



Análisis No Destructivo para el estudio del Arte, la Arqueología y la Historia

CONTACTO

DR. JOSÉ LUIS RUVALCABA SIL
Director del Proyecto ANDREAH

INSTITUTO DE FÍSICA
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
Circuito de la Investigación Científica s/n
Ciudad Universitaria
México, D.F. CP 04510
México

Tel: 56225162 / 5043
e-mail: sil@fisica.unam.mx
<http://www.fisica.unam.mx/andrea/>



DADES TECNOLÓGICAS y POSIBILIDADES TECNOLÓGICAS y POSIBILIDADES TECNOLÓGICAS y POSIBILIDADES TEC
ECTOS RELACIONADOS con el PROYECTOS RELACIONADOS con el PROYECTOS RELACIONADOS con el PROYECTOS RE
y CONSERVACIÓN del ESTUDIO y CONSERVACIÓN del ESTUDIO y CONSERVACIÓN del ESTUDIO y CONSER
PATRIMONIO en MÉXICO PATRIMONIO en MÉXICO PATRIMONIO en MÉXICO PATRIMONIO en MÉX



Disco de turquesa
Ofrenda 99,
Museo del Templo Mayor,
INAH

2	Presentación
4	Importancia del Análisis Material
6	Caracterización Material Integral
8	Objetivos
9	Metodología
11	<i>Principales proyectos:</i>
11	Análisis de documentos y manuscritos
13	Caracterización de artefactos metálicos
14	Estudios de pigmentos y técnicas pictóricas de pintura de caballete colonial
16	Estudios de procedencia de lítica
18	Técnicas de imágenes con luz ultravioleta (UV) e infrarroja (IR)
20	Espectroscopia UV-VIS-IR. Colorimetría
22	Fluorescencia de Rayos X Portátil. XRF
24	Espectroscopia Raman
26	Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) transportable
28	Técnicas con Haces de Iones en el Laboratorio del Acelerador Pelletrón
30	Grupo y Colaboraciones

Presentación

En nuestro país, se ha revolucionado en los últimos años, el estudio de las colecciones y piezas únicas de los museos y de los acervos nacionales mediante el uso y la optimización de los equipos y las técnicas de análisis no destructivas y no invasivas in situ.

Con el proyecto CONACYT U49839-R Móvil: *Metodologías No Destructivas para el estudio In Situ del Patrimonio Cultural*, se propició a partir de 2005, el desarrollo de equipos propios y la adquisición de este tipo de aparatos ad hoc. Los equipos son trasladados al acervo – *el laboratorio va al museo* – para llevar a cabo los análisis directamente sin la toma de muestra del objeto de estudio, de manera no destructiva. Las piezas mostradas en este documento corresponden a colecciones estudiadas en colaboración con el Proyecto Móvil.

En el marco de esta investigación interdisciplinaria, se ha aplicado de manera exitosa, un conjunto de metodologías específicas para el estudio de colecciones del patrimonio cultural de acervos mexicanos, y se han formado recursos humanos especializados en este tipo de investigaciones. Esta labor continúa desde el 2010 con el proyecto PAPIIT UNAM IN403210 Red de Análisis No Destructivo para Estudios en Arte, Arqueología e Historia (ANDREAH).

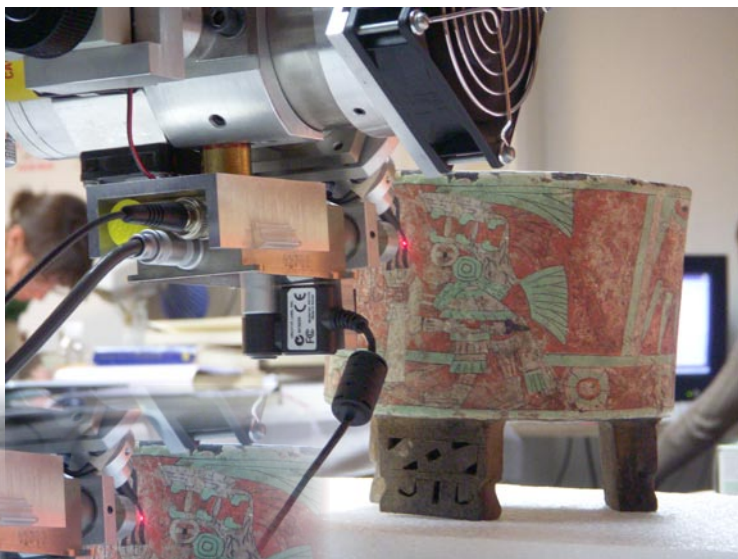
Las metodologías involucradas incluyen desde las técnicas de registro de imágenes empleando diversos tipos de luz como la ultravioleta, la infrarroja, y la visible, hasta equipos portátiles de Fluorescencia de Rayos X (XRF), espectroscopia Raman e Infrarroja con Transformada de Fourier (Mid-FTIR).



