos de deterioro, procesos y pruebas (fichas, informes, dibujos, fotos, etcétera).
- Uso de materiales compatibles en sus propiedades fisicoquímicas.
- Mínima intervención.
- Retratabilidad.
- Legibilidad.

Crear lineamientos de intervención e investigación para orientar y regular intervenciones en material calizo en zonas arqueológicas del sureste de México era una de las metas más valiosas. Esta fase del trabajo no se concretó debido a que los miembros del equipo nuclear se dispersaron en otros proyectos institucionales y profesionales. Se considera que ahora es un momento propicio para retomar esa tarea porque la experiencia adquirida a lo largo del tiempo y con el trabajo en otros sitios proporciona una visión más amplia y enriquece el análisis que hoy se pueda hacer. Además, los resultados brindan la posibilidad de ser usados con ciertas directrices.

EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS: LOS RECUBRIMIENTOS

¿Con qué criterios se puede evaluar la eficacia de los recubrimientos? En una primera aproximación, podría considerarse que la permanencia es el criterio más relevante. Se considera positiva si el material que se quiso proteger permanece en buenas condiciones; de lo contrario, la permanencia del recubrimiento es irrelevante, incluso negativa. En las capas añadidas como elementos de sacrificio, la duración tampoco es necesariamente positiva.

Otra característica importante es la apariencia formal y testimonial, que permita su legibilidad. El aspecto formal se refiere a las características del recubrimiento –color, textura, pátina– y cómo se aprecia la prueba en relación con el entorno años después de su aplicación,

pues es común que la integración se transforme. La interacción con los agentes ambientales produce cambios cromáticos en los pigmentos, como el oscurecimiento por el desarrollo de microorganismos, etcétera, lo que en la disciplina de la conservación denominamos "pátina". Se puede hablar de una apariencia adecuada u óptima si la evolución del mortero empleado es similar a la del entorno inmediato, de manera que se pierda a simple vista para ojos no conocedores.

Figura 4. Panel 1 de la Estructura I de Chicanná, Campeche. Aspecto general después de la intervención integral de 2000 y 2001. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

Figura 5. Panel 1 de la Estructura I Chicanná. Siete años después de la intervención, se observa que el elemento se ha mantenido estable. Fotografía: María Cristina Ruiz Martín, 2008. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

La apariencia también toca el aspecto testimonial, referido a lo que el recubrimiento revela como información de la fábrica, es decir, la técnica de manufactura, los materiales, el color original, las pérdidas, etcétera. En este sentido, el recubrimiento debe apegarse a criterios claros al momento de su aplicación, respetar la estratigrafía y el soporte. Debe haber claridad en el objetivo: "reproducir" la piedra o un aplanado. Se debe evitar a toda costa combinar apariencias que sólo distorsionan los datos y confunden, como ya sucede en algunos sitios. El recubrimiento sobre piedra también debe tener límites claros con respecto a otros materiales, como morteros de juntas, de aplanados, de relieves, etcétera, para evitar allanar las superficies, en menoscabo de los aspectos testimonial y formal.

Las pruebas aplicadas para evaluar métodos de consolidación requieren otro tipo de determinación. Es necesario hacer una evaluación *in situ* e instrumental en muestras obtenidas de los elementos a los que se aplicó alguno de los métodos de consolidación con bario en Chicanná y en Becán. Por diversas razones, como su toxicidad, en los últimos

años se ha descartado el uso de hidróxido de bario como consolidante de piedra; no obstante, es necesario evaluar su efectividad.

CONCLUSIONES

Los logros y las deficiencias del proyecto –evaluados con una distancia temporal– permiten reflexionar sobre la validez y pertinencia de las acciones llevadas a cabo, las cuales, en términos generales, fueron positivas para la preservación material y formal de los elementos intervenidos. Es factible verificar que los elementos escultóricos en piedra de las áreas donde se aplicaron pruebas o tratamientos curativos se preservan hoy en buen estado, a diferencia de zonas aledañas no intervenidas.

Un acierto del proyecto fue hacer avances paulatinos. Se aplicaron procesos en zonas muy delimitadas, de forma discreta, casi imperceptible para ojos no especializados, de manera que las intervenciones no fueran invasivas. Esto contrasta con otro tipo de pruebas aplicadas por equipos de arqueología (en específico, en la fachada teratomorfa de la Estructura II de Chicanná), con procesos que buscaban emular los principios propuestos por el "Proyecto de Investigación…", y que resultaron en una intervención invasiva que deformó rasgos escultóricos, como consecuencia de no definir sus objetivos y aplicar procesos sin haber entendido las razones que justificaban cada etapa. Esto nos obliga a reflexionar acerca de la necesidad de insistir en hacer evaluaciones previas por grupos colegiados, que den legitimidad a una intervención antes de emprender acciones sobre el patrimonio arqueológico.

El desarrollo colectivo de los participantes, dedicar tiempo, recursos y atención a la formación de cuadros especializados como prioridad, ha redituado en la conjunción de restauradores especialistas en los problemas regionales, quienes han desarrollado oportunidades de divulgación y enseñanza, en particular el Curso Internacional de Conservación de Piedra, organizado por el Centro Internacional para el Estudio de la Conservación y Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM) y la CNCPC. Las fases prácticas de las ediciones 2016 y 2018 tuvieron lugar en la zona arqueológica de Chicanná, Campeche.

Ahora es necesario dedicar tiempo a la evaluación sistemática y la recapitulación de la información generada por el proyecto para exponer lo que sea de utilidad para otros especialistas. Será indispensable reto-

mar el análisis y discutir los lineamientos para los tratamientos de conservación de piedra caliza en el sur de la península de Yucatán, sobre todo la que constituye elementos escultóricos y arquitectónicos, a los que asociamos valores culturales, plásticos, documentales, informativos, históricos, etcétera.

A la luz de posibles cambios que puedan suceder en la región con el desarrollo de megaproyectos, como el Tren Maya, es importante retomar a la brevedad el diseño de metodologías de intervención y la producción de lineamientos para guiar el trabajo de preservación de material pétreo calizo. Se espera que la afluencia de visitantes se incremente en la región en los próximos años, por lo que es urgente emprender acciones para minimizar el impacto sobre los monumentos arqueológicos. De ahí el valor de normar medidas preventivas y articular líneas de acción con las áreas de arqueología y operación de los sitios arqueológicos.

Al paso de los años, resulta claro que sólo las acciones preventivas sobre el contexto inmediato complementan la intervención puntual y que el mantenimiento de las estructuras arqueológicas es fundamental para su preservación. No hay intervención aislada que sea una solución única a los problemas de deterioro. Nuestras acciones deben ser precisas, reflexionadas e integrales, y debemos hacer uso creativo de los procesos verificando siempre su efectividad, validez y pertinencia.

BIBLIOGRAFÍA

Campaña Valenzuela, Luz Evelia. 2005. "Contribuciones a la historia de Becán". *Arqueología Mexicana*, núm. 75: 48-53.

García Solís, Claudia. 2001. "Restauración en Becán y Chicanná. Informe de las actividades realizadas de septiembre de 2000 a marzo de 2001. Proyecto Arqueológico Becán, Campeche". México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

García Solís, Claudia y Paola Lozano Vega. 2000. "Restauración en Becán y Chicanná. Informe de las actividades realizadas de noviembre de 1999 a febrero de 2000. Proyecto Arqueológico Becán, Campeche". México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

García Solís, Claudia y Berenice Valencia Pulido. 1996. "Proyecto Chicanná, Campeche. Informe de trabajo, temporada julio 1996". México: Escuela Nacional de Conservación Restauración y Museografía.

___ . 1997. "El deterioro de piedra en la zona arqueológica de Chicanná, Campeche y una propuesta para su conservación". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Conservación Restauración y Museografía-Instituto Nacional de Antropología e Historia.

García Vierna, Valeria Amparo. 2001. "Proyecto de investigación del deterioro y alternativas de conservación de la piedra caliza en el sur de Campeche". *Diario de Campo*, núm. 34: 35-36. https://mediateca.inah.gob.mx/repositorio/islandora/object/articulo:18428 (consultado el 30 de septiembre del 2019).

Jáidar Benavides, Yareli. 2006. "Los extractos vegetales usados como aditivos en los morteros de cal con fines de conservación". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Conservación Restauración y Museografía-Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Jáidar Benavides, Yareli y Cristina Ruiz Martín. 2004. "Restauración en Becán. Informe de las actividades realizadas de noviembre de 2003 a abril de 2004. Proyecto Arqueológico Becán, Campeche". México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Ledezma Díaz, María de la Gracia. 1992. "Otra variante sobre el uso de las sales de bario en la consolidación de rocas calizas y sus derivados". Manuscrito.

Medina-González, Isabel, María del Carmen Castro Barrera, Valeria García Vierna, María Eugenia Marín Benito y Patricia Meehan Hermanson. 2009. "Una primera aproximación a la normativa de conservación del patrimonio cultural de México". En *La conservación-restauración en el* INAH. *El debate teórico*, Renata Schneider (coord.), 137-152. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Ruiz Martin, Cristina. 2007. "El uso del pixoy como fijativo de capas pictóricas pulverulentas al seco en pintura mural prehispánica: el caso de la Estructura 1 de Ek'Balam, Yucatán". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Conservación Restauración y Museografía-Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Straulino Mainou, Luisa. 2010. "Fluoruro de sodio ¿una alternativa para la conservación de piedra caliza disgregada a través de la re-mineralización? El caso de la cornisa del edificio 5N2 del Grupo A de Río Bec, Campeche". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Conservación Restauración y Museografía-Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Una réplica de la Escalera Jeroglífica del Palacio de Palenque como alternativa para su conservación

Luz de Lourdes Herbert Pesquera[*]
Martha Cuevas García[**]
Claudia Zehrt[***]
Ana Somohano Eres[***]

Resumen

Se expone la propuesta de colocar una réplica sobre tres escalones de la Escalera Jeroglífica del Palacio de Palenque como medida para evitar la destrucción de sus relieves. Alfred Maudslay, explorador inglés, visitó Palenque en 1891 y documentó dicho texto a partir de la elaboración de moldes y reproducciones en yeso. Gracias a esto, ha sido posible rescatar información del texto jeroglífico, hoy perdida. En fechas recientes, los curadores del Museo Británico, con el patrocinio de Google Arts & Culture, han digitalizado el archivo Maudslay, lo que facilita no sólo la consulta de los materiales, sino la donación de una réplica de la reproducción en yeso de Maudslay.

