



**Facultad
de Química**

UDELAR - Uruguay



Seminario
Internacional

**Ciencias
Naturales,
Conservación y
Patrimonio Cultural**



**UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY**

Herramientas Fisicoquímicas en Estudios de Conservación y Patrimonio Cultural

Dr. Ricardo Faccio

Área Física-DETEMA

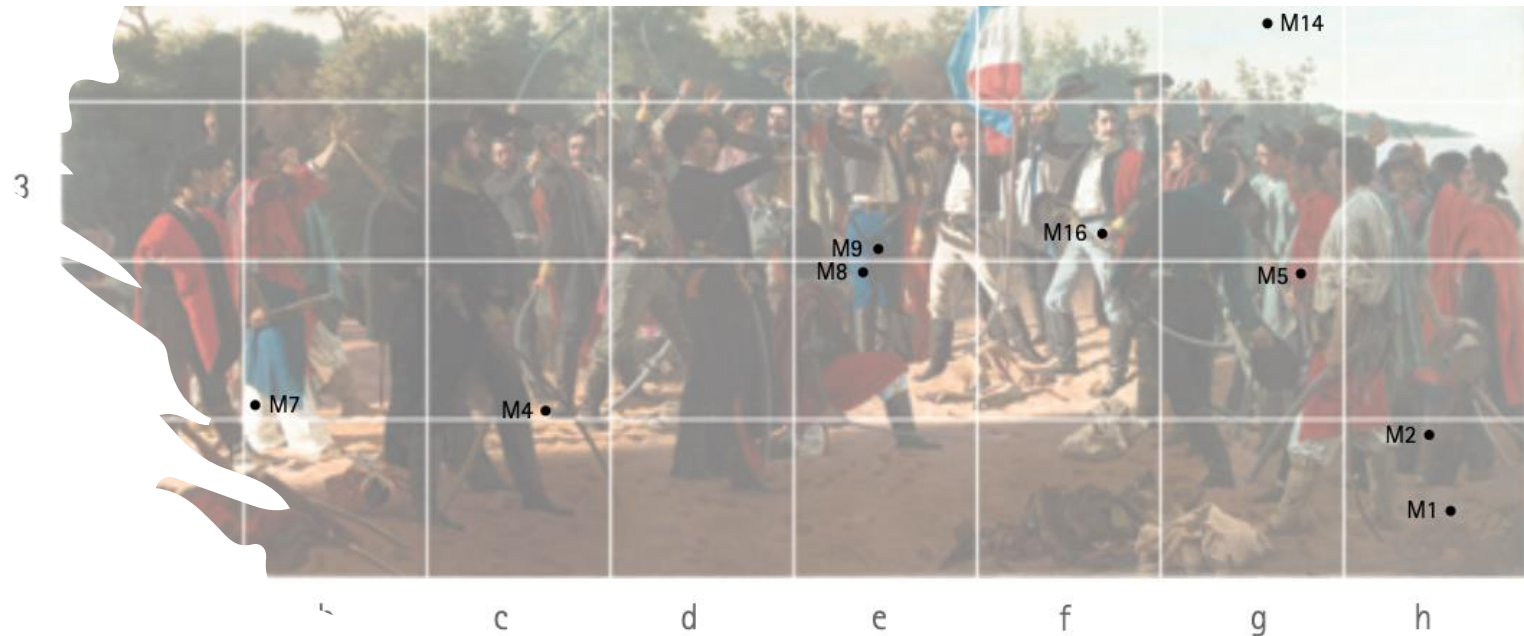
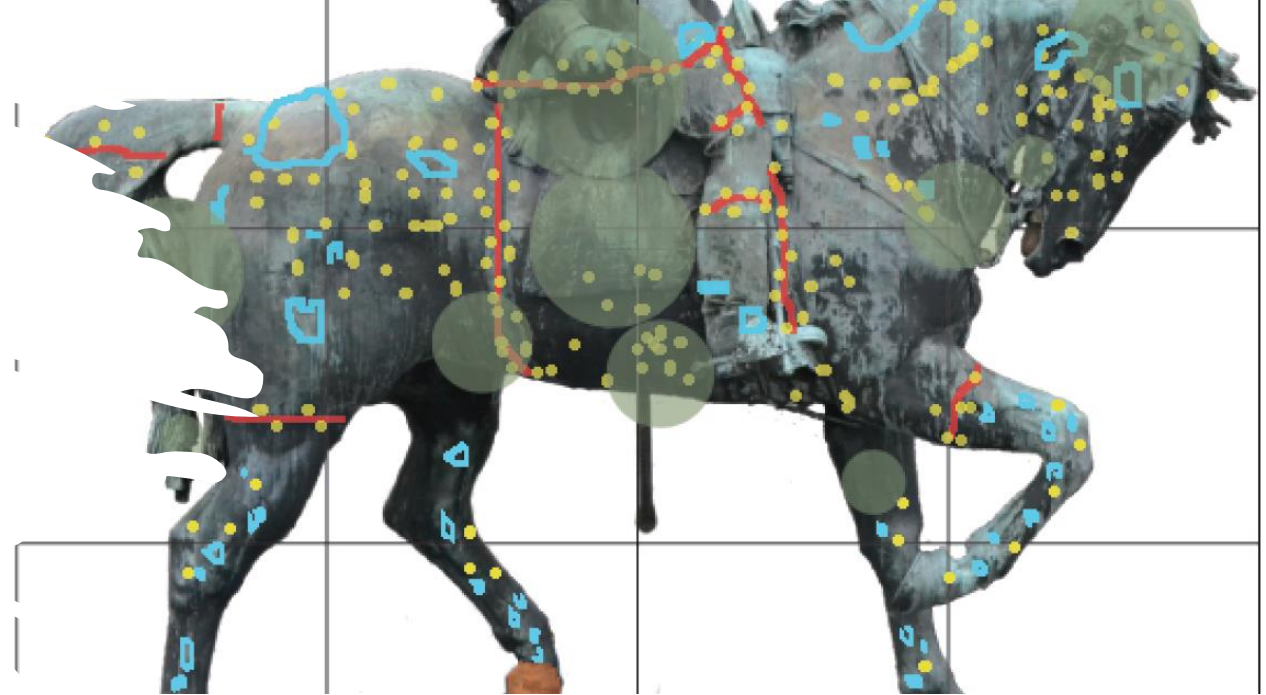
Facultad de Química