Colección Montejó.
Exp. 133 legajo 22
Iluminación sobre pergamino
Biblioteca Nacional de
Antropología e Historia,
INAH

Importancia del Análisis de Materiales para el Arte y la Historia

Los resultados de la investigación proporcionan información sobre los materiales empleados en las diversas épocas, las técnicas de manufactura y tecnologías antiguas, la procedencia de los objetos y materiales, cronologías relativas y absolutas de los objetos, y aspectos de estado de deterioro, métodos de restauración y estrategias de conservación preventiva de colecciones y piezas únicas. De esta manera se revalora el patrimonio cultural e histórico nacional con un impacto positivo en la sociedad.



Cerámica decorada post cocción
Tetitla, Teotihuacán
Museo Nacional
de Antropología, INAH



Caracterización Material Integral del Patrimonio Cultural

El estudio de los materiales del patrimonio cultural requiere considerar su contenido, su contexto histórico y cultural, así como realizar un registro adecuado del mismo. Dentro de un estudio integral se incorporan los aspectos materiales, la cronología y su estado de deterioro. Estos últimos son indispensables para establecer estrategias de conservación. Estos aspectos constituyen el marco de investigación interdisciplinario de este proyecto.

La caracterización de su entorno material involucra todos los componentes del objeto mediante diversas técnicas analíticas. Por ejemplo en el caso de un manuscrito, se deben de analizar sus tintas y sus características, la manera como se realizó, el soporte utilizado y su preparación, la encuadernación y los cambios en ésta, de manera que todos estos aspectos determinan su estado de deterioro y su conservación. Todo esto se debe considerar dentro de un registro adecuado del patrimonio.

El estudio de las colecciones en buen estado permite obtener información de primer orden de los materiales y técnicas sin una influencia considerable de su deterioro, por lo cual se pueden constituir bases de datos del patrimonio cultural y proponer acciones de conservación preventiva para su mejor preservación y la apropiada restauración del patrimonio cultural más afectado. De ahí la importancia de estas investigaciones para el país.



Objetivos

El proyecto no propone un estudio exhaustivo de las colecciones del patrimonio cultural mexicano, demasiado vasto y complejo. Por el contrario se ha orientado mediante el estudio de colecciones específicas a:

- Desarrollar metodologías e infraestructuras experimentales para la caracterización no destructiva de los materiales de acervos nacionales que integran el patrimonio cultural e histórico de México.
- Integrar grupos de investigación interdisciplinarios y formar recursos humanos especializados para el estudio no destructivo de los materiales del patrimonio cultural e histórico del país.
- Integrar bases de información de los materiales y objetos, así como de las colecciones más relevantes del patrimonio cultural e histórico nacional.

¿Por qué es útil un análisis *in situ*?

Con un análisis *in situ* se evitan permisos, seguros y traslados. Este estudio se lleva a cabo de manera no destructiva y no invasiva, es decir sin toma alguna de muestra del objeto.

Este análisis se puede aplicar a un objeto o a una colección para determinar cuáles son las piezas representativas de la colección para estudios más detallados.

Metodología

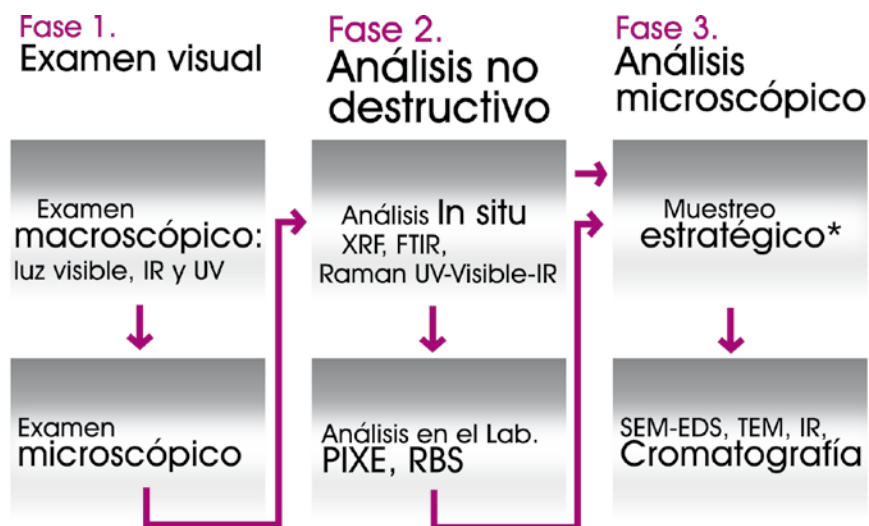
Un estudio con técnicas no destructivas generalmente involucra dos fases:

