

MARZO 1981 - 4,50 francos franceses (España : 95 pesetas)

El Correo de la unesco

LA CIENCIA AL SERVICIO DEL ARTE





**TESOROS
DEL ARTE
MUNDIAL**

160

Líbano

Baal, dios de la tormenta

Esta estatuilla de bronce (de 18,5 cm de altura) fue desenterrada en el antiguo puerto mediterráneo de Tiro, famoso en la antigüedad por su comercio, su industria de la púrpura y sus actividades culturales e intelectuales. La estatuilla, que data aproximadamente de mediados del segundo milenio a.C., representa a Baal, dios de la tormenta en el panteón cananita. Múltiples religiones, técnicas y estilos artísticos florecieron en Tiro, que atrajo sucesivamente a los fenicios, los asirios, los griegos, los romanos, los bizantinos, los árabes, los Cruzados y los otomanos. En diciembre de 1980 las Naciones Unidas declararon el solar arqueológico de Tiro parte del "patrimonio mundial". Por su parte, la Unesco apoya activamente al Comité Internacional que, en colaboración estrecha con el Líbano, se esfuerza por preservar los restos de esta famosa ciudad de la antigüedad.

PUBLICADO EN 25 IDIOMAS

Español	Italiano	Turco	Esloveno
Inglés	Hindi	Urdu	Macedonio
Francés	Tamul	Catalán	Servio-croata
Ruso	Hebreo	Malayo	Chino
Alemán	Persa	Coreano	
Arabe	Portugués	Swahili	
Japonés	Neerlandés	Croata-servio	

Se publica también trimestralmente en braille, en español, inglés y francés

Publicación mensual de la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)

Tarifas de suscripción :
un año : 44 francos (España : 950 pesetas)
dos años : 75 francos.
Tapas para 11 números : 32 francos.

Los artículos y fotografías que no llevan el signo © (copyright) pueden reproducirse siempre que se haga constar "De EL CORREO DE LA UNESCO", el número del que han sido tomados y el nombre del autor. Deberán enviarse a EL CORREO tres ejemplares de la revista o periódico que los publique. Las fotografías reproducibles serán facilitadas por la Redacción a quien las solicite por escrito. Los artículos firmados no expresan forzosamente la opinión de la Unesco ni de la Redacción de la revista. En cambio, los títulos y los pies de fotos son de la incumbencia exclusiva de esta última.

Redacción y distribución :
Unesco, place de Fontenoy, 75700 París

Jefe de redacción :
Jean Gaudin

Subjefe de redacción :
Olga Rödel

Secretaría de redacción :
Gillian Whitcomb

Redactores principales :
Español : Francisco Fernández-Santos (París)
Francés :

Inglés : Howard Brabyn (París)
Ruso : Victor Goliachkov (París)
Alemán : Werner Merkli (Berna)
Arabe : Abdel Moneim El Sawi (El Cairo)
Japonés : Kazuo Akao (Tokio)
Italiano : Maria Remiddi (Roma)
Hindi : Krishna Gopa (Delhi)
Tamul : M. Mohammed Mustafa (Madrás)
Hebreo : Alexander Broïdo (Tel-Aviv)
Persa : Samad Nurinejad (Teherán)
Portugués : Benedicto Silva (Rio de Janeiro)
Neerlandés : Paul Morren (Amberes)
Turco : Mefra Ilgazer (Estambul)
Urdu : Hakim Mohammed Said (Karachi)
Catalán : Joan Carreras i Martí (Barcelona)
Malayo : Azizah Hamzah (Kuala Lumpur)
Coreano : Lim Moun-Young (Seúl)
Swahili : Domino Rutayebesibwa (Dar es-Salam)
Croata-servio, esloveno, macedonio y servio-croata : Punisa A. Pavlovich (Belgrado)
Chino : Shen Guofen (Pekín)
Braille : Frederick H. Potter (París)

Redactores adjuntos :
Español : Jorge Enrique Adoum
Francés :
Inglés : Roy Malkin

Documentación : Christiane Boucher
Ilustración : Ariane Bailey
Composición gráfica : Philippe Gentil

La correspondencia debe dirigirse al director de la revista.

5 LA CIENCIA AL SERVICIO DEL ARTE

por Magdeleine Hours

6 COMO SE SALVO LASCAUX, SANTUARIO DEL ARTE PREHISTORICO

8 LA SALA DE LOS TOROS

Una admirable reconstitución científica

12 CUANDO LA CIENCIA ESCUDRIÑA LA PINTURA

I. Rembrandt bajo los rayos X
II. Una de las Vírgenes era falsa

15 FALSO ZAPOTECA Y TERMOLUMINISCENCIA

16 LA MICROFLUORESCENCIA X Y LA REINA AREGUNDA

17 EL "VASO DEL ESCONDITE"

El pasado reconstituido gracias a las técnicas del análisis metalúrgico

20 ANATOMIA DE UN ARPA

21 EL ATOMO, RELOJ ARQUEOLOGICO

por Bernard Keisch

24 CURIOSA HISTORIA DE LA FALSIFICACION EN ARTE

por Stuart J. Fleming

27 LOS PRINCIPIOS DE LA CONSERVACION

por Bernard M. Feilden

30 UN MUSEO SIN OBRAS DE ARTE

La holografía, una técnica revolucionaria para la reproducción artística
por Ivan G. Yevtushenko y Vladimir B. Markov

2 TESOROS DEL ARTE MUNDIAL

LIBANO : Baal, dios de la tormenta

Nuestra portada

La ciencia, uno de los rasgos fundamentales del mundo moderno, demuestra hoy ser un instrumento de primer orden al servicio del arte. Gracias a ella podemos analizar las técnicas antiguas, descubrir las falsificaciones, fechar los objetos arqueológicos, reconstituir los derroteros seguidos por las corrientes culturales... La ciencia, además, desempeña un papel capital en la conservación de los bienes culturales para la posteridad. Esta nueva noción de la conservación, estimulada y sostenida por la Unesco, es el ejemplo mismo de ese lazo indisoluble entre arte y ciencia que constituye uno de los artículos de fe de la Organización. En la foto, equipo de termoluminiscencia y estatuilla de Ariadna sentada procedente de Mirina (primera mitad del siglo II a.C.) que se conserva en el Museo del Louvre, París. Su fecha ha sido confirmada mediante esa técnica de datación científica.





Estudio fotogramétrico de la fachada del pequeño templo de Abú Simbel. Detalle de una estatua de la reina Nefertari.

La ciencia al servicio del arte

por Magdeleine Hours

DURANTE mucho tiempo se han considerado Arte y Ciencia como dos términos opuestos, identificando al primero con la "creación", fruto de la sensibilidad del hombre, y asignando como finalidad al segundo el "descubrimiento de las leyes de la naturaleza".

El desarrollo creciente de la ciencia y de la tecnología ha modificado y ha invadido poco a poco la vida cotidiana del hombre del siglo XX; el mundo del arte respondía a ese fenómeno con una actitud de temor y de defensa por parte de quienes lo practicaban y de quienes lo estudiaban, aunque nadie negara el papel que las ciencias desempeñan como inspiradoras del arte de nuestro tiempo.

Sin embargo, desde hace unos treinta años se ha venido advirtiendo tan frecuentemente a la conciencia mundial acerca de la amplitud de la destrucción de las obras de arte y la necesidad de preservarlas como se preserva el patrimonio cultural, que se ha establecido una nueva alianza entre los hombres de ciencia y las personas cuya misión es estudiar y preservar el patrimonio artístico.

Esos vínculos estrechos entre la ciencia y el arte comenzaron, en Europa, en el siglo XVIII: en París, con los enciclopedistas Fontenelle, Charles, Diderot y otros; luego en Londres, con los trabajos de H. Davy. En el siglo XIX, aunque las investigaciones en esta materia eran más esporádicas, Pasteur y Roentgen pusieron sus propios métodos de análisis al servicio del estudio de las obras de arte. Pasteur escribía el 6 de marzo de 1865: "Hay circunstancias en las que veo claramente la alianza posible y deseable de la ciencia y el arte, mediante la cual el químico y el físico pueden ocupar un lugar junto al artista e iluminarle con sus luces..." Años después, en 1895, Roentgen descubría los rayos X e intentaba hacer en Munich la primera radiografía de un cuadro.

A mediados del siglo actual los grandes museos se dotaron de laboratorios especiales y las universidades del mundo entero pusieron sus experimentos y a veces incluso a sus investigadores al servicio de un conocimiento más profundo de los objetos a fin de precisar la tecnología empleada en su fabricación y descubrir su origen y su anti-

güedad. Al comienzo, gracias a las propiedades de las ondas magnéticas, el historiador y el conservador de museo dispusieron de métodos de análisis que iban mucho más allá de lo que se hallaba al alcance del ojo humano. Hoy día, los rayos ultravioletas permiten describir, circunscribir y fotografiar las restauraciones y modificaciones que antes eran invisibles. Así, gracias a los rayos infrarrojos y a los rayos X o Roentgen es posible atravesar la madera y la tela, remontarse en el tiempo y descubrir etapas insospechadas en la creación de una obra.

Si bien estos métodos han permitido analizar la técnica de elaboración de las obras de arte, otros más desarrollados nos facilitan el estudio de los materiales utilizados por el artista o el artesano de otros tiempos. Por ejemplo, los métodos fisicoquímicos de análisis, que hasta hace algunos años todavía presentaban el grave inconveniente de necesitar una muestra del objeto, poco a poco han reducido ésta a algunos microgramos e incluso pueden prescindir totalmente de ella, como en el caso de la microfluorescencia X. Es tan alta la precisión de los análisis que se obtienen con ésta que ha sido posible no solamente penetrar en los secretos de los materiales utilizados sino además descubrir su procedencia. Así, el extraño poder de esas radiaciones invisibles y absolutamente inocuas para el objeto nos ha permitido reconstituir la ruta del comercio de los metales en la Antigüedad (véase la pág. 18).

Si gracias a los métodos de espectrometría y a los métodos nucleares estamos en condiciones de esclarecer la procedencia histórica y geográfica de los objetos, los métodos de datación los sitúan en el tiempo. Disponemos actualmente de múltiples sistemas de datación pero el más utilizado es el del carbono-14, que requiere para el análisis una cantidad menor de materiales orgánicos. La termoluminiscencia ha permitido precisar la cronología de la cerámica y la dendrocronología la edad de la madera, mientras que en cuestiones de prehistoria, como la datación de los huesos, el método de inactivación de los ácidos aminados aporta precisiones importantes a la historia del hombre.

El diálogo que se ha establecido entre las ciencias exactas y las ciencias humanas en la

esfera del arte y de la arqueología es comparable al que existe entre la ciencia pura y la medicina. Pero convendría que las diversas iniciativas que se realizan a nivel internacional permitieran normalizar los métodos científicos a fin de facilitar el intercambio de informaciones, mejorar la preservación del patrimonio artístico, hacer más eficaz la lucha contra los falsarios, y, finalmente, ofrecer a los historiadores y a los arqueólogos métodos de datación más precisos y nuevos criterios sobre el insospechado papel que desempeña el entorno.

En esta exploración de nuestro pasado caben pues dos métodos de análisis o dos orientaciones del espíritu, que deben conducir a un mismo objetivo: la unicidad y la ampliación del concepto de la cultura. Porque existe el peligro de una escisión entre la formación científica y las ciencias humanas. Si esta hipótesis de un universo así dividido se confirmara, significaría en sí misma el fin de la "cultura". De ahí que todos nuestros desvelos deban orientarse hacia una concertación cada vez mayor entre las ciencias exactas y las ciencias del hombre, aunque no pueda alcanzarse sin un gran esfuerzo recíproco. Pero ese es, a nuestro juicio, el único camino hacia un nuevo humanismo. □

MAGDELEINE HOURS, francesa, es conservadora jefe de los museos nacionales y dirige desde 1946 el Laboratorio de Investigación de los Museos de Francia. Ha sido comisario general de la exposición "La vida misteriosa de las obras maestras —La ciencia al servicio del arte" que se celebró en 1980 en el Grand Palais de París. La exposición presentaba al mismo tiempo una serie de obras de arte notables y un balance de los métodos de examen, de análisis y de datación actualmente utilizados en materia de arte y con vistas a una mejor conservación de las obras. En dicha manifestación participaron más de sesenta laboratorios y cerca de cien investigadores. El catálogo de la exposición es un volumen de 330 páginas en el que se incluyen simultáneamente los comentarios científicos de los métodos utilizados y la descripción de las obras expuestas. Completa la obra un repertorio de dichos métodos. En las páginas que siguen se reproducen fragmentos de ese catálogo. Agradecemos a los autores, a la Reunión de Museos Nacionales de Francia y a la señora Hours habernos autorizado a reproducirlos.

Cómo se salvó Lascaux, santuario del arte prehistórico

La cueva de Lascaux está situada en el Perigord, cerca de Montignac, en el departamento francés de la Dordogne. En los acantilados calcáreos que enmarcan el río Vézère se encuentran la mayoría de los refugios y cuevas que hacen de toda la región uno de los lugares más importantes de la prehistoria.

La cueva fue descubierta el 12 de septiembre de 1940 por cuatro niños de Montignac en la lindería de un bosque bajo, en la ladera de una colina cubierta de pinos y castaños.

La entrada de la cueva, de forma cuadrangular, apenas excedía de 80 cm de lado, se hundía verticalmente en el suelo tapizado de hojas secas y desembocaba en un cono de escombros. Unas semanas más tarde se había limpiado el bosque y abierto delante del agujero una enorme excavación de varias decenas de metros de anchura, despejándose incluso el comienzo de la bóveda de la Sala de los Toros.

Es probable que el acceso a Lascaux por una cueva descendente nunca haya sido fácil. Como la descomposición de la bóveda de entrada continuó acumulando más y más escombros después de que la abandonaran los últimos artistas, la cueva quedó así obstruida durante milenios. Las corrientes de aire y los regatos que se abrieron paso a través de esos materiales de relleno llevaron al interior de la cueva pocos elementos destructivos, excepto probablemente al final de la última glaciación, época en que los geólogos sitúan la formación de las placas de calcita.

Hay que suponer además que la calcificación superficial del cono de escombros, la formación de estalactitas, la infiltración de arenas y arcillas arrastradas al derretirse los hielos, tuvieron que consolidar los rellenos de la entrada. Los estudios técnicos iban a confirmar el papel capital que desempeñó ese tapón térmico para la conservación de los frescos rupestres. Si bien el techo de la cueva, de 6 a 8 metros de espesor, es estanco (masa rocosa de caliza santoniense de grano compacto, recubierta de una capa de arcilla impermeable), la grieta de entrada está a menos de 10 metros de distancia del Unicornio.

La clasificación como monumento histórico, el 27 de diciembre de 1940, hacía posible la intervención de los poderes públicos en una propiedad privada. Se aconsejó prudentemente al propietario que cerrara el lugar con una puerta de madera, con la finalidad principal de impedir el acceso incontrolado del público, y no para mantener unos factores climáticos cuya importancia no se sospechaba. Fue preciso esperar al final de la guerra para que se emprendieran trabajos importantes que permitieron la apertura al público el 14 de julio de 1948: escalera de piedra, puerta de bronce, vestíbulo, camino de losas, barreras de protección, iluminación.

La blancura y la luminosidad del soporte de calcita sobre el que se pintaron tan profusamente los decorados policromos, la admirable utilización de las formas de la estructura rocosa, la expresión de los movimientos de animales dibujados en plena acción, el estilo especialísimo en que se mezclan la perspectiva y el perfil, hacen de estas escenas animadas las más impresionantes y bellas representaciones del arte paleolítico.

El conservador de la cueva debía, pues, vigilar escrupulosamente el estado de conservación de las paredes decoradas, gracias a lo cual pudo advertir, en julio de 1955, que las exudaciones de agua de la pared de la cueva (agua de condensación), en los períodos de afluencia turística, hacían que se formaran gotitas que caían de la bóveda y que estaban teñidas por la disolución de la pintura. Gracias al estudio científico de este fenómeno pudo averiguarse que su causa era el exceso de gas carbónico producido por la respiración de los visitantes.

En 1958 se instaló un aparato de regeneración de la atmósfera; su función consistía en aspirar el aire, eliminar el polvo por medio de un filtro de aceite, descarboxinar el aire mediante una pulverización de agua sódica, enfriarlo para obtener constantemente la temperatura a 14° y humedecerlo para mantener una higrometría próxima al punto de condensación (entre 95 y 98 %). El mecanismo estaba regulado electrónicamente, accionado por un torno que contabilizaba los

visitantes de la cueva. El éxito de esta ventilación, que suprimía las condensaciones y limpiaba la atmósfera, hizo que los técnicos autorizaran al propietario a utilizarla en régimen de pleno rendimiento en los períodos veraniegos de afluencia turística (a veces más de mil personas diarias).

En septiembre de 1960, el conservador de la cueva observaba en el techo una pequeña mancha verde, apenas visible. En 1961, un control cromográfico permitió descubrir otras manchas, aparecidas a pesar de los primeros tratamientos aconsejados por el Instituto Pasteur. En vista de que las manchas verdes aumentaban, el ministro de Asuntos Culturales creó en marzo de 1963 una Comisión de Estudios Científicos de Salvaguardia constituida por personalidades científicas de todas las disciplinas. Gracias a un trabajo ejemplar de más de diez años y a una estrecha colaboración entre los diversos laboratorios interesados, ha sido posible salvar por completo las pinturas rupestres.

Aunque la cueva se cerró el 20 de abril de 1963, las algas pasaron en unos meses de 3 a 720 colonias. El estudio de las muestras de algas mantenidas en cultivo, realizado paralelamente en laboratorio, reveló la existencia de numerosas especies de algas, helechos, musgos y hongos. Se imponía un tratamiento enérgico, para reducir tanto la contaminación bacteriana como la de las algas. Después de algunos ensayos sobre la eficacia y la inocuidad para las pinturas de diversas terapéuticas, se procedió a destruir las bacterias mediante



Foto © Instituto de Fotografía Científica y Médica de la Facultad de Medicina, Marsella

la pulverización de antibióticos, mientras que se aplicaban a las algas soluciones de formol. Las 1.350 colonias de algas registradas fueron destruidas progresivamente por medio de pulverizaciones de 1/10 en el suelo, de 1/20 en la roca desnuda y de 1/200 en las pinturas. La destrucción total se realizó en dos años; pero, para evitar una nueva contaminación, se han reducido considerablemente el tiempo de permanencia en la cueva y la iluminación. Estas medidas profilácticas se limitan a lo estrictamente necesario mediante controles periódicos de las bacterias y las algas contenidas en el aire y en el suelo de la cueva y mediante exámenes macrográficos de sus paredes.

Además de la contaminación biológica así vencida, otro peligro amenazaba a las paredes, consistente en la formación de ligeras nubes de calcita en la pared derecha del divertículo lateral, en el friso de los Ciervos y de manera menos visible en el Unicornio. La formación de concreciones calcáreas en una cavidad subterránea es función, por una parte, de la solubilidad del carbonato de calcio en el agua que atraviesa los terrenos y, por otra, de su precipitación a nivel de la pared. Se instaura un sutil equilibrio entre el calcio, el gas



Foto © Archivos Fotográficos, Paris/SPADEM

A la izquierda, cabeza de un enorme toro (cuatro metros de largo) de la cueva de Lascaux. Los especialistas han creído ver en el enigmático signo de tres puntas delante del animal un símbolo del sexo masculino. Los visitantes que se agolparon en Lascaux durante los quince años, aproximadamente, en que estuvo abierta al público alteraron el delicado microclima de la cueva que durante miles de años preservó intacta esta extraordinaria galería de arte prehistórico. La gruta se volvió excesivamente húmeda y comenzaron a aparecer en las paredes algunas formaciones cristalinas, como los cristales de calcita que pueden verse en la foto de la pág. 6. La única manera de combatir esta "enfermedad blanca", como se la ha llamado, consiste en recrear el microclima original, lo que, por desgracia, obliga a impedir la entrada del público en la cueva.

carbónico y el agua, modificado por la atmósfera ambiental y la difusión de una fuente natural de gas carbónico que se añade al expirado por los visitantes.

Para detener estos fenómenos de reconstitución y corrosión de las superficies calcificadas, cuyo progreso se siguió mediante observaciones microfotográficas, se emprendió un estudio general tanto del contexto estructural como del clima. Un reconocimiento hidrogeológico muy detenido dio lugar a estudios detallados basados a veces en técnicas refinadas: plano topográfico con referencia al suelo exterior, análisis edafológicos, plano fotogramétrico de las curvas de nivel por cortes verticales de 5 en 5 milímetros en las zonas pintadas, plano colorimétrico, cuadrícula muy fina de microsondeos, exploración microgravimétrica, estudio térmico del suelo por radiometría infrarroja, mapa isotérmico de las paredes a un centésimo de grado, determinación volumétrica (1.778 m³ para las cavidades reconocidas), estudio aerodinámico para detectar los microclimas, datos climatológicos facilitados por aparatos electrónicos que trabajan a distancia tanto respecto de las paredes como respecto del aire, la tem-

peratura y la humedad, la proporción de gas carbónico y la presión barométrica.

Todas estas observaciones realizadas en varios años sirvieron de base para la decisión adoptada por la Comisión Científica de reducir todas las variaciones que pudieran modificar el clima de la cueva determinado por la constancia de los parámetros: temperatura, humedad y contenido de gas carbónico. Una instalación frigorífica climatiza el aire que entra en la cueva. El gas carbónico se extrae en la fuente ("Puits du Sorcier"). Las compartimentaciones (vestíbulo, divertículo lateral, trampa del pozo) contribuyen a mantener la estabilidad de los parámetros: temperatura 13°; humedad 98%; gas carbónico 1%. Este clima, próximo al que existía antaño, sólo se consigue limitando las entradas a cinco personas cada día, con dos días de cierre total por semana. Tales entradas se reservan a los especialistas científicos.

