

Imagenología y Espectroscopias para el Análisis Material del Patrimonio Cultural: Una Introducción

José Luis Ruvalcaba Sil

Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación
y Conservación del Patrimonio Cultural LANCIC

Instituto de Física

Universidad Nacional Autónoma de México

sil@fisica.unam.mx



Relevancia

- El Patrimonio Cultural tiene un valor en términos de identidad y sentido de país.
- Es un eje para la integración de las comunidades.
- Es un motor económico en diversas regiones – turismo cultural.
- Requiere un estudio material para su conservación para las generaciones futuras.
- Para México representa un área estratégica.

La necesidad: Los efectos naturales



1968 Mascarón de estuco, sitio arqueológico de Kohunlich, Quintana Roo – se encontró prácticamente completo.



1997 El mismo mascarón 30 años después. Perdió toda la superficie, sólo la forma general y un fragmento del tocado se preservaron.

Efecto de desastres naturales: Terremotos / Huracanes



Atzala, Puebla. Sismo 19 Septiembre 2017

Importancia del Análisis de Materiales para el Arte y la Historia



Investigación Interdisciplinaria con Impacto Social y Cultural Directo

Obra u objeto



Metodologías:
No destructivas
Sensibles
Rápidas
Máximo de información



Composición



Deterioro



Métodos apropiados de restauración y conservación



Síntesis de nuevos Materiales para conservación

Cronologías (relativa / absoluta)

Técnicas y tecnología

Uso de Materiales y Procedencia

A través de este tipo de estudios los fotones nos cuentan la historia material de los objetos

Los retos de los materiales del patrimonio

- Los materiales y objetos del patrimonio cultural son complejos: Son heterogéneos (jade) o están constituidos de materiales de diversa naturaleza (e.g. pinturas).
- Los materiales se encuentran alterados en menor ó mayor medida.
- Se requieren referencias materiales específicas y espectros de referencia (e.g. tintes).
- El acceso a muestras está limitado y en algunos casos no será posible. En general necesario trasladarse al lugar donde se encuentra el objeto.

Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y la Conservación del Patrimonio Cultural (LANCIC)

Proyecto CONACYT 239609 . Nuevo LN
Proyecto CONACYT 260779 . Transición
Proyectos CONACYT 271614, 279740, 293904, 299076 Consolidación
Proyecto CONACYT 315853 Fortalecimiento del LANCIC
Proyecto CONACYT 321113 Reacreditación del LANCIC

**Instituto de Física , Instituto de Investigaciones Estéticas
Instituto de Química
Universidad Nacional Autónoma de México**

**Laboratorio de Microscopia Electrónica
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares**

**Centro de Investigaciones en Corrosión,
Universidad Autónoma de Campeche**

Responsable y Coordinador: Dr. José Luis Ruvalcaba Sil , IF-UNAM

**Resultado de más de 25 años de trabajo de los grupos
Incorpora las fortalezas de cada grupo al LANCIC
39 académicos. 80 estudiantes en 2023 (50% posgrado)**

- **Laboratorio de Análisis No Destructivo para estudios en Arte, Arqueología e Historia (ANDREAH)**
Instituto de Física UNAM

Técnicas espectroscópicas in situ: XRF, FTIR, Raman, UV-VIS, Haces de iones (PIXE-RBS).

- **Laboratorio de Diagnostico de Obras de Arte LDOA. Instituto de Investigaciones Estéticas UNAM**

Estudios de Técnica Pictórica, Técnicas de Imagen (VIS-IR-UV), Microscopia óptica.

- **Centro de Investigaciones en Corrosión, Universidad Autónoma de Campeche.**

Estudios ambientales y efectos en la alteración de materiales y bienes patrimoniales.

- **Laboratorio de Materiales Naturales, Instituto de Química, UNAM**

Técnicas de Cromatografía, FTIR y RMN

- **Laboratorio de Microscopia, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, ININ.**

Técnicas avanzadas de microscopia electrónica.

Objetivos del LANCIC

- Fomentar el uso de infraestructuras especializadas y técnicas de punta para el desarrollo de la investigación avanzada en ciencias y humanidades en el estudio material y conservación del patrimonio cultural mexicano.
- Contribuir a la formación, en un marco interdisciplinario de recursos humanos especializados de alto nivel.
- Proporcionar servicios especializados para el diagnóstico material del patrimonio cultural.
- Conformar un repositorio de materias primas y bases de datos con los resultados del análisis material.

Grupo de Investigación LANCIIC

En 2025:

IF-UNAM: 7 académicos

IQ-UNAM: 6 académicos

IIE-UNAM: 10 académicos

ININ: 5 académicos

CICORR-UAC: 7 académicos

35

Académicos

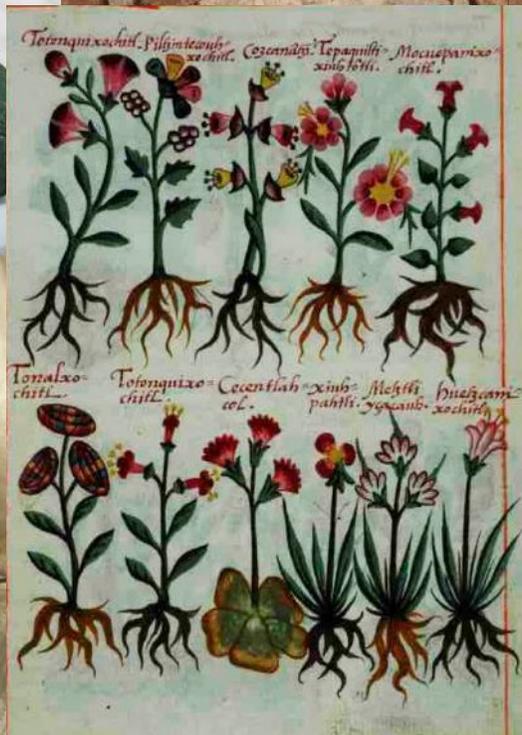
37

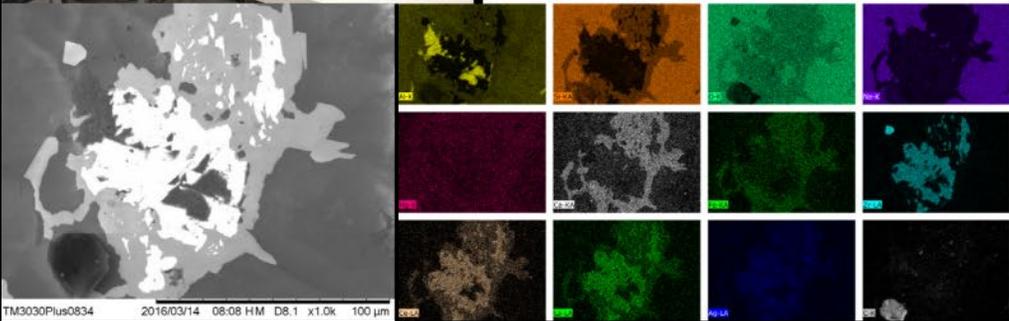
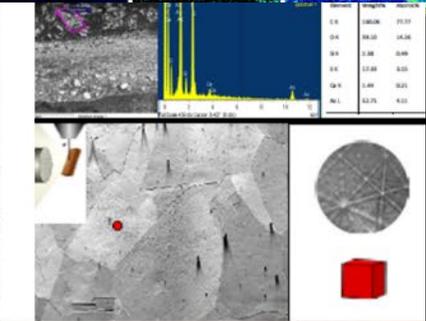
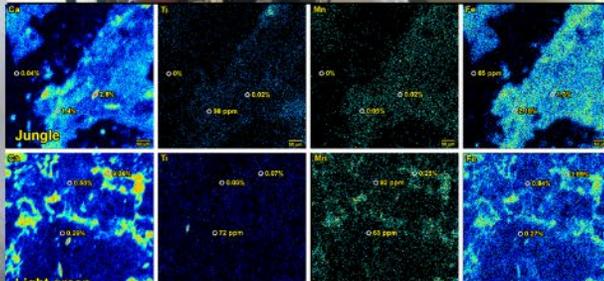
Estudiantes

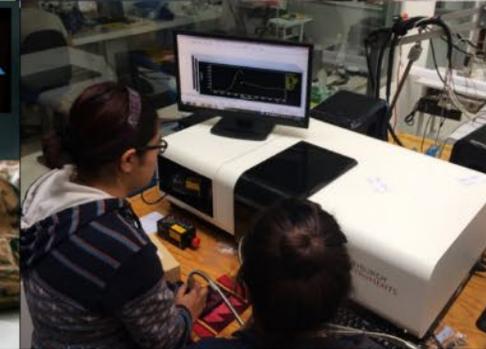
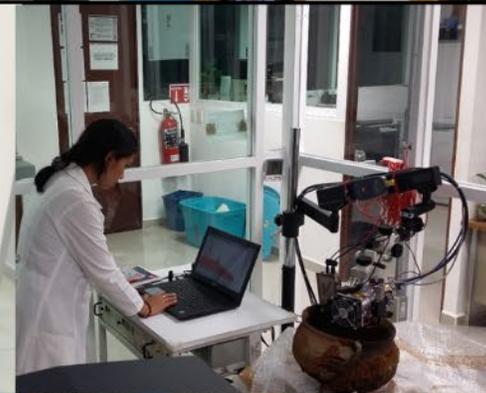
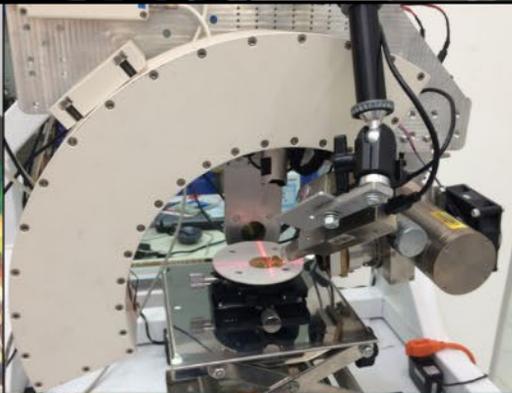
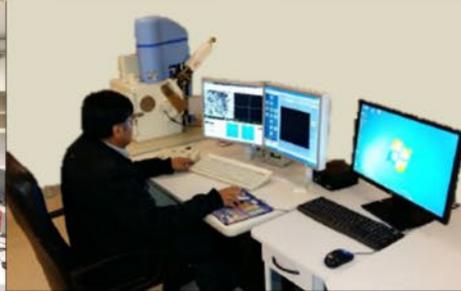
8 estudiantes de doctorado