Palabras clave: arqueología maya, Alfred Maudslay, Palenque, Escalera Jeroglífica, réplicas

Abstract

This work explores the proposal of covering the three steps of the Hieroglyphic Stairway at the Palace of Palenque with a contemporary

[*] Dirección de Patrimonio Mundial, INAH
[**] Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural, INAH
[***] Museo Británico, Sección Américas

replica, in order to prevent the continued destruction of the carved reliefs of the monument. Alfred Maudslay, an English explorer, visited Palenque in 1891 and documented the three steps with the creation of plaster casts of monuments. Thanks to this, information from the hieroglyphic inscription of the stairway, long lost amongst others, has been recovered. Recently, curators at the British Museum, with funding from Google Arts & Culture, have digitalized the Maudslay Collection (photographic materials, documents and plaster casts), making it possible not only to consult the digitized materials, but also to create and donate a replica based on Maudslay's plaster cast.

Keywords: Maya archaeology, Alfred Maudslay, Palenque, Hieroglyphic Stairway, replicas

INTRODUCCIÓN

Las labores de exploración en la zona arqueológica de Palenque se han llevado a cabo desde 1923 y hasta la actualidad. Cuando se descubre que monumentos escultóricos de piedra y estuco, o fragmentos, se han desplazado de su lugar original, ya sea por el derrumbe de los muros de los edificios en los que se encontraban o por remociones humanas tanto antiguas como recientes, se ha tomado la medida de trasladarlos a almacenes de bienes culturales o museos. Puesto que no se tiene la posibilidad de conservarlos *in situ* porque no hay datos precisos de su procedencia o el colapso del inmueble impide su reintegración, los monumentos se trasladan y resguardan en los almacenes o se exhiben en las salas de los museos, como en el caso del Tablero del Palacio de Palenque. En ocasiones, a pesar de conocer con exactitud los contextos de procedencia de las esculturas, se considera que la remoción es una mejor opción al valorar el riesgo de vandalismo o robo.

En esta contribución se explora la colocación de la réplica de una reproducción en yeso de la Escalera Jeroglífica del Palacio de Palenque. Este caso, a diferencia de otros ejecutados sin supervisión, se ha sometido a discusión en el Consejo de Conservación del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) y es el punto de partida para promover lineamientos en el uso de réplicas tanto en Palenque como en otros

sitios. Consideramos que esta acción es un recurso para conservar un monumento y evitar su sustracción de su contexto original.

ANTECEDENTES

En el área maya, la zona arqueológica de Palenque cuenta con un enorme corpus de monumentos esculpidos en piedra: se han catalogado recientemente 202 ejemplares completos o semicompletos –más de 70% conservado– y fragmentos (Cuevas *et al.*, en prensa). También destaca que conserva 32% de los relieves de piedra *in situ*, en contraste con sitios como Toniná, que tiene más de cuatrocientos monumentos y sólo uno se conserva *in situ*. Esta situación se deriva del tipo de formatos escultóricos empleados en cada ciudad y del hecho de que Palenque conserva un mayor número de edificios techados que contienen relieves, como el Templo de las Inscripciones.

En la zona arqueológica de Palenque hay cinco réplicas que sustituyen esculturas originales. A finales del siglo XIX, el Tablero de la Cruz, conformado por tres lápidas con relieves que exhiben imágenes y escritura jeroglífica, fue desmantelado porque se intentó vender en el extranjero la lápida central. Debido a su peso y dimensiones, así como a la intervención del Gobierno mexicano, la pieza llegó apenas a orillas del arroyo Otulúm (Stephens 1969: 345; Baudez 1993: 78). La lápida del lado este, que se encontraba desprendida y fragmentada desde la visita de John Stephens en 1840, fue llevada a Estados Unidos en 1842 y devuelta a México en 1908. En 1909, Leopoldo Batres y Justo Sierra se encargaron de trasladar a la Ciudad de México las dos lápidas que permanecían en Palenque para reunir las tres y exhibirlas en el Museo Nacional de Antropología (Stephens 1969; Blom 1982: 73; Rau 1880: 135; Maudslay 1889-1902: 29). En vista de la carencia del tablero original en la zona arqueológica, en 1993 su entonces director Juan Antonio Ferrer gestionó la colocación de una réplica en el Templo de la Cruz, que se conserva hasta la actualidad.

Por otra parte, la Alfarda Este del Templo XXI fue localizada por los arqueólogos Alberto Ruz y César Sáenz en 1954. Aunque se encontró completa, estaba fracturada en dos secciones y con el relieve muy erosionado (García 2007: 331-332, fig. 14). En 2003, el arqueólogo Arnoldo González Cruz colocó una réplica con la intención de proveer

información al visitante sobre el monumento, mientras la escultura original se resguarda en el museo de sitio de Palenque.

Otro ejemplo de uso de una reproducción es el Tablero del Templo XVII, descubierto en dos momentos. Durante las excavaciones de 1993 se localizaron las lápidas izquierda y central entre los escombros de los muros desplomados, y en 2002 se identificó parte de la lápida derecha en un muro del Templo XXI, donde los fragmentos se utilizaron como material constructivo. Ambos proyectos fueron dirigidos por el arqueólogo Arnoldo González Cruz (Fernández 1996: 68; González 2002), quien elaboró la réplica del tablero en 2001 con la intención de sustituir el original en el museo porque era común incluirlo en exposiciones itinerantes. Más adelante, la réplica de las dos lápidas localizadas hasta ese momento se trasladó al Templo XVII, en donde fue necesario reconstruir el muro posterior del santuario para colocarla. En la actualidad, el monumento original se exhibe completo en el museo de sitio de Palenque.

Los últimos dos casos de reproducciones que sustituyen esculturas originales en Palenque son el trono y el relieve de estuco de la pilastra central del Templo XIX, dos de los monumentos más sobresalientes del sitio. El relieve de estuco de la pilastra fue descubierto en 1998, y el trono, un año después, durante las excavaciones dirigidas por Merle Greene Robertson y Alfonso Morales (Morales *et al.* 2017: 49, 50, 74). Al concluir la exploración del Templo XIX, el director del sitio y los responsables de la excavación decidieron trasladar los relieves del trono y la pilastra central al museo de sitio para protegerlos de posibles daños por factores naturales o humanos, y en su lugar se colocaron reproducciones. La manufactura de las cinco copias que hemos mencionado es diversa. El Tablero del Templo de la Cruz es de acrílico; el Tablero del Templo XVII, la Alfarda Este del Templo XXI y los relieves del trono y de la pilastra del Templo XIX son reproducciones de mortero (cemento, cal, arena).

En síntesis, de los 202 monumentos catalogados en la zona arqueológica de Palenque, 65 se conservan *in situ*, y 137, en museos y bodegas. Se han colocado cinco réplicas con justificaciones apropiadas para reemplazar los originales. La discusión es que no ha existido una normatividad que encause decisiones en el uso de estos recursos ni en cuanto a la manufactura de las reproducciones, lo que trae como consecuencia no sólo la posibilidad de deterioro de los materiales elegidos, sino también la falta de fidelidad de las obras que recrean las réplicas.

EL CASO DE LA ESCALERA JEROGLÍFICA

Investigadores y restauradores elaboramos el registro de los monumentos escultóricos en piedra de Palenque, valorados en el área maya como uno de los acervos de mayor calidad artística y gran contenido histórico por los abundantes textos jeroglíficos e iconografía que contienen. La búsqueda de información en torno a esos monumentos nos llevó a establecer contacto con los curadores del Museo Británico, donde se resguarda el archivo del arqueólogo inglés Alfred Maudslay. Este personaje fue diplomático en varios países del Caribe y el Pacífico. En 1881 dejó su carrera para dedicarse a la exploración de los sitios arqueológicos del área maya. Llegó a Palenque en 1891, durante su séptimo viaje a Centroamérica, y tuvo la posibilidad de aplicar su experiencia de expediciones previas, en las que había visitado numerosos sitios arqueológicos mayas, entre los que destacan Quriguá, Copán, Tikal, Yaxchilán, Iximché, Ixkun y Chichén Itzá (Graham 2002).

Maudslay estaba obsesionado con la documentación del arte y la escritura mayas. Consideraba que sólo con un extenso registro, a salvo de las inclemencias del tiempo, algún día podrían descifrarse. A lo largo de sus viajes, este precursor de la arqueología maya llevó a cabo una extensa labor de documentación de los sitios y sus monumentos, que se concretó en extraordinarias fotografías y réplicas de yeso de algunas esculturas, sin olvidar la sustracción de monumentos originales, como el caso de los dinteles 24 y 25 de Yaxchilán (véase la figura 1).

Todas las fotografías, los moldes y las piezas arqueológicas se enviaron a Londres y pasaron a formar parte de la colección del Museo de Kensington Sur, hoy Museo Victoria and Albert, donde se crearon réplicas de yeso a partir de los moldes. Una gran parte de las fotografías y los dibujos de Annie Hunter y Edwin Lambert se publicaron en los volúmenes I a IV de la *Biologia Centrali-Americana* (Maudslay 1889-1902), una gran enciclopedia de historia natural de 215 tomos, editada por Frederick DuCane Godman y Osbert Salvin.

Entre 1893 y 1923, la extensa Colección Maudslay fue transferida al Museo Británico, donde se resguarda hasta la actualidad. Está compuesta por quinientas réplicas de yeso, algunos de los moldes en yeso y en papel utilizados para elaborar estas réplicas, más de ochocientos negativos fotográficos en placa de vidrio, y un archivo documental con las

Figura 1. La fotografía de la Casa C de Palenque con la Escalera Jeroglífica, tomada por Maudslay en 1891, es un ejemplo de la gran calidad de los registros, que han sido exitosos para difundir la arquitectura y el arte de los sitios que visitó. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH. © The Trustees of the British Museum, CC BY-NC-SA 4.0.

notas y los diarios de campo del explorador inglés, así como los dibujos y documentos que utilizó para sus publicaciones.

A finales de 2016, inspirado en la labor del explorador victoriano que empleó la tecnología punta de su época para documentar los restos arqueológicos, el Museo Británico comenzó un proyecto de digitalización y difusión de la Colección Maudslay. Se buscó una colaboración con Google Arts & Culture, que proporcionó los medios económicos y la tecnología para esta tarea. A lo largo de tres años, los miembros del British Museum Maya Project digitalizaron la colección y aprovecharon para ejecutar labores de conservación y contextualización de la colección.