- La primera fase consiste en la realización de exámenes con técnicas de imágenes para la realización de una prospección general del objeto en sus distintas regiones; ayuda a determinar el grado de heterogeneidad e identifica los rasgos generales de los materiales involucrados así como la presencia de intervenciones de restauración previas; permite determinar las zonas que deberán ser analizadas con técnicas instrumentales durante la siguiente fase de investigación. Un examen minucioso por medio de microscopía óptica complementa el examen del objeto de estudio.
- La segunda etapa de análisis consiste en el uso de técnicas instrumentales en áreas representativas; en este momento se establecen las técnicas más adecuadas y su secuencia de aplicación; se obtienen cientos de mediciones complementarias utilizando distintas técnicas lo que permite verificar la validez de los resultados obtenidos y se obtiene un conocimiento general del objeto. Se emplean las espectroscopias de fluorescencia de rayos X (XRF), la Raman y la Infrarroja con Transformada de Fourier (Mid-FTIR), además de mediciones con espectrómetros de luz del visible al cercano infrarrojo que permiten realizar mediciones de colorimetría.

Principales proyectos de investigación

Tras esta fase es factible determinar si la información obtenida es suficiente para resolver la interrogante o si se requiere un estudio no destructivo y no invasivo en el laboratorio (con el consecuente traslado de la pieza).

Por otra parte, si fuese indispensable, tomar muestras del objeto de estudio, se propone la estrategia de muestreo más adecuada, considerando las zonas representativas del objeto, los análisis subsecuentes y el tamaño del muestreo con un mínimo de daño para la pieza o la colección.



Dentro del proyecto se han determinado una serie de tópicos principales que actúan como ejes directores para su desarrollo. No obstante, se han abordado además otras colecciones de diversa naturaleza.

Análisis de documentos y manuscritos, incluyendo códices y libros antiguos.

El estudio de los documentos antiguos se ha enfocado a caracterizar los materiales que los componen, incluyendo tintas (ferrogálicas, carbón, mixtas), composición de los colores inorgánicos y orgánicos (pigmentos y/o tintas), bases de preparación, soporte (papel, pergamino), encuadernaciones, etc.

Entre los documentos estudiados se encuentran:

- Manuscritos y libros de coro, incluyendo sus iluminaciones. Entre las colecciones más relevantes estudiadas se encuentran la colección Montejo de la BNAH del INAH, el Acta de la Independencia de México de 1821, libros de coro del siglo XVII al XIX del acervo de la Catedral Metropolitana de Ciudad de México y de la Catedral de Puebla. Destacan las iluminaciones de Lagarto de estos documentos, y el Libro la Divina Proportione.

• Códices prehispánicos y coloniales. Estos documentos en su mayoría coloniales, pues solo existe un códice prehispánico en las colecciones nacionales (Códice Colombino), son muy valiosos por la información que contienen de las tradiciones prehispánicas del uso de colorantes y pigmentos. El análisis de los materiales no es sencillo por el uso frecuente de colores de origen orgánico y las dificultades de preparar materiales de referencia de éstos. Entre los documentos estudiados de la Biblioteca Nacional de Antropología e Historia se encuentran:

- El Códice Colombino, prehispánico.
- El Códice de la Cruz Badiano, colonial, 1552.
- El Códice Azoyu I, colonial s. XVI-XVII.