7 estudiantes de maestría

24 estudiantes de licenciatura







Red Internacional IPERION HS

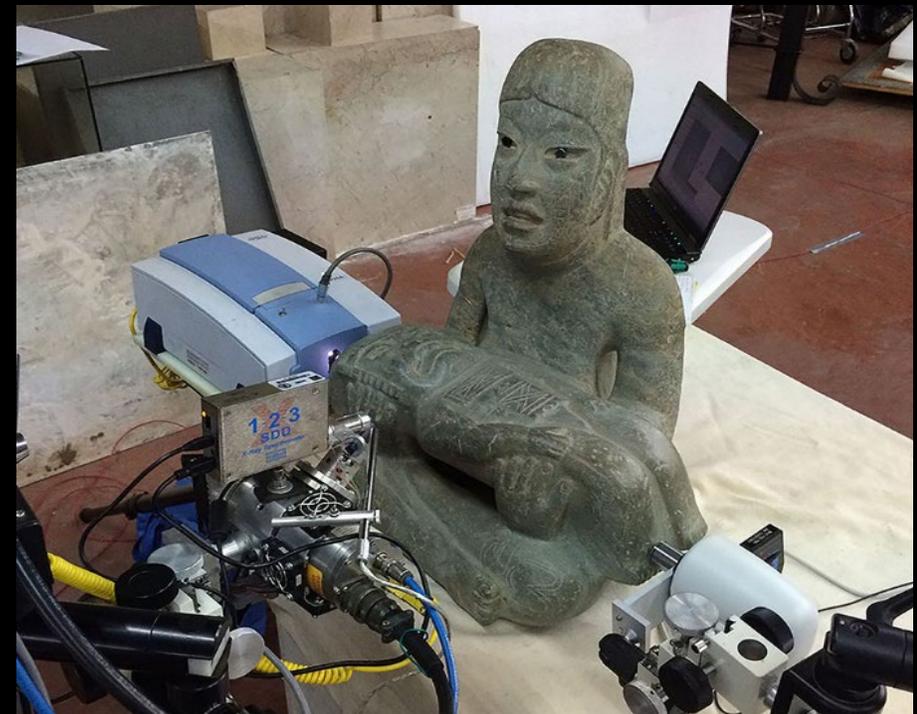
19 grupos europeos

4 laboratorios no europeos – LANCIC UNAM



Potencial impacto en:

- Acceso a equipos de punta únicos en el país.
- Desarrollo de nuevas metodologías de caracterización.
- Desarrollo de nueva instrumentación.
- Nuevo conocimiento de los materiales culturales mexicanos.
- Estudio de mecanismos de alteración de materiales.
- Bases de información de materiales de relevancia cultural.
- Desarrollo de materiales de referencia especializados.
- Formación especializada de recursos humanos.
- Movilidad de estudiantes e investigadores.
- Difusión de conocimiento a diversos niveles y para diversos sectores.
- Colaboraciones con instituciones nacionales.
- Desarrollo de una estrecha investigación interdisciplinaria.



LANCIC IFUNAM

**Laboratorio de Análisis No Destructivo para
estudios en Arte, Arqueología e Historia
(ANDREAH) Instituto de Física UNAM**

**Técnicas espectroscópicas in situ:
XRF, FTIR, Raman, UV-VIS,
y en laboratorio: Haces de iones (PIXE-RBS).**

Sede LANCIC Instituto de Física, UNAM

Grupo de trabajo

Académicos:

- Dr. José Luis Ruvalcaba (Inv. Tit. C)
- Dr. Oscar de Lucio Morales (Inv. Tit. A)
- Dr. Edgar Casanova (Investigador por México SECIHTI)
- Dr. Alejandro Mitrani (Tec. Academ.)
- M. en C. Jaqueline Cañetas (Tec. Academ.)*
- Ing. Francisco Jaimes (Tec. Academ.)*

Número de estudiantes (15):

Doctorado 4

Maestría 2

Licenciatura 8

Posdoctorantes 1



El laboratorio móvil – por qué?

- En general prácticamente en todos los casos es necesario trasladarse al lugar donde se encuentran las piezas o monumentos (laboratorio móvil) para su estudio (e.g. generar imágenes, análisis prospectivos, análisis detallados) – esto implica muchos laboratorios móviles.
- Mover un objeto al laboratorio implica traslados especializados costosos.
- Se requieren condiciones de seguridad en el lugar de resguardo.
- Se requieren condiciones de conservación en laboratorio que no se tienen en general en los laboratorios – implica un cambio en el ambiente de la pieza – aunque algunos materiales son muy estables .
- Si bien, se puede realizar un muestreo: se requiere una estrategia de adecuada (mínimo, representativo, coherente con los alcances del estudio).

El laboratorio móvil – ventajas

- Los equipos se trasladan al sitio donde está el objeto. No se alteran significativamente las condiciones de conservación.
- Manejo mínimo del objeto o de la colección.
- Se pueden emplear muy diversos tipos de instrumentos de acuerdo a las preguntas de investigación – imágenes y análisis materiales
- No se requieren en general condiciones especiales de trabajo – salvo quizás para algún tipo de técnicas de imagen.
- Se obtienen centenares de mediciones en una colección y decenas en un mismo objeto con diferentes técnicas– permite evaluar homogeneidad y deterioros.
- La evaluación in situ permite proponer estrategias de muestreo para análisis detallados en laboratorio.