Dieciocho años después de haberse cerrado la cueva al público, se han confirmado los resultados. La cueva de Lascaux se ha salvado de una destrucción segura. ■

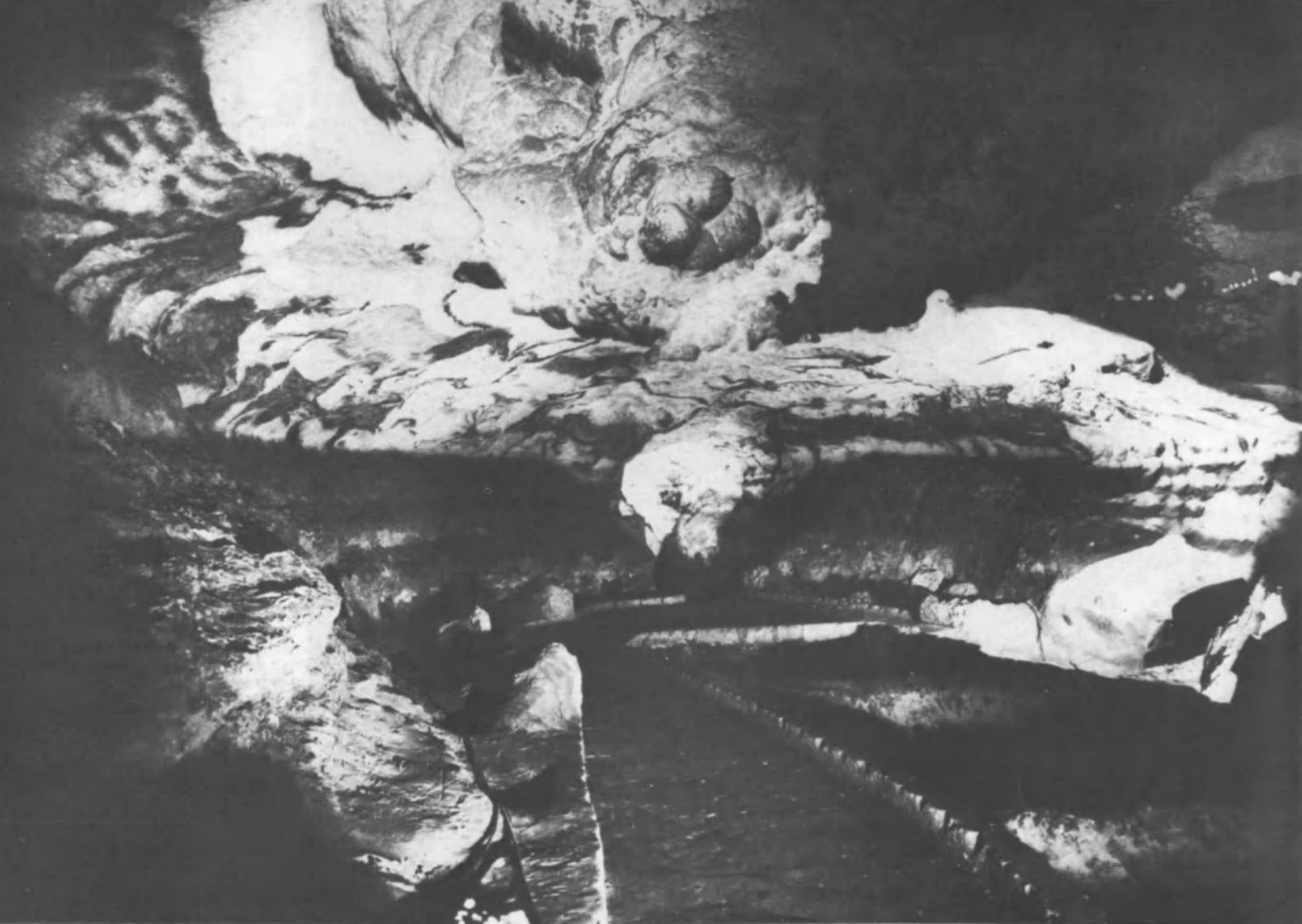
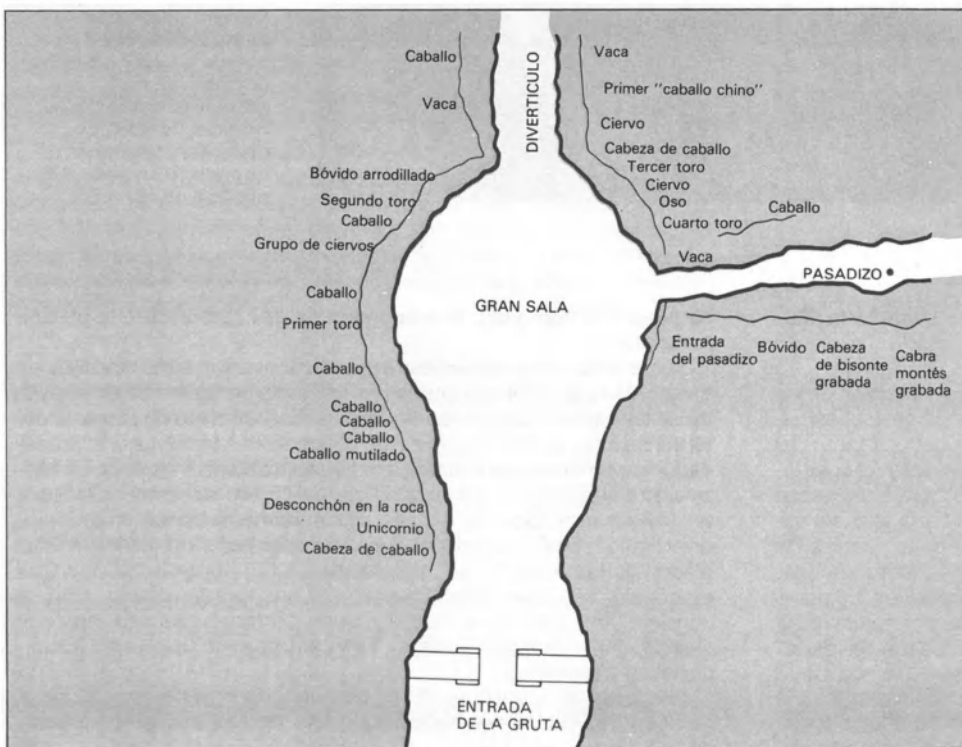


Foto © Archives Photographiques, París/SPADEM

Arriba, vista general de la Sala de los Toros. En la página siguiente, reconstitución de la misma presentada en una exposición que se celebró recientemente en el Grand Palais de París. Abajo, plano de la famosa Sala.

La Sala de los Toros



Plano © Ediciones Skira. Tomado de Lascaux de Georges Bataille

LA Sala de los Toros es el corazón de la cueva de Lascaux. Tanto por su forma como por las pinturas que la adornan, pasa por ser, junto con la cueva de Altamira, en España, la obra maestra del arte prehistórico. De 1963 a 1975 veinticinco laboratorios franceses unieron sus esfuerzos a los de la Dirección de Monumentos Históricos y de los prehistoriadores para salvar la famosa gruta. Su salvamento representa el más brillante ejemplo de la contribución de la ciencia al servicio del arte.

Aun salvada, la cueva seguía siendo frágil. El equilibrio entre la temperatura, la humedad y el gas carbónico era precario. De ahí que apenas se la visitara. En consecuencia, para que el público pudiera apreciar la belleza del lugar, se decidió hacer una reproducción de tamaño natural gracias a la ayuda del Instituto Geográfico Nacional de Francia que poseía los alzados fotogramétricos de la cueva, con los cuales podía restituirse su forma y sus relieves con una aproximación de dos o tres milímetros.

Utilizando esos datos, una empresa especializada en la construcción de decorados de teatro emprendió la difícil tarea de reconstituir la cueva. Un equipo de especialistas

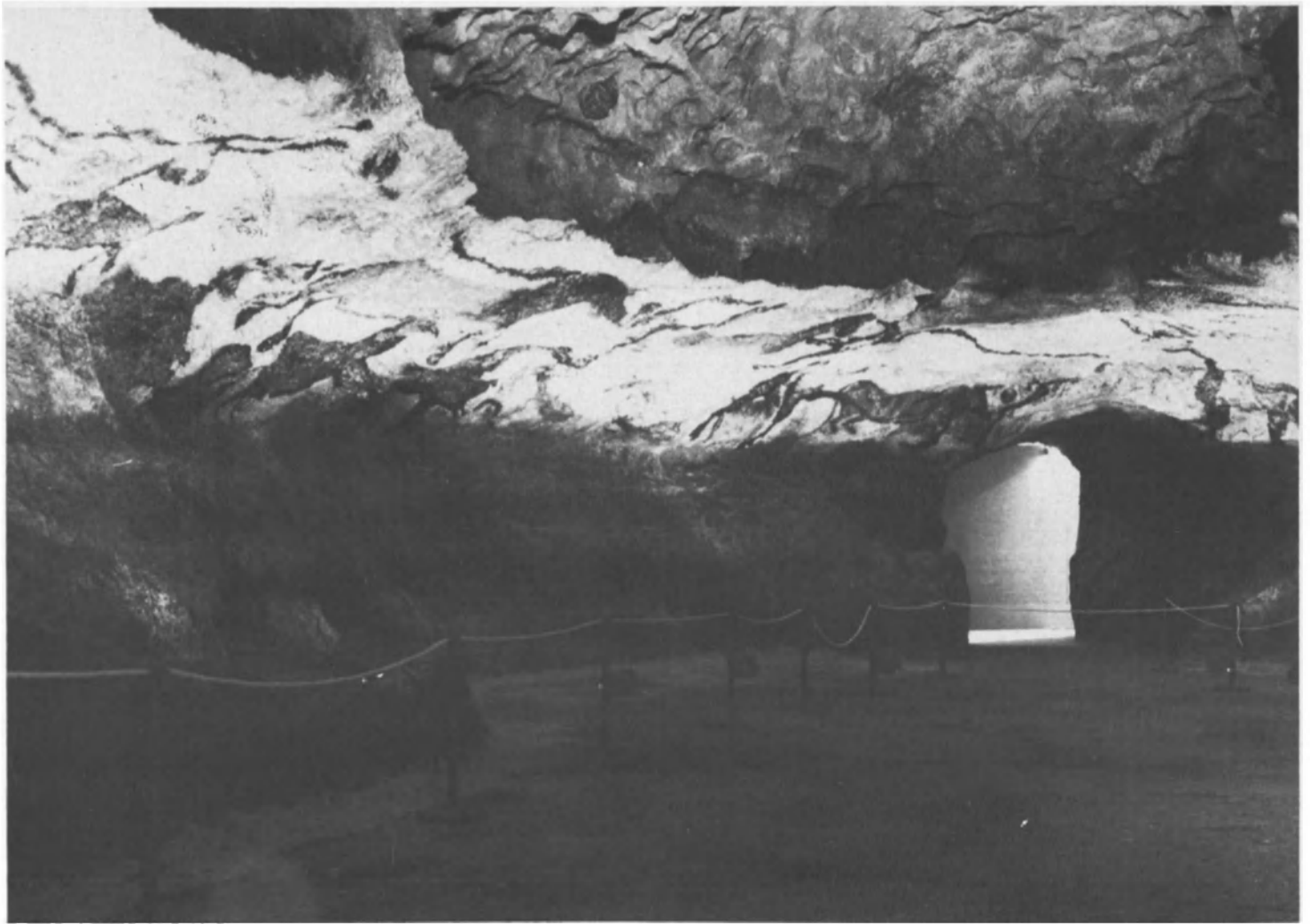


Foto J. Rochaix © Kodak-Pathé, Paris

Una admirable reconstitución científica

fabricó 26 unidades modulares. Cada módulo se compone de un bastidor de madera contrachapada con cinco listones verticales y siete horizontales, dispuestos a intervalos de 25 centímetros (véase la foto de la p. 10).

Luego se rellenaron los módulos con bloques de poliestireno expandido para reproducir el macrorrelieve de la cueva. Se modeló seguidamente cada uno de los bloques hasta obtener el relieve exacto de las paredes rocosas, ajustándose a los detalles de las fotografías. Primero se cubrió la superficie de los módulos con una capa de látex para proteger el poliestireno y a continuación se aplicó, mediante pulverización, una mezcla de resina de poliéster y fibra de vidrio a fin de formar una capa resistente e ininflamable de cinco milímetros de espesor. Esta estructura de plástico se adapta perfectamente al soporte pero sin adherirse a él.

Seguidamente se separó de los bloques de poliestireno la estructura de poliéster sujeta por el bastidor y se le aplicó un revestimiento de color ocre y rojo, mezclado con arena y resina, a fin de reproducir la impresión que producen a la vista las concreciones de caliza y de calcita. Los 26 módulos ininflamables se montaron atornillándolos

en una plataforma elevada que semeja el suelo inclinado de la cueva.

Se había logrado así reproducir "geológicamente" la Sala de los Toros, pero ¿cómo colocar ampliaciones fotográficas de las pinturas rupestres en la superficie desigual de las paredes? La reproducción fotográfica en relieve de las pinturas de Lascaux parecía desafiar las leyes de la fotografía y de la física. Fue entonces cuando un equipo de expertos del Centro de Investigaciones de Kodak-Pathé de Vincennes, Francia, dio con una ingeniosa solución al problema.

Se trata de una técnica consistente en transferir, por un procedimiento de calcomanía, la imagen fotográfica, previamente separada de su soporte original de papel, a cualquier otra superficie (madera, piedra, metal, tela, plástico, yeso, etc.). Para ello se somete la fotografía a un tratamiento que confiere elasticidad a la película. La capa gelatinosa resultante tiene solamente algunos micrones de espesor y posee la sorprendente propiedad de no deformarse lateralmente cuando se la estira.

Por extraño que parezca, esta capa de película fotográfica se adapta perfectamente a los relieves, por muy irregulares que sean,

sin que varíe la densidad de los colores originales. Esta técnica permite la reproducción exacta no sólo de los colores y de los detalles a veces microscópicos sino también de la textura y el relieve del soporte.

Así se transfirieron a las paredes las ampliaciones fotográficas de los 25 negativos en color obtenidos por el Instituto Geográfico Nacional, cifándose a las dimensiones originales de las pinturas de Lascaux. Esto requirió operaciones de ajuste de gran precisión. Se previeron asimismo márgenes de tolerancia para las variaciones de densidad y de color que pudieran producirse entre las distintas fotografías después del tratamiento.

Hubo que calcular y colocar previamente todas las copias fotográficas como en un mosaico plano, haciendo que casaran perfectamente a pesar de las distorsiones inevitables debidas a los distintos ángulos de toma de las fotografías, que eran mayores en el caso de las paredes cóncavas.

Una vez realizadas todas las copias fotográficas hubo que preparar la transferencia física de las imágenes a las superficies de la cueva. La primera operación consistió en montar el conjunto de las fotos sobre una



1

La Sala de los Toros (cont.)

2



3



maqueta a escala 1:6. Basándose en este "rompecabezas" se recortó el mosaico real de fotos en unos 200 trozos cuadrangulares. Se identificó cuidadosamente el emplazamiento de cada uno de ellos en el esquema definitivo y se adoptó un tamaño normalizado de 60x80 cm con el fin de facilitar la automatización de todas las operaciones.

Las copias fotográficas finales se colocaron con la cara emulsionada hacia abajo sobre papel de calcomanía, es decir papel normal con un revestimiento de gelatina soluble en agua. A continuación se separó la imagen fotográfica de su soporte original por medio de un aparato especial que disuelve la capa de resina, aislando así la emulsión fotográfica de su soporte de papel. La película, una vez seca, se fijó sobre papel de calcomanía que se elimina fácilmente con sólo humedecerlo.

Seguidamente se pegó cada imagen sobre la superficie correspondiente. El papel se eliminó sin dificultad por medio de cepillos y esponjas de modo que sólo quedase la imagen fotográfica pegada en la cara de la "roca" con sus infinitas indentaciones.

Una vez transferidas las ampliaciones, se emprendió un meticuloso trabajo de retoque para corregir cualquier imperfección que hubiera podido producirse durante la aplicación de las calcomanías, particularmente en la juntura de los módulos. Finalmente, se procedió a igualar el tono de las paredes "pintadas" con el de las superficies adyacentes.

El realismo de esta reproducción fotográfica en tres dimensiones de Lascaux ha sido realizado mediante el acondicionamiento del aire a baja temperatura y una música que recuerda el goteo característico de las cuevas prehistóricas. ■



4



5



6

- 1) Montaje del armazón de madera chapeada de la cueva artificial.
- 2) Instalación de una sección del muro de la cueva.
- 3) Realización del fotomontaje a escala 1:6 de las pinturas rupestres.
- 4) Ensamblaje de las ampliaciones de tamaño natural.
- 5) y 6) Aplicación de las fotografías a los módulos de las paredes artificiales de la cueva.

Fotos 1, 3, 4, 6 : Pertuisot © Kodak-Pathé, París

Foto 2 : J. Rochaix © Kodak-Pathé, París

Foto 5 : Courtoix © Kodak-Pathé, París

Págs 9 a 11 : Reproducción fotográfica de las pinturas rupestres de la Sala de los Toros, de Lascaux, obtenida mediante un proceso de aplicación fotográfica en relieve perfeccionado por el Centro de Investigaciones Kodak-Pathé para los Museos de Francia con destino a la exposición "La vida misteriosa de las obras maestras — La ciencia al servicio del arte", organizada por la señora Magdeleine Hours

Cuando la ciencia escudrina la pintura

La pintura es una creación que se ha ido elaborando a lo largo del tiempo ; cada etapa es fruto de un gesto pero también de una reflexión ; y no hay que desdeñar ninguna porque todas contribuyen a la elaboración y, por tanto, a la comprensión de las obras maestras. El quehacer científico en este ámbito de investigación tiene tres objetivos principales : iluminar la historia, mostrar la tecnología del artista y conseguir una mejor conservación de su obra.

La contribución del examen y del análisis a la esfera de la historia (aquí la historia del arte) es esencial. De todos modos, no se trata, en nuestra opinión, de privilegiar un nuevo método respecto del método tradicional en la crítica de arte sino de mostrar simplemente el enriquecimiento de nuestra percepción gracias a las propiedades de diversas radiaciones y a la utilización de los recursos de la física en obras de estilo y de época muy diferentes.

Para estudiar los casos de falsificación artística se emplean hoy equipos pesados —la microsonda de Castaing, la microfluorescencia X...— que ayudan a investigar las técnicas del artista y de su época y que permiten no sólo analizar los materiales sino también captar las características de su envejecimiento.

En cuanto a los métodos de datación de las pinturas, están aun en la fase de la investigación experimental y todavía es demasiado pronto para juzgar de su eficacia.

Por último, el análisis científico desempeña un papel esencial en la conservación de las pinturas. Sólo se conserva y se cuida bien aquello que se conoce bien. Antes de aplicar cualquier tratamiento hay pues que establecer en laboratorio un diagnóstico.

Los dos artículos que siguen muestran sendos casos de aplicación de los métodos científicos al estudio de las obras pictóricas.

Rembrandt bajo los

carácter global y a la vez concreto, que va de la superficie a las capas internas ; la radiografía ha revelado el boceto del retrato y la traza original de la composición en su totalidad, mientras que gracias al análisis detallado de un minúsculo fragmento se han podido averiguar las materias utilizadas por el pintor, su disposición estratigráfica y su tecnología.

La imagen radiográfica ofrece la particularidad de revelar la presencia en la tela de una primera composición que está ahora oculta : una mujer inclinada sobre una cuna, que el pintor ha cubierto con el retrato actualmente visible. Pero la radiografía pone también de manifiesto la construcción de la cara del retrato, ampliamente abocetada con un pincel espeso y con blanco de plomo y ejecutada con un trazo firme que caracteriza las obras de Rembrandt al final de su vida.

El estudio microscópico de un minúsculo fragmento obtenido al realizar una restauración en la parte central del cuadro ha confirmado la existencia de superposiciones de

EL examen en laboratorio del *Retrato de un joven*, del gran pintor holandés Rembrandt, ha permitido descubrir la estructura profunda de la obra y comparar sus características con las de obras indiscutibles de Rembrandt, con el fin de confirmar o invalidar objetivamente su atribución al pintor.

Ha sido posible poner de manifiesto la técnica de Rembrandt en la ejecución de este retrato gracias a un doble procedimiento, de

Retrato de un joven (1658), de Rembrandt. Museo del Louvre. París.



rayos X

materia pictórica que explican el gran número de capas observables — ocho en total —, las cuatro primeras de las cuales corresponden a la composición inferior y las otras cuatro a la superior. Además, el examen de este fragmento permite afirmar que la composición subyacente estaba terminada, ya que se observan rastros de barniz entre la capa blanca del velo de la mujer y las correspondientes al traje del joven.

El análisis mediante la microsonda electrónica de Castaing, efectuado sobre ese fragmento, ha permitido identificar, capa tras capa, todos los elementos que integran la composición de la materia pictórica. Las imágenes X traducen los "mapas de distribución" de la densidad relativa de los elementos presentes, y las manchas blancas la localización de cada uno de esos elementos. De este modo cabe discernir la distribución del plomo, el hierro, el silicio, el aluminio, el fósforo y el calcio y observar que la capa roja, rica en hierro, aluminio y silicio, está constituida por una tierra ferruginosa y que las capas superiores contienen poco plomo.

La fotografía con rayos X de este cuadro muestra la textura del soporte así como la ancha pincelada típica de la técnica de Rembrandt. Pero los rayos nos descubren, además, la existencia en el mismo lienzo de una pintura anterior, en la que puede verse una mujer sentada junto a una cuna.

La exploración con el pincel electrónico de cada microcubo de materia pictórica proporciona una imagen representativa de los pigmentos, utilizados por separado o mezclados, que es característica del oficio del artista.

Tanto por la calidad del boceto que pone al descubierto la radiografía como por el perfil de la materia pictórica que muestran el estudio microscópico del fragmento y la microsonda electrónica, esta obra encaja perfectamente entre los cuadros de Rembrandt ya catalogados por los especialistas. ■



Una de las Vírgenes era falsa

LOS documentos radiográficos y analíticos han permitido confirmar la autenticidad de la *Virgen de la Anunciación*, pintura sobre madera de principios del siglo XV, del italiano Taddeo di Bartolo.

La radiografía muestra una imagen muy clara de la composición y del soporte de madera. La tabla de álamo está en buen estado de conservación, pese a la presencia — a la altura del pecho de la Virgen — de un nudo de madera arreglado con una masilla que impide el paso de los rayos X. La tabla se compone de dos planchas longitudinales que fueron también unidas entre sí por una masilla opaca. Se incluyó una tela en el plaste de preparación, con el fin de nivelar el soporte y de esfumar los nudos de la madera: un pedazo importante de esta tela recubre la parte inferior de la tabla, a partir de los ojos de la Virgen. Se observa igualmente que toda la superficie de la tabla fue preparada, incluidas las partes no cubiertas por la pintura.

La imagen de la composición es de escasa densidad, siendo los elementos presentes en la materia pictórica de masa atómica poco elevada (tierra, lapislázuli, lacas). Los detalles del rostro, el pelo y el velo que lo cubre, así como los pliegues de la vestimenta, están tratados con un pincel flexible y un color fluido extendido con rapidez. Una ligera red de grietas finas y paralelas, perpendiculares a la fibra de la madera, afecta la materia pictórica en forma netamente distinta de la red de grietas profundas revelada por la radiografía de la falsificación sienesa.

La fotografía con rayos infrarrojos pone de relieve la fluidez y la elegancia del grafismo. Las líneas del diseño resultan incluso perceptibles en ciertos lugares, en particular en el pelo, el rostro, las manos, los pliegues del vestido, la parte del velo sobre el pecho. En el abrigo son visibles algunas alteraciones.

El estudio de la materia pictórica pone de manifiesto una técnica y unos materiales conformes a la época y al origen de la obra:

— la preparación de la tabla está constituida por dos capas de plaste a base de sulfato de calcio y de goma, con una tela incluida;

— el azul del abrigo de la Virgen está realizado con gruesos granos de lapislázuli. Estos están recubiertos de una capa de azul de Prusia que da fe de una restauración antigua del azul original del abrigo;

— el rojo del vestido está conseguido con laca de grana mezclada con blanco de plomo;

— la capa coloreada está extendida al temple con huevo.