Universidad de la República

rfaccio@fq.edu.uy

Punteo

- Quienes somos?
- Capacidades locales
- Ejemplos de Difracción de rayos X
- Ejemplos de Espectroscopia Raman
- Posibilidades
- Conclusiones



Área Física

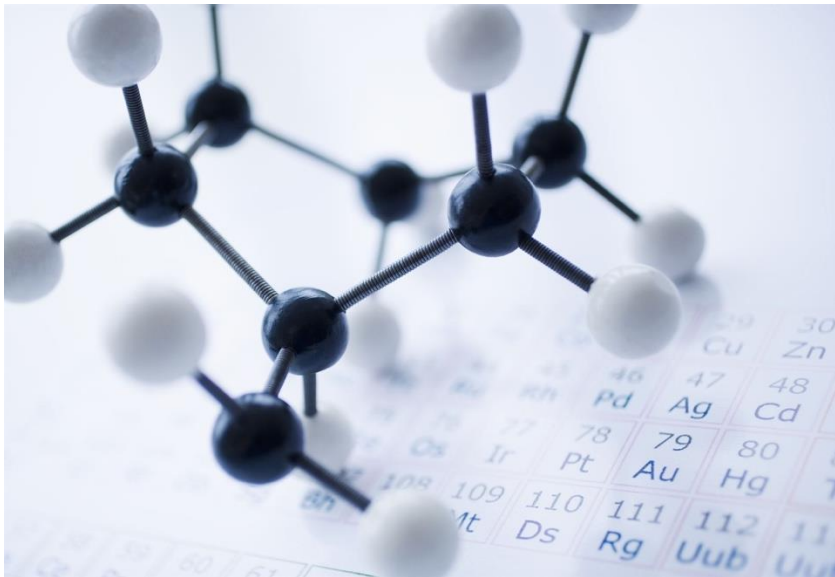
- Área Física. DETEMA. Anexo Sáenz
- Centro de Análisis mediante Difracción de Rayos X
- Laboratorio de Nanotecnología. Instituto Polo Tecnológico de Pando de FQ



DEPARTAMENTO DE EXPERIMENTACIÓN Y TEORÍA DE LA
ESTRUCTURA DE LA MATERIA Y SUS APLICACIONES



Caracterización Física y Química de Muestras



Determinación de elementos químicos identifica los elementos presentes en una muestra.

Determinación de estructura revela cómo los átomos se organizan en compuestos químicos.

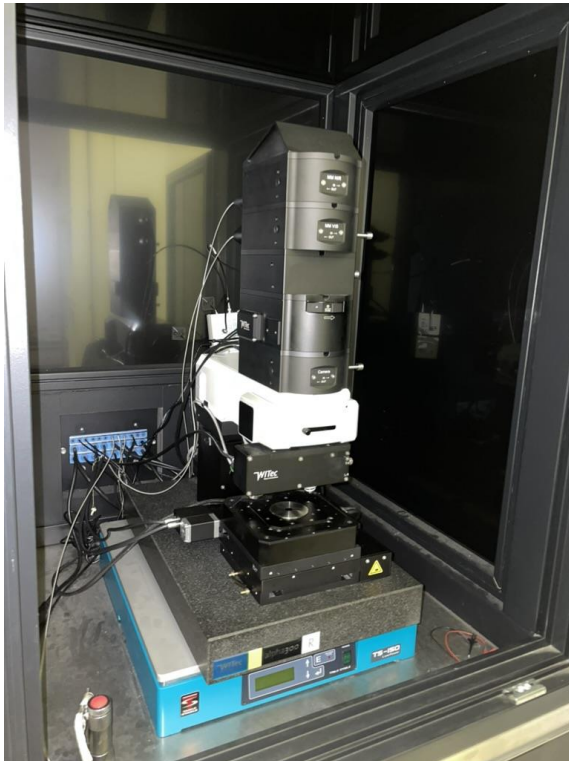
Clasificación

- Compuestos orgánicos contienen carbono y tienen estructuras variadas y complejas.
- Compuestos inorgánicos incluyen sales, minerales y metales con estructuras definidas.