El laboratorio móvil – limitaciones

- Es necesario realizar mediciones previas en el laboratorio y establecer condiciones experimentales de las mediciones – evaluación de la cantidad de información obtenida, número de mediciones, número de objetos de una colección.
- Se requieren recursos para el traslado de los equipos y el personal.
- Se requiere un transporte para el traslado de los equipos y el personal.
- El tiempo de análisis o de acceso al objeto de estudio está limitado.
- Las mediciones con equipos portátiles suelen ser menos sensibles que los equipos de laboratorio – para microanálisis sobre todo.

(Raman, FTIR, MO, SEM-EDS)

Alcances: LANCIIC en el Mapa

Colaboraciones con museos nacionales, regionales y locales, grupos y escuelas de arqueología y de conservación.



Líneas de Investigación

1. Desarrollo de metodologías no invasivas para caracterización material:
Espectroscopias e Imagenología
2. Desarrollo de infraestructuras para el análisis in situ y en laboratorio
3. Aplicaciones a pinturas, artefactos metálicos y lítica, manuscritos:
 - Estudios en pintura mural prehispánica
 - Análisis de cerámicas arqueológicas
 - Estudios de tecnología en metales
 - Análisis de códices y documentos
 - Estudio de materiales constructivos
 - Análisis de artefactos prehistóricos
4. Métodos de monitoreo no invasivo y efectos del cambio climático.
5. Estudios de tecnología de manufactura: pirotecnología

Técnicas de imagen disponibles

1. Imagen multispectral (Ultravioleta, infrarroja, infrarroja de falso color, visible)
2. Imagen hiperespectral visible e infrarroja
3. Imagen térmica
4. Radiografía digital
5. Colorimetría
6. Microscopio digital
7. Microscopia petrográfica
8. Microscopia metalográfica

Técnicas espectroscópicas disponibles

1. Fluorescencia de rayos X. Equipos Tracer 5g Bruker y Sandra (desarrollo propio)
2. Difracción de rayos X. Equipos Tracer 5g Bruker y ADIS (desarrollo propio)
3. Espectroscopia Infrarroja (FTIR)
4. Espectroscopia Raman
5. Espectroscopia de Reflectancia con fibra óptica (FORS)
6. Espectroscopia de Absorción y Fluorescencia (UV-VIS)
7. Técnicas de haces de iones (PIXE-RBS-PIGE-IOL)
8. Microscopia electrónica de barrido (SEM-EDS)

¿Un sistema de calidad?

Un sistema de calidad en un laboratorio permite entre otras cosas:

- Registro de todos los procesos
- Uso de bitácoras específicas
- Manuales de uso de instrumentos para los nuevos usuarios
- Evaluación periódica de los operadores del instrumento
- Evaluación del desempeño del instrumento
- Estandarización de los protocolos
- Estandarización en informes
- Trazabilidad de muestras, calibración y verificación de los instrumentos
- Se implementa y diseña de acuerdo al perfil del laboratorio – es una oportunidad de mejora continua.

Protocolos de estudio – intercomparables

Con tantos laboratorios móviles – se requieren protocolos de aplicación de técnicas y de análisis que sean en efecto comparables.

- Registro de condiciones de análisis y zonas analizadas – reproducibilidad
- Procesamiento de espectros – criterios similares - estandarización
- Integración de la información - trazabilidad
- Interpretación de datos – objetividad y alcances

De lo contrario los análisis de cada laboratorio serán solo útiles para ese laboratorio – limitación en el alcance de su difusión (publicaciones).

Bases de datos – intercomparables

Con tantos laboratorios móviles – se requieren bases de datos susceptibles de ser comparables e interoperables.

- Acceso a bases de datos de materiotecas y referencias materiales – con referencia a las fuentes y sus creadores, y a quien realizó las mediciones.
- Acceso a bases de datos de los estudios realizados – acceso a la información con transparencia.

Todavía es un **problema abierto**: conformación de las bases de datos, metadatos, imágenes, espectros, resultados y publicaciones (archives).



Arches for Science

QUICK LINKS

[Video Playlist](#) >

[Code Repository](#) >

The latest version of Arches for Science is v1.1. Sign up for our [announcement list](#), join the [Arches Community Forum](#) or follow us on social media for the latest news on Arches for Science.

Arches for Science is a comprehensive system to help heritage scientists, other heritage professionals, and heritage organizations secure, retrieve, visualize, compare, and share heritage science data, and manage tasks in the lab. Arches for Science will be implemented at the Getty Conservation Institute (GCI), where it will be known as DISCO (Data Integration for Conservation Science). Arches for Science currently focuses on the technical examination of art, which includes tools for annotations, material sampling, retrieval and visualization of instrument data, and image and data comparison. It is anticipated that this will provide a foundation for the application of Arches for Science for a range of other purposes.

Videos

The following videos include preliminary demonstrations of Arches for Science, and include the basic assumptions and examples of the key features of the software. The videos can also be accessed in YouTube using the [Arches for Science playlist](#) on the Arches Project YouTube Channel.

La instrumentación y los recursos humanos

- Los equipos son relativamente costosos – los de laboratorio son de mucho mayor costo – es factible el desarrollo de instrumentación o su modificación.
- El desarrollo de instrumentación es importante pero es necesario caracterizarlo y conocerlo a fondo sus alcances y limitaciones.
- Usualmente los costos de mantenimiento son menores que los de los equipos fijos – igual se requiere un presupuesto y un programa- .
- Los equipos portátiles requieren un mantenimiento menor o mínimo.
- Se requieren recursos humanos entrenados para la operación de equipos: programa de capacitación.
- Se requieren recursos humanos especializados para una adecuada interpretación de los resultados – trabajo interdisciplinario.