Todos los rasgos descubiertos son representativos y conformes a la tradición del arte italiano de principios del Quattrocento, tal como lo describe minuciosamente Cennino Cennini en su "Libro dell'Arte". Fue el redescubrimiento de ese tratado sobre la pintura publicado en Italia en 1821 por el caballero Tramboni, y traducido al francés en 1858 por el pintor Víctor Mottez, lo que dio origen al florecimiento de las falsificaciones

de primitivos italianos realizadas en Italia según las técnicas tradicionales.

Se ha descubierto, así, que *La Virgen y el Niño* (foto de abajo), obra sobre madera, próxima por su estilo general a la Escuela de Siena del siglo XV, era falsa. En efecto, esta obra presenta detalles formales difícilmente compatibles con su supuesta época y origen.

En un caso como éste, el análisis científico mediante la aplicación de los métodos ópticos y microquímicos aporta al conocimiento de la obra criterios objetivos e irrefutables que confirman o invalidan los criterios históricos y estéticos del historiador del arte.

La radiografía es, sin lugar a dudas, uno de los métodos de examen más útiles para la autenticación de las pinturas, ya que pone de manifiesto la estructura profunda de la obra, revela el boceto y, eventualmente, las anomalías que presenta y permite su comparación con los documentos obtenidos con pinturas no sospechosas.

Resulta claro, en este caso, que el documento radiográfico está muy alejado de aquellos realizados con obras de la misma época. La imagen de la composición es prácticamente invisible; sin embargo, se adivina en el hombro y las mangas la presencia de pliegues drapeados que no son ya perceptibles en el actual estado de la obra. El dato más interesante es la neta revelación de una amplia red de grietas prematuras, producidas artificialmente, que es completamente diferente de la fina red de grietas originadas por la vejez que recubre la materia pictórica de los Primitivos.

La fotografía con rayos infrarrojos restituye bien la forma original del drapeado del abrigo, disimulado posteriormente por una capa repintada. En el rostro se observa la presencia de accidentes que han sido reparados. El documento nos muestra que la obra fue muy restaurada, cosa que confirma el examen de los cortes estratigráficos.

Finalmente, el análisis microquímico nos permite detectar anacronismos en la composición de la pintura, fáciles de descubrir si se conoce la evolución de la historia de los pigmentos y de las técnicas.

Como atestiguan los cortes transversales efectuados, la materia pictórica de la falsa Virgen sienesa respeta la estratigrafía tradicional: la capa coloreada se extiende sobre un plaste blanco y espeso. Sin embargo, esa capa presenta varias anomalías:

1. La impresión blanca puesta sobre el plaste y presente en el conjunto del cuadro está constituida por una capa a base de lito-

pón, mezcla de sulfuro de zinc y sulfato de bario que sólo se utiliza desde 1875.

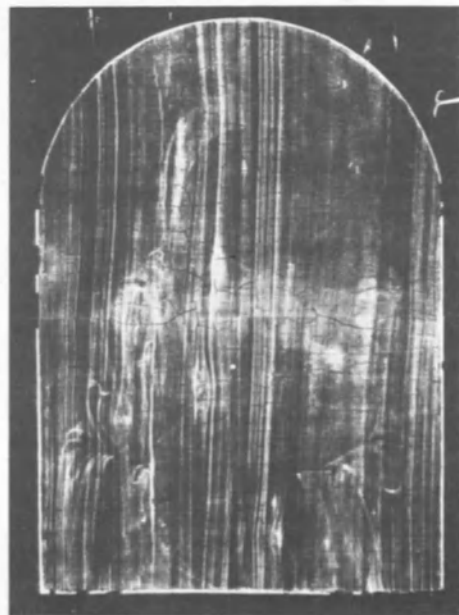
2. El litopón está también presente en las capas de color claro. Debe observarse, sin embargo, que éstas están constituidas, según la tradición, por una capa rosa sobre una capa a base de tierra verde.

3. El color rojo es a base de cadmio, empleado a partir del siglo XIX, y el color amarillo a base de antimonio, pigmento conocido en la antigüedad pero que desapareció de la paleta de los pintores hasta el siglo XVIII.

4. Los detalles que acabamos de mencionar bastan para demostrar que la obra no puede ser anterior a fines del siglo XIX. Es más: en los cortes transversales del amarillo del vestido del Niño y del rojo del de la Virgen puede observarse que la pintura penetra en las grietas de la capa de impresión, lo que implica que esta última fue sometida a un secado acelerado antes de que se pusiera la capa de color.

5. Finalmente, la argamasa de la materia pictórica es una pintura al temple con goma — con o sin el agregado de un poco de óleo — muy distinta químicamente del temple con huevo que cabe esperar de una pintura de esa época.

De este modo, aunque el cuadro haya sido muy restaurado, y aunque su autor tuviera la habilidad de utilizar una técnica conforme a la de los pintores primitivos del siglo XV, la presencia en las capas originales del cuadro de pigmentos de introducción reciente y de un molido homogéneo — por lo tanto, mecánico —, hace muy fácil la identificación de la falsificación. ■



Arriba: *La Virgen de la Anunciación*, de Taddeo di Bartolo (1362-1422), que se conserva actualmente en el Museo del Petit Palais de Aviñón, Francia. Los rayos X revelan los rasgos característicos de la escuela de Siena de comienzos del siglo XV, a la que pertenece esta obra.

Abajo: *La Virgen y el Niño*, cuadro falsificado según el estilo de la escuela de Siena. Vista con rayos X, la obra muestra una imprecisión que no se observa en las pinturas auténticas de la época. Por otra parte, el análisis químico ha permitido advertir en el cuadro la presencia de litopón, un pigmento blanco a base de sulfato bórico y sulfuro de cinc que sólo comenzó a emplearse en 1875.



Falso zapoteca y termoluminiscencia

EL análisis estilístico de las ricas colecciones de objetos precolombinos de algunos grandes museos ha revelado en los últimos años ciertos detalles insólitos que despiertan el interés de los americanistas. Para estudiarlos se han empleado dos técnicas científicas: la termoluminiscencia (véase el artículo de la pág. 21), que ha confirmado la "intrusión" de objetos de fabricación relativamente reciente en las colecciones arqueológicas, y el estudio microscópico, gracias al cual se ha podido localizar la región donde se fabricaron esas piezas.

Para ilustrar este tipo de investigación tomemos, de entre las cuarenta esculturas zapotecas de barro cocido que se conservan en el Museo del Hombre de París y en los Museos Reales de Bruselas, dos piezas, una de las cuales resultó ser auténtica y la otra de fabricación reciente. Arriba, una cabeza de anciano, que formaba parte de una gran escultura de barro cocido destinada al culto de un dios de edad avanzada, representado con un alto tocado de plumas que servía de brasero para quemar el copal en honor de esa divinidad. A la derecha, una urna antropomórfica que representa al dios del maíz; la figura tiene en cada mano una mazorca de esa gramínea y su tocado está adornado con los mismos símbolos. Estas urnas son características de la civilización zapoteca y aparecían frecuentemente en las tumbas y a veces en los templos.

La termoluminiscencia ha permitido distinguir las piezas de barro cocidas hace varios siglos de aquellas que datan de una fecha más reciente. A partir de una muestra de cuarenta miligramos de polvo, se han efectuado observaciones para determinar,

por una parte, la termoluminiscencia natural de la muestra y, por otra, la termoluminiscencia artificial, tras someterla a irradiación en el laboratorio. Gracias a los resultados obtenidos se ha calculado la dosis de radiación depositada en el material cerámico desde su última cocción: la cabeza de anciano ha recibido cerca de 300 rads (medida de radiación ionizante), lo que corresponde a una dosis "arqueológica"; en cambio, la dosis recibida por el dios del maíz no excede de 17 rads, de donde se deduce que se trata de un objeto de fabricación reciente, pudiendo incluso precisarse que data de comienzos del siglo XX.

La observación con microscopio polarizante de láminas delgadas obtenidas de objetos antiguos y modernos demuestra que en éstos se han utilizado diversos tipos de arcilla pero todos esos tipos contienen, en proporción variable, un mismo desengrasante mineral que corresponde a una zona de metamorfismo existente en el valle de Oaxaca, México, donde se desarrolló la civilización zapoteca, y que puede encontrarse particularmente en Monte Albán, centro principal de esa civilización. De ahí puede deducirse que tanto las piezas antiguas como las recientes proceden de la misma región.

El examen microscópico permite suponer, además, que un grupo importante de objetos de factura moderna, constituido principalmente por grandes urnas antropomórficas, han sido fabricados en el mismo taller; en efecto, la pasta cerámica de todas esas obras es de una extraordinaria uniformidad y se caracteriza por la presencia de los mismos minerales y en proporción idéntica, sobre una pasta arcillosa anisotrópica de color amarillento. ■



La microfluorescencia X y la reina Aregunda

La microfluorescencia X es una técnica espectrométrica que permite analizar los elementos constitutivos de todos los materiales. El espectrómetro consiste en una fuente de rayos X que "excita" la materia que se va a analizar, en un detector que mide la irradiación emitida y en dos analizadores que separan los rayos del haz lumínico.

Su utilidad es particularmente manifiesta en materia de investigaciones museológicas y sus resultados se sitúan entre los que se obtienen mediante las sondas electrónicas y los que se logran gracias a los espectrómetros tradicionales de fluorescencia X.

La microfluorescencia X permite efectuar un análisis directo y absolutamente inocuo de todos los objetos y materiales arqueológicos, ya sean conductores (metales) o no conductores (cerámica, vidrio, compuestos orgánicos) y cualesquiera que sean sus formas y dimensiones: verdaderas obras de ar-

te, como pinturas y piezas arqueológicas, o minúsculas muestras de polvo, vidriado, soldadura, incrustaciones, corrosión, pátina, materia pictórica, etc.

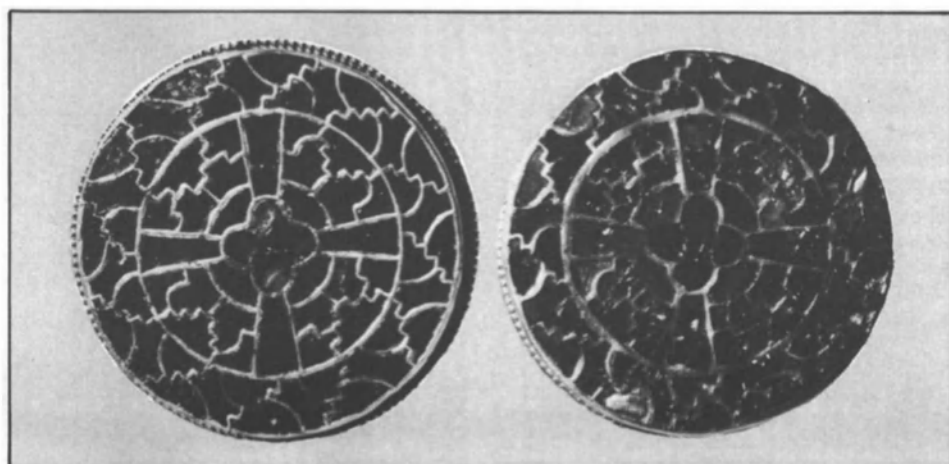
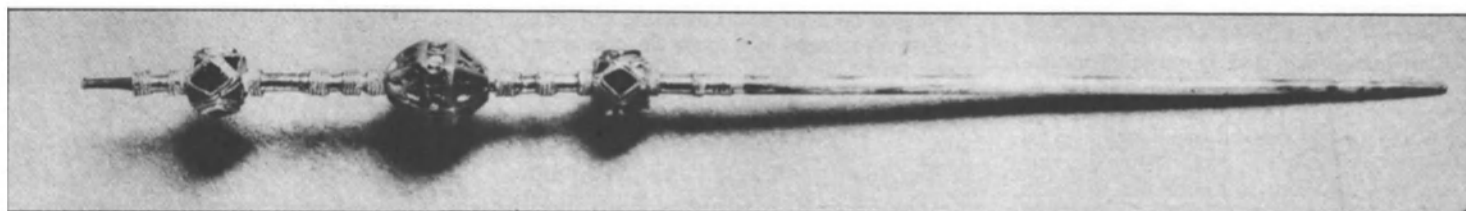
Gracias a esta técnica pueden analizarse directamente en los objetos pequeñas superficies cuyo diámetro oscila entre un décimo de milímetro y una decena de milímetros. Cabe también adaptarla al estudio de muestras cuyo diámetro es sólo de algunas decenas de micrones. En este caso conviene conservar la muestra después del análisis, ya que la técnica adquiere cada vez mayor precisión, pudiendo así completar posteriormente los primeros resultados.

La microfluorescencia demostró su utilidad en el análisis sistemático del tesoro de la reina Aregunda, esposa de Clotario I, cuya tumba fue descubierta en Saint-Denis (Francia) en 1959. Esta sepultura real de la época merovingia contenía objetos de extraordinario valor.

En el laboratorio se analizó con particular atención este excepcional tesoro merovingio que comprendía dos alfileres, dos aretes, un gran alfiler, dos fíbulas redondas, un anillo con sello, una guarnición de tahalí, dos pendientes de cinturón, guarniciones de jarretteras y de calzado y galones dorados de las mangas.

El análisis de las aleaciones metálicas, de oro o de plata, se realizó directamente en la superficie de los objetos mediante el procedimiento de la microfluorescencia X, ya que su estado impedía la toma de muestras. Se escogieron diversos puntos de análisis en cada una de esas joyas a fin de obtener resultados cuantitativos, teniendo en cuenta que podía haberse producido un cambio en la composición de la superficie por una alteración de los revestimientos dorados o nielados de los objetos.

Los resultados demostraron que las aleaciones utilizadas eran diferentes en cada par de objetos, aunque la composición de éstos en cada par era la misma. Por otra parte, el examen con lupa binocular reveló que la factura de las piezas de cada par era diferente, una de ellas realizada con gran maestría artesanal y la otra con menor habilidad. De esto parece deducirse que las joyas fueron fabricadas en el mismo taller (dado que en cada par tienen la misma composición), encargándose de la ejecución de unas el maestro del taller y de la de las otras un ayudante. ■



Gran alfiler de plata y oro con incrustaciones de granates, descubierto al nivel del pecho de la reina.

Estas dos fíbulas redondas, con incrustaciones de granates, servían para cerrar la túnica de seda de la reina Aregunda al nivel del cuello (fibula de la izquierda) y del talle (fibula de la derecha).

Fotos © Gilbert Mangun, Nancy

El "vaso del escondite"

El pasado reconstituido gracias a las técnicas del análisis metalúrgico

ANTES que en cualquier otro campo, es en el sector de la metalurgia donde se ha desarrollado una estrecha colaboración entre los especialistas de las ciencias exactas. Esto ha conferido a sus investigaciones un carácter pluridisciplinario que comenzó con los magníficos trabajos de Cyril Smith en el Instituto de Tecnología de Massachusetts.

La metalurgia química y extractiva, relacionada con la naturaleza y los orígenes de los minerales, es uno de los nuevos ámbitos de investigación arqueológica desarrollados desde hace unos quince años gracias a la rápida evolución de las técnicas espectrométricas, atómicas o nucleares.

Los minerales de orígenes geográficos diferentes tienen una composición química distinta que se caracteriza por la cantidad o por la naturaleza de las impurezas, que corresponden a la geología de los terrenos. Las investigaciones arqueológicas tienen por objeto ora la metalogénia, es decir los procedimientos de transformación del mineral en metal, ora el análisis de sus elementos en sus vestigios y las proporciones de los isótopos del plomo para tratar de encontrar índices característicos que permitan determinar el origen de los objetos arqueológicos de nuestras colecciones.

Esta investigación pluridisciplinaria, puesto que en ella colaboran analistas, arqueólogos y geólogos, se realiza actualmente en todo el mundo por institutos americanos,

europes, soviéticos o japoneses, y su objeto es la prospección arqueológica de antiguas minas de cobre, plata, oro, estaño, plomo o antimonio.

La metalurgia de transformación y modelado que trata de determinar las técnicas de fabricación de los objetos es un campo de estudio más tradicional. Las técnicas de montaje y de fundición pueden descubrirse mediante la radiografía, mientras que los tratamientos térmicos, mecánicos o químicos que modifican la estructura cristalina requieren un análisis elemental del metal o un examen microscópico de un corte metalográfico acompañado de un análisis dilatómetro o térmico. El examen microscópico de la estructura metalográfica revela el pasado tecnológico que ha quedado grabado en el metal.

Este método, utilizado desde hace más de dos siglos en la metalurgia, ha permitido

entre otras cosas explicar el papel del carbono en la cristalización del acero de las espadas damasquinadas.

La metalurgia física establece relaciones entre las propiedades físicas del metal obtenidas por efectos mecánicos, térmicos o químicos sobre la estructura cristalina. Estas mediciones físicas requieren el empleo de técnicas finas como el microscopio electrónico, la difracción de rayos X, de electrones o de neutrones, la microsonda de Castaing o la microsonda iónica. Este instrumental refinado permite hoy comprender los mecanismos de transformación de los metales, siendo posible caracterizar un producto de corrosión y conocer su origen. La investigación realizada sobre los fenómenos de alteración de los metales y, en particular, de las aleaciones antiguas contribuye al conocimiento de los mecanismos de corrosión lenta y a la conservación de los objetos metálicos de nuestras colecciones. De esta manera, la experiencia práctica del artesano de la



El "vaso del escondite", descubierto en la Acrópolis de Susa, Irán, en 1908, con los objetos de cobre y alabastro que se encontraban en su interior. Tiene 51 cm de alto y 20 de diámetro y data, aproximadamente, de 2400 a.C.

Antigüedad y el envejecimiento natural de los metales son una fuente de informaciones científicas en la que el objeto de arte está asociado a las actividades industriales de vanguardia.

Gracias a los aparatos técnicos puestos al servicio del arte, tanto para la obtención de datos como para el tratamiento de éstos, las ciencias exactas contribuyen a aportar elementos de interpretación de la historia de la metalurgia y de sus técnicas. Así ha podido establecerse un mapa de las rutas comerciales del cobre y del estaño, mediante el examen detenido de vestigios como los del "vaso del escondite".

Se llama "vaso del escondite" (*vase à la cachette*) el tesoro contenido en realidad en dos grandes vasos, uno sin adornos, otro pintado con su tapadera, descubiertos por la misión de J. de Morgan en la Acrópolis de Susa (Irán) en 1908. El tesoro comprende metal bruto —5 fondos de crisol—, armas, instrumentos de cobre análogos a los de las "tumbas reales" de Ur, vasos de alabastro y sellos cilíndricos. Estos últimos, de estilo local o importados de Mesopotamia, confirman una fecha próxima a la de la primera dinastía de Ur —entre 2500 y 2350 a. C.—, así como los vínculos que unían a Susa, metrópoli de Elam (la llanura del actual Juzistán, en el Irán suroccidental), con los altos valles del país de Sumer, en los confines del Irán. Susa, ciudad con una población y una cultura mixtas emparentadas con las de Mesopotamia y de la meseta iraní, era, en efecto, la encrucijada de las rutas que atravesaban esta última y por las cuales circulaban las materias primas y los objetos trabajados, indispensables para los grandes Estados de las llanuras aluviales.

Desde el principio del cuarto milenio hay testimonios de una metalurgia del cobre muy avanzada en Elam, que se extiende por

Mesopotamia muy al final de este periodo y, sobre todo, en el tercer milenio. Ahora bien, estas dos regiones carecen por completo de recursos minerales naturales. Las materias primas que necesitaban los artesanos de las ciudades mesopotámicas podían proceder de numerosas regiones como Anatolia, la meseta iraní, donde la metalurgia se desarrolló desde el quinto milenio, o las montañas de Omán, por no citar sino las zonas más próximas.

¿Cómo determinar sus fuentes de aprovisionamiento?

La introducción de parámetros físico-químicos como medios de identificación de las minas y de los productos manufacturados salidos de ellas ha permitido establecer de una manera decisiva una filiación entre recursos minerales y objetos metálicos (es decir, asignar a cada grupo de objetos arqueológicos su mineral de origen) y precisar por consiguiente las fuentes de aprovisionamiento en cobre de las ciudades.

La espectrometría de masa mediante chispas, que ha permitido la dosificación simultánea de más de 30 elementos químicos en cada muestra, es una de las técnicas que se han utilizado para analizar, a partir de muestras microscópicas, la composición de cobres nativos y de minerales, así como la de objetos elaborados procedentes de Susa, como el "vaso del escondite", o de otros yacimientos arqueológicos de Irán.