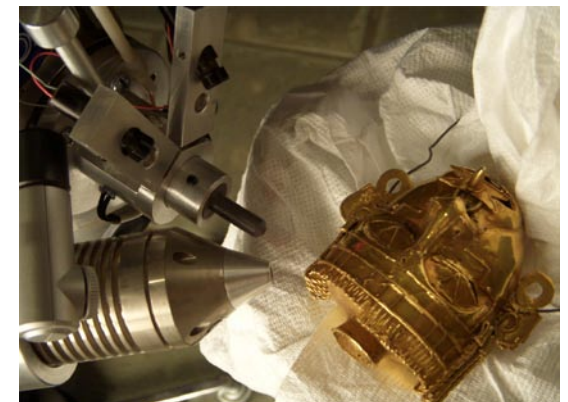
Códice Colombino
Biblioteca Nacional de
Antropología e Historia,
INAH

Caracterización de artefactos metálicos prehispánicos (tecnologías y aleaciones).

El uso de metales nativos, aleaciones, su homogeneidad y aspectos tecnológicos de la manufactura de las piezas se estudian dentro del proyecto. Con base en este tipo de análisis se ha generado una gran cantidad de información, estadísticamente significativa, de la composición de los artefactos metálicos, que permite fundamentar e inferir aspectos novedosos y relevantes de la metalurgia prehispánica.

Algunas de las colecciones estudiadas dentro del proyecto son:

- La colección de cascabeles de cobre y piezas de oro de las ofrendas del Templo Mayor de Tenochtitlán de la Ciudad de México.
- La colección de oro y plata de la Tumba 7 de Monte Albán en el Museo de las Culturas de Oaxaca, en Oaxaca.
- Otras colecciones de artefactos incluyen Piezas del Cenote de Chichén- Itza y del Museo Regional de Guadalajara.



Tumba 7 Monte Alban,
Oaxaca

Museo de las Culturas
de Oaxaca, INAH

Estudios de pigmentos y técnicas pictóricas de pintura de caballete colonial, siglo XIX y moderna.

Los análisis de pintura, lo cual incluye los estudios de paletas, técnicas pictóricas, evolución técnica y material de pintores, se propuso como uno de los temas de investigación fundamentales del proyecto.

En particular se han estudiado:

- Pintura Novohispana, obras de diversos autores, en particular de Andrés de Concha y Simon Pereins.
- De manera paralela se desarrolla un proyecto basado en la creación de estándares de referencia pictóricos para pintura colonial, empleando pigmentos antiguos y recetas de la época, los cuales son analizados con la metodología y técnicas y equipos, para mejorar la interpretación de la información durante el estudio de las obras.
- Pintura Moderna, sobre todo pinturas de Siqueiros del Museo Nacional de Arte y la Sala de Arte Público Siqueiros, del INBA.
- Recientemente, Las Dos Fridas (1939) de Frida Kahlo del Museo de Arte Moderno, en colaboración con el CEN-CROPAM-INBA.
- Otros documentos como dibujos iluminados y bocetos (Museo de San Carlos, INBA).



Los Cinco Señores,
Andrés de Concha, s XVII
Catedral Metropolitana,
Ciudad de México.



Estudios de procedencia de lítica (obsidiana, piedras verdes, turquesas).

El estudio de piedras verdes, turquesas y otros materiales líticos, muy apreciados por las culturas prehispánicas, se ha desarrollado rápidamente gracias al empleo de espectroscopias apropiadas para el análisis e identificación de los minerales que componen las piezas. Se obtiene información significativa para estudios de procedencia, rutas de intercambio, y esto se combina con estudios de técnica de manufactura.

Las colecciones relevantes estudiadas hasta el momento son:

- Mosaicos de turquesa y piedras verdes de las colecciones del Museo del Templo Mayor INAH.
- La máscara de Malinaltepec y otras piezas de piedra verde de Teotihuacan y área Maya, así como piezas de Tecalli, del Museo Nacional de Antropología e Historia del INAH.



Collar de piedras verdes
Museo del Templo Mayor,
INAH

16



Lítica. Tláloc.
Museo Templo Mayor
INAH

17

Técnicas analíticas y equipos

Técnicas de imágenes con luz ultravioleta (UV) e infrarroja (IR).

Las técnicas de imágenes son muy útiles para realizar una inspección general del objeto de estudio y determinar su homogeneidad, similitudes y diferencias entre sus partes y regiones. Asimismo permiten identificar alteraciones y restauraciones, esto con el fin de seleccionar zonas representativas para el análisis instrumental.