Las réplicas y los moldes en yeso se digitalizaron en 3D con un escáner portátil de luz estructurada Artec Eva, que se puede acercar a los objetos y evita moverlos, y tiene una resolución de hasta 0.5 mm, que captura también la textura. Aunque existen escáneres más potentes y con mayor resolución, la portabilidad fue la cualidad más valorada para el proyecto, pues algunas de las réplicas son muy grandes o frágiles. Debido a las condiciones de almacenamiento de las réplicas, el Artec Eva podía operar en la bodega, incluso con poco espacio entre los objetos, pues sólo necesita una distancia de entre 0.4 y 1 m para tomar datos (véase la figura 2).

Las placas fotográficas de vidrio y el archivo documental se escanearon en altísima resolución con un equipo de digitalización DT Atom, que permite acercar detalles de la imagen hasta cerca de 900%, para observar elementos que no son visibles a simple vista en las fotografías.

Los epigrafistas que participan en el proyecto de catalogación de los monumentos escultóricos de Palenque, Yuriy Polyukhovich y Ángel Sánchez Gamboa, conocedores del gran potencial de las fotografías y los moldes de Maudslay para el desciframiento epigráfico, se interesaron en el análisis del registro de la Escalera Jeroglífica, debido a que los relieves jeroglíficos han sufrido un gran deterioro, en comparación con lo que Maudslay registró. Los daños se deben a que los relieves están a la intemperie, sometidos a la erosión por agentes naturales, como la lluvia abundante. El Museo Británico nos permitió consultar las fotografías en alta resolución y los modelos en 3D que elaboraron. Los resultados fueron lecturas novedosas del texto y un nuevo dibujo de la inscripción jeroglífica de Polyukhovich, del que se rescata información que se consideraba perdida (Sánchez *et al.* 2020) (véanse las figuras 3 y 4).

Réplica del molde como alternativa de protección del monumento original

Durante las pláticas con los curadores del Museo Británico surgió el interés de contar con una réplica del molde de la Escalera Jeroglífica como

Figura 2. Las réplicas y los moldes elaborados por Maudslay se conservan en el Museo Británico, en donde fueron digitalizados con un escáner portátil que se adecuó al espacio y tamaño de los ejemplares. En la fotografía, Claudia Zehrt, 2018. © The Trustees of the British Museum CC BY-NC-SA 4.0.

Figura 3. El estado actual de la Escalera Jeroglífica presenta un gran deterioro del texto escrito. Los registros de Maudslay aportan información perdida. Fotografía: Jorge Pérez de Lara, 2019. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH.

Figura 4. Fotografía de Maudslay de la Escalera Jeroglífica, 1891. Se advierten detalles perdidos en la actualidad por el deterioro del monumento original. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH. © The Trustees of the British Museum, CC BY-NC-SA 4.0.

alternativa para proteger la escalera original. Por fortuna, los dos equipos coincidieron en la importancia de una reproducción para conservar el original y evitar que el proceso de erosión continuara dañando el monumento. El Museo gestionó con Google Arts & Culture la elaboración de la réplica, que fue donada al INAH a finales de 2019.

Se escanearon en 3D las doce secciones en las que Maudslay replicó la Escalera Jeroglífica y se ensamblaron para crear un modelo digital

completo. A partir de una técnica de ingeniería de sustracción, una fresadora CNC lo esculpió sobre piedra caliza. De este modo, la escalera se reprodujo en seis lajas, correspondientes a las huellas y contrahuellas de la escalera que contienen texto jeroglífico (véase la figura 5).

Desde el año 2000 se habían llevado a cabo acciones de conservación en la Escalera Jeroglífica tanto por el personal de restauración del Centro INAH Chiapas como el de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía (ENCRYM), que integraron aplanados de sacrificio después del fijado de escamas y resanes. Estas intervenciones de conservación fueron insuficientes para evitar el deterioro en la escalinata, debido en gran medida a la falta de mantenimiento permanente para reponer los aplanados de sacrificio, que por su delgadez se deslavaban con las primeras lluvias. Otro factor es la acumulación de agua en el fondo de los escalones por las irregularidades que presentan. En consecuencia, existe una tendencia a la disgregación del material pétreo y a la proliferación de microorganismos.

Los siguientes criterios básicos, adaptados de Medina-González (2005), justifican la colocación de una réplica de la Escalera Jeroglífica con fines de conservación. Por su exposición a la intemperie, el objetivo es cubrir (proteger) el elemento original con el fin de brindar mejores condiciones de

Figura 5. A partir del modelo 3D de la réplica de yeso de los escalones con inscripción, se elaboró una réplica en piedra caliza en 2019, que fue colocada en la Escalera Jeroglífica del Palacio de Palenque en 2023. © The Trustees of the British Museum, CC BY-NC-SA 4.0.

preservación para evitar su deterioro continuo. A lo largo de una década, los tratamientos de conservación directa han paliado su deterioro, pero no han logrado su estabilidad y no se han obtenido resultados aceptables. Las medidas preventivas de protección han sido insuficientes o no se han instrumentado; acciones como colocar una techumbre, por ejemplo, rompen la lectura y visibilidad del entorno. Otro criterio fue evitar que el original sea sustraído de su contexto.

La réplica se creó con métodos de reproducción indirectos (que siempre hay que favorecer) y no se afectó o dañó la Escalera Jeroglífica original. La valoración de la obra es un criterio fundamental para tomar la decisión de colocar la réplica. Conocer y comprender la significación de esta escultura nos llevó a replicarla. Estamos seguras de que el elemento original quedará en la condición adecuada para su conservación a corto y largo plazo, con mantenimiento y monitoreo permanentes. Cabe mencionar que la protección del original y la colocación de la réplica son procesos reversibles.

Debemos tener presente que la escalinata es una parte indisociable de un conjunto arquitectónico y que el contenido del texto jeroglífico se relaciona con el resto de los relieves del mismo edificio. La escalera de tres peldaños se ubica en la Casa C del Palacio y permite el acceso desde el Patio Noreste. Presenta inscripciones jeroglíficas, tanto en la huella como el peralte, que narran episodios trascendentales de la historia de Palenque, como la fecha de nacimiento del gobernante K'inich Janahb Pakal y su entronización a muy temprana edad, en 615 d. C. Este último suceso se conecta con la derrota sufrida a manos del reino de Kaanul –en esos momentos, el linaje estaba asentado en Dzibanché, Quintana Roo–, en abril de 599 d. C. Se menciona que Lakamha', nombre de la ciudad de Palenque, fue destruida por el gobernante Hut Chan, del linaje de Kanuul. Como consecuencia, las imágenes o efigies de sus tres dioses patronos, GI, GIII y Unen K'awiil, fueron arrojadas (Polyukhovich *et al.*, en prensa).

En términos históricos, la siguiente parte del texto es la más importante. Relata la apertura o exposición de los restos de Nuun Hix Lakam Chahk, gobernante de Santa Elena, en presencia de Itzam Kokaaj Bahlam, del reino de Pa'chan, en Yaxchilán o el Zotz'. Se refiere que el primero fue enterrado por Nuun Ujol Chahk, su hijo. La narración tiene su clímax cuando refiere que este último fue capturado en agosto de 659 d. C., junto con varios personajes del sitio de Santa Elena, repre-

Figura 6. Fotografía de Maudslay, 1891. Relieves que acompañan a la Escalera Jeroglífica en la Casa C del Palacio de Palenque, Patio Noreste. Secretaría de Cultura-INAH-Méx. Reproducción autorizada por el INAH. © The Trustees of the British Museum, CC BY-NC-SA 4.0.

sentados como cautivos de guerra y mencionados en los paneles que flanquean la Escalera Jeroglífica (Polyukhovich *et al.*, en prensa) (véase la figura 6).

PROCEDIMIENTO PARA COLOCAR LA RÉPLICA

Para hacer viable la propuesta de colocar la réplica para proteger los tres escalones con el relieve jeroglífico, es necesario seguir una serie de pasos. Es conveniente contar con el levantamiento 3D para elaborar un molde de la reproducción, en caso de que se requiera. El elemento en cuestión debe caracterizarse con un análisis petrográfico para identificar el tipo de piedra caliza y sus componentes; asimismo, se necesita de un registro minucioso de la escalera con equipo 3D, fotográfico y videográfico; un estudio del sistema constructivo; un levantamiento con el colorímetro, y exámenes globales, como el uso de luces especiales, por ejemplo.

Después se elaborará un diagnóstico de la condición física del bien que revele las causas del deterioro y los factores condicionantes, para

tener la posibilidad de evaluar el estado de conservación. Se asume que en un futuro debe ser factible acceder a la pieza original. Se debe evaluar la historia de conservación, es decir, de todas las medidas que se tomaron para lograr una conservación preventiva, y analizar las intervenciones anteriores para identificar las que han favorecido o afectado a la escultura, además de estimar el desarrollo de las alteraciones a lo largo del tiempo, con estudios comparativos.

Antes de colocar la réplica, es indispensable limpiar el monumento y dejarlo en condiciones de conservación óptimas que garanticen su permanencia. Es ideal dejar la escalinata libre de juntas de cemento. Por otra parte, los escurrimientos del edificio hacia la escalera deberán ser controlados (sin importar que se cuente con una réplica), ya sea con canaletas que desvíen la caída de agua o con las medidas que los arqueólogos, arquitectos restauradores o restauradores consideren necesarias.

Para proteger el original y colocar la réplica, se hace un encofrado. Se recomienda utilizar materiales afines al original, como piedra caliza o cal apagada, con texturas y porosidad que permitan el paso de la humedad. Se tomó la decisión de que la réplica fuera de piedra caliza, en lugar de resinas sintéticas, pues se sabe que el clima tropical húmedo afecta la resistencia y el color de éstas. La réplica presenta un achurado que permite distinguirla de la pieza original, además de que sirve para fijar aplanados de sacrificio, pues estará sujeta a acciones de mantenimiento. Es importante que cada una de las lajas de caliza de la reproducción lleve grabada la leyenda "Reproducción autorizada por el INAH", así como la fecha y que fue donada por el Museo Británico. También debe evaluarse el peso de la réplica para no dañar los escalones que la soportarán.

CONSIDERACIONES FINALES

Además de la colocación de la réplica, la conservación de la Escalera Jeroglífica podría tener otra solución, por ejemplo, con un techo que evite la caída del agua de lluvia sobre el monumento. El principal inconveniente de esta medida es que modificaría el aspecto de todo el conjunto arquitectónico. Otra posibilidad –con muchos más inconvenientes– es desmantelar la escalera y trasladarla al museo de sitio, lo que implica la mutilación de un elemento estructural del edificio.