Clasificación

- Sólidos cristalinos presentan orden atómico regular y patrones definidos.
- Sólidos amorfos muestran átomos distribuidos desordenadamente sin patrón fijo.

Equipamiento disponible en FQ Udelar



Microscopia Raman
Confocal
IPTP-Pando

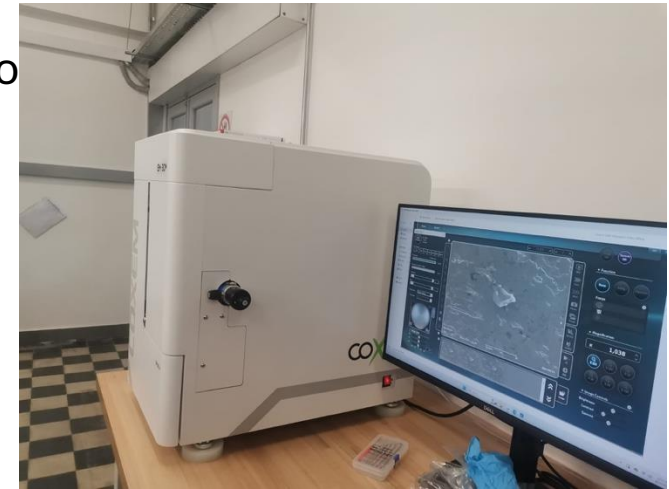


Difracción de Rayos X de Polvo- XRD
CADifRaX



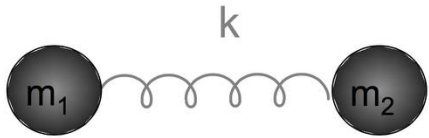
Fluorescencia de Rayos X - XRF

Microscopio Electrónico
de Barrido - eSEM



CEFI-FQ

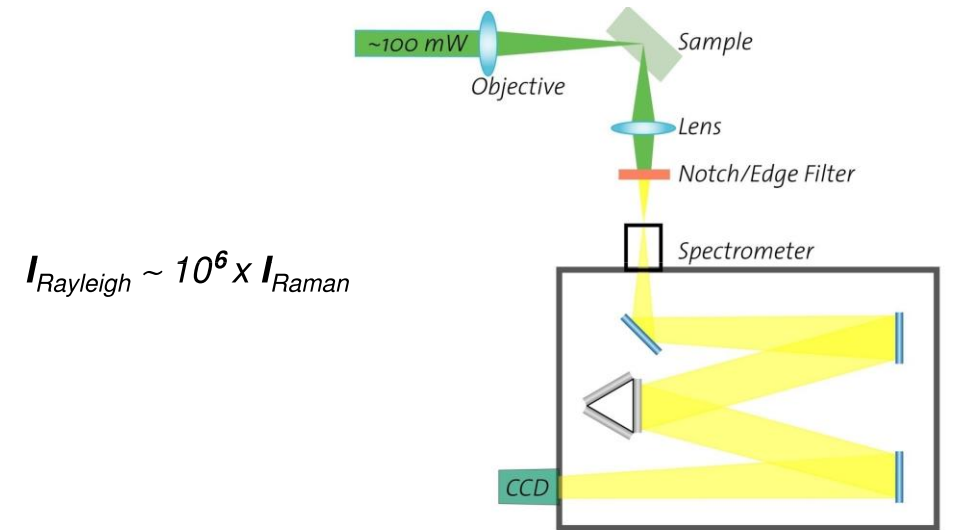
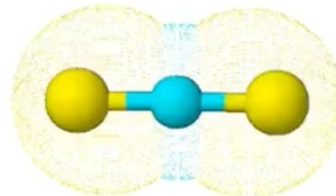
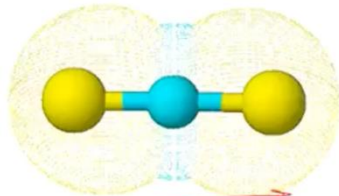
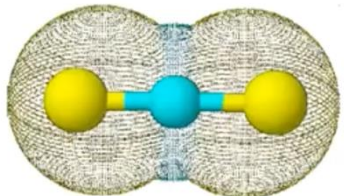
Espectroscopia Raman