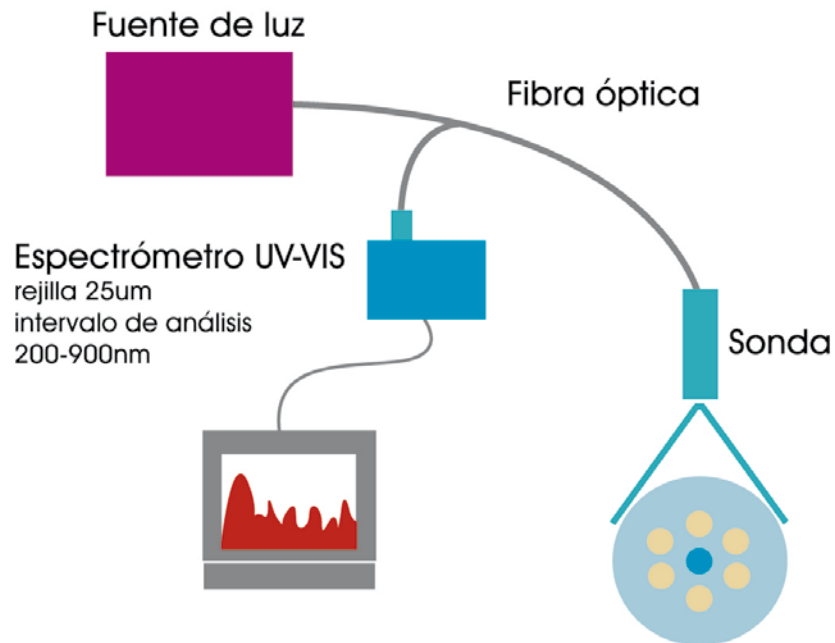
Lo anterior es posible debido a que los materiales tienen una respuesta específica a la exposición con luz UV e IR (fluorescencia, opacidad, transparencia).

- Equipo: Fotografía Digital de Media y Alta resolución, lámpara ultravioleta de 60 W de 254 nm y lámparas de examen de onda larga y corta (365 y 254 nm).
- Video Infrarrojo Digital. Sony con filtro UT830.
- Reflectografía Infrarroja IR (lead sulfide vidicon tube (Hamamatsu C2741) con sensibilidad en el intervalo de 400 a 1800 nm.
- Iluminación con lámparas de leds a 940nm.



Espectroscopia UV-VIS-IR. Colorimetría

Los espectrómetros de luz con fibra óptica, permiten determinar el espectro de luz dispersada de los materiales en un intervalo espectral que va de la luz infrarroja a la luz ultravioleta (200-900 nm) con una resolución de 0.1 nm, así como mediciones de colorimetría. Se cuenta con 3 equipos disponibles de Ocean Optics USB 2000 y 4000 en diversos intervalos espectrales.



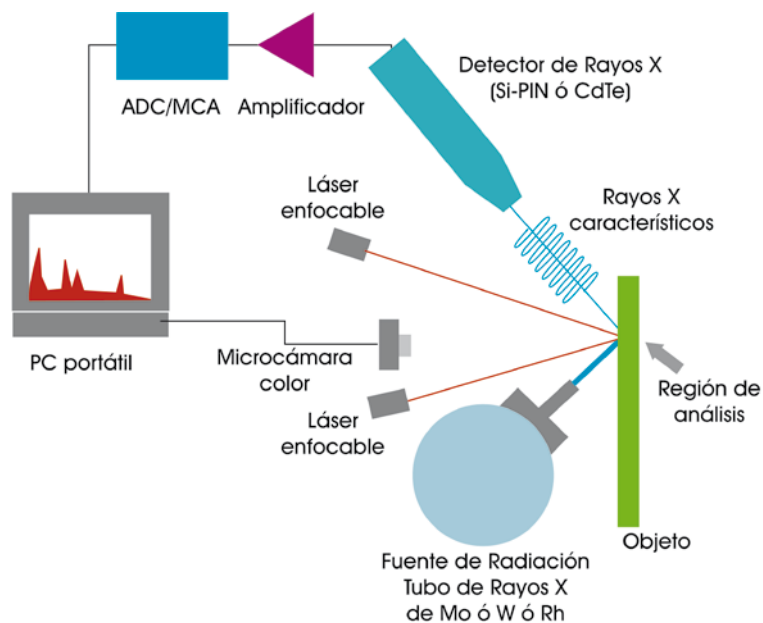
Espectrómetro de fibra óptica.
Piedras verdes
Museo del Templo Mayor, INAH

Códice Azoyú I
Biblioteca Nacional de Antropología e Historia
INAH

Fluorescencia de Rayos X portátil XRF (sistema SANDRA)

Esta técnica se basa en la detección de rayos X característicos de los materiales, es ideal para los de tipo inorgánico: pigmentos, tintas, bases de preparación, metales y minerales. Proporciona concentraciones de elementos mayores, menores y trazas.