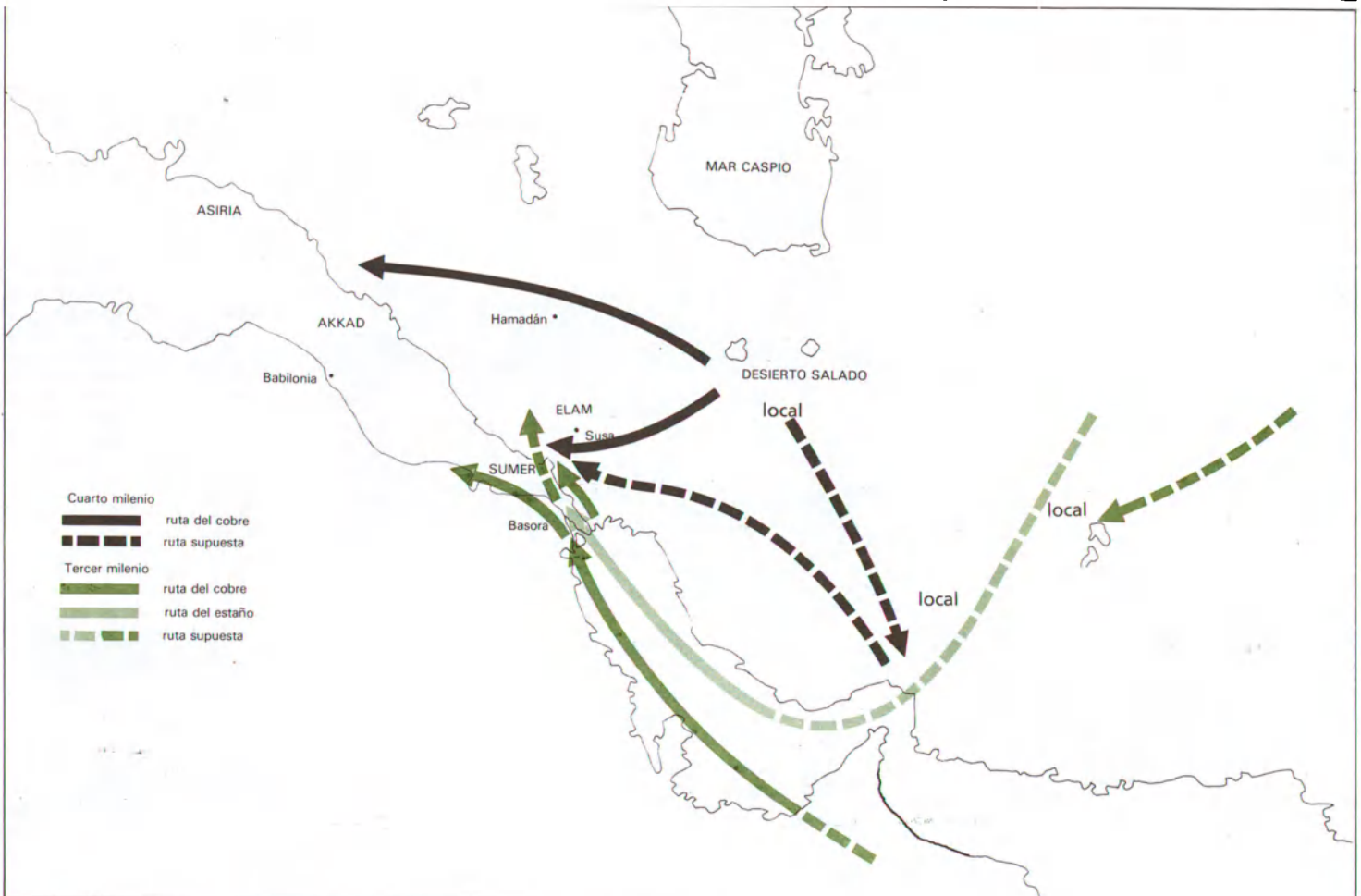
El tratamiento en computadora de los resultados obtenidos, al reconstruir las transformaciones químicas experimentadas por el mineral hasta llegar al estado metálico, ha permitido comprobar que en los objetos manufacturados se encontraban efectivamente las características geoquímicas de los minerales de origen. Las correlaciones y las distribuciones de los elementos químicos entre sí,

aunque modificadas por la reducción del mineral y la fundición de los objetos, corresponden a uno y otro lado de la transformación pirotécnica. Este establecimiento en computadora de modelos de la evolución de las concentraciones existentes en elementos menores y en vestigios ha permitido afinar las nociones de filiación entre mineral y objeto, atribuyendo por ejemplo minerales de orígenes análogos a ciertos grupos de objetos que de otro modo se hubieran diferenciado.

A lo largo del estudio se ha buscado con particular atención la coherencia de los resultados en los planos tecnológico e histórico. En efecto, se han tenido en cuenta las indicaciones fundamentales que brindan los yacimientos mineros antiguos, tanto sobre las fechas posibles de explotación como sobre la naturaleza de los recursos minerales utilizados, así como el análisis fino de las escorias y los residuos diversos de la metalurgia (pared del horno, canal de colada). Además, ha sido preciso establecer métodos para el reconocimiento formal de los elementos añadidos al mineral de cobre a fin de facilitar su fluidez en el momento de la colada o de servir de elementos de aleación.

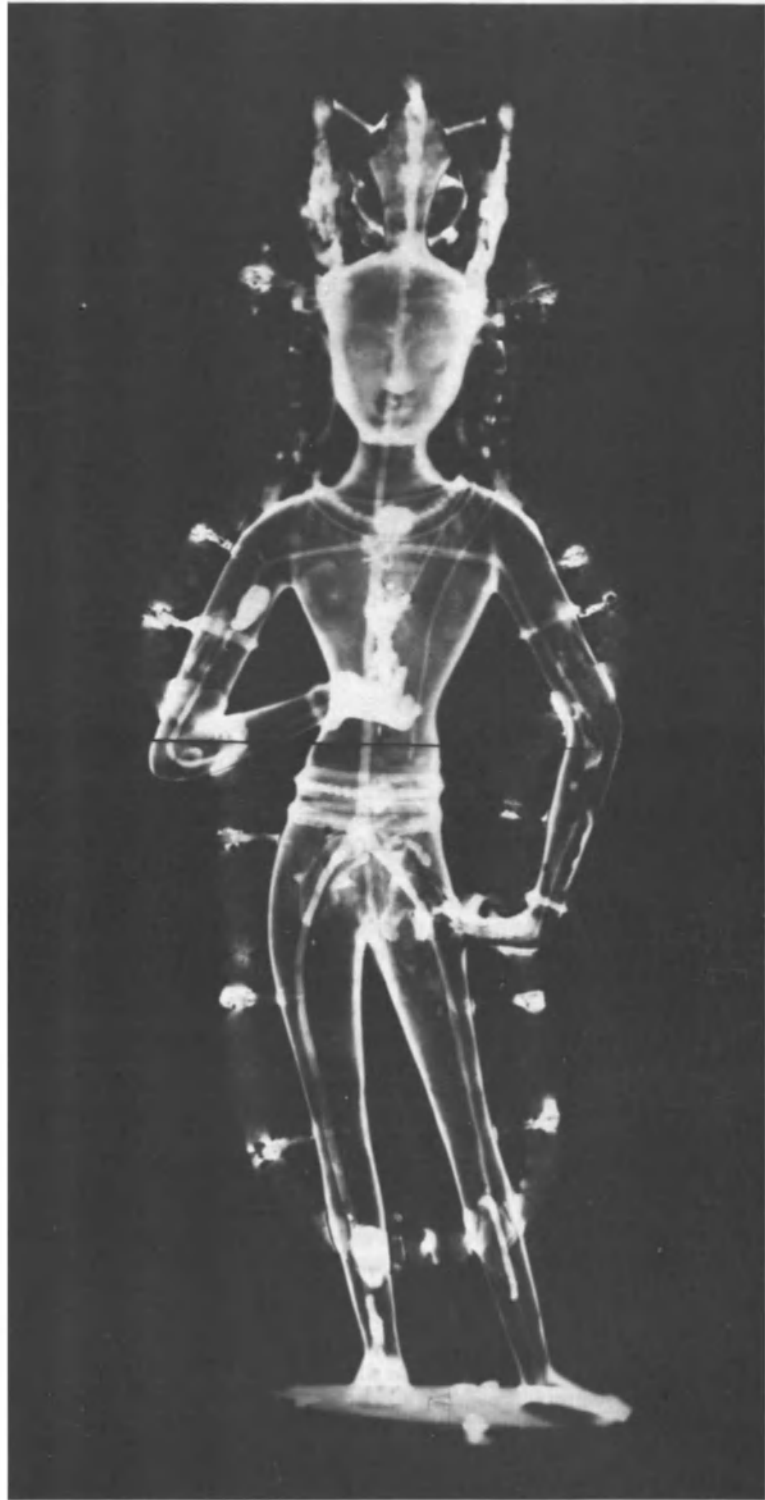
La utilización conjunta del análisis elemental y de las técnicas de análisis de datos ha servido para reunir informaciones nuevas sobre las fuentes de aprovisionamiento en cobre y estaño del Oriente Medio en los milenios cuarto y tercero antes de la Era Cristiana.

Mientras que en el cuarto milenio el cobre procede esencialmente de la meseta del Irán, se observa a principios del tercer milenio una notable modificación, al instalarse una nueva corriente comercial a lo largo del golfo. Desde entonces, Mesopotamia busca el cobre de las montañas de Omán (el Magán de los textos sumerios).



Mapa El Correo de la Unesco, según *La vie mystérieuse des chefs-d'œuvres*, Ediciones de la Reunión de Museos Nacionales, París

Buda por dentro



Fotos © Laboratorio de Investigaciones de los Museos de Francia, París

Réplica realizada en el siglo XII de una estatua tibetana de bronce del Bodhisattva Vajrapani, que data del siglo XI. La fotografía obtenida con rayos X permite ver la estructura interior de la estatua así como el procedimiento de vaciado que se empleó en su ejecución.

Anatomía de un arpa

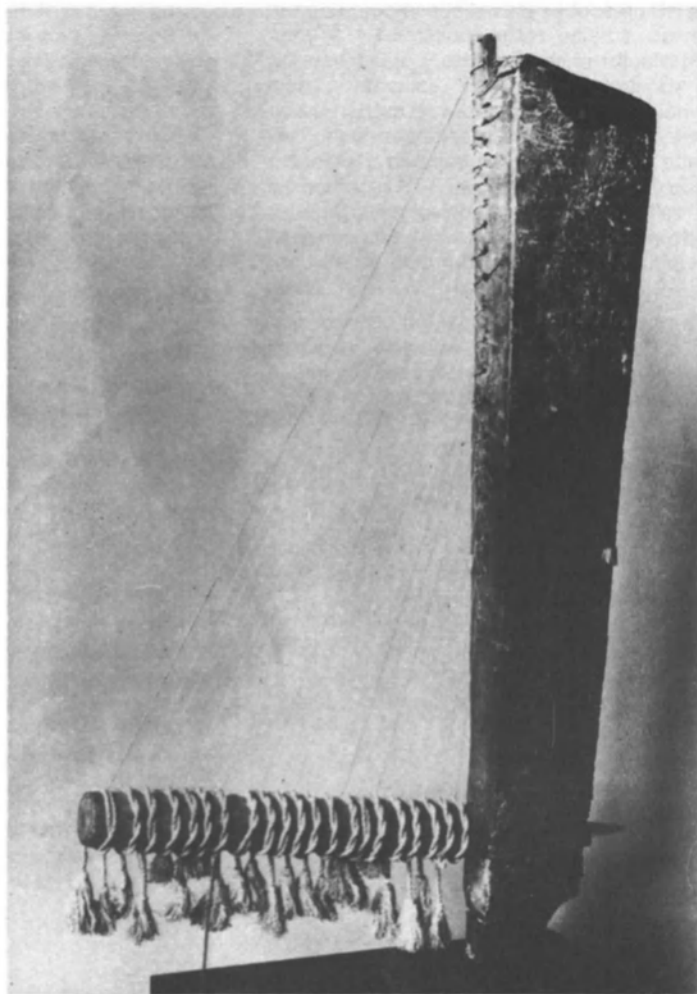
ES fundamental el análisis radiográfico de los instrumentos musicales para poder identificar en ellos la tecnología que no puede verse desde el exterior y que tiene una influencia directa en las particularidades acústicas: forma y rugosidad del canal de un instrumento de viento, morfología del puente de la tabla de armonía en los instrumentos de cuerda, por ejemplo.

Las modificaciones que a lo largo de la historia de cada instrumento se han aportado a estos principios de construcción son también muy importantes para el historiador, el restaurador y el constructor, ya que la restitución sonora se agrega aquí al testimonio histórico.

El arpa fue, entre los instrumentos de música egipcios, el que gozó siempre de un favor particular, siendo su forma y sus dimensiones de gran diversidad. La que aquí se presenta, del tipo de las "arpas angulares de gran tamaño" (actualmente en el Louvre), se halla en perfecto estado de conservación. Está formada por una caja de resonancia vertical, enteramente recubierta de cuero verde, y por una consola (encordado) hecha de una barra de madera cilíndrica, que forma con la caja un ángulo de 85 grados. Las veintinueve cuerdas se enrollan en torno a la consola, en la que varias clavijas de ajuste terminadas en borlitas servían para afinar el arpa mediante un sistema de "cojinetes" semejante al de las liras.

El estudio visual no permite conocer la constitución de la caja de resonancia, que es la parte esencial del instrumento. Únicamente el estudio radiográfico hace posible descubrir su morfología y comprender mejor la tecnología y la evolución de este tipo de instrumentos. De perfil, la caja de resonancia aparece formada por una sola pieza de madera maciza, vaciada desde arriba hasta la altura de la consola; la parte superior está cerrada por una pieza de madera ovoide, incluida entre los bordes. Observamos que la barra de suspensión de las cuerdas, cuya extremidad se sitúa por encima de la consola, se aplicó sobre la caja y se va afinando hacia su parte inferior.

La separación de los bordes de la caja de resonancia está asegurada por cinco pequeñas planchas de madera de aproximadamente siete centímetros de altura, en forma de "cola de milano" (visibles de frente), dispuestas a intervalos regulares y trabajadas con extrema minuciosidad. Las paredes de la caja están reforzadas con dos contrafuertes verticales de uno a dos centímetros de espesor. El pequeño fragmento de madera que se percibe en el ángulo superior izquierdo constituía quizás el soporte de una figura simbólica, como las que se ven en ciertos instrumentos. La base de la caja de resonancia, oculta por el cuero, aparece con un trazado original ligeramente diferente; además, se agregó un trocito de madera para re-



forzar el asiento del instrumento, lo que, sin embargo, no altera en nada la integridad del objeto.

Las radiografías descubrieron los diversos elementos que componen este instrumento y su posición relativa en él, lo cual hizo posible, además de estudiar el objeto, compararlo con un arpa conservada desde antiguo en Berlín. Esta última, en mal estado de conservación, fue objeto de un estudio que permitió la fabricación de una copia en la que se podía tocar. Estas dos arpas, hoy desaparecidas, fueron descritas en una publicación, y es interesante comprobar la gran similitud que existe entre el arpa del Louvre y la de Berlín. Ambos instrumentos representan un nivel bastante alto de tecnicismo, y quizá fueron fabricados por el mismo artesano.

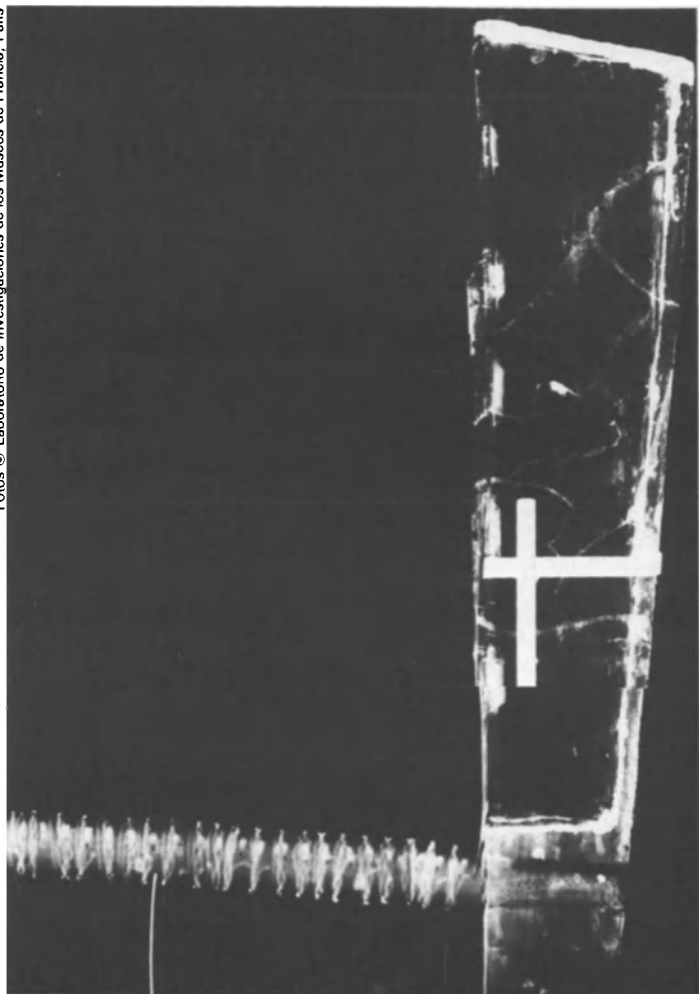
Además, para comprender un instrumento musical hay que considerarlo bajo sus diversos aspectos: realización, estética visual, mecánica y acústica.

La factura de esta arpa es, como puede comprobarse por las radiografías, muy evolucionada. El análisis preciso de la forma del arpa demuestra que los fabricantes de instrumentos de cuerda del antiguo Egipto se guiaban por un "ideal estético" basado en las proporciones, a semejanza de lo que ocurre en la arquitectura. Se observa que el diseño de un arpa corresponde al de una figura geométrica precisa cuyas medidas están perfectamente proporcionadas con el "codo real", unidad métrica del antiguo Egipto (52,35 cm).

Este tipo de instrumento contiene necesariamente dos partes funcionalmente diferentes: un sistema "excitante", aquí representado por las cuerdas, y un sistema "resonante" o cuerpo sonoro, constituido por la caja de resonancia.

La constitución de la caja con sus travesaños en cola de milano, la del encordado y sus respectivas disposiciones muestran que el problema mecánico estaba resuelto, ya que las cuerdas, una vez tensadas, podían vibrar, y la caja podía deformarse de manera elástica y no permanente.

Para obtener auditivamente una "homogeneidad sonora", son necesarias amplitudes vibratorias mayores en los graves. Esta condición ha sido respetada ya que la cuerda más grave es cuatro veces más larga que la más aguda. En efecto, no se buscaban sonidos intensos sino sonoridades cálidas, misteriosas, lo que justifica la utili-



zación de una "mesa" de cuero y no de madera. Para excitar la totalidad del cuero, la varilla a la cual se sujetan los extremos de las cuerdas está situada por debajo. El sistema resulta acústicamente apropiado y eficaz.

El análisis por medio de la espectrografía acústica del cuerpo sonoro, la "curva de respuesta" obtenida por percusión en los dos puntos de fijación de la cuerda más larga, de la mediana y de la más corta, muestran que el grado de libertad de los dos puntos de cada cuerda es diferente.

El lado "cuero" suena, en efecto, más grave que el lado "mango". El timbre comprende, pues, dos regiones frecuenciales diferentes, análogas a las de la voz humana.

El arpista afinaba sus cuerdas tensándolas hasta el punto en que su sonoridad correspondía al ideal sonoro de la época; la afinación final se hacía después. El ejecutante modificaba el acorde según la "gama" de la pieza que tocaba. Cabe pensar que las veintiuna cuerdas cubrían tres octavas de siete notas ajustables a elección.

El estudio acústico, la factura y las características físicas demuestran el muy elevado nivel técnico del instrumento. Sin embargo, el estudio acústico plantea ciertas reservas ya que el arpa no está en estado de ser tocada; las cuerdas no tienen la tensión real, el cuero ha perdido su elasticidad y el mango fue probablemente modificado. Las condiciones ligadas a las técnicas de afinación y de uso del instrumento se han modificado inevitablemente. La lectura de las "curvas de respuesta" y las radiografías permiten realizar una reconstitución del arpa en la cual podría hacerse un estudio real.

Textos de las páginas 5 a 7 y de las páginas 12 a 21 copyright ©. Ediciones de la Reunión de Museos Nacionales, París

Estos textos provienen del catálogo de la exposición "La vie mystérieuse des chefs d'œuvres. La science au service de l'art" (La vida misteriosa de las obras maestras. La ciencia al servicio del arte), publicado por la Reunión de Museos Nacionales de Francia bajo la dirección de Magdeleine Hours, jefe del Laboratorio de Investigaciones de los Museos de Francia. Están tomados de diversos artículos, notas y documentos gráficos cuyos autores son Magdeleine Hours, Max Sarradet, Suzy Delbourgo, Jeanne Gautier, Michel Fleury, Juliette Liszak-Hours, Christian Lahancier, Pierre Amiet, Thierry Berthoud, Lola Failland-Dumas, Florence Abondance, France Drihon y Emile Leipp.

El átomo, reloj arqueológico

por Bernard Keisch

DESDE su descubrimiento después de la Segunda Guerra Mundial, es innegable la importancia de la datación mediante el carbono-14 en el arte y la arqueología. Inmediatamente pudo advertirse la utilidad del método. Y en 1960 se concedía el Premio Nobel a su descubridor, Willard F. Libby.

El fundamento teórico del método es el siguiente. La tierra está bañada constantemente por radiaciones cósmicas. Un producto de esa radiación —una cantidad de neutrones— reacciona con el nitrógeno de la capa superior de la atmósfera y produce carbono-14.

Como el flujo de neutrones se ha mantenido casi constante durante los varios miles de años últimos, también se ha mantenido constante el ritmo al cual se producía carbono-14 de ese modo.

Los átomos de carbono-14 reaccionan químicamente con el oxígeno para formar bióxido de carbono que, en último término, se mezcla en toda la atmósfera con el bióxido de carbono ordinario (los átomos de carbono ordinario contienen 6 protones y 6 neutrones, y no son radiactivos). El bióxido de carbono existente en nuestra atmósfera se incorpora a los tejidos vivos por conducto de la vegetación en crecimiento. Los animales que consumen esos vegetales y los animales que se comen a esos fitófagos, etc., acaban conteniendo también carbono-14.

En definitiva, el resultado es que todos los seres vivos tienen un contenido de carbono-14, en el mismo grado de concentración existente en la atmósfera durante su vida. Cuando un organismo muere y deja de participar en la biosfera, su contenido de carbono-14 deja de ser reabastecido por nuevo carbono-14 producido por la cadena alimentaria. Con ello empieza a menguar la concentración de carbono-14 en sus tejidos.

Debido a las características de la radiactividad, podemos determinar el ritmo al cual desaparece la substancia radiactiva refiriéndonos a su periodo de semidesintegración que por lo que se refiere al carbono-14 es de unos 6.000 años. En el caso que nos ocupa, esto quiere decir que, pasados esos 6.000 años, han desaparecido la mitad de los átomos de carbono-14. Pasados otros 6.000, desaparecerá la mitad de los restantes, es decir, se habrán perdido las tres cuartas partes del número original.

Hasta 1900, aproximadamente, la concentración de carbono-14 en nuestra atmósfera y en nuestra biosfera era tal que la radiactividad de cada gramo de carbono era de unas 15 desintegraciones por minuto (dpm). Este modo de expresar la radiactividad —dpm por gramo— recibe el nombre de "actividad específica". Dicho de otro modo, y para nuestro caso actual, 15 dpm por gramo quiere decir que, entre los 50.000 millones de billones de átomos de carbono-12 de cada gramo, hay unos 650.000 millones de átomos de carbono-14, 15.000 de los cuales "desaparecen" por degeneración radiactiva en cada minuto.

Así, pues, 6.000 años después de la muerte de un organismo, la actividad específica del carbono-14 será de 7,5 dpm por gramo, al cabo de 12.000 años de 4,75, y así sucesivamente. Utilizando grandes muestras (si es que existen) e instrumentos eficaces para medir la radiactividad, ha sido posible fechar objetos de madera, por ejemplo, que tienen hasta 50.000 años de antigüedad. Sin embargo, casi todos los casos de datación con el carbono-14 corresponden a objetos que no tienen más de 10.000 o 15.000 años.

La mayoría de los objetos fechados con este método son de madera. También es posible determinar la fecha de objetos de hueso, materias textiles, marfil y hierro (se puede fechar este último porque contiene un pequeño porcentaje de carbono que, en las muestras más antiguas, corresponde al carbón vegetal).

En 1960 George C. Kennedy utilizó por primera vez otro método para fechar los objetos de cerámica, a saber, el de la termoluminiscencia provocada por la radiación. Este método fue perfeccionado más tarde por investigadores de la Universidad de Oxford y de la de Pensilvania, y hoy se utiliza ya con gran provecho. Esto se debe, entre otras cosas, a que en las excavaciones arqueológicas se encuentran casi siempre fragmentos o restos de alfarería.