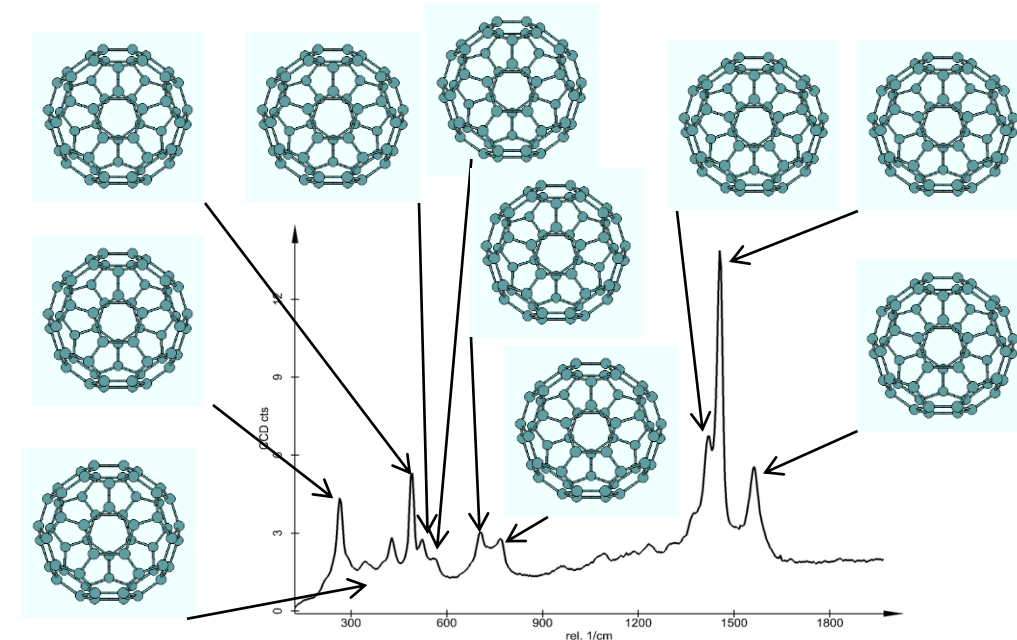
$$V = \frac{1}{2} kx^2$$

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{\mu}}; \quad \frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}$$

Bond	Bond Energy [kcal (kJ)]	Stretching Frequency (cm ⁻¹)
<i>Frequency dependence on bond energies</i>		
C—C	83 (350)	1200
C=C	146 (611)	1660
C≡C	200 (840)	2200
stronger bond ↓ ν increases		
Bond	Bond Energy [kcal (kJ)]	Stretching Frequency (cm ⁻¹)
<i>Frequency dependence on atomic masses</i>		
C—H	100 (420)	3000
C—D	100 (420)	2100
C—C	83 (350)	1200
heavier atoms ↓ ν decreases		

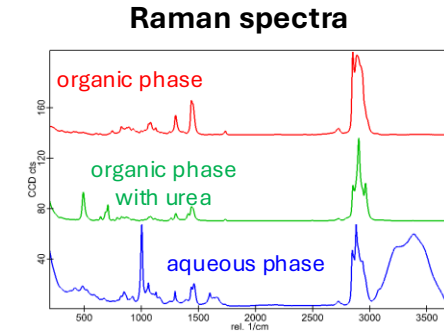
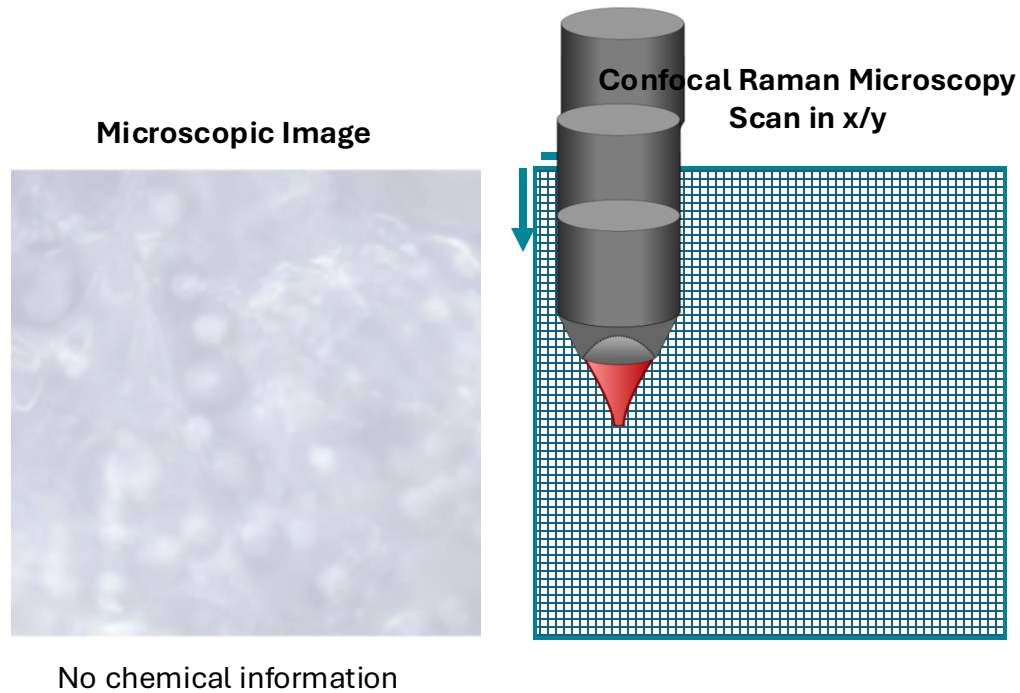


- typical integration times: seconds - several minutes



Microscopia Raman Confocal (2D)