El sistema de Fluorescencia de Rayos X (XRF) para análisis in situ SANDRA (Sistema de Análisis No Destructivo por Rayos X), desarrollado en el IFUNAM, consta de tubos de Mo, Rh y W de 75 W que se pueden combinar con detectores Si-PIN y Cd-Te para analizar regiones de 0.5 a 4 mm de diámetro. Se tienen tres equipos operacionales.



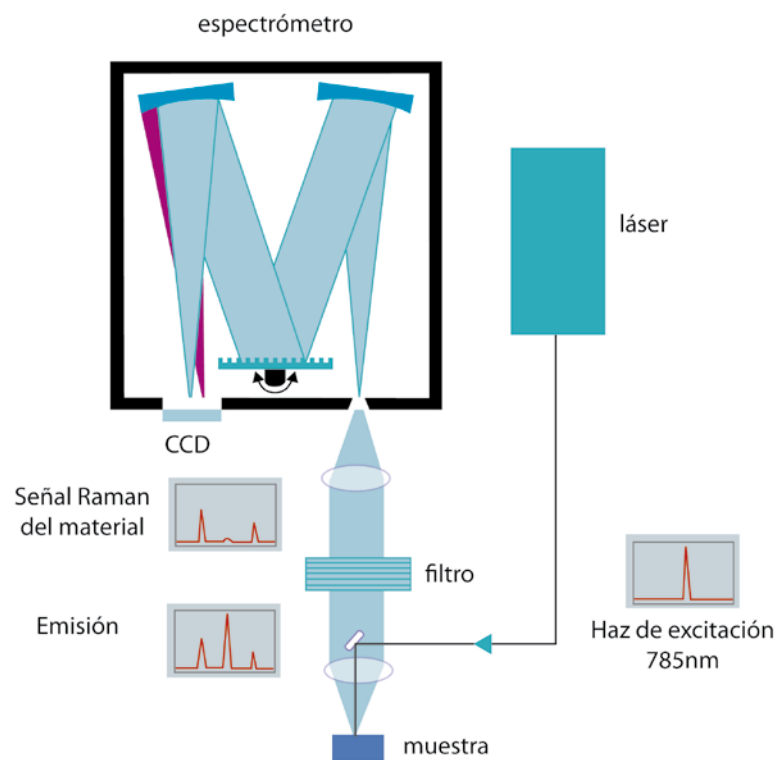
Sistema de Fluorescencia de Rayos X SANDRA, IFUNAM



Las dos Fridas
Museo de Arte Moderno
INBA

Espectroscopía Raman

Se determina la presencia de un mineral o un compuesto en el material, a partir de la dispersión tras la interacción energética de un haz laser, dando lugar a vibraciones de los enlaces. Es útil para materiales orgánicos e inorgánicos. Se cuenta con un sistema portátil Raman Inspector, Delta Nu, laser 785 nm potencia máxima 120mW resolución de 8 cm^{-1} , en el intervalo espectral 200-2000 longitudes de onda. Pueden analizarse sólidos, líquidos y regiones pequeñas con un microscopio.



24



Jaguar teotihuacano
Museo de Nacional de
Antropología, INAH



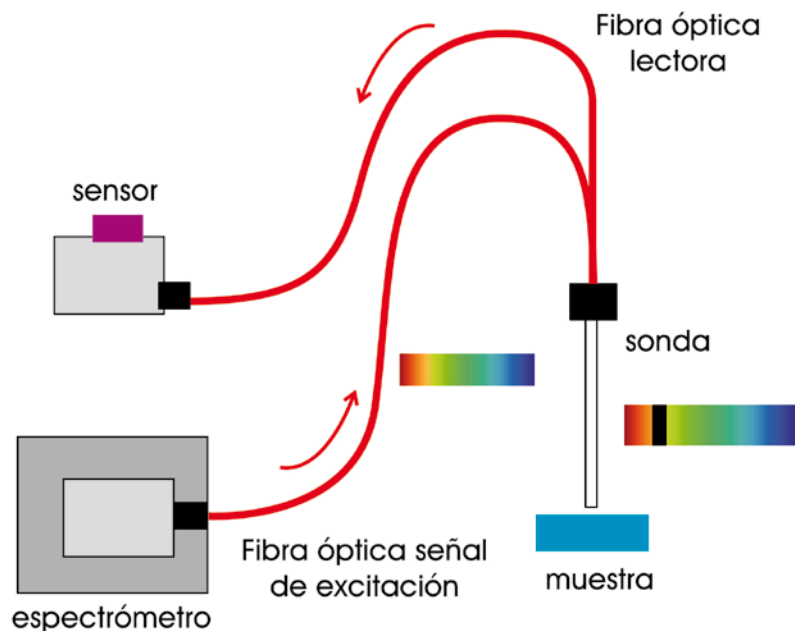
Virgen del Perdón.
S. Pereyns s. XVII
INBA