En nuestra opinión, la mejor alternativa son las capas de recubrimiento. Hay que recordar que durante la época prehispánica todos los relieves de piedra estaban cubiertos por una capa de estuco con pintura, que seguramente los protegía de deterioros. Una vez abandonada la ciudad, hacia 850 d. C., la selva cubrió las estructuras y muchas de las esculturas quedaron protegidas en cierta medida por el derrumbe de los edificios o por la vegetación. Cuando llegaron los primeros exploradores y saqueadores al sitio, sobre todo en los siglos XVIII y XIX, y retiraron los derrumbes para apreciar los edificios, los monumentos quedaron expuestos al deterioro por factores naturales o humanos (Cabello 1992).

Desde 1923, cuando el Gobierno de México se hizo cargo de la exploración de Palenque, y hasta la actualidad, no ha habido labores continuas de protección y conservación de los relieves escultóricos de piedra que se conservan *in situ*. Es necesario reflexionar en torno a su pérdida para detener ese proceso lamentable. El uso de la réplica de la Escalera Jeroglífica como vía para su conservación es un caso único. Para el resto de los numerosos relieves *in situ* de Palenque, quizá se requiera la aplicación de recubrimientos de protección, colocados de manera permanente y no eventual.

La inscripción de Palenque en la Lista del Patrimonio Mundial tomó en consideración los destacados atributos de la ciudad prehispánica, como las características excepcionales de su arquitectura y la escultura en piedra y estuco que ostentan los edificios. Se trata de un sitio singular en el área maya, en el que no proliferan estelas y altares exentos colocados en plazas, como en la mayoría de los sitios, sino numerosos relieves adosados a los muros o tallados en bloques constructivos (Robertson 1985).

Entre los criterios para el uso de réplicas se deben tomar en cuenta las características particulares de cada lugar. En el caso de Palenque, sobresale su inclusión en la Lista de Patrimonio Mundial, pues la autenticidad fue una de las cualidades principales para su nominación, que exige una revisión de lo que implica para establecer políticas tanto de investigación como de conservación. Se requieren registros precisos del patrimonio a conservar para establecer programas de trabajo que eviten la improvisación. Debemos ponderar la necesidad de mantener la integridad del sitio y no alterar sus atributos originales. Esto se relaciona con evitar la destrucción y remoción de sus relieves (véase el anexo sobre la normatividad internacional relevante para este caso).

En conclusión, es evidente que debemos velar por la conservación no sólo de la escalera, sino de todo el conjunto del que forma parte. En el caso particular de este monumento, se propone el uso de una réplica que cubra el monumento original para conservarlo y evitar que avance su destrucción por la exposición a la intemperie. Esta alternativa respeta la integridad del sitio, al no retirar ningún elemento del conjunto, y evita el uso de cubiertas. Así se preserva el Valor Universal Excepcional y se cuida la imagen del conjunto al destacar la disposición de las estructuras arquitectónicas, una de las características que hacen de Palenque un ejemplo sobresaliente en el área maya.

En la "Carta de Venecia" (1964) se indica que la conservación debe salvaguardar los materiales originales, incluso aquellos superpuestos en periodos posteriores, y se prohíbe la reconstrucción más allá de la anastilosis. En este caso, la propuesta de integrar una réplica como elemento protector de un elemento que se ha visto gravemente afectado por el intemperismo evita el traslado del elemento fuera de su sitio o su reenterramiento, y se conserva la imagen del conjunto, así como la materialidad y la autenticidad del bien.

En el caso del uso de réplicas, destacan la elección de los materiales y la elaboración de una copia fiel al original.[1] La réplica hecha en piedra de la Escalera Jeroglífica evita alteraciones del material. La reproducción se basó en el modelo 3D que resultó de escanear la reproducción de Maudslay del relieve jeroglífico de la escalinata, de 1891. Se buscó conservar la naturaleza del bien en los sentidos estético y formal, y no distorsionar información original. Como indica el párrafo 86 de las directrices prácticas: "la reconstrucción sólo es aceptable si se apoya en documentación completa y detallada y, de ninguna manera, basada en conjeturas" (UNESCO 2019: 30).

Las réplicas deben mostrar información fidedigna, que se transmite al público visitante. Se pretende que la réplica de la Escalera Jeroglífica

[1] Las directrices prácticas para la aplicación de la Convención de Patrimonio Mundial indican sobre la autenticidad que es relevante "la capacidad de comprender el valor atribuido al patrimonio [, la cual] depende del grado de credibilidad o veracidad que se conceda a las fuentes de información sobre este valor" (UNESCO 2019: 29). Los registros fotográficos y moldes utilizados para crear la réplica garantizan la autenticidad de la fuente, lo que permitirá una lectura más fiel del estado original del bien. Al hacer uso de información de valor histórico recabada durante las primeras exploraciones del sitio, se ofrece una mirada al estado en el que se encontraba el bien en ese momento.

difunda la inscripción sin los daños actuales, lo que se traduce en un rescate de información sobresaliente para el sitio, basado en un molde tomado del original hace ciento treinta años. A pesar de que suscita controversias, el hecho de que la réplica provenga de un registro del siglo XIX y no del estado actual del monumento, a nuestro juicio, es una ganancia.

Mediante un cedulario, se comunicará al público que se trata de una réplica y la razón para usarla, además de ofrecer información sobre el contenido del texto jeroglífico que contribuya a la comprensión del sitio. Esta propuesta resalta el valor del registro de Alfred Maudslay y de los procesos recientes de digitalización del Museo Británico con el apoyo de Google Arts & Culture.

Figura 7. En 2023 fue colocada la réplica sobre la Escalera Jeroglífica original y se cubrió con una capa de sacrificio para darle protección, trabajo llevado a cabo por el equipo dirigido por la restauradora Haydée Orea. Fotografía: Haydée Orea.

BIBLIOGRAFÍA

Baudez, Claude-Françoise. 1993. *Jean Frédéric Waldeck, peintre. Le premier explorateur des ruines mayas*. París: Hazan.

Blom, Franz. 1982. *Las ruinas de Palenque, Xupá y Finca Encanto*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Cabello Carro, Paz (ed.), 1992. *Política investigadora de la época de Carlos III en el área maya. Descubrimiento de Palenque y primeras excavaciones de carácter científico. Según documentación de: Calderón, Bernasconi, Del Río y otros*. Madrid: Ediciones de la Torre.

"Carta de Burra (Carta del ICOMOS Australia para Sitios de Significación Cultural)". 1999. https://www.ge-iic.com/2006/07/04/1999-carta-de-burra (consultado el 15 de abril de 2021).

"Carta de Venecia". 1964. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/venice_sp.pdf (consultado el 21 de abril de 2021).

"Carta Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico". 1990. https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/arch_sp.pdf (consultado el 21 de abril del 2021).

Cuevas García, Martha, Ángel Sánchez Gamboa y Yuriy Polyukhovych. En prensa. "Introducción". En *Monumentos escultóricos de Palenque*, Yuriy Polyukhovych, Ángel A. Sánchez Gamboa y Martha Cuevas García. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.s

Fernández, Gerardo. 1996. "El Templo de los Guerreros de Palenque. Propaganda política, religión, historia y supervivencia de un edificio maya del Clásico Terminal". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Antropología e Historia-Instituto Nacional de Antropología e Historia.

García Moll, Roberto (comp.). 2007. *Palenque, 1947-1958. Alberto Ruz Lhuillier*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

González Cruz, Arnoldo. 2002. "Los Templos XXI y XXII. Dos monumentos explorados en Palenque, Chiapas. Informe de Campo. XIII Temporada. Proyecto Arqueológico Palenque". México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Graham, Ian. 2002. *Alfred Maudslay and the Maya: A Biography*. Londres: The British Museum Press.

Maudslay, Alfred Percival. 1889-1902. *Biologia Centrali-Americana or Contributions to the Knowledge of the Fauna and Flora of Mexico and Central America*, vol. IV. F. Ducane Godman y Osbert S. Alvin (eds.). Londres: P. H. Porter.

Medina González, Isabel. 2005. "Lineamientos sobre el manejo de réplicas de esculturas en piedra asociadas y adosadas a la arquitectura del Monumento Nacional de Copán con fines de conservación arqueológica". Mecanoescrito. *III Taller de Conservación de Honduras*, Mesa 2, S/Copán Ruinas.

Morales Cleveland, Alfonso, Sabrina García Castillo y Martha Cuevas García. 2017. "Excavaciones en el Templo XIX: 1998-2001, Capítulo 1". En *Excavaciones en el Templo XIX de Palenque, Chiapas, México*, Alfonso Morales Cleveland y Martha Cuevas G. (coords.), 19-127. San Francisco: Precolumbia Mesoweb Press.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 2019. *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention*. París: UNESCO World Heritage Centre. http://whc.unesco.org/en/guidelines (consultado el 21 de abril de 2021).

Polyukhovych, Yuriy, Ángel A. Sánchez Gamboa y Martha Cuevas García. En prensa. "Estudio epigráfico de los monumentos escultóricos de Palenque". En *Monumentos escultóricos de Palenque*, Martha Cuevas, Arnoldo González y Luz de Lourdes Herbert (coords.). México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Rau, Charles. 1880. "Tablero de Palenque en el Museo Nacional de los Estados Unidos". *Anales del Museo Nacional de México*, núm. II: 131-203.

Robertson Greene, Merle. 1985. *The Sculpture of Palenque*, vol. 3: *The Late Buildings of the Palace*. Princeton: Princeton University Press.

Sánchez Gamboa, Ángel A., Yuriy Polyukhovych, Martha Cuevas García, Luz de Lourdes Herbert Pesquera y Guido Krempel. 2020. "The Hieroglyphic Stairway of House C, Palenque, Chiapas: New Approaches". *Mexicon*, vol. 42, núm. 1: 7-11.

Stephens, John Lloyd. 1969. Incidents of Travel in Central America, Chiapas and Yucatan, vol. II. Nueva York: Dover Publications.

ANEXO: NORMATIVIDAD INTERNACIONAL

"Carta de Venecia" (1964)

7. El monumento no puede ser separado de la historia de la que es testimonio ni del ambiente en el que se encuentra. Por lo tanto, el cambio de una parte o de todo el monumento no puede ser tolerado más que cuando la salvaguardia de un monumento lo exija, o cuando esté justificado por causas de relevante interés nacional o internacional.

8. Los elementos de escultura, pintura o decoración que son parte integrante del monumento no pueden ser separados de él más que cuando esta sea la única forma adecuada para asegurar su conservación.