Los materiales de referencia - materiotecas

Para evaluar la respuesta de los instrumentos portátiles:

- Contar con materiales de referencia certificados (NIST, AIEA, etc) para calibración de equipos y otros materiales para su verificación.
- Desarrollar materiotecas o colecciones de réplicas elaboradas con materiales y recetas de época – **buenos registros para su reproducibilidad**. Lo más similares a los objetos de estudio – no bastan los materiales puros (e.g. pigmentos)
- Es idóneo contar con referencias materiales envejecidas – naturalmente o artificialmente con dispositivos de alteración acelerada – **reproducibles**.
- Es factible utilizar referencias de materiales históricos bien caracterizados pues la preparación de algunos materiales puede ser difícil (e.g. vidrios)

Desarrollo de Materiales de Referencia

8 Fuentes
Obsidianas

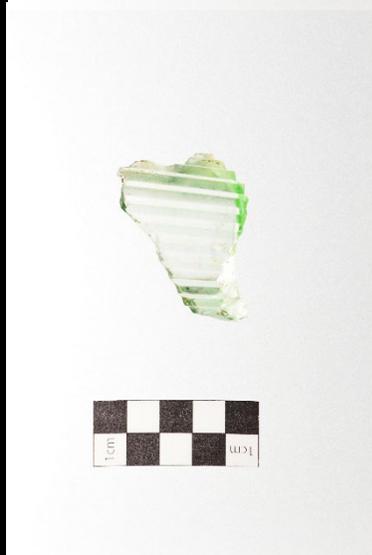
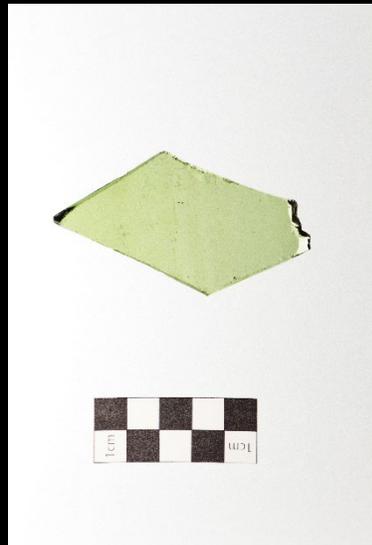
XRF / PIXE



Espectros de Referencia de Vidrio (XIX-XX) – Colección Arqueológica

Imagen IRFC

Espectroscopias Raman, FTIR, XRF, FORS, PIXE



Referencias de Jadeítas

Análisis espectroscópicos (FTIR, XRF, Raman, IBIL) y microanálisis (MO, SEM-EDS, μ -PIXE)