25

Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) transportable

Esta técnica proporciona un espectro de las bandas de reflexión de los grupos funcionales de las sustancias inorgánicas y orgánicas, por lo cual es posible realizar una identificación de los materiales.

El equipo dotado de una sonda con fibra óptica permite el análisis directo de la superficie del objeto de estudio: Mid-FTIR, Remspec con sonda, resolución: 10 cm^{-1} , intervalo espectral: $900\text{--}5000\text{ cm}^{-1}$.



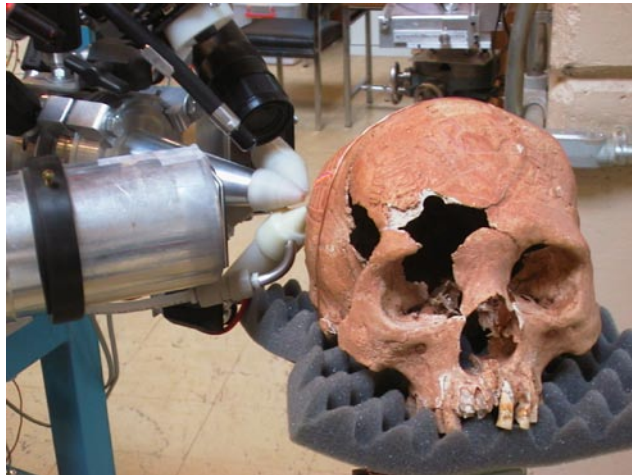
Espectrómetro de fibra óptica FTIR



Máscara de Malinaltepec
Museo Nacional de Antropología e Historia, INAH

Técnicas con Haces de iones (PIXE, RBS, PIGE, IOL) en el Laboratorio del Acelerador Pelletrón

El sistema de haz externo del Acelerador Tandem Pelletron del IF-UNAM tiene capacidad para realizar de manera simultánea a la atmósfera PIXE (dos detectores: elementos ligeros, pesados y trazas), RBS, PIGE, y Luminiscencia Inducida por Iones (IBIL o IOL). Se determina principalmente la composición elemental de manera muy completa. El sistema consta de un detector de rayos X Si-PIN con flujo de helio para la detección de elementos ligeros, un detector LEGE con un filtro para la detección de elementos pesados y trazas, así como un detector de partículas para los protones retrodispersados. La luminiscencia se capta en un espectrómetro de Ocean Optics USB 2000 con una fibra óptica de 10 cm de longitud y un lente.



Cráneo esgrafiado
Mixteca Puebla
INAH

28



El sistema de Haz externo
del Acelerador Pelletrón.
Escultura policroma,
s.XVIII



Arte plumario s.XVI
Museo del Virreinato,
INAH

29

Grupo de Investigación

Los participantes de las diversas instituciones se han agregado paulatinamente al grupo de investigación principal, el cual consta de:

- Instituto de Física, UNAM:

Examen científico y análisis por técnicas instrumentales
Espectroscopias de luz UV-VIS, Raman, FTIR, XRF.
Desarrollo de dispositivos de análisis (e.g. SANDRA para XRF)
Técnicas complementarias en el laboratorio:
PIXE-RBS, SEM-EDX, TEM, HR-TEM

- Instituto de Investigaciones Estéticas, Laboratorio de Diagnóstico de Obras de Arte, UNAM.

Examen científico, Historia del Arte y Conservación, Imagen y Fotografía científica. Microscopía óptica con luz visible y UV.

- Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.

Estudios arqueológicos e Históricos. Prospección química.

- Gerencia de Materiales, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, ININ.

Técnicas complementarias en el laboratorio:
LVSEM-EDX, LV-SEM-XRF.

- Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, UNAM.

Técnicas complementarias en el laboratorio: FTIR, Raman, a nivel macro y microscópico.