BERNARD KEISCH, radioquímico norteamericano, se ha especializado en las aplicaciones de la tecnología nuclear a la identificación de las obras de arte. El artículo que se publica en estas páginas está tomado de un capítulo de su estudio titulado *Secrets of the Past: Nuclear Energy Applications in Art and Archaeology*, publicado por la Oficina de Información de la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos.

El método propiamente dicho se basa en el principio de que la radiación deforma la estructura electrónica de las materias aislantes y, por consiguiente, almacena energía en ellas. Este fenómeno puede compararse al que consiste en estirar un resorte. Cuando se calienta la materia hasta alcanzar una cierta temperatura, las fuerzas que mantienen "apartados" a los electrones empiezan a "aflojarse", la estructura se distiende como la de un resorte tensado, y se libera la energía almacenada, en forma de luz.

La radiación que produce esta deformación procede principalmente de materias naturalmente radiactivas, tales como el uranio, el torio y el potasio, que existen en los objetos de alfarería, en pequeñas concentraciones. La tierra en la cual estuvieron enterrados los cacharros contiene también materias naturalmente radiactivas que influyen de ese mismo modo en ellos. La radiación cósmica contribuye también a los "daños" acarreados por la radiación.

Con el paso del tiempo, se almacena un volumen creciente de energía en la materia, y el sistema actúa como un reloj. Este reloj empieza en "cero", es decir en el último momento en el cual se calentó la materia hasta una temperatura en la cual "se distiende" el sistema (proceso que recibe el nombre de recocado). En el caso de la alfarería, se trata del momento en el cual el objeto fue cocido como fase última de su fabricación.

Para poder leer el reloj de unos restos de alfarería años después de que se pusiera en marcha, hay que conocer o medir por lo menos tres factores importantes :

1. Volumen de la radiación que ha "movido" el reloj desde el principio. Se obtiene esta información midiendo los elementos radiactivos de una muestra de los restos y de la tierra en la cual estaban enterrados, determinando la pequeña contribución de la radiación cósmica y calculando la dosis anual de radiación.

2. Cantidad de energía almacenada en la muestra. Para medirla, se esparce una pequeña cantidad de un polvo muy fino tomado de la muestra en una lámina muy delgada, adherida a un bloque de metal. Se coloca frente a la muestra un aparato para medir la luz que lleva el nombre de fotomultiplicador. Tras ello, se calienta eléctricamente el bloque de metal de modo tal que su temperatura (y la de la muestra) suba lentamente y sin cesar. Se mide y consigna constantemente la temperatura y la luz emitida, para obtener una curva de termoluminiscencia. Toda materia calentada empieza a emitir luz cuando está ya suficientemente caliente. En este caso, de lo que se trata es de medir la luz *adicional* emitida por el objeto. La zona sombreada entre las curvas representa la termoluminiscencia provocada por la radiación.

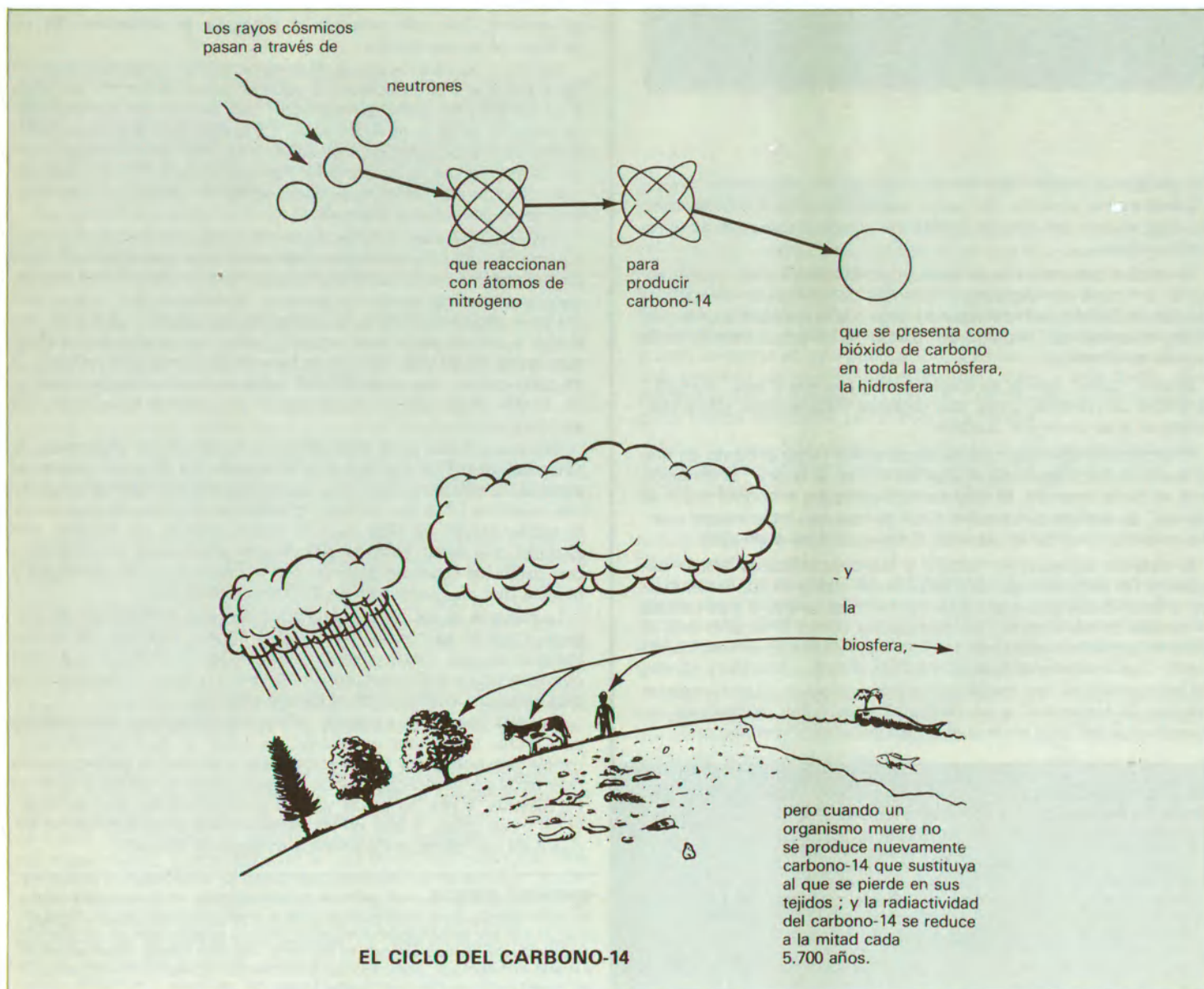
3. Susceptibilidad de la muestra a esta termoluminiscencia. Se determina midiendo la termoluminiscencia provocada artificialmente al irradiar la muestra con una *cantidad* conocida de radiación después de quedar terminada la primera medición.

La edad del objeto se obtiene relacionando esos tres factores.

Se requiere un cuidadoso trabajo y mucha atención para obtener una fecha exacta con este método. Por ejemplo, hay que pulverizar cuidadosamente la muestra porque, si se tritura demasiado de prisa y con demasiada fuerza, esto puede calentarla lo suficiente como para que emita prematuramente luz. No obstante, se han perfeccionado ya las técnicas y se han resuelto de este modo muchos problemas de datación.

Además de los restos de alfarería, es posible determinar la fecha de otros objetos de cerámica, cosa que se ha hecho en muchas ocasiones. Se han analizado asimismo figuras de cerámica y estatuas de barro cocido, lo cual ha servido para descubrir a veces falsificaciones.

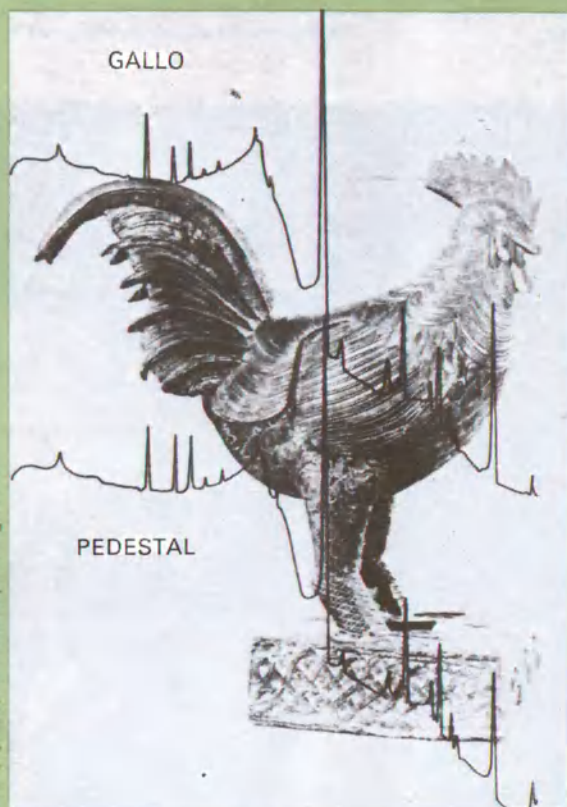
B. Keisch





Falsificaciones auténticas

Gracias a la datación por luminiscencia hemos podido conocer el curioso caso de las "falsificaciones auténticas". En la China de la dinastía Tang (del 618 al 906) los objetos de cerámica que acompañaban a los muertos en su tumba constituían un símbolo popular del rango de las personas. Para satisfacer la demanda que de ellos existía los alfareros de la época utilizaban una forma de producción en masa a base de moldeado de piezas. Por ejemplo, se hacían una serie de moldes separados de la cabeza, las patas y el tronco de un caballo de los que se sacaban independientemente vaciados para ser ensamblados posteriormente. Numerosas figurillas de este tipo fueron descubiertas en trabajos de construcción de vías férreas a fines del siglo XIX. Se encontraron también bastantes moldes que los artesanos locales se apresuraron a aprovechar para fabricar artículos de estilo impecable que, antes del descubrimiento de las técnicas de datación por luminiscencia, era imposible distinguir de los auténticos objetos del periodo Tang. De estos dos caballos de arcilla, el de abajo es una "falsificación auténtica" hecha hace 95 años, mientras que el de arriba salió de las manos de un alfarero Tang hace 1.300 años.



El espectro del gallo

Este gallo de bronce del siglo XVIII es obra de los benin, en el territorio de la Nigeria actual. Como la figura propiamente dicha y su pedestal fueron ejecutados separadamente, se planteó la cuestión de saber si ambas partes tenían la misma procedencia. Para resolver el problema se recurrió a una técnica de extremada precisión: la del análisis mediante la activación neutrónica. Gracias a este procedimiento se pueden detectar y evaluar los oligoelementos que existen prácticamente en cualquier sustancia y cuyas concentraciones constituyen una suerte de "huella digital" mediante la cual puede identificarse la procedencia geográfica y la antigüedad de aquella. Se coloca una muestra en un reactor nuclear y se la somete a un bombardeo de neutrones. Algunos elementos de la muestra se vuelven radiactivos y emiten rayos gamma. Los diagramas superpuestos a la figura del gallo son los espectros de rayos gamma obtenidos cuando las muestras tomadas de ambas partes del objeto fueron activadas por neutrones en un reactor. Obsérvese la similitud de ambos espectros. Cada punta representa un rayo gamma de una energía determinada, proveniente de un elemento dado del bronce, y su altura está en relación con la cantidad de ese elemento. Se identificaron en total siete elementos que existían en concentraciones casi idénticas en ambas partes de la escultura, lo cual tiende a demostrar que, aunque fabricadas separadamente, pertenecen a la misma época y al mismo lugar.

Curiosa historia de la falsificación en arte

por **Stuart J. Fleming**

Artículo © copyright Stuart Fleming
Prohibida la reproducción

La historia de las falsificaciones y las imitaciones es ya centenaria. La admiración que sentían los romanos por la escultura griega clásica en piedra y bronce dio lugar a muchas imitaciones que son ahora muy difíciles de descubrir, y los versos de Fedro nos informan, durante el reinado del emperador Augusto, de burdas falsificaciones de monedas antiguas de plata de diversas culturas.

Las monedas han sido siempre un campo preferente de la actividad de los falsarios, por el beneficio financiero inmediato que proporcionan. Hay tempranos ejemplos de este tipo de falsificaciones entre los pueblos sometidos al Imperio Romano, en particular en Gran Bretaña. Hacia el año 198 de nuestra era, durante el reinado de Severo, el denario de plata fue ya adulterado mediante la adición de un 42 por ciento aproximadamente de cobre, pero los imitadores llevaron la devaluación mucho más lejos. Sabemos también, gracias al hallazgo en excavaciones de unos moldes de arcilla formados a partir de monedas auténticas, que los habitantes de Whitchurch, en Somerset (Inglaterra), fabricaron durante el último cuarto del siglo III sus propios *antoniniani* de plata cuando la ceca oficial de la región había dejado ya de acuñar.

Las actitudes frente a las imitaciones y las razones de su existencia han experimentado muchos cambios a través del tiempo. El materialismo romano parece haber sido muy semejante al de nuestros días, mientras que en la Edad Media era mayor el interés por lo que el objeto mismo representaba que por su edad.

La prueba más antigua de falsificación de una pintura data de 1524, y se encuentra en el estudio hecho por Pietro Summonte sobre las actividades de un artista napolitano, Colantonio, unos setenta años antes. Un retrato del Duque de Borgoña fue reproducido con tal exactitud que el mercader propietario del original prestado aceptó sin sospecha alguna la devolución de la versión hecha por Colantonio.

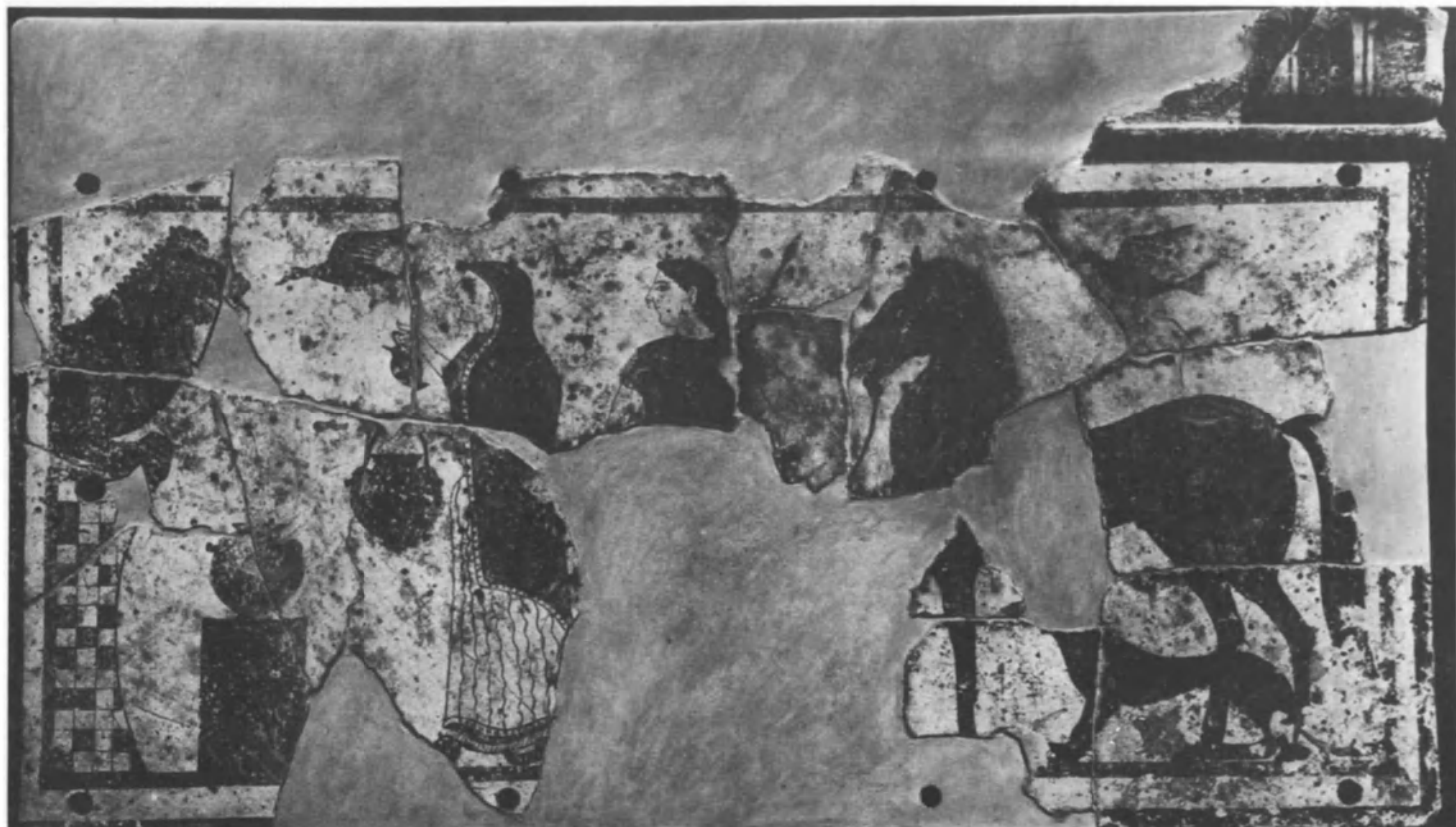
Poco más de un siglo más tarde empezó una historia que no se descubriría hasta 1871. Una obra encargada a Hans Holbein el Joven en 1525, *La Virgen como protectora de Jacob Meyer, burgomaestre de Basilea, y su familia*, pasó por varias manos antes de llegar a un mercader de Amsterdam, Le Blond. El cuadro

STUART J. FLEMING, físico británico, actual director científico del Museo de la Universidad de Pensilvania (EUA), es una autoridad internacionalmente reconocida en materia de datación de objetos de cerámica y de bronce por medio de la termoluminiscencia. El texto aquí publicado está tomado de su libro *Authenticity in Art: The Scientific Detection of Forgery* (Institute of Physics, Londres y Bristol, 1975).

se duplicó entonces. Una versión (probablemente el original) fue objeto de varias transacciones hasta que ingresó en la colección ducal de Hesse. Una segunda versión fue cedida en prenda a una firma de banqueros venecianos y encontró un lugar honorable en la colección de Dresde en 1743. Sólo cuando se juntaron ambos lienzos el siglo pasado puso la segunda versión de manifiesto su estilo propio del siglo XVII en comparación con el original. El copista (tal vez Bartolomé Sarburgh) se creyó obligado a introducir algunas "mejoras", haciendo las figuras más pequeñas y el conjunto arquitectónico más dominante. El gusto imperante pedía más espacio de movimiento y una gama de colores de tonos más profundos y ricos.

En otros casos posteriores, el secreto se mantuvo mucho menos tiempo. A fines del siglo XVII, Lucas Jordán hubo de comparecer ante un tribunal por pintar en el estilo de Alberto Durero. La obra *Cristo curando a los paralíticos* llevaba en lugar bastante visible el monograma famoso "AD", mientras que la firma del propio Jordán estaba disimulada en otro lugar de la pintura. Curiosamente no se le declaró culpable, pues se estimó que no se le podía censurar por ser capaz de pintar tan bien como el maestro alemán. La sentencia más reciente de un tribunal, que condenó en 1947 a un año de prisión a Han van Meegeren por sus imitaciones de Vermeer, apenas fue más severa.

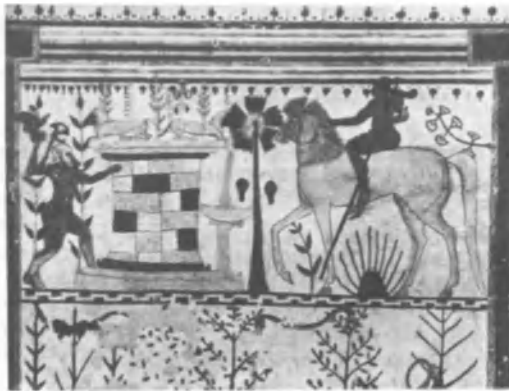
Las falsificaciones son de tres tipos principales. Las del primer tipo, *obras falsificadas sin modelo*, son raras. Su aceptación puede ser más fácil si el tema escogido tiene alguna conexión con una leyenda o una referencia documental fragmentaria. El siglo XIV nos ofrece uno de los ejemplos más conocidos de falsificación basada en una leyenda. Una de las maniobras políticas organizadas contra los Caballeros Templarios en 1306 consistió en acusarles de adorar a un ídolo llamado Bafomet. La producción de estos ídolos (figuras deformes de piedra cubiertas de inscripciones sin sentido) data probable-



Fotos © Stuart Fleming, Filadelfia. Tomada de *Authenticity in Art* por S. Fleming, Instituto de Física, Bristol



1



2



3



4

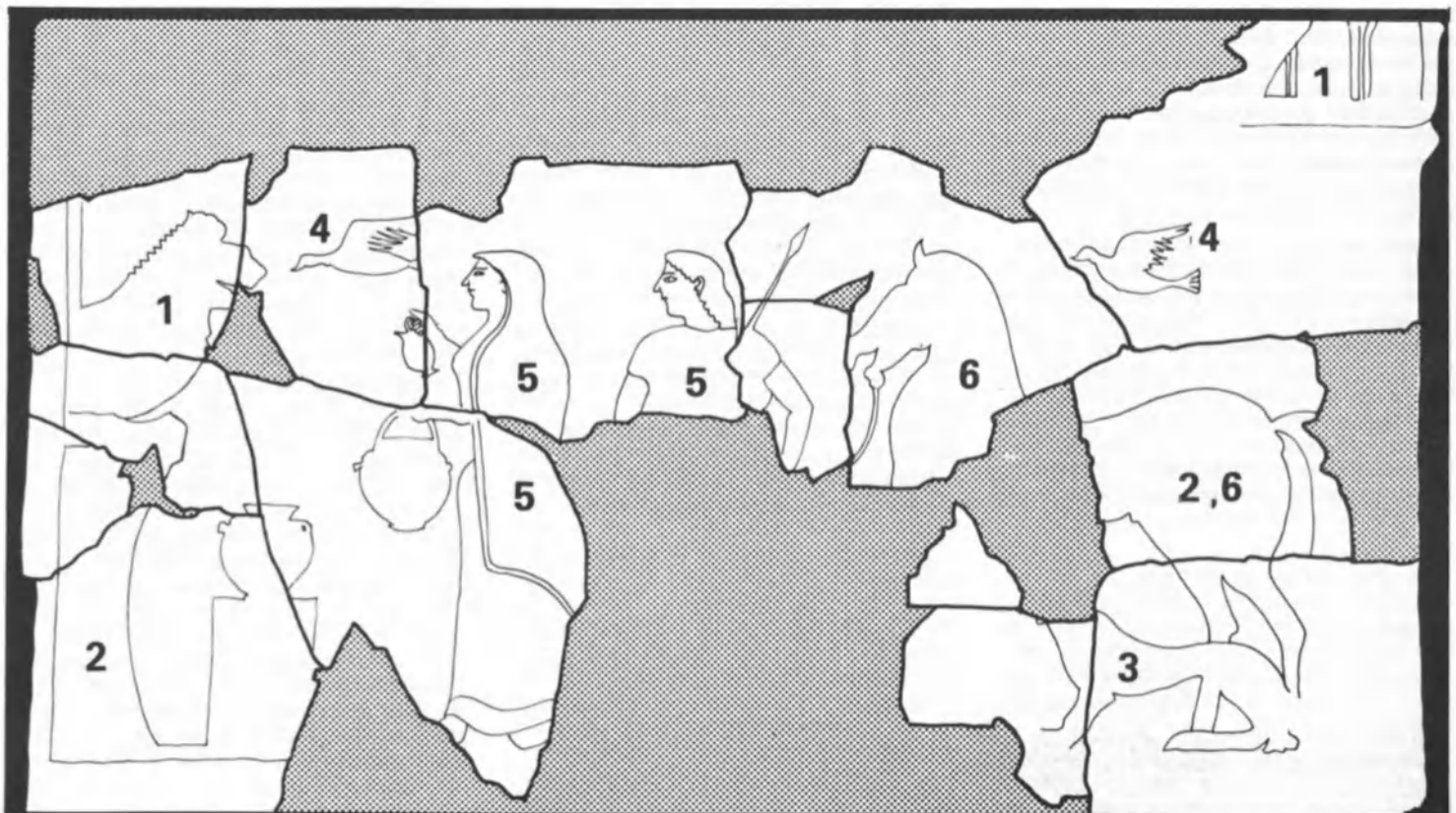


5



6

Esta pintura "etrusca" en una placa de barro cocido (pág. de la izquierda) es, en realidad, un *pastiche*. Cada uno de los motivos pictóricos del fresco es una copia de una obra auténtica; de ahí que la escena, aparentemente de una gran unidad, constituya un verdadero rompecabezas de piezas dispares. La pintura representa a Troilo, hijo de Príamo, que junto con su hermana Polixena cae en una emboscada tendida por Aquiles, el cual, gracias a una artimaña del falsificador, se supone que está oculto detrás de la fuente, faltándole a la pintura precisamente ese fragmento. Obras de las que han sido copiados los motivos: 1) altar de barro corintio (detalle); 2) fresco de la "Tumba de los Toros" de Tarquinia (Italia), en el que se ve a Aquiles tendiendo una emboscada a Troilo (detalle); 3) escena de banquete pintada en una crátera griega (detalle); 4) fresco de la "Tumba de los Augures" de Tarquinia (detalle); 5) losa con figuras femeninas descubierta en Banditaccia, Italia (detalle); 6) friso de una urna funeraria de Tarquinia (detalle).



mente de la época en que esta historia era popular en la literatura del período neogótico.