"Carta Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico" (1990)

6. Conservar *in situ* monumentos y conjuntos debe ser el objetivo fundamental de la conservación del patrimonio arqueológico. Cualquier traslado viola el principio según el cual el patrimonio debe de conservarse en su contexto original. Este principio subraya la necesidad de una conservación, una gestión y un mantenimiento apropiados. De él se infiere que el patrimonio arqueológico no debe estar expuesto a los riesgos y las consecuencias de la excavación, ni abandonado después de la misma sin una garantía previa de financiación que asegure su adecuado mantenimiento y conservación. El compromiso y la participación de la población local debe impulsarse y fomentarse como medio para promover el mantenimiento del patrimonio arqueológico. Este principio reviste especial importancia cuando se trata del patrimonio de poblaciones autóctonas o grupos culturales de carácter local.

"Carta de Burra" (1999)

9.1 La localización física de un sitio es parte de su significación cultural. Un edificio, una obra u otro componente de un sitio deben permanecer en su localización histórica. Reubicarlos es generalmente inaceptable, a menos que este sea el único medio de asegurar su sobrevivencia.

9.2. Algunos edificios, obras u otros componentes de sitios han sido diseñados para ser rápidamente removibles o bien ya tienen una historia de relocalización. En el caso de que estos edificios, obras u otros componentes no tengan lazos significativos con su actual localización, puede ser apropiada su remoción.

9.3. Si un edificio, obra u otro componente es trasladado, deberá serlo hacia una localización apropiada y deberá asignársele un uso apropiado. Esta acción no deberá causar detrimento de ningún sitio de significación cultural.

10. Los contenidos, instalaciones y objetos que contribuyen a la significación cultural de un sitio deberán permanecer en el sitio. Su remoción es inaceptable a menos que sea: el único medio para asegurar su seguridad y preservación […]. Estos contenidos, instalaciones y objetos deberán ser devueltos cuando las circunstancias lo permitan y sea culturalmente apropiado.
12. La conservación, interpretación y gestión de un sitio debe contemplar la participación de la gente para la cual el sitio tiene especiales asociaciones y significados, o para aquéllos que tienen responsabilidad social, espiritual o de otra naturaleza para con el sitio.
13. La coexistencia de valores culturales debe ser reconocida, respetada y estimulada, especialmente en los casos en que éstos están en conflicto.

Reflexiones a manera de síntesis

Haydée Orea Magaña[*]

Por tratarse de un material noble y en apariencia muy resistente, algunos restauradores consideran que la conservación de piedra no supone grandes complicaciones, sobre todo si se compara con la restauración de una obra de caballete o de una pieza de madera estofada. La complejidad de conservar bienes culturales elaborados en piedra se basa en la variedad enorme de objetos –desde una escultura exenta en mármol resistente y poco poroso, hasta un relieve ubicado en un abrigo rocoso en la montaña; desde un objeto en condiciones de museo, hasta una enorme fachada a la intemperie; desde una escultura caliza policromada, hasta un dintel con una función estructural– y de intervenciones para cada uno.

Conservadores, restauradores, químicos, arqueólogos, geólogos e ingenieros estructuristas colaboran en este volumen y comparten cómo han combinado sus conocimientos para generar propuestas de conservación del patrimonio pétreo. En sus textos describen herramientas sustantivas para mejorar nuestro desempeño como profesionistas, ya sea al revisar las propuestas metodológicas o con ejemplos en los que exponen temas como los siguientes:

a) la revisión de la historia, los criterios y lineamientos para la intervención y la evaluación de los tratamientos de la piedra en Europa y México;
b) los tipos de piedra más frecuentes en el patrimonio pétreo y los deterioros que suelen presentar;

[*] Centro INAH Chiapas, sección Conservación

c) la eficacia de los procesos y materiales más comunes en la conservación de la piedra –acciones de conservación preventiva, limpieza, consolidación, resane y desalinización, entre los más relevantes– y los problemas que pueden acarrear;
d) la evaluación a largo plazo de estos procedimientos para preverlos o evitarlos si causaran otros procesos de deterioro;
e) los procesos sociales en torno al patrimonio, que inciden en su preservación o destrucción: cambios en el uso de los inmuebles o abandono, negligencia, explotación comercial del entorno vecino a los sitios patrimoniales, etcétera.

Para empezar, comentaremos los dos primeros capítulos del libro, en los que se revisa la historia de la conservación en México y lo concerniente a los bienes elaborados en piedra. En esta investigación se presenta el contexto jurídico y normativo que ha regido la conservación en diferentes momentos en Europa y México, y se comparan los planteamientos teóricos que han determinado las intervenciones de conservación con algunas experiencias de trabajo en patrimonio arqueológico e histórico. Valerie Magar Meurs, Yareli Jáidar Benavides y María Cristina Ruíz Martín enumeran los esfuerzos para proteger los bienes culturales de nuestro país y nos conducen por el proceso para acordar los criterios de intervención.

Las autoras relatan que en las primeras reuniones de especialistas en la década de 1970 (INBA e INAH 1972; SERLACOR 1973) se hizo una "crítica enérgica a prácticas desarrolladas durante varias décadas [por el INAH] que requerían serios cuestionamientos" (cap. 1, p. 49 de este volumen), como la reconstrucción excesiva en sitios arqueológicos, la destrucción causada por planteamientos equívocos de renovación urbana, la tendencia a eliminar aplanados para exponer la piedra de construcción que provocó la intemperización súbita de dichas superficies y su apreciación errónea, y el "blanqueamiento" de ciudades enteras en el Estado de México y Tlaxcala, que difería por completo de las paletas originales (Díaz Berrio 1973: 7; Gasparini 1973; Lee 2008).

Uno de los aspectos más relevantes del segundo artículo se refiere a la creación de normas nacionales e internacionales para "proteger las características y los valores del bien, y guiar el proceso de toma de decisiones para que las intervenciones consideren y resguarden todos los valores que se le atribuyen a ese patrimonio y las cualidades asociadas"

(cap. 2, p. 69). Este criterio se analiza de nuevo en los artículos que hablan de la toma de decisiones en casos concretos de restauración.

De este tema pasamos a la colaboración de Ana Laborde Marqueze sobre la normalización de criterios y metodologías para ejecutar trabajos de conservación en bienes pétreos, proceso que se lleva a cabo con éxito en España y Europa, de gran relevancia para las instituciones nacionales o locales que supervisan obras de intervención y para ponernos de acuerdo entre profesionistas acerca de los tratamientos de restauración en estos materiales.[1] Estos criterios y metodologías surgen de grupos de discusión entre especialistas que han intervenido patrimonio pétreo, con la intención de que los documentos emanados se conviertan en normas nacionales o internacionales. Con ellos se busca "sistematizar los procedimientos para lograr la unificación terminológica y un lenguaje común entre los profesionales", así como "promover un criterio científico común y unificado frente a la conservación del patrimonio cultural" (cap. 3, p. 122).

En 2012, se estableció en España el proyecto Coremans para producir documentos de criterios y métodos de actuación en los diversos campos de la conservación de los bienes culturales. Funciona con grupos de trabajo que "revisan los documentos existentes, formulan criterios de actuación, describen la metodología de intervención y evalúan las técnicas para señalar las más adecuadas en cada caso" (cap. 3, p. 123). De interés particular fue la publicación de los *Criterios de intervención en materiales pétreos*, en 2017, promovido como norma UNE 41810:2017, que habla del marco normativo, consideraciones y recomendaciones generales, y describe las fases de una intervención. Sería útil retomarlo y ponerlo a discusión en el ámbito laboral latinoamericano.

Se describe otro esfuerzo de normalización de protocolos de evaluación de los tratamientos de restauración en el texto de Livio Ferrazza con Laborde Marqueze, María Antonia García Rodríguez, Consuelo Ímaz Villar y Pedro Pablo Pérez, "Desarrollo del protocolo para la evaluación de los tratamientos de restauración en soporte pétreo", del Instituto del Patrimonio Cultural de España de Madrid y el Instituto Valenciano de

[1] Estos consensos se encuentran en una serie de documentos elaborados por el Instituto del Patrimonio Cultural de España, la Asociación Española de Normalización y el Comité Europeo de Normalización.

Conservación, Restauración e Investigación. Ahí se plantea regular las pruebas *in situ* y los análisis de laboratorio para determinar la eficacia de los tratamientos de limpieza y consolidación, de modo que las valoraciones efectuadas sean integrales, objetivas, científicas y fiables. El equipo ha trabajado en el campo específico de la conservación de soportes pétreos, con o sin policromía, para desarrollar protocolos con parámetros idóneos para cada tratamiento. Las intervenciones son monitoreadas con técnicas de análisis accesibles para los centros de investigación españoles.[2] El texto describe la metodología general y las técnicas instrumentales para evaluar la eficacia de los tratamientos, en particular la limpieza y la consolidación, a partir de los cambios verificados después de la aplicación.

En un intento por agrupar los escritos, haremos referencia a los que trabajaron sobre ciertos tipos de piedra de acuerdo con su origen geológico, ya sean metamórficas, sedimentarias o ígneas, para encontrar problemas semejantes de conservación en lugares tan diversos como Inglaterra y el sureste de México, por ejemplo, que comparten el uso de materiales calizos en las construcciones de torres y abadías medievales o románicas, y edificios ceremoniales mayas con fachadas con motivos iconográficos.

A la fecha, sigue siendo un desafío detener el deterioro de las piedras de origen volcánico, ricas en sílice, expuestas a intemperismos, que suelen romperse en grandes lascas casi imposibles de pegar o disgregarse por los cambios ambientales bruscos que propician la lluvia y el sol. Con el objetivo de endurecer y consolidar sus superficies se han buscado materiales como los alcoxisilanos, los silicatos de etilo y el sílice coloidal, entre otros, para ser usados con morteros para sostener fragmentos o resanarlos.

Este problema de conservación se describe en las intervenciones de las pinturas ubicadas en los abrigos rocosos de Baja California, las esferas monumentales de los Asentamientos Cacicales del Diquís, en Costa Rica, y en la Fuente de Lavapatas, en Colombia, por donde corren riachuelos encima de los relieves tallados. En el caso de los abrigos rocosos,

[2] Como la cromatografía, la espectrometría y la microscopia estereoscópica, la óptica VIS-UV, la microscopía electrónica de barrido con microanálisis SEM-EDX, la espectroscopia infrarroja FTIR, el espectrofotómetro visible, el pH-metro, la torre de comportamiento mecánico y la cámara de envejecimiento acelerado.

además de resguardar las pinturas, el restaurador debe presevar el propio abrigo como parte de la montaña para evitar el colapso de grandes trozos de piedra dañados por la lluvia, el viento y los cambios de temperatura.