(a) Blanca



(b) Verde luna



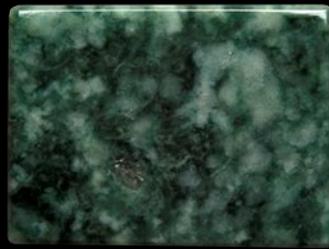
(c) Lila



(d) Verde menta



(e) Verde manzano



(f) Verde jaguar



(g) Verde claro



(h) Verde selva



(i) Verde clásico



(j) Verde oscuro



(k) Pirita



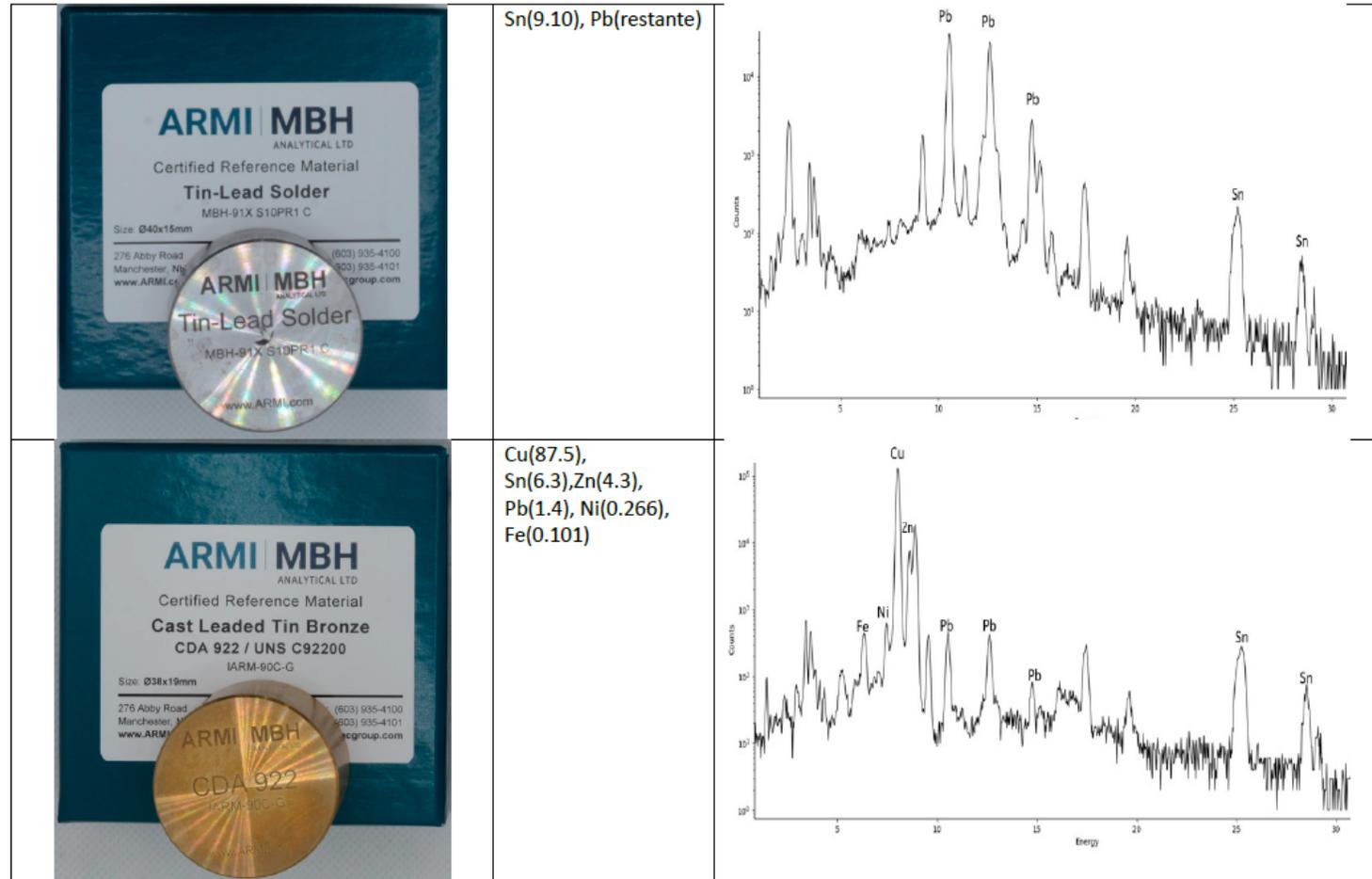
(l) Negro

Espectros de Referencia de Vidrio (XIX-XX) – Colección Arqueológica

Imagen IRFC

Espectroscopias Raman, FTIR, XRF, FORS, PIXE

Materioteca de Referencias Metálicas LANCIC IFUNAM



Fibras Teñidas

Cempazúchitl, Cochinilla, Indigo

Mezclas / Mordentes

Algodón /Lana

envejecimiento acelerado



Materioteca de Tintes Amarillos