Colaboraciones Nacionales

Las investigaciones en los acervos se han realizado en colaboración con diversas instituciones:

- Centro de Estudios Mayas, Instituto de Investigaciones Filológicas, UNAM.
- Centro Universitario de Investigaciones Bibliotecológicas, UNAM.
- Instituto de Geofísica, UNAM.
- Instituto de Geología, UNAM.
- Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Museo Nacional de Arte, Museo de San Carlos y CENCROPAM, INBA.
- Museo del Templo Mayor, INAH.
- Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, INAH.
- Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural, INAH.
- Biblioteca Nacional de Antropología e Historia, INAH.
- Museo Nacional de Antropología, INAH.
- Centros INAH del país (Oaxaca, Puebla, Campeche, Guadalajara).
- Centro de Investigación en Corrosión, Universidad Autónoma de Campeche.
- Biblioteca José María Lafragua, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Biblioteca Burgoa, Univ. Benito Juárez, Oaxaca.
- Escuela de Conservación y Restauración de Occidente, ECRO.
- Museo Franz Mayer, A.C.
- Museo Regional de Guadalajara, INAH.

Para realizar un estudio o alguna una investigación, es necesario contactar al director del proyecto ANDREAH.

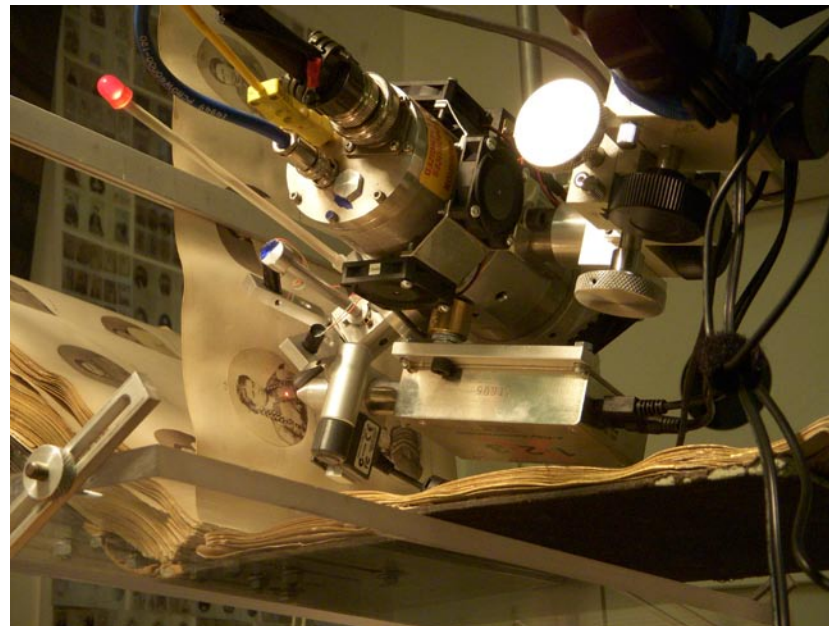
Colaboraciones Internacionales

Para el estudio de colecciones y piezas mexicanas en acervos del extranjero se colabora con los centros de investigación:

- Instituto del Patrimonio Histórico Español, Madrid, España (Pintura Colonial).
- MOLAB, Dipartimento di Chimica, Università degli Studi di Perugia, Italia (Análisis No Destructivo In Situ).
- The British Museum, Londres, Reino Unido (Códices y Lítica).
- Modern Museum of Art, Nueva York, USA (Pintura Moderna).
- Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, Palais du Louvre, Francia (Lítica).
- Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Firenze, Italia (Pintura y Lítica).
- Centro de Micro-análisis, Univ. Autónoma de Madrid, España (Metales).
- Centro Nacional de Aceleradores, Sevilla, España (Pintura Colonial).
- LABEC, Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Firenze, Italia (Pintura y Lítica).



Iluminación Libro de Coro
s.XVII
Catedral de Puebla
Folio 52v



Álbum fotográfico s.XIX,
Biblioteca M. Lerdo de Tejada,
Secretaría de Hacienda y
Crédito Público

Créditos fotográficos:

- José Luis Ruvalcaba Sil
Instituto de Física, UNAM.
- Eumelia Hernández.
Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM.
pág. 12, 19

Diseño:

- Zuri García

Estas investigaciones son apoyadas por los proyectos CONACyT U49839-R MOVIL y PAPIIT-UNAM IN403210 ANDREAH