Sandra Cruz Flores, Néstor Omar Torres Cuervo, Anacaren Morales Ortiz y Rodrigo Ruiz Herrera comparten su experiencia de trabajo en los sitios con pintura rupestre de La Pintada, en Sonora, y El Vallecito, en Baja California (cap. 9, pp. 209-231), en el noroeste de México, que presentan soportes pétreos silíceos y se ubican en regiones con climas secos y contextos de semidesierto.

En la zona arqueológica El Vallecito, con veintitrés resguardos con pinturas rupestres, se identificaron rocas como la "granodiorita, roca ígnea intrusiva que, debido a su conformación, composición y exposición al intemperismo, presenta un alto grado de exfoliación esferoidal y disgregación granular" (cap. 9, p. 215). La piedra del panel principal de La Pintada es "una toba riolítica silicificada por los procesos de formación del cañón, compuesta principalmente de cuarzo y feldespatos potásicos, cuyos deterioros se caracterizan por alta exfoliación laminar, separación de estratos, disgregación y pulverulencia" (cap. 9, p. 215). El comportamiento de la roca ante el intemperismo varía en cada lugar.

La fuente ceremonial de Lavapatas, en el parque arqueológico de San Agustín, en el departamento del Huila, al sur de Colombia, está labrada en depósitos ignimbríticos, un tipo de rocas piroclásticas o fragmentarias producto de erupciones volcánicas explosivas, conocidas como tobas, como señala Helen Jacobsen (cap. 12, pp. 267-288). Su matriz con componentes vítreos y fragmentos de cristales, vidrio y pómez explica su complejo proceso de deterioro. El vidrio se transforma en minerales arcillosos ferromagnesianos, que a su vez se convierten en hierro. La pérdida del material constitutivo de la fuente se debe a la abrasión de material, que presenta escamas, las cuales son arrastradas por la acción del agua corriente.

Isabel Medina-González y Javier Fallas Fallas explican los procesos de alteración de las esferas de los Asentamientos Cacicales del Diquís por las modificaciones de los antiguos sitios a lo largo de su historia (cap. 4, pp. 135-153). La selva que las cubrió fue eliminada para dar paso a las plantaciones bananeras; como consecuencia, se destruyó y saqueó evidencia arqueológica, o se trasladó a museos o lugares alejados de sus contextos originales. Para conservar estas extraordinarias esferas

es necesario comprender los procesos culturales y resarcir dichos daños en los planes de manejo.

Para consolidar las rocas de los sitios del norte de México se ha empleado como consolidante un alcoxisilano, el tetraetoxisilano.[3] En muestras de lugares vecinos a la Fuente de Lavapatas se probaron otras variantes de estos productos, como el silicato de etilo KSE 300 y el gel silicato de etilo elastificado KSE 300 E, en diferentes concentraciones.

Como explica Nora Ariadna Pérez Castellanos en el capítulo "Metodología para evaluar materiales consolidantes de tipo alcoxisilanos y criterios para su aplicación en piedra", los alcoxisilanos son "materiales sintetizados por el método sol-gel, cuyos productos son dióxido de silicio amorfo (SiO_2) y un alcohol (etanol o metanol, por lo regular) que se evapora a temperatura ambiente, ideal para su aplicación *in situ*" (cap. 8, p. 197). Si consideramos el criterio de compatibilidad fisicoquímica, los alcoxisilanos deberían utilizarse de preferencia en piedras de la misma naturaleza, como silicatos y aluminosilicatos; sin embargo, se han usado para restaurar rocas calizas, tema que no se trata en este libro, pero que es relevante explorar para conocer el comportamiento del material.

Gracias al monitoreo y la evaluación de las intervenciones de estabilización de hace casi ocho años en los sitios rupestres del norte de México, se ha determinado que los resultados de la aplicación del consolidante en soportes de granodiorita y toba riolítica silicificada han sido satisfactorios:

> Se ha obtenido un cambio positivo en las propiedades de los soportes pétreos en ambos sitios, como el incremento de la resistencia fisicomecánica y una disminución significativa de pérdida de material, sin presencia de contracciones ni agrietamientos en ninguno ellos. Por otra parte, según los valores en la escala de Mohs, la dureza de los soportes ha aumentado con las aplicaciones subsecuentes de consolidante, de un valor bajo cercano a 4 en el momento de la aplicación, a 7 en el caso de El Vallecito y 6 en La Pintada, cercanos a los valores que presentan las rocas en buen estado de conservación o en sus núcleos frescos, como

[3] TEOS, compuesto catalizado con dilaureato de dibutil estaño en proporción de 0.1% a 0.5%, que reacciona con el agua contenida en el soporte pétreo y en el ambiente. La condensación produce óxido de silicio amorfo que se une a la piedra y se deposita como aglomerante.

> se le conoce en geología. El nivel de absorción de agua experimenta una disminución en el momento de la aplicación del consolidante; no obstante, aumenta de manera gradual con la consecución total de la reacción química, que puede tomar hasta tres meses. El pH se ha mantenido cercano y constante al neutro con valores entre 6 y 7, aunque se reportó una ligera acidificación durante el monitoreo de 2018 en La Pintada (cap. 9, pp. 225).

En la Fuente de Lavapatas, los criterios para la evaluación de los resultados fueron la compatibilidad, la eficacia, la durabilidad y la retratabilidad. "Para comprobar la compatibilidad, eficacia y estabilidad de un consolidante se han establecido procedimientos analíticos en la conservación de piedra. Se planteó un estudio comparativo con muestras deterioradas de manera artificial" (cap. 12, p. 273).

Los resultados obtenidos en las muestras con respecto a "la resistencia de tensión-flexión y el módulo estático de elasticidad no concordaron con los valores de la piedra original" (cap. 12, p. 282). La penetración de los silicatos no fue homogénea, por lo que se concluye que debe haber más ensayos en los que se aplique consolidante muy diluido (2:1) en la parte inferior de las muestras, y concentrado en la parte superior, algo poco factible de ejecutar *in situ*.

La investigación de Helen Jacobsen en la Fuente de Lavapatas coincide con el estudio de consolidantes de tipo alcoxisilano, conocidos como silicatos o silicatos de etilo, emprendida por Daniel Meléndez, Juan F. Illescas, Nora Ariadna Pérez Castellanos y Julia Aguilar (las marcas más conocidas en México son el Wacker OH, Conservare OH, Tegovakon V y KSE 300).

Los resultados verificaron que los silicatos de etilo aplicados para consolidar basalto son poco eficaces en la mayoría de los climas de nuestro país, lo que cuestiona el uso de este material, excepto en contextos semidesérticos, como los descritos en los sitios rupestres de Sonora y Baja California, con condiciones de temperatura y humedad muy específicas, lo que limita su uso en otras regiones con mayor humedad.

Los resultados de la investigación señalan que los alcoxisilanos "no reaccionan de la misma forma ni los soportes pétreos responden igual en todos los casos. Las condiciones de temperatura y humedad relativa del entorno de intervención condicionan las reacciones químicas de los productos, lo que ocasiona resultados diferentes con respecto a la eficacia

del consolidante" (cap. 11, pp. 251-252). Estos materiales también se han empleado como hidrofugantes.

La enorme cantidad de variables, positivas y negativas, según el producto comercial utilizado, la aplicación y las condiciones de humedad y temperatura del medio ambiente, invitan al restaurador a repensar la pertinencia de utilizar materiales poco controlables sin asesoría científica cercana al proceso de toma de decisiones.

Las pastas de resane se han empleado con buenos resultados en los sitios rupestres del norte de México, como exponen Cruz Flores y colaboradores, quienes elaboraron pastas "con cargas silíceas de diferente granulometría, color y tonalidad, aglutinadas con sílica coloidal al 40%, que se aplican como ribetes elaborados a 90° o como resanes a nivel. La adhesión a la roca se efectúa por anclaje físico y su dureza siempre es inferior a la del soporte pétreo" (cap. 9, p. 222). Estas características permiten su retratabilidad y un comportamiento fisicomecánico semejante al del soporte pétreo.

En el capítulo 13, "Criterios y consideraciones para la aplicación de sílice coloidal en la elaboración de pastas de resane para reintegración formal y morteros de sacrificio", de Iván Gómez Murillo, Denise Charúa Ayala y Nora Ariadna Pérez Castellanos, se evalúan estas pastas a partir de una investigación de tesis en la que se establecieron las pautas para la aplicación de los morteros hechos con sílice coloidal para resanes y aplanados de sacrifico, considerando no sólo el cementante sino las características de los agregados, como la granulometría y la proporción, fundamentales para obtener buenos resultados. Este tipo de pastas también se utilizó con éxito en el resane de las esferas del Diquís, en Costa Rica, aunque el alto contenido de humedad en el ambiente tropical impidió un endurecimiento adecuado.

Parece haber más opciones para la consolidación de las calizas. Claudia A. García Solís, Yareli Jáidar Benavides, Patricia Quintana Owen, Javier Reyes Trujeque y María Fernanda Escalante, en su texto "El deterioro de los elementos pétreos con color de la Subestructura de Guerreros en Chichén Itzá: lineamientos prácticos para el control de sales", describen el uso de las nanopartículas de hidróxido de calcio, de reciente uso en México, para consolidar superficies de piedra y restos de pintura sobre éstas. Por su afinidad química, han desplazado a otros materiales, y su uso puede extenderse a la pintura mural sobre aplanados de cal y arena, composición de la mayoría de

los estratos pictóricos murales de la época prehispánica y colonial en América Latina.

Es muy importante determinar la concentración que se requiere, el número de aplicaciones, y considerar las condiciones ambientales para controlar el fraguado; de lo contrario, las nanopartículas pueden formar un velo blanquecino derivado de su carbonatación en la superficie, que en el caso de la pintura mural alteraría su apreciación.

En la colaboración titulada "La consolidación por biomineralización de materiales inorgánicos en el patrimonio cultural mesoamericano: el caso de Honduras y Guatemala", de Carlos Rodríguez Navarro, Alberto de Tagle, Griselda Pérez, Barbara Fash, William Fash, Nieves Valentín, Juan Carlos Pérez, Edwin Pérez, María Teresa González Muñoz, Fadwa Jroundi, Encarnación Ruiz Agudo y Kerstin Elert, se plantea como propuesta la biomineralización de calizas, que se ha ensayado con éxito en Europa y se está evaluando en los climas tropicales, en sitios como Copán, en Honduras, y Piedras Negras, en Guatemala. Por sus resultados alentadores en pruebas de laboratorio, se presenta como una opción novedosa para la consolidación de las rocas calizas que presentan superficies pulverulentas y deleznables. Otro material usado como consolidante para roca caliza que valdría la pena conocer a profundidad es el fluoruro de sodio (Straulino 2010), citado en los artículos de este volumen.