Gualda

Palo mora

Palo mora
Post mordentado

Zacatlaxcalli

Cempazúchitl

Lana



Algodón



Líquén

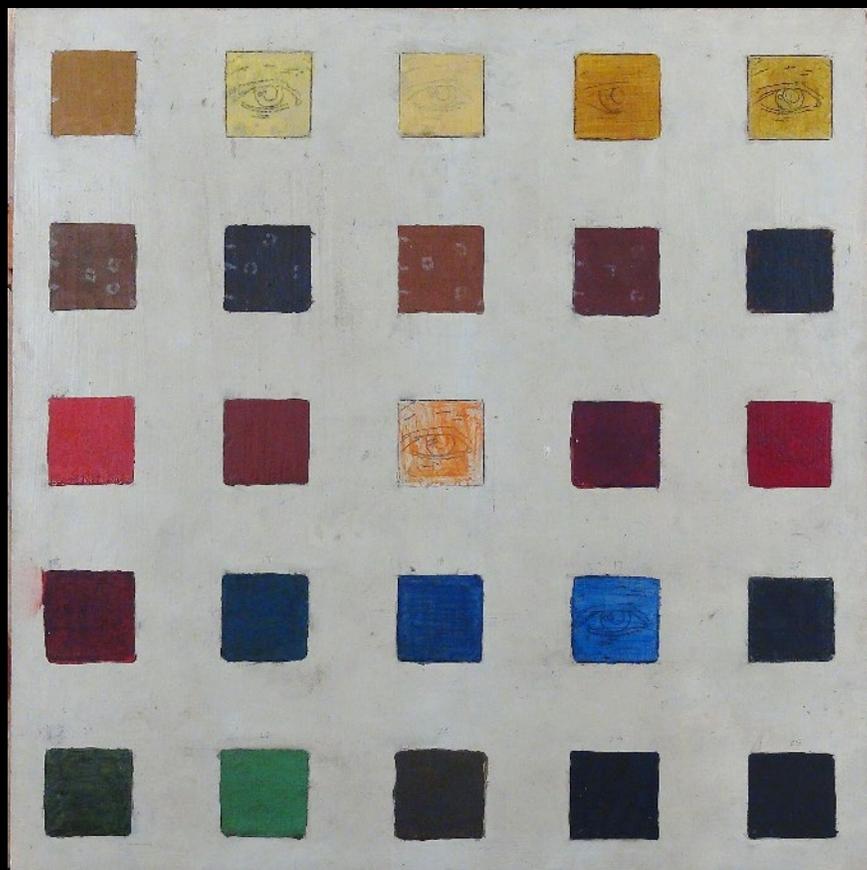


Referencias de Pigmentos y Lacas Pintura Novohispana

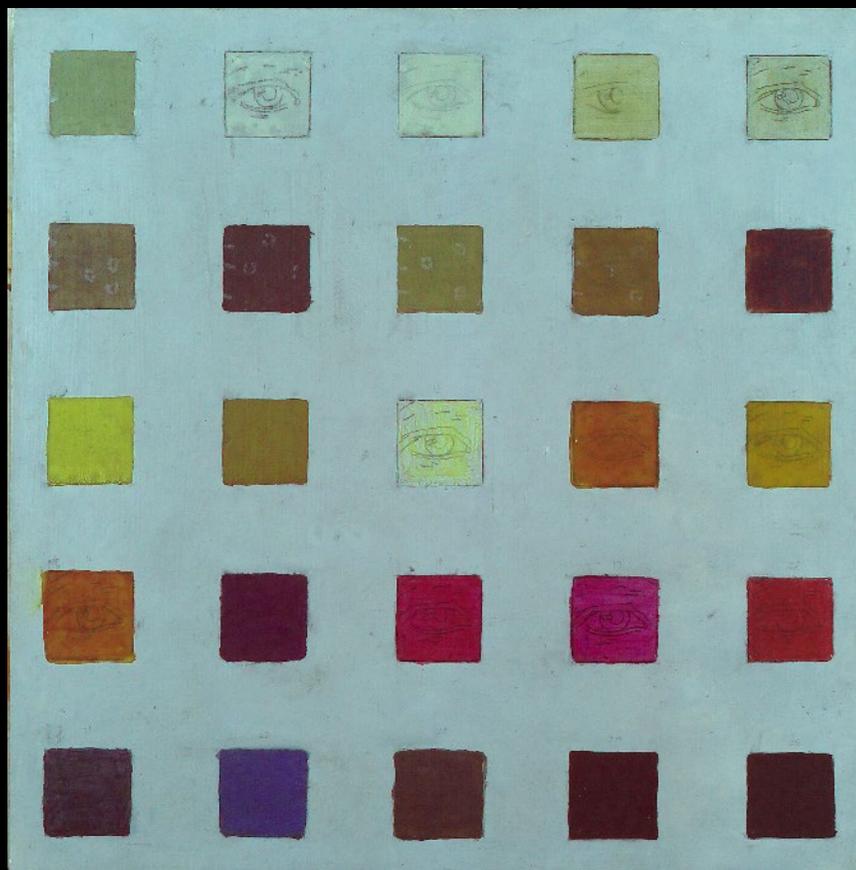
10 Tablas con preparaciones s. XVI-XVIII (IF / IIE)

Imagen IRFC, hiperespectral, Espectroscopias Raman, FTIR, XRF, FORS

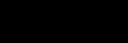
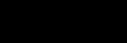
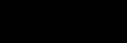
VIS



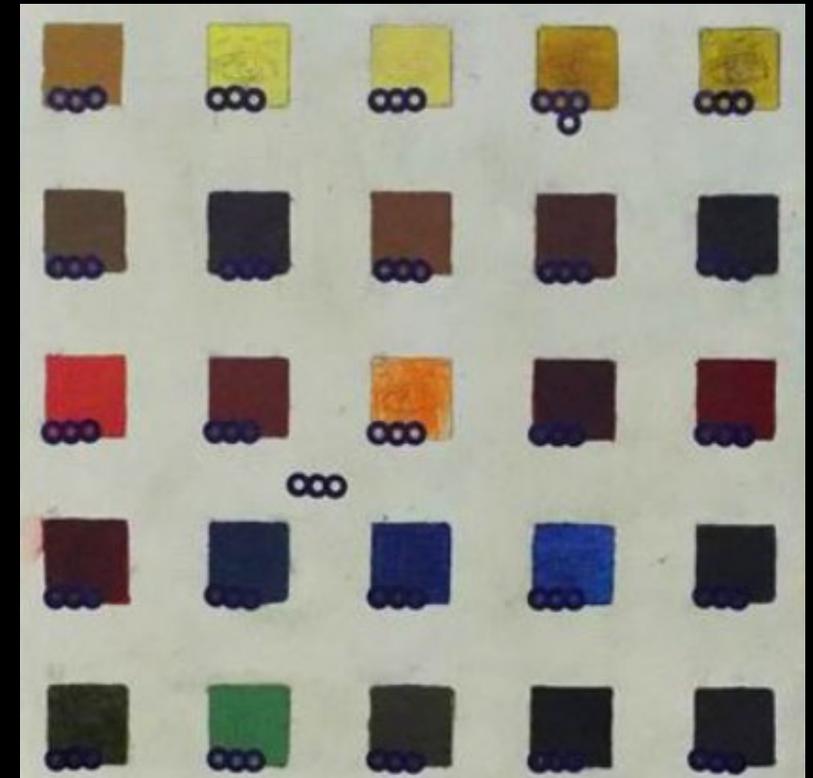
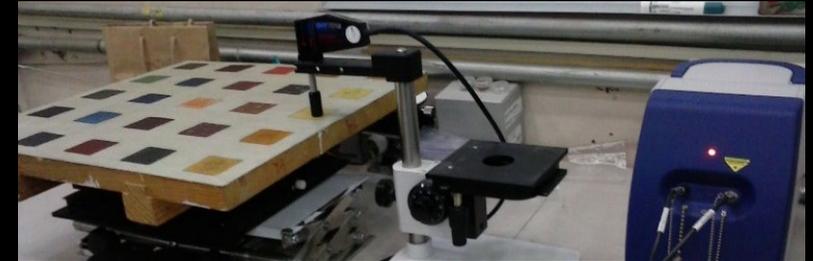
**Imagen infrarroja
de falso color
FCIR**