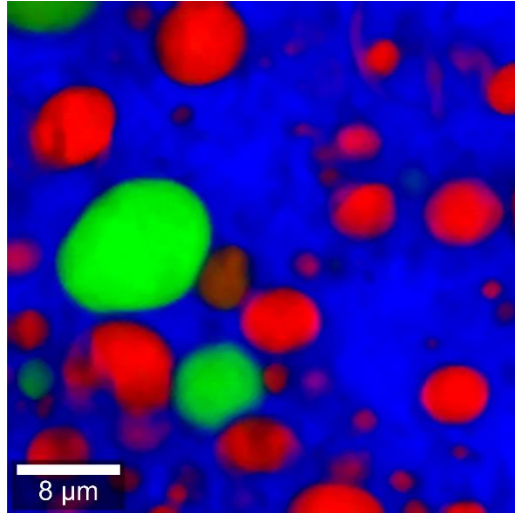
- Ejemplo: Emulsion (hand cream with urea)



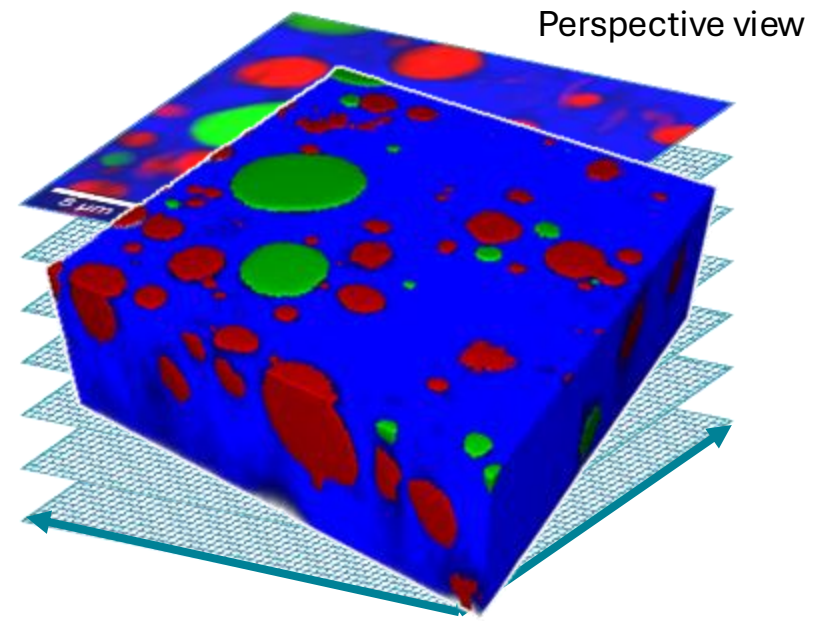
Chemical information

Chemical
information
& spatial resolution

Raman imaging – 3D



2D Raman image

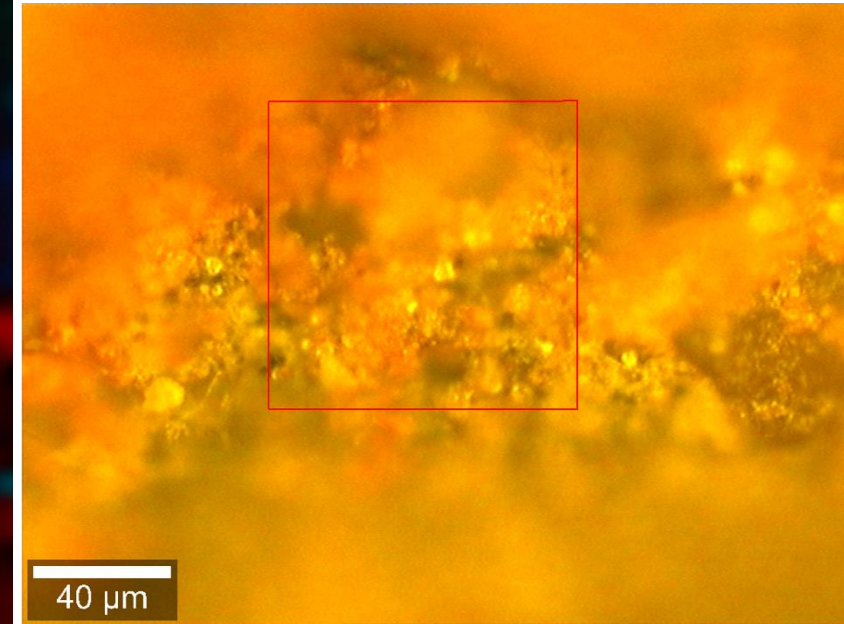
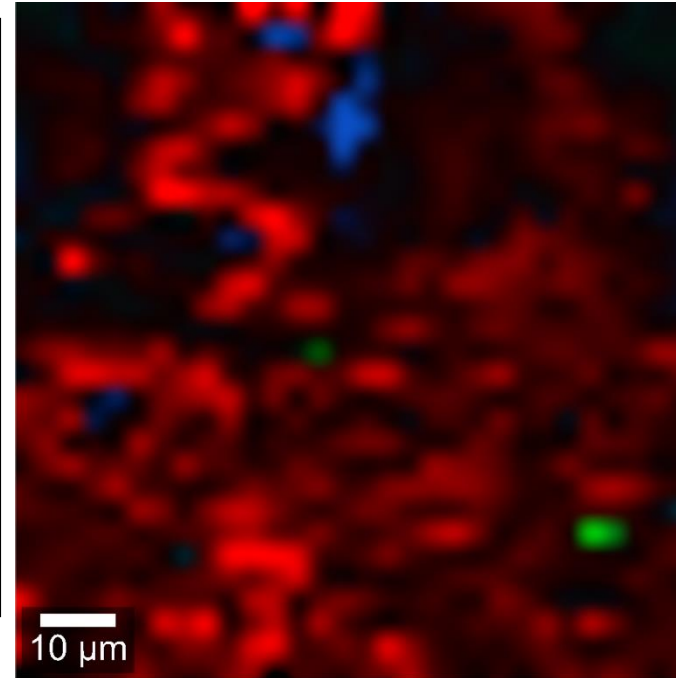
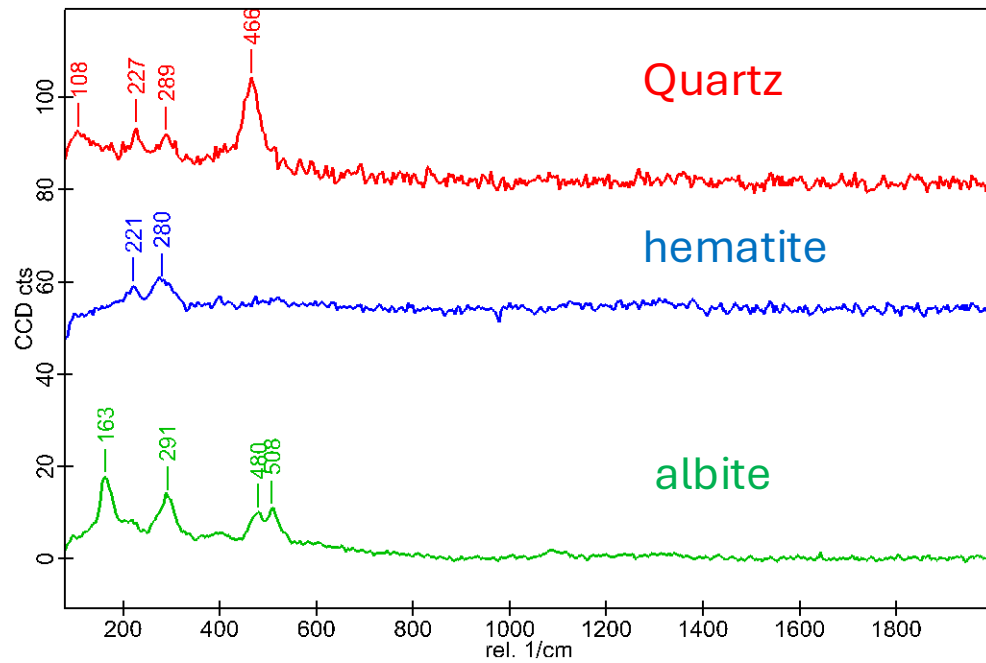