En el caso de la inmovilización de sales en la piedra caliza, el panorama se complica. En las décadas de 1980 y 1990, el hidróxido de bario se utilizó tanto para este fin como para consolidar la pintura mural y la piedra caliza, pero su empleo se ha descartado debido a su toxicidad, lo que reduce las opciones. Entre 1995 y 1998, la geóloga María de la Gracia Ledezma Díaz (1997), de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museología, examinó el desempeño de materiales para formar compuestos estables con el bario para mejorar la eficacia de los consolidantes, como el formiato de bario (Anrubio Vega 1996). No obstante, el estudio no tuvo el seguimiento adecuado y no se analizaron las muestras de los sustratos de prueba en Palenque ni en Chicanná. Después de veinte años de que estos materiales se aplicaron, sería interesante que los restauradores que trabajan hoy en estos sitios verificaran su condición.

Para profundizar en el problema que representa el control de las sales en las piedras que constituyen los edificios de la región que abarca el

sur de Quintana Roo, Campeche y el norte de Guatemala y Belice –que comparte una geología diversa porque las rocas no sólo presentan carbonatos, sino una variedad de sales, como cloruros y nitratos–, Valeria Amparo García Vierna presenta una "Metodología de intervención de piedra caliza en sitios del sur de Campeche. Una visión retrospectiva a trabajos hechos entre 1996 y 2003 por la CNCPC-INAH".

En estos sitios es evidente que el problema no es sólo del material que forma parte de la construcción, sino de todo el conjunto arquitectónico que estaba cubierto de aplanados, tenía cubiertas, salidas de agua, mantenimiento continuo, etcétera. Los edificios prehispánicos han llegado a un nuevo estado de equilibrio con su entorno.

En el capítulo 14, "Prevention, Moisture and Salts. A Story of Cooperation or Conflict?" –traducido al español en este volumen–, David Odgers presenta el ejemplo de la torre del castillo de Rochester, Inglaterra, en el que las sales también proceden de los materiales de edificación. Para unir los sillares se utilizaron morteros con conchas trituradas que acarrearon cloruros a las piedras. Son más recurrentes los casos en que las sales proceden de los materiales utilizados en intervenciones de restauración, cuando los arqueólogos o arquitectos emplean cemento para la consolidación de los edificios, como sucedió en la subestructura del Templo de los Guerreros en Chichén Itzá, según exponen García Solís y colaboradores.

Los profesionales de la conservación que tratan el tema de las sales en este volumen han apostado por evitar que se movilicen al controlar el paso de la humedad, en lugar de transformarlas en compuestos estables. Han ejecutado estrategias como evitar que las sales cristalicen en los muros con la creación de nuevos frentes de evaporación en estratos porosos permeables por donde las sales afloran con mayor facilidad, como en los baños romanos de Billingsgate, Londres, según explica Odgers, en los que se cubrió el terreno circundante con arena para que las sales cristalizaran en ella y no en los muros, y se impermeabilizaron las cubiertas y se alejaron las aguas que corrían por las canaletas, porque conducían las sales a las cimentaciones de los edificios afectados.

Cuando una estructura arquitectónica con problemas de sales –semienterrada o sujeta a la intemperie– es techada y secada bruscamente, como suele suceder en sitios arqueológicos liberados en América o como ocurrió en la torre del castillo de Rochester o en la Howden Minster, en

Inglaterra, la solución final puede ser la colocación de recubrimientos de sacrificio, aplanados de cal y arena porosos como los que tuvieron cuando fueron edificados, que funcionan como frentes de evaporación y cristalización de sales, para que las piedras de los muros de mampostería no sufran más deterioros. García Vierna relata en este volumen los primeros intentos que probaron la eficacia de estos recubrimientos en México.

El estado de equilibrio también puede referirse a la vegetación que rodea a los edificios. En las regiones tropicales con vegetación selvática, tanto en América como en Asia, hay edificios enteros soportados por las raíces de los árboles. Cualquier intervención debe estudiarse con cuidado. Algo que muchos dan por sentado, como la remoción de un árbol, puede resultar en el colapso del inmueble si no se ha decidido cómo consolidarlo o recimentarlo antes.

Magar Meurs, Jáidar Benavides y Ruiz Martín, en el capítulo "Criterios y principios para la conservación de piedra: confrontación de teoría y práctica en México", hablan de los errores cometidos por el hombre, ya sea la talla de una escultura en una roca sin seguir la veta –muy grave en elementos estructurales, si se coloca una pieza que soporta una carga con los estratos sedimentarios verticales y no horizontales– o el olvido y la negligencia en el que caen muchos bienes cuando su primer uso deja de ser vigente o relevante, como sucede con los cementerios antiguos o los edificios históricos en países latinoamericanos. Hacen énfasis en la historia de la conservación en México, que resulta válida para otras naciones, como Perú, en las que se desarrollaron culturas notables antes de la Conquista, cuyos monumentales edificios y esculturas reciben mayor presupuesto –y por ende, personal calificado para su conservación–, en detrimento de la atención que se concede al patrimonio de la época colonial, que recibe un trato secundario por cuestiones ideológicas.

Ingrid García Miranda da un ejemplo de esta situación con el caso de los panteones de Lima, en su colaboración "Patrimonio lítico del centro histórico de Lima. Limpieza de elementos en mármol como parte de la gestión de gobiernos locales". A pesar de contar con valiosos ejemplos de escultura labrada en mármol y multitud de fachadas labradas en piedra en la época colonial, los tratamientos de conservación han dejado mucho que desear porque no se ejecutan por personal calificado.

Algo similar se discute en el capítulo "La reintegración cromática en superficies pétreas expuestas a luz natural", de Juan Manuel Rocha

Reyes y Ana Jose Ruigómez Correa, acerca de las intervenciones en los recubrimientos pétreos en las portadas de la Ciudad de México. Los autores analizan la reintegración cromática en elementos monumentales labrados, como las fachadas de los templos edificados en la colonia, la importancia de considerar la forma en que la luz baña una superficie durante el día y el año al momento de aplicar morteros para su resane o sus juntas, pigmentados o no, y cómo estas intervenciones inciden de manera positiva o negativa en su apreciación estética y su lectura.

Un tema recurrente entre las colaboraciones es la relevancia del trabajo multidisciplinario y las medidas erróneas que se aplican si la visión de sólo un profesionista predomina e ignora al resto. Grandes traspiés se han cometido por no consultar a un grupo de expertos para tomar decisiones –cuando no se contemplan la historia del bien, sus significados, su condición pasada en relación con la presente– y enfrentar un problema en apariencia sencillo con una solución que lo complica todo.

Algunos autores proporcionan una visión a gran escala de la conservación de bienes monumentales por medio de sus experiencias, buenas y malas, tanto en Europa como en América, en las que el entorno juega un papel determinante. El valor de esta información radica en que podemos aprender de los aciertos y errores de otros para no cometerlos nosotros, pues no es lo mismo trabajar en un edificio en la campiña inglesa, cercano a complejos industriales o plantas de energía eléctrica contaminantes, que en el centro histórico de la Ciudad de México.

Por ejemplo, los restos de las culturas prehispánicas en la selva tropical requieren protecciones contra la lluvia torrencial o el sol. El equipo de Carlos Rodríguez Navarro y colaboradores comparte un estudio sobre las cubiertas modernas para proteger monumentos escultóricos en Piedras Negras y El Perú-Waka', en Guatemala, y explica las bondades de un diseño sencillo y práctico inspirado en la casa tradicional maya, erigido con materiales contemporáneos.

Otra opción de conservación es sustituir los elementos originales y colocar réplicas para protegerlos, como relatan Luz de Lourdes Herbert, Martha Cuevas García, Claudia Zehrt y Ana Somohano Eres en el capítulo "Una réplica de la Escalera Jeroglífica del Palacio de Palenque como alternativa para su conservación". Alfred Maudslay, explorador británico que visitó el sitio en el siglo XIX, obtuvo un molde de la pieza, resguardado por el Museo Británico, que fue escaneado para crear un modelo 3D. Cuando la réplica se coloque sobre la escalinata original,

será un elemento protector que evitará el intemperismo al que se ha expuesto la pieza desde que fue liberada, de manera que no será necesario trasladarla a otro lugar o techarla. El acceso a las tecnologías digitales ha propiciado la posibilidad de hacer registros 3D de esculturas o piezas exentas y de inmuebles completos para contar con datos mensurables para vigilar su posible deterioro o recrear copias de calidad que puedan evitar el daño de las tallas originales.

David Odgers, con su vasta experiencia, ejemplifica los pasos para aproximarse a un monumento arquitectónico antes de intervenirlo. En sus contribuciones "Cleaning Historic Stonework: Assessment, Options and Implications" y "Prevention, Moisture and Salts. A Story of Cooperation or Conflict?" –ambas con traducción al español en este volumen– se aprecia su capacidad de observación para determinar las causas de los deterioros entre el conjunto de circunstancias materiales y culturales que rodean los bienes. El autor examina el problema de la limpieza del patrimonio pétreo y considera cuestiones filosóficas y técnicas para analizar experiencias de trabajo en bienes ubicados en Inglaterra, Etiopía y Malta, tan diversos como unas ruinas romanas, restos de arquitectura normanda o templos labrados en piedra. Explica cómo se enfrentaron y resolvieron los problemas causados por acciones de conservación preventiva, en apariencia menos invasivas, como la colocación de cubiertas modernas, determinadas por una primera impresión y no por estudios detallados del patrimonio edificado.

El equipo mexicano interdisciplinario conformado por García Solís, Jáidar Benavides, Quintana Owen, Reyes Trujeque y Escalante Hernández también se aproxima al todo, al bien mismo, su entorno, sus intervenciones previas y la documentación generada en el pasado para tomar decisiones acertadas, como en el caso de la Subestructura de Guerreros, en Chichén Itzá. El contexto cultural del mundo maya del periodo clásico es estudiado desde una perspectiva global, que conduce a soluciones lógicas y coherentes. En estos textos se discute cómo lidiar con la humedad, causa principal y determinante de la mayor parte de los deterioros de los bienes culturales en piedra y de los daños derivados del traslado de las sales a los poros del material.