Entre las falsificaciones destinadas a encajar con algún elemento documental auténtico figuran algunas notables invenciones totales de un supuesto estilo artístico, por ejemplo el de los obotritas (tribu esclava de la región de Mecklenberg vendida después por los hunos) y de los moabititas, que atrajeron la atención del público en 1869 con el descubrimiento de una inscripción auténtica relativa a su rey Meshah.

Los objetos arqueológicos han estado especialmente expuestos a este tipo de falsificación. En 1907, Gustav Wolf anunció el descubrimiento de incineraciones entre los pueblos del Danubio que introdujeron la ganadería y la agricultura en la región de Watterau en el cuarto milenio antes de la Era Cristiana. La excavación de un centenar de esas tumbas obligó a revisar la creencia académica de que la inhumación era la costumbre de aquellos tiempos. Instrumentos de pedernal cuidadosamente agujereados, utensilios de hueso tallado y cuentas de collar ordenadamente dispuestas ayudaron a componer un ajuar funerario. Wolf, en su autobiografía, concedió pleno crédito a los hallazgos de su colega, Bausch, y murió ignorando que ese mismo hombre le había engañado.

La Edad de la Piedra y las culturas neolíticas brindan grandes posibilidades a los falsarios por la sencillez del trabajo requerido y la fácil disponibilidad de medios (pedernales, esquistos, astas de animales y cuevas excavadas en la roca) que pueden adornarse con estilos antiguos anteriormente desconocidos. Los jeroglíficos reclaman interpretación, creciendo nuestra fascinación en proporción directa a nuestra ignorancia. Aparecen nuevos lenguajes; se establecen nuevas conexiones entre culturas y la situación se vuelve cada vez más confusa.

Las inscripciones rúnicas han sido especialmente susceptibles de falsificación. La Crónica de Ura Linda, con su idea de que finlandeses y magiares están emparentados y su afirmación de que los frisios son un pueblo escogido, se incorporó prontamente a las primeras elucubraciones racistas del Partido Nazi en 1933. La Piedra Rúnica de Minnesota sirvió durante algún tiempo para probar que los vikingos ocuparon América a fines del siglo X, mucho antes de que Colón pusiera allí los pies.

Documentos únicos de este tipo han aparecido acá y allá, entre ellos las últimas palabras de Moisés a los hijos de Israel, escritas sobre cuero por un escriba egipcio, Janious, y las obras de un "nuevo" historiador fenicio llamado Sachuniathon. El francés Vrain Lucas fue un especialista en este tipo de producciones. En su dilatada carrera forjó miles de manuscritos originales supuestamente procedentes de manos de un ilustre ramillete de personajes, entre ellos Julio César, el Apóstol Pablo y Juana de Arco.

Es difícil encontrar ejemplos de falsificaciones que carezcan de estas asociaciones literarias, seguramente porque los falsarios se dan cuenta de que no encajarán en el "banco de datos" de ningún historiador del arte y están expuestas en consecuencia a ser rechazadas sin más.

Las alteraciones y adiciones a una obra constituyen el segundo tipo de falsificaciones. Puede mencionarse como ejemplo

una pintura con figuras en el estilo de Philips Wouwerman superpuestas en un paisaje auténtico de Jan van Goyen. La presencia de los monogramas de ambos artistas daba a entender que se trataba de una obra conjunta, pero parece ahora probable que las partes de la pintura atribuidas a Wouwerman son obra de un tal Robert Griffier.

Esbozos antropomórficos sencillos sobre hueso y pequeños relieves esculpidos en piedra pueden dotar al hombre de Neanderthal de habilidades inesperadas, y se conocen otras tallas análogas en la roca producidas por algún niño que han sido elevadas a la categoría de tesoros nacionales.

El tercer y más corriente tipo de falsificación es el *pastiche*, es decir un objeto cuyos distintos elementos derivan de varios elementos análogos existentes en materiales auténticos. En las págs. 24 y 25 se ilustra este proceso con referencia a una pintura "etrusca" en una losa de barro, que en su forma auténtica habría decorado un nicho sepulcral. La escena representa a Troilo, hijo de Priamo, llevando su caballo a abreviar, acompañado por su hermana Polixena. La fuente se ve sólo en parte, de manera que podemos suponer la existencia de otra losa que iría montada a la izquierda y en la que estaría representado el traidor Aquiles dispuesto a saltar sobre el confiado príncipe.

Esta leyenda está ilustrada en un fresco de la "Tumba de los Toros" de Tarquinia (Italia), de la que procede el tema principal y de la que se ha copiado, en detalle, el cuadrado de la fuente. Polixena penetra en la escena por intermedio de la representación de esta emboscada en el frasco corintio "Tímonidas", pero la hermana de Troilo va ahora vestida con un manto al estilo de las mujeres representadas en una losa descubierta en Banditaccia, cerca de Cerveteri. El caballo llevado por las riendas deriva de una urna funeraria de Tarquinia, muchos de cuyos rasgos y curvas musculares se reproducen con precisión casi matemática. La misma exactitud de dibujo se aprecia en la pieza de la fuente en forma de boca de león y en el trazado de la "lengua" del borde superior, que se encuentran también en un altar de barro corintio. Los detalles del fresco están fielmente copiados, tomándose los pájaros de la escena de los luchadores en la "Tumba de los Augures" y el jarro de la "Tumba de las Leonas". Hay vasos griegos que ofrecen el modelo del cántaro de agua (tazón "Onésimo", Bruselas) y del perro agachado (crátera "Euritio" del Louvre). Cada componente puede encontrarse fácilmente en las fotografías de los libros de los últimos veinte años, a menudo en color.

Otra fuente de información para posibles falsarios son las vitrinas de los museos. Estas son muy útiles cuando se trata de hojas sueltas de manuscritos iluminados; los objetos tridimensionales, que no pueden verse desde todos los ángulos a través de los vidrios, están muchas veces mal ejecutados. Hubo un tiempo en que los grabados en madera u otra materia servían de valiosa inspiración tanto para pinturas ejecutadas en caballete como para obras de tres dimensiones como esculturas en mármol o barro y bajorrelieves en piedra. Análogamente, las medallas ofrecen retratos en pequeña escala que pueden convertirse perfectamente en bajorrelieves de piedra de mayores proporciones con menos riesgo de anacronismo en el vestido y el peinado.

El plagio servil es raro. Sólo es corriente en el campo del dibujo, pues fue práctica co-

mún de las principales escuelas del pasado dar a cada aprendiz viejas estampas para que las copiara como parte de su educación. Reynolds copió con consumada habilidad bocetos de Guercino. Miguel Ángel se propuso engañar deliberadamente a su maestro, Ghirlandajo, copiando una cabeza y manchando con humo el papel para simular la acción del tiempo, para trocar después su obra por la original. Rafael, cuya popularidad alcanzó su apogeo en el siglo XIX, ha sido copiado repetidamente hasta el extremo de ampliar pequeños detalles de un folio convirtiéndolos en elementos principales de un dibujo.

Las superficies suelen requerir importantes tratamientos para darles la necesaria apariencia de antigüedad. Las grietas de la superficie pintada son un efecto del tiempo producido por la excesiva rigidez de las capas de color o de encolado cuando el lienzo flexible o la tabla de soporte experimentan un estiramiento o dilatación. Una vez seco el óleo, el simple enrollamiento del lienzo servirá para simular muy bien esas grietas. Otras "recetas" son la aplicación de un barniz o cola dura que se contraiga fuertemente para romper la superficie de la pintura. También el calentamiento seguido de un rápido enfriamiento produce una contracción del soporte demasiado rápida para que la sigan las capas de pintura.

En las pinturas sobre madera, las grietas suelen correr paralelas a la fibra de la madera, de manera que las direcciones de la presión han de elegirse con cuidado. Un cepillado final con hollín acentúa el daño. Al cuadro puede dársele un aspecto "enmohecido" punteando algunas zonas con un cepillo de cerdas rígidas y un color adecuado para producir la ilusión de antigüedad. Los tratamientos rápidos, la producción de manchas de humedad y de ronchas en el papel, los desconchones en la cerámica y el uso de madera apollada son habilidades profesionales del falsificador ambicioso.

El tiempo produce efectos análogos en los esmaltes de los objetos de cerámica. Los ingredientes utilizados para el esmalte se funden en el horno, y una capa vítrea llena los poros de la arcilla con la que está en contacto. Si el enfriamiento del soporte de arcilla es más lento que el del esmalte, este último queda sometido a tensiones, apareciendo gruesas fisuras en la superficie. Este resquebrajamiento se debe al tratamiento en el horno y no es en modo alguno indicio de antigüedad. El paso del tiempo da lugar a grietas mucho más finas y numerosas. Este efecto debe ser muy difícil de simular, a juzgar por la rareza de una buena "fisuración" en falsificaciones comprobadas, pero existen ejemplos de ello.

En el caso de los metales, la corrosión de la superficie, llamada pátina, se debe al prolongado contacto con la humedad de la atmósfera o de la tierra. El cobre que contienen los bronce se oxida formando una cuprita amorfa que reacciona a su vez con el agua carbonatada y da lugar a las típicas incrustaciones verdes de malaquita. Otras impurezas de metales como el estaño tienden a oxidarse dando una apariencia plateada. El azufre y el cloro, presentes en el moho que ataca los metales, producen distintos efectos corruptores. Lamentablemente, el tono apagado que la pátina produce sobre el metal puro y brillante parece haber sido del gusto de otras civilizaciones además

Los principios de la conservación

por Bernard M. Feilden

LA conservación de los bienes culturales requiere una administración sensata de los recursos y un sentido de las proporciones. Y exige, quizás ante todo, el deseo y la voluntad de preservarlos. Cabe recordar al respecto el adagio que dice "Más vale prevenir que curar". De ahí que la moderna política de conservación a largo plazo concentre sus esfuerzos en la lucha contra las causas del deterioro. No se pueden evitar las catástrofes naturales, tales como las inundaciones y los terremotos, pero es posible prevenirlas y reducir considerablemente los daños que causan. No se puede ni se debe detener el desarrollo industrial, pero es factible disminuir los perjuicios que entraña combatiendo el despilfarro, la expansión incontrolada, la explotación económica y la contaminación. Por tanto, la conservación de los bienes culturales representa ante todo un proceso para prolongar su existencia.

Pese a las diferencias de grado y de envergadura de las "operaciones" de conservación, los principios básicos y los métodos son los mismos, tanto si se trata de bienes culturales muebles como inmuebles; en cambio, la estrategia varía según el caso.

Mientras que el conservador-restaurador de un museo puede, por lo general, contar con un ambiente debidamente controlado para reducir al mínimo el deterioro de las obras, el conservador de monumentos y edificios debe atenerse a los efectos del tiempo y del clima, dado que las obras se encuentran en un entorno a la intemperie y que escapa prácticamente a todo control.

Por otra parte, la amplitud y complejidad de las operaciones de conservación arquitectónica es mucho mayor, por lo cual los métodos empleados por los conservadores y restauradores resultan a menudo inadecuados. Además, dado que los contratistas, técnicos y artesanos deben desempeñar en la práctica las diversas operaciones de conservación, se imponen como elementos importantes de ésta la coordinación y supervisión de los trabajos, mientras que en los museos los conservadores y restauradores se encargan personalmente de esas labores.

Finalmente, la conservación de las obras de arquitectura, a diferencia de la de otros bienes culturales, debe tener en cuenta, entre otras cosas, el sitio, el paisaje y el medio físico.

Tanto si se trata de bienes culturales muebles como inmuebles, la elección de los que requieren un "tratamiento" y el grado de intervención se basan en los valores que se les atribuyen y que intervienen en el momento de establecer prioridades al planear las intervenciones y de elaborar programas sobre la amplitud y el carácter de cada trata-

miento. Naturalmente, la atribución de valores o de prioridades refleja inevitablemente el contexto cultural en que se sitúa. Por ejemplo, en Australia una pequeña casa de madera de comienzos del siglo XIX será considerada como un monumento histórico porque data de la época de la fundación del país y porque son pocas las construcciones australianas de ese periodo que han llegado hasta nosotros. En cambio, en Italia, que cuenta con millares de monumentos antiguos, una construcción similar tendrá una prioridad relativamente menor en el plan general de conservación de los bienes culturales de la comunidad.

En todas las operaciones de conservación habrán de respetarse rigurosamente las siguientes normas de conducta: 1) dejar constancia escrita de las condiciones en que se encuentra la obra objeto del tratamiento y de todos los métodos y materiales utilizados en éste; 2) registrar todos los documentos históricos de que se disponga, sin destruirlos, falsificarlos ni sustraerlos; 3) reducir al mínimo necesario cualquier intervención; 4) guiarse por un absoluto respeto de la integridad estética, histórica y material de los bienes culturales.

Cada vez que sea posible desde el punto de vista técnico, conviene que las intervenciones sean reversibles o, por lo menos, que no perjudiquen las intervenciones futuras que puedan resultar necesarias, ni el análisis de los materiales incorporados al objeto. Finalmente, deben conservar la cantidad máxima de la obra de que se trate en cada caso.

Cuando sea preciso hacer añadidos, éstos deben ser menos visibles que el material original, pero fácilmente identificables. De todos modos, no deben ser hechos por conservadores o restauradores sin formación o experiencia suficiente y tampoco sin contar con un asesoramiento competente. No obstante, pueden presentarse a veces problemas muy particulares que deben resolverse a partir de los principios fundamentales y sobre una base experimental.

Teniendo siempre en cuenta el objetivo final, así como los principios y reglas de la

conservación, cabe señalar siete formas de intervención, aunque en cada operación pueden coincidir algunas de ellas, simultáneamente o en diversos momentos del proceso. Esas formas son: prevención del deterioro; preservación, consolidación, restauración, revalorización, reproducción y reconstrucción.

Prevención del deterioro (o conservación indirecta). Consiste básicamente en la protección de los bienes culturales mediante el control del medio físico en que se encuentran. Se incluyen aquí el control de la humedad, de la temperatura y de la luz, y diversas medidas para prevenir los incendios accidentales o premeditados, el robo y el vandalismo. En el medio industrial y urbano, la prevención abarca además medidas para reducir la contaminación atmosférica, las vibraciones debidas al tránsito urbano y el hundimiento del suelo que obedece a muchas causas, particularmente a la extracción de agua.

Preservación. Consiste en la conservación de los bienes culturales en las mismas condiciones en que se los ha encontrado, protegiéndolos de la humedad, de los agentes químicos y de todo tipo de plagas y de microorganismos. Contribuyen a la preservación la limpieza periódica, el mantenimiento y la gestión adecuada. Cuando sea necesario, deben hacerse reparaciones para impedir el deterioro. Las inspecciones regulares son la base de la preservación, particularmente cuando se trata de bienes culturales que se encuentran en un entorno no controlado, puesto que permiten el mantenimiento preventivo y las reparaciones.

Consolidación (o conservación directa). Se trata del añadido o aplicación de materiales adhesivos o de refuerzo a la obra original, a fin de asegurar su duración o su integridad física. En el caso de los bienes culturales inmuebles, la consolidación puede consistir, por ejemplo, en la aplicación de materiales adhesivos para fijar una pintura mural desprendida. Los bienes culturales muebles, como los lienzos o las obras sobre papel, son frecuentemente reforzados con soportes materiales.

En muchos casos puede ser conveniente recurrir a medidas transitorias de consolidación en espera de que se perfeccionen los métodos en uso, particularmente cuando las medidas de consolidación más o menos definitivas pueden perjudicar los futuros trabajos de conservación.

Restauración. La restauración tiene por objeto reavivar la idea primitiva y, por tanto, la comprensión del objeto. La restauración y la restitución de detalles y fragmentos se

BERNARD M. FEILDEN, arquitecto británico, es director del Centro Internacional de Preservación y Restauración de los Bienes Culturales, con sede en Roma, fundado por la Unesco. Ha sido inspector de la catedral de San Pablo de Londres y encargado de los trabajos de consolidación de los cimientos de la catedral de York, en Inglaterra. Es autor de *Conservation of Historic Buildings*, libro que aparecerá en el curso del presente año, y de *Outline of Conservation*, obra publicada por la Unesco

practican frecuentemente y deben basarse en el respeto del original, de los materiales utilizados, de las pruebas arqueológicas y de los documentos auténticos. Al restituir a una obra las partes perdidas o deterioradas, éstas deben integrarse armoniosamente en el conjunto, pero al mismo tiempo es preciso que, mediante una observación atenta, puedan distinguirse a fin de que la restauración no falsifique la autenticidad artística o histórica.

Por otra parte, hay que respetar las "contribuciones" hechas en todos los periodos, preservando cada uno de los aditamentos a la obra original que puedan considerarse como "documentos históricos" y no como simples restauraciones previas. Cuando un edificio comprende obras superpuestas de diferentes periodos, sólo en circunstancias excepcionales puede justificarse poner al descubierto la estructura inferior: por ejemplo, cuando se considera generalmente que la parte añadida es de escaso valor, o cuando se tiene la certeza de que el material sacado a luz será de gran interés histórico o arqueológico, o cuando no cabe duda de que su estado de preservación es suficiente-

mente bueno para justificar la intervención. La restauración comprende también la limpieza de las superficies a condición de no destruir la pátina.

Revalorización. La mejor manera de preservar los edificios es mantenerlos en uso, práctica que puede entrañar una cierta modernización o alteración adaptada a las nuevas circunstancias, es decir lo que hoy llamamos "revalorización". Utilizar un convento medieval de Venecia para albergar una escuela y un laboratorio de conservación de la piedra, o convertir un granero del siglo XVIII en una vivienda doméstica, es a menudo la única manera de hacer económicamente viables los valores históricos y estéticos de algunas construcciones.

Reproducción. Se trata de la copia de una obra con vistas a reemplazar las partes perdidas o deterioradas, a fin de mantener su armonía estética. Si los bienes culturales se encuentran irremediamente deteriorados o amenazados por el entorno, habrá que trasladarlos a un ambiente más adecuado. En este caso, la reproducción substituye al original a fin de preservar la unidad del sitio o del edificio. Por ejemplo, el célebre *David*

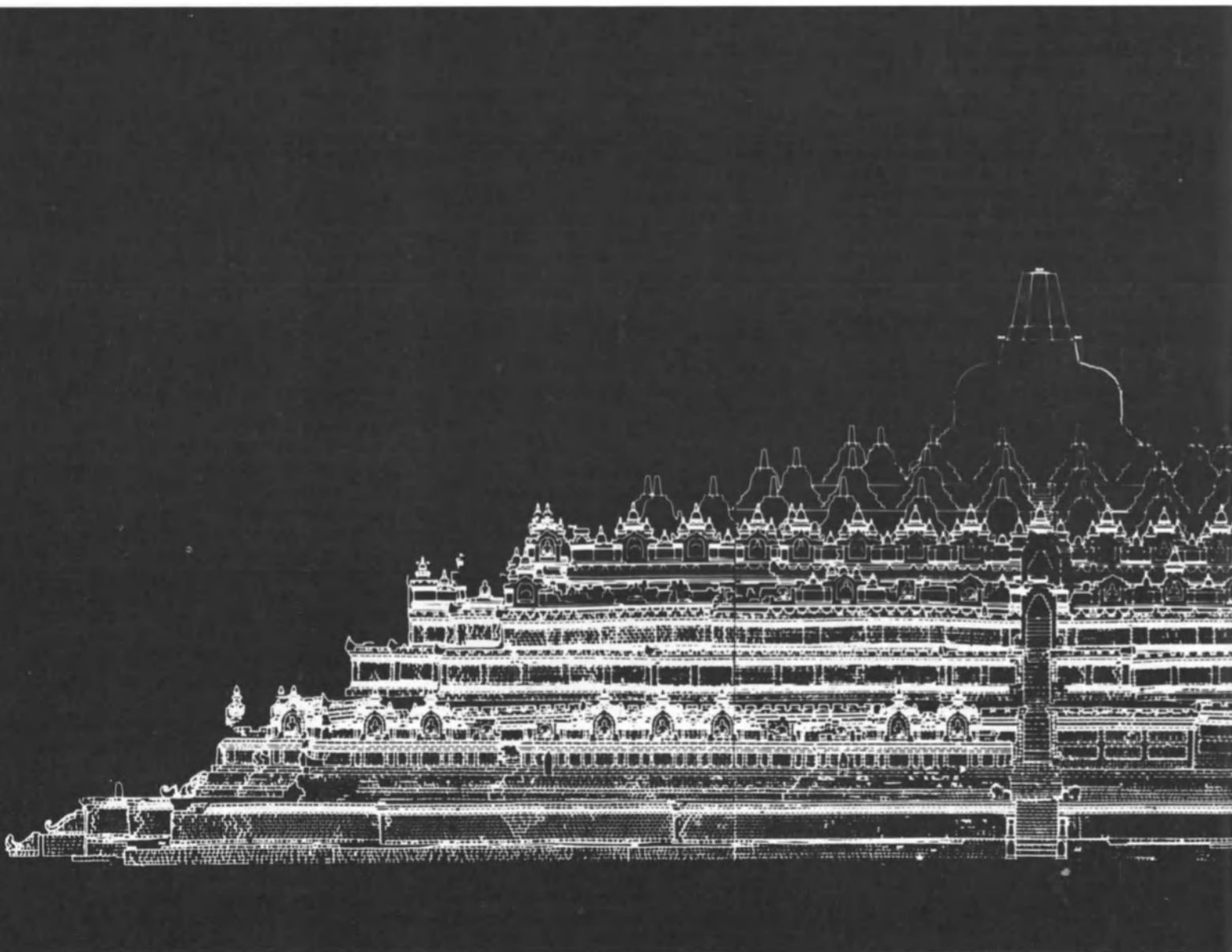
de Miguel Angel fue trasladado de la Piazza della Signoria de Florencia a un museo para proteger la escultura de los efectos de la intemperie, reemplazándola por una buena reproducción.