3D Raman image

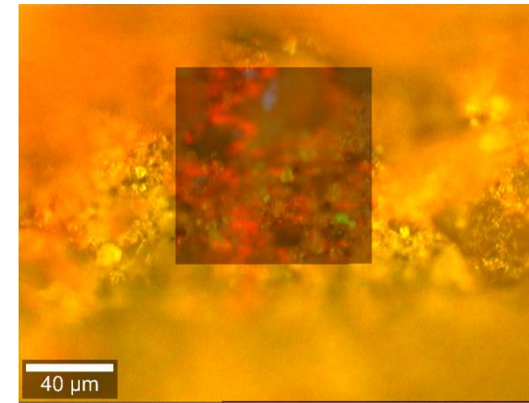
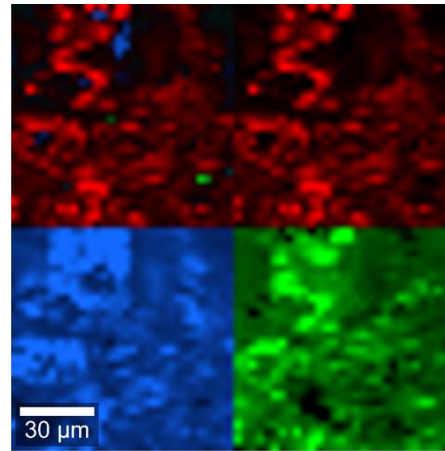
- INICIOS CON TRABAJOS EN PALACIO TARANCO (Dra. Laura Beovide- años 90, colección de arqueología clásica y musulmana-Museo de Artes Decorativas)
- TRABAJO CONJUNTO CIRAT/PIAAD (Dres. Beovide, Faccio, Pardo, Pistón)- CON FACULTAD DE QUÍMICA (más de 10 años)
 - Centro de Investigación Regional Arqueológica y Territorial (CIRAT)
- Participaciones continuas en las ediciones del **Congreso Latinoamericano de Arqueometría, Arte y Conservación del Patrimonio Cultural – CLASMAC**. En 2022 fue organizado en Uruguay (San José). Próxima edición será en San Pablo.