Para controlar la movilización y cristalización de sales, en estos casos se estudiaron el origen de la humedad y la manera en la que accedía a los elementos arquitectónicos, la constitución mineralógica de la piedra, los suelos, cimientos y contaminantes presentes en el aire, así como las modifi-

caciones de los inmuebles y su entorno a lo largo del tiempo. También se midieron condiciones como humedad relativa, temperatura e insolación en periodos prolongados y en diferentes épocas del año para llegar a las soluciones indicadas para frenar el deterioro. Como muchos de los escritos señalan de manera acertada, antes de aplicar un proceso que no es reversible, como la consolidación, se debe considerar si es necesario o si deben vigilarse otros factores. En el caso referido, debió privilegiarse el control de las sales por cristalizar después de la excavación por encima de la consolidación.

De manera complementaria, el capítulo "Criterios y experiencias recientes sobre la rehabilitación estructural de edificios patrimoniales construidos con mampostería de piedra" nos acerca a la conservación de los edificios elaborados con mampostería de piedra desde el punto de vista estructural. Roberto Meli Piralla y Abraham Roberto Sánchez Ramírez relatan que en México se incorporaron ingenieros a los trabajos de restauración arquitectónica sólo hasta después de la segunda mitad del siglo xx, para resolver los daños en la mayoría de los inmuebles coloniales construidos en las zonas lacustres de la Ciudad de México, derivados de la deformación del terreno, causada por lo general por la sobreexplotación de los acuíferos.

Entre los ejemplos más relevantes de este tipo de deterioro está la catedral de la Ciudad de México, asentada de manera diferencial sobre restos de estructuras prehispánicas. Sumado a los sismos más recientes, fue necesario hacer estudios más acuciosos e intervenciones nunca antes vistas para corregir las deformaciones. El capítulo también hace referencia a los materiales y sistemas constructivos más empleados en México y los daños que suelen presentar en las edificaciones, ya sea que se trate de mamposterías organizadas o irregulares, como las de tres lienzos, características de la zona centro del país.

Los autores hacen hincapié en la evolución de los métodos para evaluar la seguridad de las estructuras de mampostería de piedra:

> Las primeras guías para determinar la seguridad de las construcciones fueron reglas geométricas que definían las relaciones que debían guardar las dimensiones de los principales elementos estructurales. Más adelante surgieron métodos para determinar la trayectoria de las fuerzas internas de las cargas sobre la estructura para que pudieran transmitirse hasta la cimentación y hasta el terreno de apoyo (cap. 18, p. 405).

De basarse en "juicios cualitativos de daños visibles y medidas correctivas aplicadas antes a casos similares", pasaron a los "análisis complejos con modelos elástico-lineales de elemento finito de la estructura completa para estudiar su respuesta ante cargas estáticas y dinámicas" (cap. 18, p. 405). Los resultados suelen ser fallidos si no se toman en cuenta las diferencias causadas por la anisotropía del material, entre otros aspectos, y si se carece del conocimiento de las propiedades mecánicas que definen el comportamiento de los materiales.

Para cerrar el capítulo, Meli Piralla y Sánchez Ramírez expresan la necesidad de utilizar materiales y sistemas modernos en la intervención de los edificios históricos para "incrementar la capacidad estructural y mejorar el desempeño de estos edificios ante sismos y hundimientos diferenciales" (cap. 18, p. 412), con el fin de mantener su integridad y autenticidad, así como salvaguardar la seguridad de sus usuarios. Este tema ha suscitado debates a partir de la necesidad de intervenir los edificios dañados por los sismos de 2017.

Los artículos que integran este volumen constituyen una magnífica guía actualizada de los criterios que dirigen hoy la intervención del patrimonio en piedra, para determinar con qué materiales y métodos ejecutarla, y para determinar si existen justificaciones suficientes para llevarla a cabo o no, y esperar el progreso de algunas de estas investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Anrubio Vega, Elda Justina. 1996. "Causas y efectos de deterioro de los materiales arqueológicos calcáreos del Sur de Quintana Roo y una propuesta para su conservación". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Conservación Restauración y Museografía-Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Díaz Berrio, Salvador. 1973. "Límites de las operaciones de restauración". En *1er Seminario Regional Latinoamericano de Conservación y Restauración. Documentos de trabajo*. México: Centro Regional Latinoamericano de Estudios para la Conservación y Restauración de Bienes Culturales.

Gasparini, Graziano. 1973. "Situación y necesidades de la conservación de los monumentos históricos en América Latina". En *1er. Seminario Regional Latinoamericano de Conservación y Restauración. Documentos de trabajo*.

México: Centro Regional Latinoamericano de Estudios para la Conservación y Restauración de Bienes Culturales.

Instituto Nacional de Bellas Artes (INBA) e Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). 1972. *Considerandos y recomendaciones. Coloquicomos, octubre de 1972*. México: Instituto Nacional de Bellas Artes/ Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Ledezma Díaz, María de la Gracia. 1992. "Otra variante sobre el uso de las sales de bario en la consolidación de rocas calizas y sus derivados". Inédito.

Lee Albardín, Gabriela. 2008. "Apuntes sobre la conservación y restauración del patrimonio en México". *Revista CPC*, núm. 6: 7-20.

Seminario Regional Latinoamericano de Conservación y Restauración (SERLACOR). 1973. "Conclusiones del Primer Seminario Regional Latinoamericano de Conservación y Restauración". En *1er. Seminario Regional Latinoamericano de Conservación y Restauración. Documentos de trabajo*. México: Centro Regional Latinoamericano de Estudios para la Conservación y Restauración del Bienes Culturales.

Straulino Mainou, Luisa. 2010. "Fluoruro de sodio: ¿una alternativa para la conservación de piedra caliza disgregada a través de la re-mineralización? El caso de la cornisa del edificio 5N2 del Grupo A de Río Bec, Campeche". Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Conservación Restauración y Museografía-Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Conclusiones

Yareli Jáidar Benavides
Valerie Magar Meurs
Cristina Ruiz Martín

En la región de América Latina y el Caribe se detectó la necesidad de fomentar la formación específica de especialistas en conservación de piedra, inexistente a pesar de que la región cuenta con un vasto patrimonio pétreo. Se planteó la organización de cursos regionales, seminarios y simposios, y se propuso la creación de una especialidad en conservación de piedra con el objetivo de promover el conocimiento sobre el tema. En 2013, la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural del Instituto Nacional de Antropología e Historia y el Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM, por sus siglas en inglés) organizaron una serie de reuniones y cursos en México en torno a la conservación de la piedra, a los que más tarde se sumó la Universidad Nacional Autónoma de México. Entre los temas relevantes para la región, en estos encuentros se especificó que era urgente homogeneizar la terminología entre disciplinas y regiones, crear metodologías dinámicas para evaluar y tomar decisiones de manera informada, promover el trabajo interdisciplinario, buscar la sostenibilidad de las acciones de conservación y, sobre todo, contar con normas que guíen la praxis.

Este volumen es el resultado de algunas de esas actividades. Aquí se reúnen consideraciones sobre la práctica de la conservación de patrimonio en piedra desde la perspectiva de los principios y criterios que guían las acciones, así como estudios de caso presentados por especialistas de diferentes disciplinas, en particular de América Latina, y algunos provenientes de Europa. Por primera vez se presenta una revisión histórica de

la conservación de piedra en México, que se enriquece con los estudios de caso que exponen avances en el conocimiento y la investigación de los materiales constitutivos del patrimonio, las herramientas, los métodos y los materiales de conservación. Estos textos dejan ver la carencia en la documentación de las intervenciones practicadas en los comienzos de la conservación en varios países y al mismo tiempo muestran la evolución de la disciplina en las últimas décadas.

Resultan de particular interés el conocimiento y la experiencia adquiridos en el tratamiento de patrimonio en piedra caliza, que se puede evaluar después de varias décadas de trabajo, y el gran número de investigaciones en torno a materiales de naturaleza silícea que se han centrado en la caracterización y el mejor conocimiento de los materiales compositivos, así como en alternativas específicas para su conservación. Estos trabajos contrastan y se complementan con los de otros países de la región y resaltan la importancia de comunicar la información como elemento fundamental para el crecimiento de la disciplina. Los textos muestran la importancia de sistematizar la información y compartir las metodologías y los criterios empleados para facilitar la comparación de experiencias y evaluar mejor los resultados.

Encontramos que las colaboraciones, en numerosos casos, recurren a información proveniente de literatura gris, recabada en informes de actividades y tesis, y de la experiencia adquirida en campo y gabinete. Los textos permiten analizar una gran variedad de intervenciones en piedra, desde la valoración bajo la perspectiva de los usuarios y los profesionales y la definición de criterios, hasta la aplicación de procesos de acuerdo con éstos, como limpieza, consolidación, tratamiento de sales, elaboración de réplicas, trabajos estructurales, resanes, recubrimientos de protección y reintegración. La importancia de esta compilación radica en que por primera vez se tiene un volumen dedicado a la conservación de piedra en América Latina, el Caribe y Europa. Esperamos que sea el primero de muchos en los que la teoría y la práctica se sometan a discusión y revisión por pares, para fortalecer la disciplina y mejorar la conservación de este importante patrimonio.

Criterios de conservación
del patrimonio en piedra
se terminó en su versión electrónica en enero de 2025.

Corrección: Mauricio Núñez, IIE-UNAM

Producción: Dirección de Publicaciones
de la Coordinación Nacional de Difusión
del Instituto Nacional de Antropología e Historia.

COLECCIÓN
CONSERVACIÓN
Y RESTAURACIÓN
DEL PATRIMONIO
SERIE MEMORIAS

Este volumen nace de una colaboración entre el INAH, el ICCROM y la UNAM sobre los principios y criterios de conservación desde una perspectiva histórica y su aplicación en proyectos contemporáneos en América Latina y Europa. Se analiza críticamente el valor del patrimonio, diversos tipos de intervenciones y la investigación aplicada a materiales y procesos de conservación y restauración: limpieza, control de sales, consolidación, reintegración de faltantes y el uso de réplicas; con el fin de aportar una visión amplia para la reflexión sobre temas normativos. Fortalece también el diálogo entre profesionales de la conservación y especialistas de otras disciplinas usando un lenguaje común y datos comparables, esto con la intención de que la teoría y la práctica se encaminen a resolver los retos en la conservación del patrimonio en piedra ante el cambio climático y el contexto social actual.

Cultura
Secretaría de Cultura

85 INAH

INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
ESTÉTICAS–UNAM

ICCROM