Reconstrucción. Como resultado de catástrofes tales como el fuego, los terremotos o la guerra, puede resultar necesario reconstruir edificios históricos o centros urbanos antiguos con materiales nuevos, aunque es natural que no tengan la pátina del tiempo. Al igual que la restauración, la reconstrucción debe hacerse a base de documentos seguros y no de conjeturas.

Otra forma de reconstrucción, que sólo se justifica por razones de insoslayable interés nacional, consiste en trasladar edificios enteros a un nuevo emplazamiento, aunque este recurso entraña la pérdida de ciertos valores culturales esenciales y el peligro de crear nuevos riesgos ambientales. Un ejemplo clásico es el del conjunto de templos de Abú Simbel que fueron desplazados para evitar que los inundaran las aguas de la gran presa de Asuán, en Egipto.

B.M. Feilden

Foto © Kodak-Pathé - I.G.N., tomada de la exposición "Le fil des pierres — Photogrammétrie et conservation des documents", París



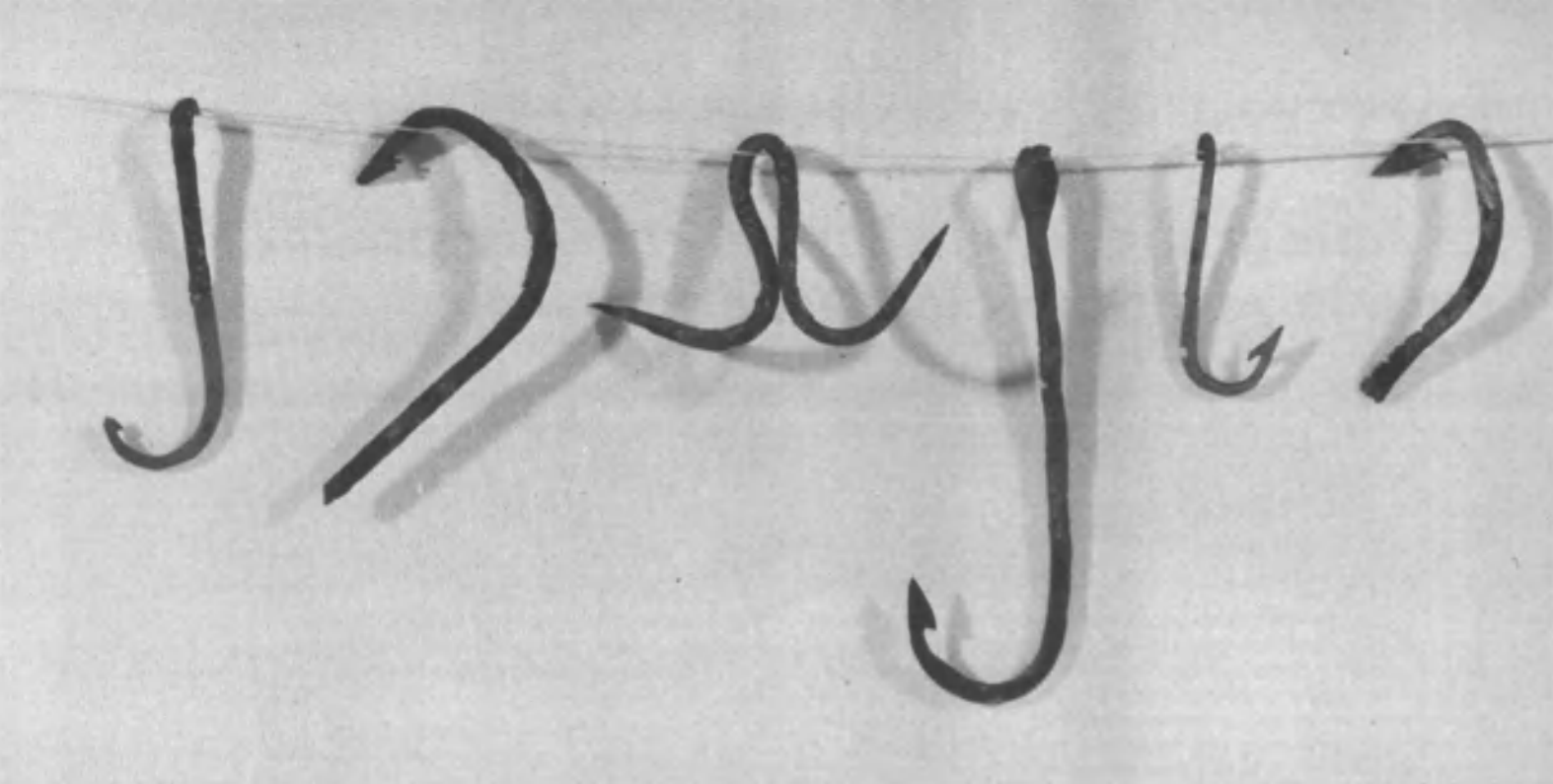


Foto © Museo Borély, Marsella

De lo monumental a lo minúsculo



A la izquierda, una de las fachadas del templo de Borobudur, en la isla de Java, Indonesia, que data del siglo IX y contiene el mayor y más completo conjunto de bajosrelieves budistas del mundo. Aunque a primera vista puede parecer el "negativo" de un minucioso dibujo arquitectónico, se trata en realidad de una imagen obtenida mediante el procedimiento de la fotogrametría. A pedido del gobierno de Indonesia la Unesco lanzó hace unos diez años una campaña internacional para salvar el monumento ; en efecto, la base ha sido socavada por las lluvias torrenciales de los monzones que se han infiltrado durante doce siglos y las galerías se están hundiendo debido a los movimientos sísmicos frecuentes en la región. Antes de emprender los trabajos de restauración — consistentes en desmontar el templo, piedra por piedra, y reconstituirlo sobre una estructura de hormigón en la que el peso del edificio esté debidamente repartido, que resista los movimientos sísmicos y que permita el avenamiento de las aguas de infiltración — era necesario disponer de planos precisos del monumento. La Unesco encomendó su realización al Instituto Geográfico Nacional de Francia. Debido a sus dimensiones, a su complejidad, a su forma piramidal, etc., muchas partes del templo no eran visibles en las fotografías tomadas desde el suelo. Hubo pues que completarlas con 180 pares de fotos (estereoscopia) y con 35 imágenes fotogramétricas, tanto horizontales como verticales, hechas desde un helicóptero. Así se pudo tener una apreciación exacta del "volumen" del monumento y de los trabajos que debían emprenderse para su restauración.

Arriba, seis anzuelos que datan del siglo V (Edad del Bronce), encontrados en el sur de Francia. Tienen tres y cinco centímetros de largo y se conservan en el Museo de Arqueología de Château Borély, en Marsella.

Un museo sin obras de arte

La holografía, una técnica revolucionaria para la reproducción artística

por **Ivan G. Yevtushenko y Vladimir B. Markov**

EN 1948 el físico inglés de origen húngaro Dennis Gabor propuso un nuevo método para reproducir imágenes: la holografía. Pero las nuevas teorías no pudieron ser aplicadas de inmediato, porque no se disponía aún de una fuente de luz con las propiedades requeridas. La invención del láser, que es una fuente luminosa capaz de generar una luz coherente, produjo un vuelco en las investigaciones relativas a este campo de la física.

A partir de 1962 la holografía conoció un progreso substancial, gracias a las investigaciones de los científicos estadounidenses Emmett N. Leith y Juris Upatnieks y del soviético Y. N. Denisiuk. Modificando el esquema de Gabor y utilizando el láser como fuente luminosa, Leith y Upatnieks demostraron que era posible obtener en una fotografía la imagen en relieve de un objeto de tres dimensiones. Denisiuk, por su parte, probó que se puede reconstituir todo el campo de ondas luminosas generado por un objeto.

Pero ¿en qué consiste la holografía y cuáles son sus diferencias con la fotografía tradicional?

El método no holográfico tiene por base el empleo de un objetivo que produce una imagen en la superficie plana de un material fotosensible. Durante este proceso una escena en tres dimensiones se convierte en una imagen de dos dimensiones. El método holográfico consiste en registrar el campo luminoso difundido por un objeto, que es el mismo campo luminoso que percibe la vista humana. El mecanismo básico para obtener un holograma se puede describir así:

Igual que en la fotografía, se necesita una fuente luminosa, una placa fotográfica y, naturalmente, un objeto. La capa de emulsión fotosensible es relativamente espesa (aproximadamente 10 micrones). El objeto es iluminado por la luz de un rayo láser y la luz reflejada incide en la placa. Pero, a diferencia de lo que ocurre en la fotografía ordinaria, la placa es iluminada también por rayos luminosos de referencia que provienen de la misma fuente. Estos dos rayos de luz se unen y son registrados por la placa fotográfica, a la que se da el nombre de holograma.

La etapa siguiente tiene por objeto reconstituir la imagen. Para ello se coloca el holograma en el mismo lugar que ocupara antes y se dirige hacia él una fuente luminosa análoga a la utilizada en la etapa de grabación o registro. Por efecto de la interacción entre el haz luminoso descendente y la estructura registrada en el holograma, aparecen rayos luminosos que corresponden con exactitud a los reflejados por el objeto real. Así, mirando a través del holograma, el observador puede ver una reproducción óptica en relieve del objeto real.

Esta descripción del proceso de registro y reconstitución de una imagen explica el origen del término "holografía", que Dennis Gabor propuso a partir de dos locuciones griegas: "holos", que significa completo, y "grapho", escribir. La holografía puede definirse como un método que permite el registro completo de la información que contiene el campo luminoso difundido por un objeto real.

La singular cualidad que permite al holograma producir un duplicado óptico de un objeto indujo a estudiar las posibilidades de su amplia utilización en museografía.

Muchas son las obras maestras cuya presentación en museos resulta, por diversas razones, difícil. Algunas padecen procesos de deterioración y necesitan condiciones de conservación especiales. Otras requieren medidas excepcionales de seguridad. En vista de tan complejos problemas, el montaje de exposiciones constituidas por copias holográficas de las obras originales surge como una posibilidad concreta. Es bien sabido que los objetos particularmente valiosos que aparecen en lugares remotos suelen ser incorporados a las

colecciones de los grandes museos. La holografía permitiría mostrar esos objetos en otros museos, ofreciendo de ellos una imagen real que sustituyera ventajosamente a las copias cuya elaboración suele ser muy complicada.

Es importante tener también en cuenta, la posibilidad de emplear los hologramas en el proceso científico de clasificación museográfica y en las indagaciones acerca del estado de conservación de las piezas que integran colecciones y muestras. Los investigadores pueden evitar la manipulación de las piezas más valiosas o que se hallen en mal estado, recurriendo a copias ópticas de ellas.

No hay duda de que la holografía abre perspectivas importantes a la museografía para el montaje de exposiciones, especialmente si se tiene en cuenta que son numerosas las piezas que hay que observar desde diferentes ángulos o, al menos, desde dos caras o lados opuestos. Así sucede con las monedas y medallas, los jarrones, las ánforas, etc.

Existe la posibilidad de recoger información completa sobre un objeto por medio de hologramas circulares, pero se trata, desde el punto de vista técnico, de una operación muy compleja. Este método se puede simplificar registrando hologramas bilaterales. Estos consisten en una placa en la que se registran dos hologramas, uno del anverso y otro del reverso del objeto. Para obtener un holograma bilateral, se registra primero una cara del objeto y luego se gira la placa fotográfica hacia el lado contrario, para la segunda toma. La superposición de la imagen real con la imagen seudoscópica se evita manteniendo un ángulo muy abierto entre los rayos luminosos dirigidos hacia el objeto y los dirigidos hacia la placa holográfica. Una vez que el holograma ha sido fotografiado de ese modo y sometido a tratamiento químico, se le ilumina desde ambos lados, lo que produce el efecto de presentar simultáneamente la imagen de las dos caras del objeto.

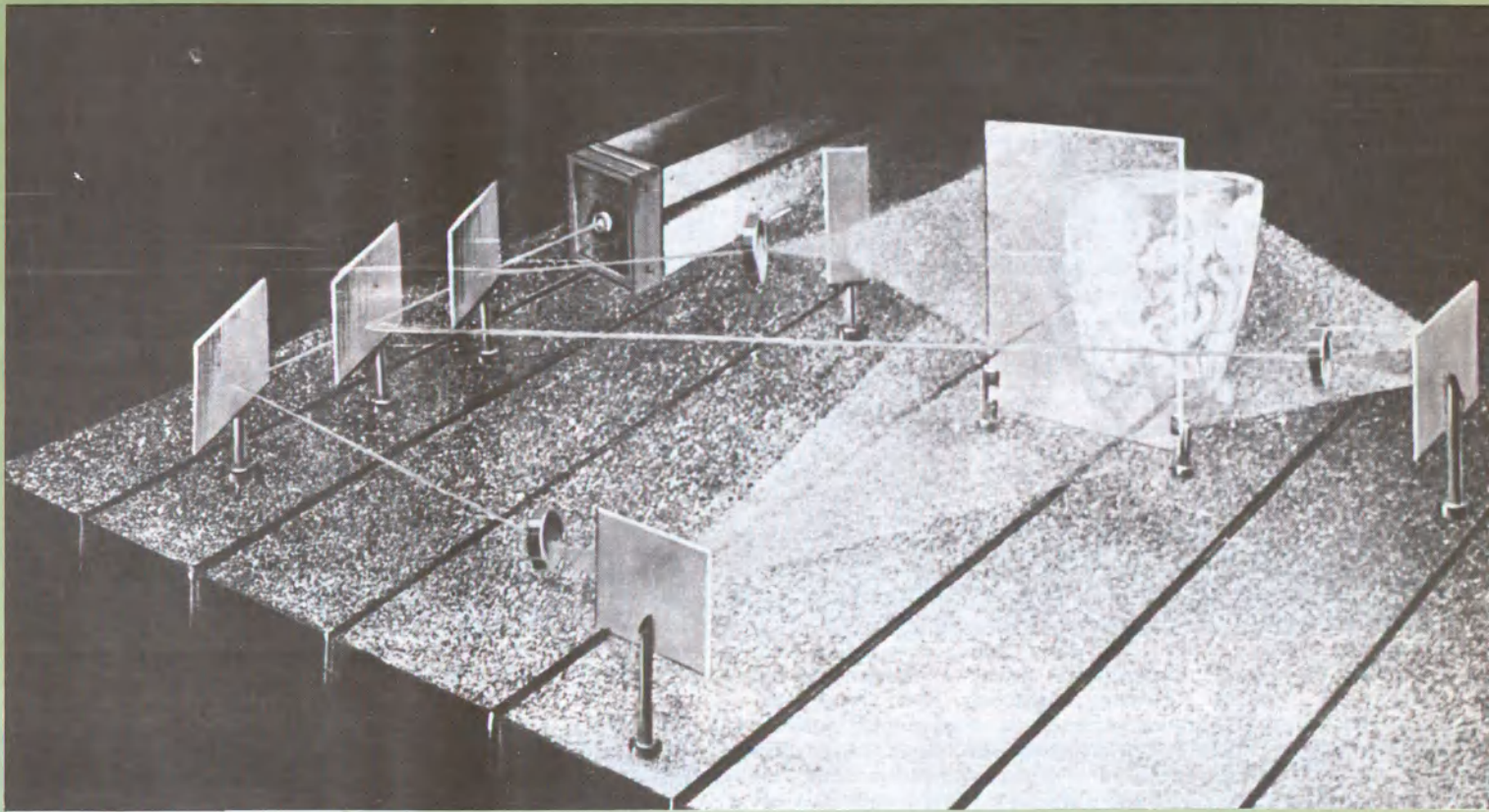
Los museos pueden aprovechar también la facultad que el holograma posee de reconstituir imágenes seudoscópicas. A este respecto tiene especial interés la posibilidad de obtener la imagen de un objeto real a partir de un molde sacado de él.

Sabido es que la obtención de copias por el fundido o vaciado en moldes presenta serias dificultades. A menudo la calidad de los moldes es deficiente. Otras veces, el molde recoge detalles que después no aparecen en la copia. Estos problemas pueden ser superados con el empleo de la holografía seudoscópica. El procedimiento consiste en fotografiar y tratar un holograma del molde, haciendo girar luego este holograma 180 grados en relación con la fuente de luz. En esa posición se proyecta sobre él un haz luminoso. Como resultado de ello, al reconstituirse la imagen se obtiene la copia seudoscópica del molde, es decir la imagen del objeto real.

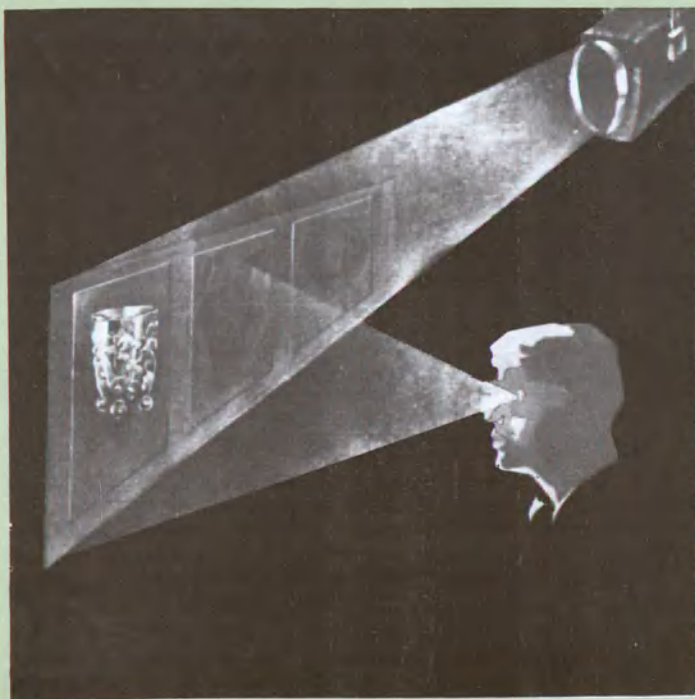
La holografía permite también, con fines de observación, ampliar o reducir el tamaño de las imágenes en relieve de un objeto. El método

IVAN GRIGORIEVICH YEVTUSHENKO es director de ciencia y metodología museológica del Ministerio de Cultura de la República Socialista Soviética de Ucrania. Tiene a su cargo principalmente las investigaciones sobre la utilización de la holografía en los museos y las técnicas de preservación de las obras de arte.

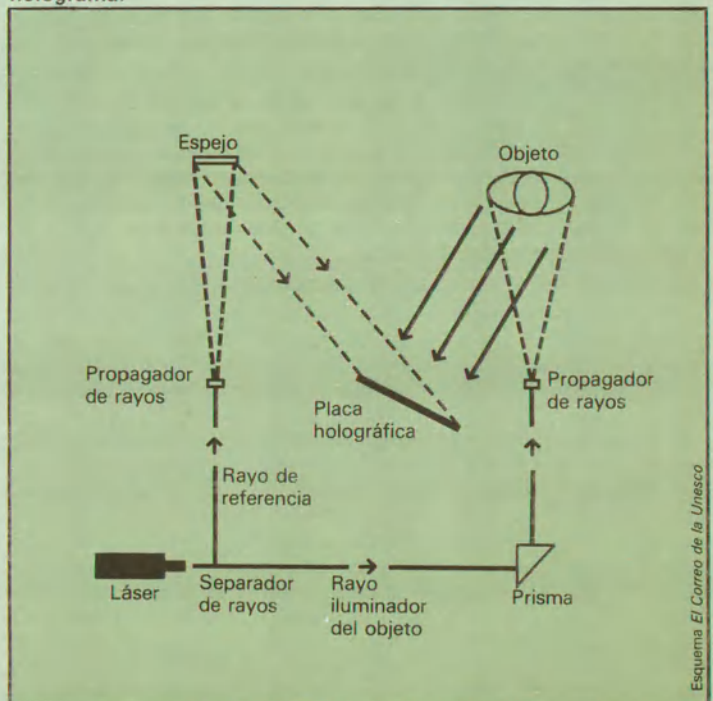
VLADIMIR BORISOVICH MARKOV es director del laboratorio de holografía aplicada del Instituto de Física de la Academia de Ciencias de Ucrania. Colabora frecuentemente en revistas soviéticas y de otros países con artículos sobre óptica, tecnología de los rayos láser y holografía.



Arriba, dibujo de los elementos integrantes de un dispositivo holográfico para la obtención del holograma de un vaso ; a la izquierda, reconstitución de una imagen tridimensional del vaso a partir del holograma. Abajo, diagrama simplificado del procedimiento de obtención de un holograma.



Fotos © Comisión Nacional de la RSS de Ucrania para la Unesco



Esquema El Correo de la Unesco

do holográfico adquiere especial utilidad para mostrar objetos pequeños o para presentar el detalle de una parte determinada de un objeto de mayor tamaño.

Por último, mediante la holografía se pueden obtener no sólo fotografías en relieve de objetos del pasado sino también retratos holográficos de personajes contemporáneos, imágenes de la arquitectura actual, etc.

Con hologramas pueden montarse fácilmente exposiciones móviles o permanentes en cualquier localidad. Así lo confirman las exposiciones holográficas que ya se han presentado en Moscú, Kiev, Yalta, Simferopol, Sebastopol y otras ciudades de la Unión Soviética.

Las perspectivas que ofrece el intercambio internacional de exposiciones holográficas son excelentes, como demostró la exposición holográfica de objetos históricos de los museos de la República Socialista Soviética de Ucrania, presentada en Belgrado, Yugoslavia, durante la 21ª Conferencia General de la Unesco.