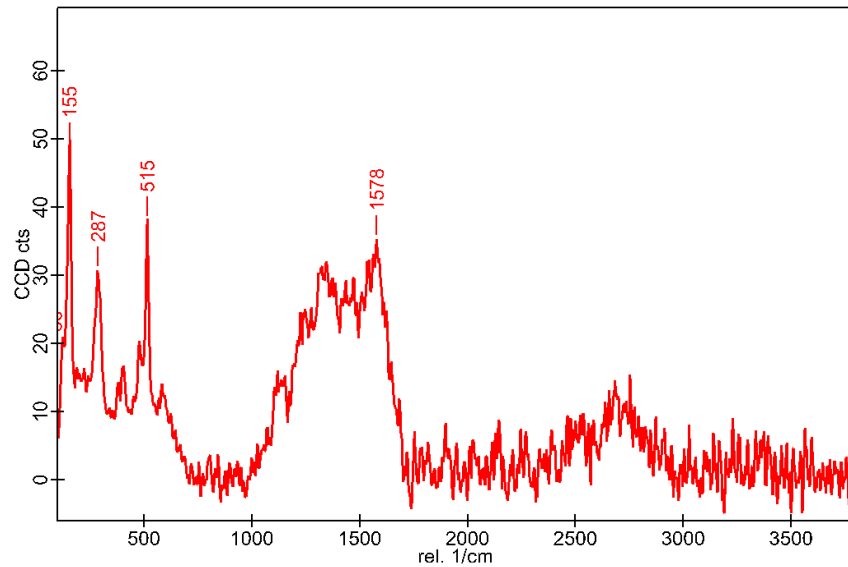
Muestra mineral con zonas rojas



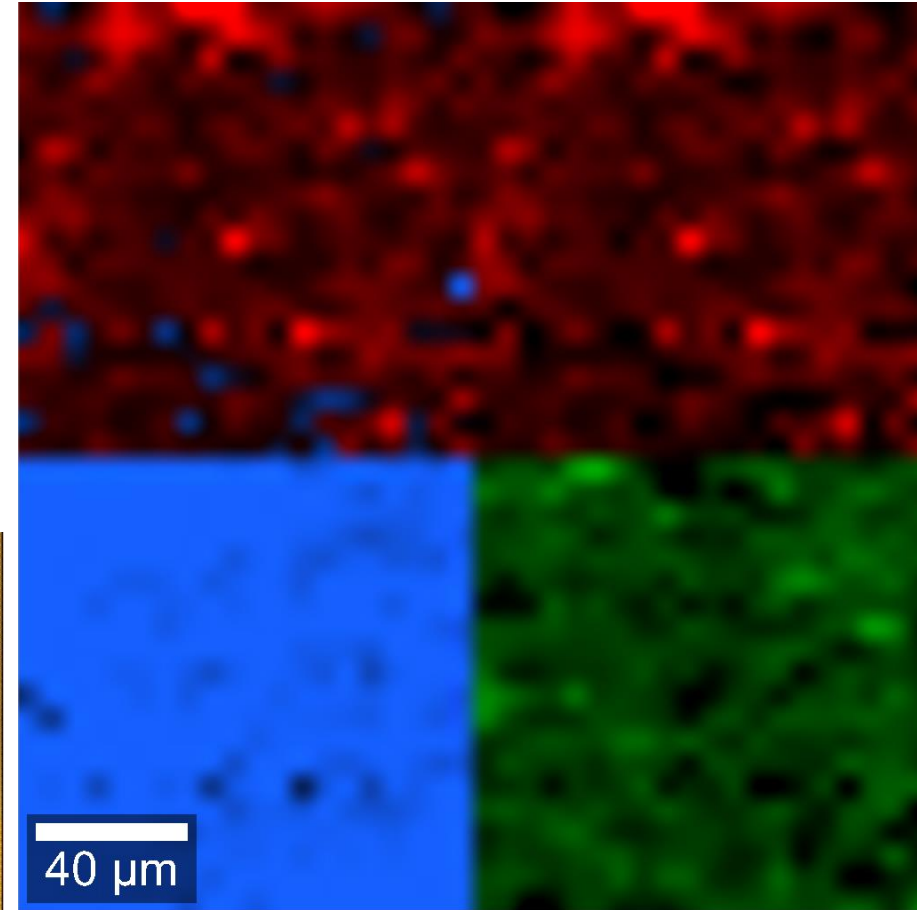
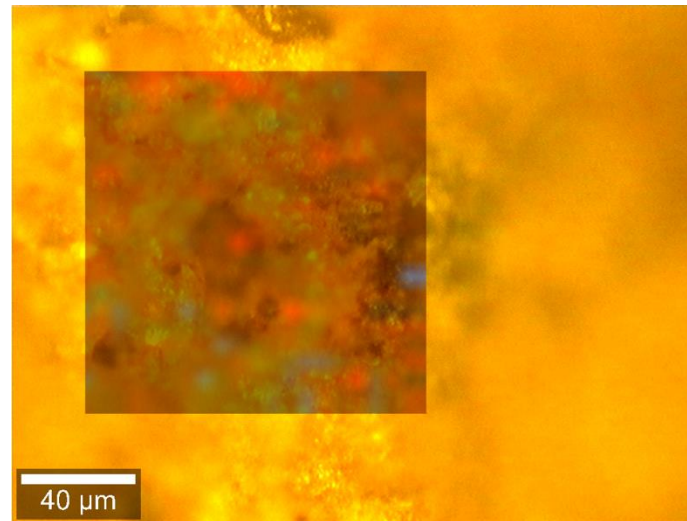
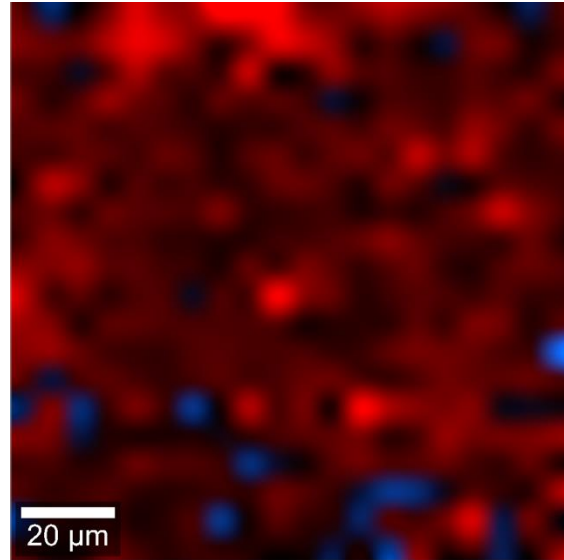
Microscopia Raman Confocal