Espectros de Referencia de Pigmentos siglo XVI al XVII. Espectroscopia Raman

Ocre de mina inglés 	Oropimente 	Amarillo de Pb-Sn 	Gualda 	Arzica 
Pardo antílope 	Sombra tostada 	Ocre alemán 	Tierra de Siena 	Betún de judea 
Bermellón 	Hematita natural 	Minio 	Cochinilla 	Alizarina 
Laca rubia 	Azurita natural 	Esmalte 	Lapislazúli 	Índigo 
Resinato de Cu 	Malaquita 	Tierra verde de Verona 	Negro de Huesos 	Negro de Vid francés 

-  Obtenidos por primera vez
-  1064 nm
-  785 nm
-  SERS

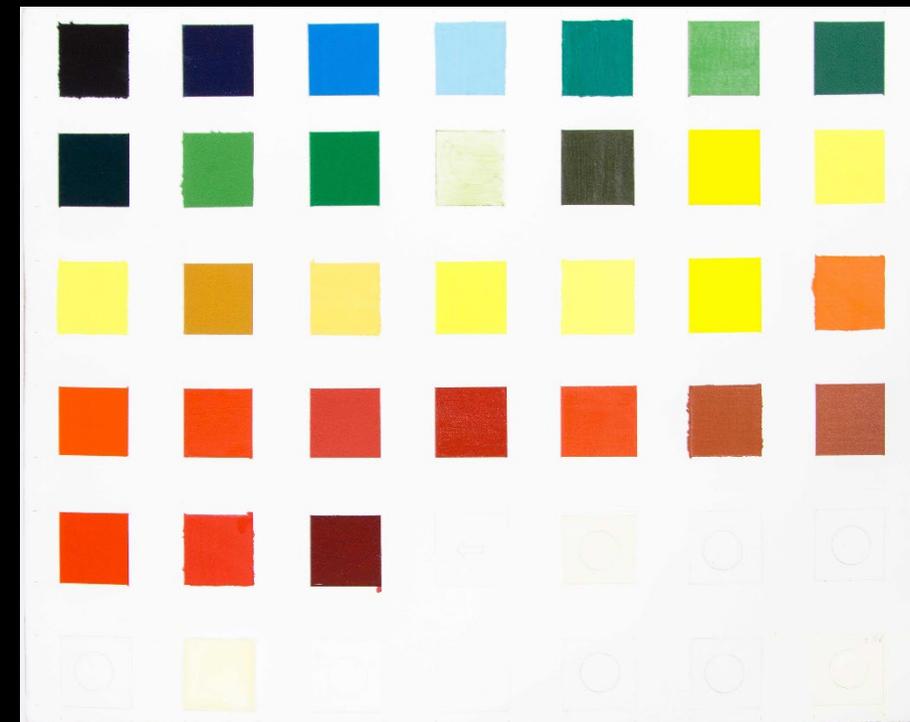
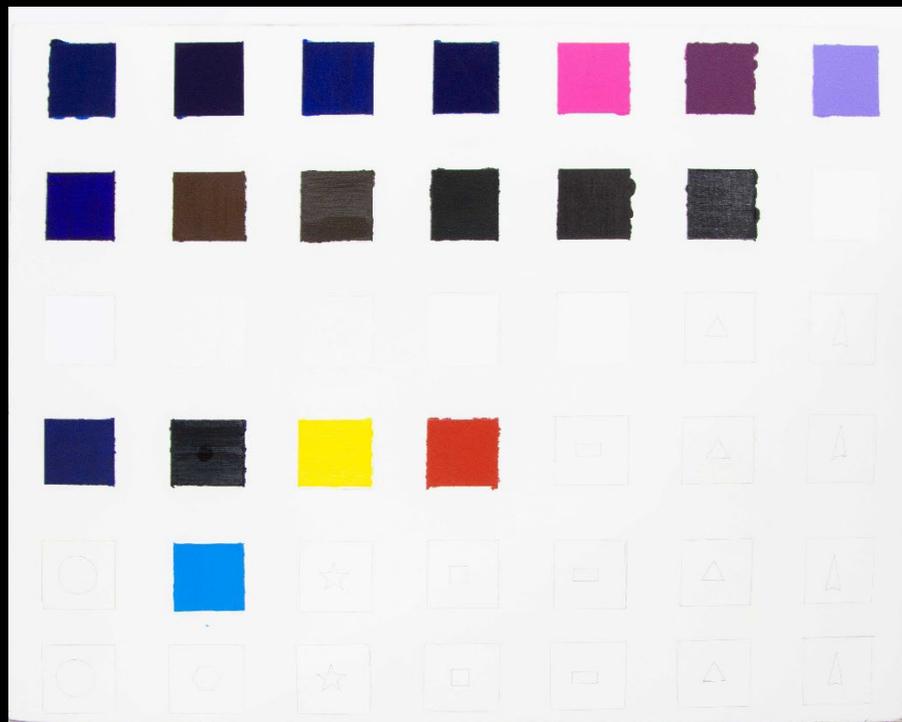


Espectros de Referencia de Pintura Acrílica

Arte Moderno

60 colores

Imagen IRFC, hiperespectral
Espectroscopias Raman, FTIR, XRF, FORS



Metodología LANCIC= Nuevas Técnicas e Innovación

Fase 1. Examen Global



Fase 2. Análisis No Destructivo



Fase 3. Análisis Microscópico