La holografía ensancha asimismo las posibilidades de organizar exposiciones especializadas, permitiendo reunir materiales que forman parte de las colecciones de museos diversos. Recordemos lo difícil que resulta agrupar en el marco de una sola exposición muestras más o menos completas de la obra de maestros de la antigüedad o, por ejemplo, una colección de piezas de orfebrería escita. Tales obras se encuentran diseminadas por el mundo en múltiples museos. La holografía ofrece la posibilidad de presentar simultáneamente y en un solo lugar una exposición que abarque, en determinada materia, todo un período histórico. Es de imaginar el éxito que iniciativas de este tipo alcanzarían, no sólo entre historiadores e investigadores sino también ante el público.

Sería interesante, por otro lado, organizar la fabricación y venta de reproducciones holográficas de obras maestras del arte. No cabe la menor duda de que el público se interesaría en comprarlas. La circulación de esas reproducciones holográficas prestigiaría a los museos poseedores de las obras originales.

De lo anterior se deduce que el aprovechamiento de esta nueva técnica no puede ser labor sólo de los institutos de investigación científica. De ahí que en la República Socialista Soviética de Ucrania se hayan buscado soluciones de conjunto a los diversos problemas y tareas que impone la aplicación de la técnica holográfica. Los científicos de diversas disciplinas — físicos y especialistas en museografía — trabajan aunando sus esfuerzos. Como primera etapa, se han creado laboratorios de holografía en los propios museos. Paralelamente, el Laboratorio de Holografía Aplicada de la Academia de Ciencias de la R.S.S. de Ucrania organiza consultas científico-técnicas, prepara especialistas y elabora nuevos métodos de fotografía holográfica.

El método holográfico de producción de imágenes está llamado a tener amplia aplicación en la solución de otros problemas de la ciencia y la técnica. Por ejemplo, existe ya el microscopio holográfico. Hasta ahora el ordinario presentaba una serie de limitaciones, como dar una imagen clara solamente de aquella parte del objeto que es enfocada; la imagen de las demás partes está desenfocada y, por tanto, aparece borrosa. Esto crea dificultades, en especial para la observación de un objeto en continuo movimiento, lo que obliga a sucesivos ajustes del microscopio.

El microscopio holográfico permite captar la imagen en relieve de un objeto en un determinado momento para su estudio detallado posterior. Este microscopio da especialmente buenos resultados en la observación de partículas en suspensión (aerosoles) y de objetos transparentes. Por ejemplo, gracias al microscopio holográfico se ha podido obtener la imagen en relieve de una neurona de menos de 0,001 milímetro de diámetro.

Uno de los campos de aplicación de la holografía que ha tenido un desarrollo más rápido es el de la interferometría holográfica. Este método aprovecha la posibilidad de captar en forma sucesiva y en un mismo holograma varias imágenes. La primera fotografía registra la imagen del objeto intacto. La segunda recoge la imagen del objeto después que sobre él ha actuado un factor externo. Si se dirige un nuevo rayo de luz hacia el holograma así formado, se produce la reconstitución simultánea de ambas imágenes. Las imágenes formadas por los haces luminosos se difunden en una misma dirección. Como se trata de haces coherentes, se interfieren entre sí, obteniéndose una imagen cubierta de franjas claras y oscuras. Estas franjas constituyen la imagen de interferencia. La estructura de esas franjas depende de la influencia externa a que ha sido sometido el objeto. El estudio de la imagen de interferencia permite determinar la topología del objeto, descubrir sus defectos ocultos o compararlo con otros objetos similares.

Y.G. Yevtushenko y V.B. Markov

A la derecha : una exposición holográfica en el Museo de Historia de Ucrania, en Kiev. Las exposiciones holográficas itinerantes brindan grandes posibilidades de hacer conocer los tesoros artísticos de los grandes museos al público del mundo entero, a bajo costo y sin riesgo alguno para las obras de arte. Por ejemplo, se ha calculado que una de las principales colecciones de Moscú, "Tesoros del Museo Nacional de Historia", podría caber entera en 110 placas holográficas de 60×80 cm cada una, y su volumen total sería de 1,5 m cúbicos.

Abajo : Shermazan Kakichashvili, director del laboratorio de investigaciones ópticas del Instituto de Cibernética de la Academia de Ciencias de la República Socialista Soviética de Georgia, contempla un holograma de su propia cabeza. Iluminado por un haz de rayos láser, el holograma, colocado en una mesa giratoria, permite verla de frente, por detrás y de perfil.



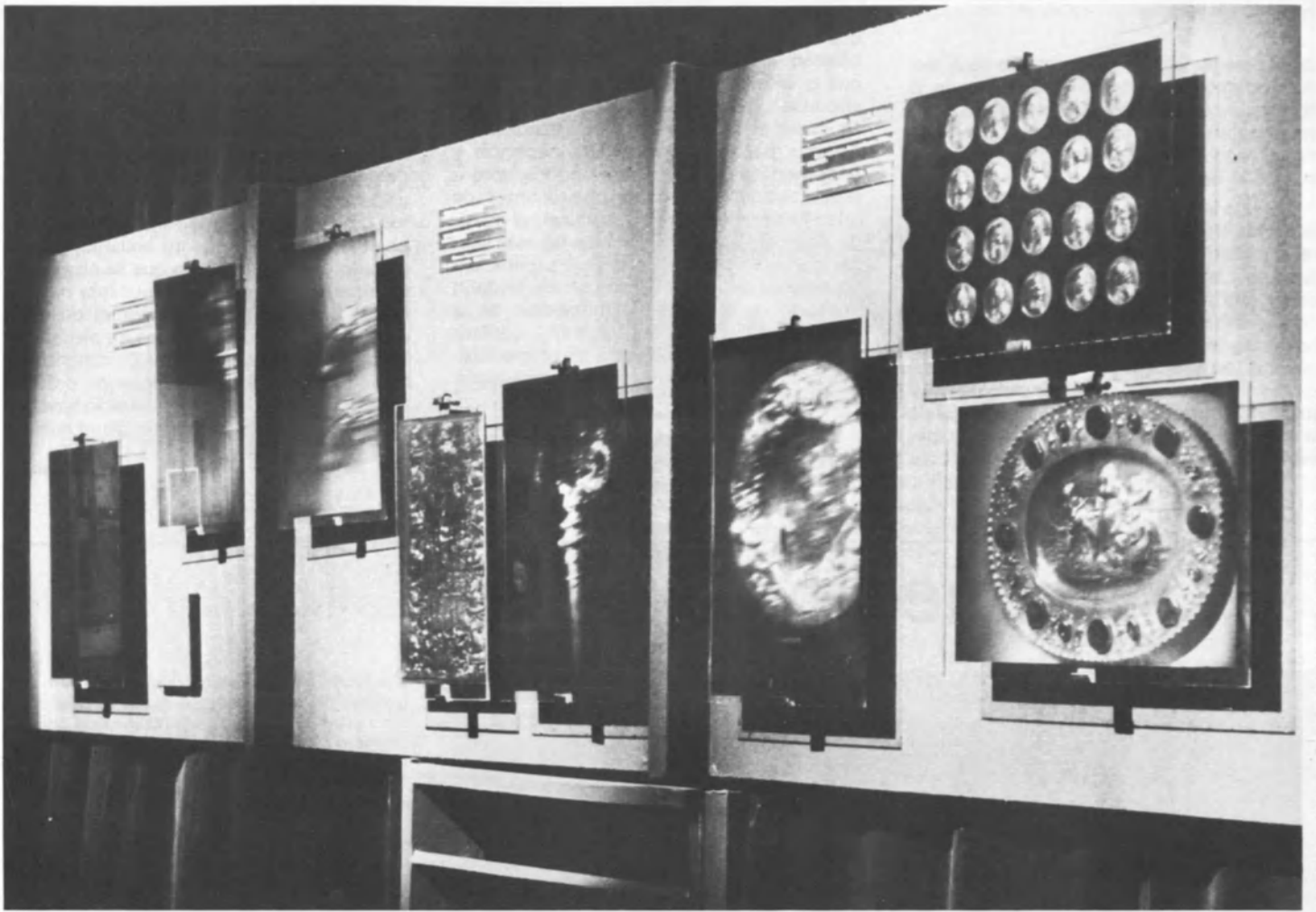
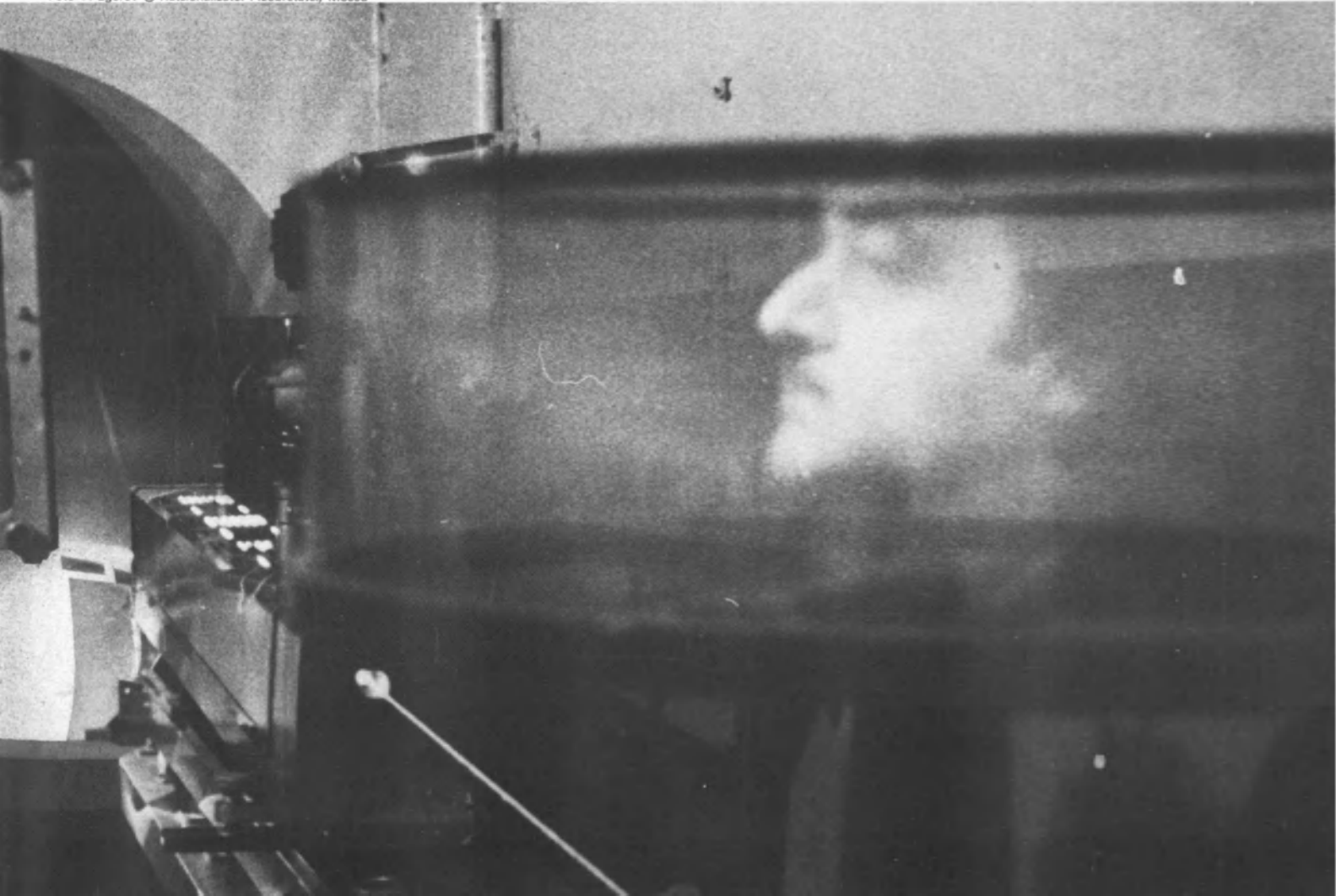


Foto V. S. Zhydtchenko © Comisión Nacional de la RSS de Ucrania para la Unesco

Foto Y. Egorov © Ratsionalizator i Izobretatel, Moscú



de la nuestra. Vasari, en su estudio de la técnica durante el Renacimiento, habla de la conveniencia de emplear tratamientos de envejecimiento artificial como el oscurecimiento con aceite, la inmersión en vinagre e incluso el barnizado.

La plata adquiere a menudo un ligero tinte purpúreo debido a la acción del cloro. Esta reacción es, no obstante, lenta en comparación con la oxidación o la clorización del cobre que pueda hallarse presente, de manera que las aleaciones como las que suele haber en las monedas adulteradas son en general las que primero sufren estas reacciones. La obtención mediante procedimientos químicos de una degradación artificial de la superficie no presenta dificultades especiales.

Pese a la sencillez del procedimiento, pocos tratamientos artificiales premeditados ofrecen al falsificador mejores resultados que el enterramiento de su obra durante un año más o menos para dejar que la naturaleza inicie el proceso de "envejecimiento". Aunque para ello hacen falta paciencia y unos nervios firmes (alguien podría desenterrar accidentalmente el objeto antes de que el mercado estuviera maduro), el método sigue siendo eficaz. Incluso las más ligeras huellas de concreciones en la superficie o las señales de raíces, junto con cierto daño "natural" y la inevitable mitigación de la brillantez decorativa, contribuirán a conferir un buen sello arqueológico a un objeto falsificado que haya permanecido durante algún tiempo bajo tierra.

Pero esto no siempre se consigue, en especial si el falsificador no es hábil en la pre-

paración del lugar de enterramiento. En 1905 el abate d'Aguel, ávido de demostrar que el comercio entre Egipto y la Galia databa del Neolítico, anunció el descubrimiento de una serie de utensilios y de armas de piedra cuidadosamente elaborados. Según él, habían aparecido en las capas sedimentarias de piedra caliza de la isla de Riou, frente a la costa marselesa. La atención de los expertos pronto se centró en el hecho de que los objetos tenían un aspecto brillante, casi laqueado: el tipo de pátina que se observa en la superficie de objetos expuestos durante largos períodos a una atmósfera desértica seca, no en artículos metidos en piedra caliza durante miles de años. El material era ciertamente auténtico y egipcio, pero su viaje de Egipto a Francia había sido bastante más reciente de lo que pretendía el abate.

S. J. Fleming

Arqueología aérea



Gracias a la arqueología aérea es hoy posible descubrir, fotografiar y cartografiar los restos arqueológicos enterrados por siglos de labores agrícolas. Estos rastros del pasado resultan visibles para el "arqueólogo volante" si se dan ciertas condiciones relacionadas con el crecimiento de los cultivos y con las estaciones, por ejemplo tras las labores invernales. El método de prospección aérea presenta la ventaja de no ser destructivo; en efecto, una foto puede ser reinterpretada o hecha de nuevo, mientras que una excavación mal realizada no puede hacerse de nuevo. Se han podido así establecer auténticos atlas de arqueología aérea correspondientes a regiones enteras, lo que supone una contribución esencial al inventario y a la protección del patrimonio arqueológico. En esta foto aérea tomada en invierno se ve nítidamente el trazado característico de una gran mansión galoromana, de 320 metros de largo, en medio de fértiles trigales de la Francia septentrional (Warfusee, Somme).

Foto © Roger Agache, Service des Fouilles, Abbeville, Francia

Acaba de aparecer



• La última edición del *Anuario estadístico* de la Unesco presenta en español, inglés y francés todos los datos disponibles hasta fines de 1980.

• Se encargó de elaborar la obra la Oficina de Estadística de la Unesco, con la colaboración de los servicios nacionales de estadística y de las comisiones nacionales de la Unesco y el concurso de la Oficina de Estadística y de la División de la Población de las Naciones Unidas.

• El Anuario — obra de utilidad máxima para los organismos públicos, autoridades en materia de cultura y educación, empresas editoriales y periodísticas, profesionales de la información, etc. — contiene datos estadísticos recogidos en unos 200 países y territorios sobre las materias siguientes :

Población : Cuadros de referencia

Educación : Datos relativos a todos los grados de la enseñanza, por continentes, grandes regiones y grupos de países. Sistema escolar e índice de inscripción en la matrícula, por países. Enseñanza preprimaria, de primero y de segundo grado. Enseñanza de tercer grado. Gastos de enseñanza.

Ciencia y tecnología : Personal científico y técnico. Gastos relativos a la investigación científica y al desarrollo experimental. Indicadores del desarrollo científico y tecnológico.

Cultura e información : Bibliotecas. Edición de libros, periódicos y revistas. Consumo de papel. Películas y cine. Radiodifusión y televisión.

1.280 páginas

280 francos franceses

Para renovar su suscripción y pedir otras publicaciones de la Unesco

Pueden pedirse las publicaciones de la Unesco en las librerías o directamente al agente general de la Organización. Los nombres de los agentes que no figuren en esta lista se comunicarán al que los pida por escrito. Los pagos pueden efectuarse en la moneda de cada país.

ARGENTINA. Librería El Correo de la Unesco, EDILYR S.R.L., Tucumán 1685 (P.B."A") 1050 Buenos Aires.

Correo Argentino	CENTRAL (B)	TARIFA REDUCIDA CONCESION No. 274
		FRANQUEO PAGADO CONCESION N° 4074

REP. FED. DE ALEMANIA. Todas las publicaciones con excepción de *El Correo de la Unesco* : Karger Verlag, Germering / Munchen. Para *El Correo de la Unesco* en español, alemán, inglés y francés : Mr. Herbert Baum, Deutscher Unesco-Kurier Vertrieb, Basaltstrasse 57, 5300 Bonn 3. Mapas científicos solamente: Geo Center, Postfach 800830, Stuttgart 80. — **BOLIVIA.** Los Amigos del Libro, casilla postal 4415, La Paz ; Avenida de las Heroínas 3712, casilla postal 450, Cochabamba. — **BRASIL.** Fundação Getúlio Vargas, Editora-Divisão de Vendas, caixa postal 9.052-ZC-02, Praia de Botafogo 188, Rio de Janeiro, R.J. (CEP. 20000). Livros e Revistas Técnicos Ltda., Av. Brigadeiro Faria Lima,

1709 - 6° andar, Sao Paulo, y sucursales : Rio de Janeiro, Porto Alegre, Curitiba, Belo Horizonte, Recife — **COLOMBIA.** Cruz del Sur, calle 22, n° 6-32, Bogotá. — **COSTA RICA.** Librería Trejos S.A., apartado 1313, San José. — **CUBA.** Ediciones Cubanas, O'Reilly No. 407, La Habana — **CHILE.** Bibliocentro Ltda., Constitución N° 7, Casilla 13731, Santiago (21). **REPUBLICA DOMINICANA.** Librería Blasco, Avenida Bolívar, No. 402, esq. Hermanos Deligne, Santo Domingo. — **ECUADOR.** Revistas solamente : RAYD de Publicaciones, Av. Colombia 248 (Ed. Jaramillo Arteaga), oficina 205, apartado 2610, Quito ; libros solamente : Librería Pomaire, Amazonas 863, Quito ; todas las publicaciones : Casa de la Cultura Ecuatoriana, Núcleo del Guayas, Pedro Moncayo y 9 de Octubre, casilla de correos 3542, Guayaquil. — **EL SALVADOR.** Librería Cultural Salvadoreña, S.A., Calle Delgado No. 117, apartado postal 2296, San Salvador. — **ESPAÑA.** MUNDI-PRENSA LIBROS S.A., Castelló 37, Madrid 1 ; Ediciones LIBER, Apartado 17, Magdalena 8, Ondárroa (Vizcaya) ; DONAIRE, Ronda de Outeiro 20, apartado de correos 341, La Coruña ; Librería AL-ANDALUS, Roldana 1 y 3, Sevilla 4 ; Librería CASTELLS, Ronda Universidad 13, Barcelona 7. — **ESTADOS UNIDOS DE AMERICA.** Unipub, 345, Park Avenue South, Nueva York, N.Y. 10010. Para *El Correo de la Unesco* : Santillana Publishing Company Inc., 575 Lexington Avenue, Nueva York, N.Y. 10022. — **FILIPINAS.** The Modern Book Co., 926 Rizal Avenue, P.O. Box 632, Manila, D-404. — **FRANCIA.** Librairie de l'Unesco, 7, place de Fontenoy, 75700 París (CCP París 12.598-48).

— **GUATEMALA.** Comisión Guatemalteca de Cooperación con la Unesco, 3ª Avenida 13-30, Zona 1, apartado postal 244, Guatemala. — **HONDURAS.** Librería Navarro, 2ª Avenida N° 201, Comayagüela, Tegucigalpa. — **JAMAICA.** Sangster's Book Stores Ltd., P.O. Box 366, 101 Water Lane, Kingston. — **MARRUECOS.** Librairie "Aux Belles Images", 281, avenue Mohammed V, Rabat ; *El Correo de la Unesco* para el personal docente : Comisión Marroquí para la Unesco, 19, rue Oqba, B.P. 420, Rabat (C.C.P. 324-45). — **MEXICO.** SABSA, Insurgentes Sur, No. 1032-401, México 12, D.F. Librería El Correo de la Unesco, Actipán 66, Colonia del Valle, México 12, D.F. — **MOZAMBIQUE.** Instituto Nacional do Livro e do Disco (INLD), Avenida 24 de Julho, 1921, r/c e 1º andar, Maputo. — **PANAMA.** Agencia Internacional de Publicaciones S.A., apartado 2052, Panamá 1. — **PARAGUAY.** Agencia de Diarios y Revistas, Sra. Nelly de García Astillero, Pte. Franco 580, Asunción. — **PERU.** Editorial Losada Peruana, Jirón Contumaza 1050, apartado 472, Lima. — **PORTUGAL.** Dias & Andrade Ltda., Livraria Portugal, rua do Carmo 70, Lisboa — **PUERTO RICO.** Librería Alma Mater, Cabrera 867, Río Piedras, Puerto Rico 00925. — **REINO UNIDO.** H.M. Stationery Office, P.O. Box 569, Londres S.E. 1. — **URUGUAY.** Editorial Losada Uruguaya, S.A., Maldonado 1092, Montevideo. — **VENEZUELA.** Librería del Este, Av. Francisco de Miranda 52, Edificio Galipán, apartado 60337, Caracas ; La Muralla Distribuciones, S.A., 4a Avenida entre 3a. y 4a. transversal, "Quinta Irenalis" Los Palos Grandes, Caracas 106.

MUSEOS DE ARTE SIN OBRAS DE ARTE



Un museo en que la gente se agolpe para admirar obras de arte ausentes de sus salas : esta idea futurista será un día realidad corriente gracias a la holografía, método revolucionario que permite una representación tridimensional de los objetos tan perfecta que el espectador tiene la impresión de que podría tocarlos (véase el artículo de la página 30). En la foto, una máscara de Sileno, fiel compañero del dios Dionisos, que data del siglo III a.C. y que fue descubierta en Ucrania en 1935, tal como puede verse en la exposición holográfica permanente del Museo Ucrainiano de Historia, de Kiev.