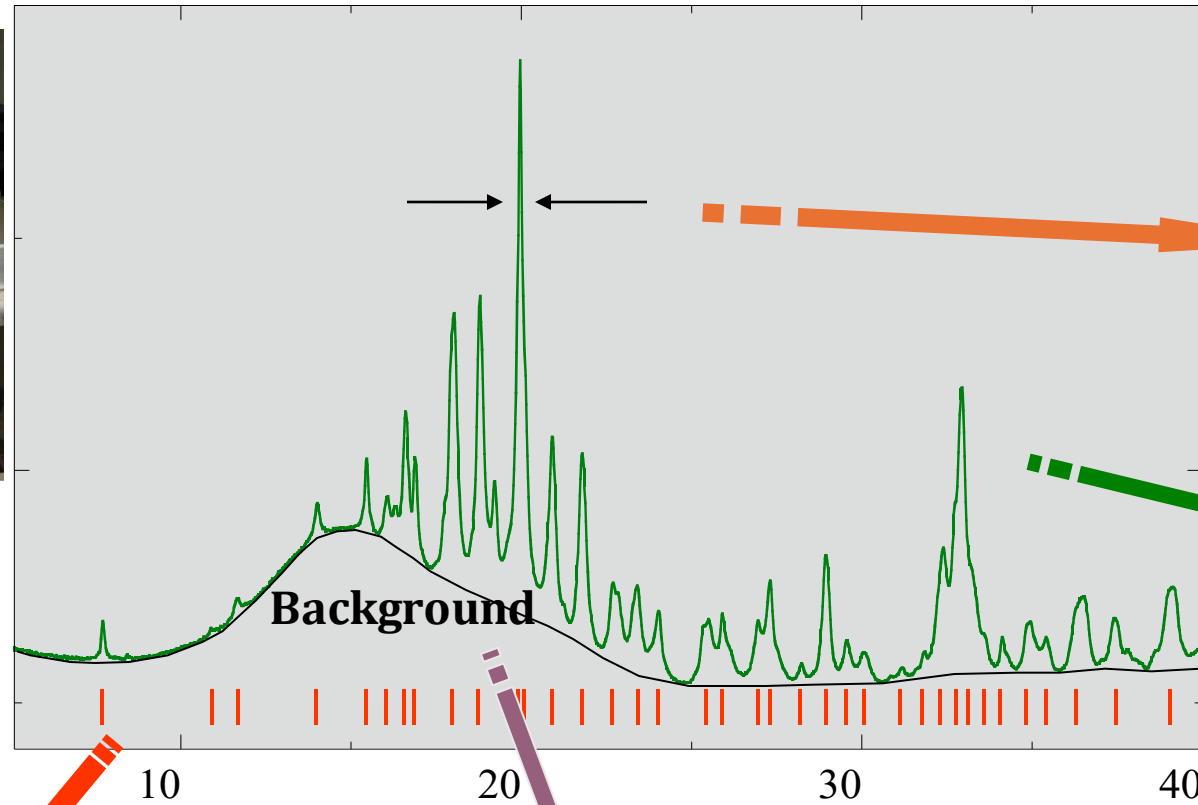
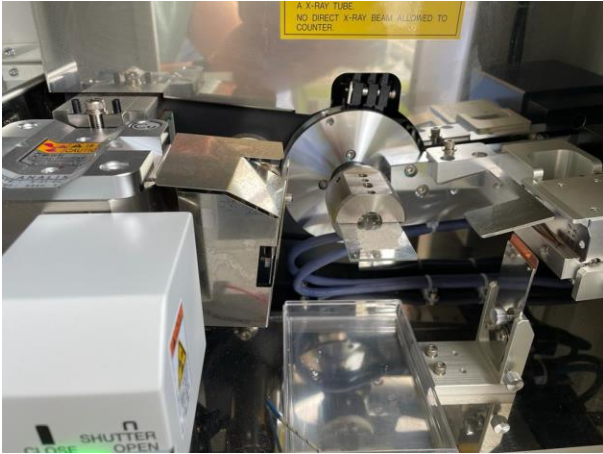
Muestra mineral con zonas rojas



Hematite
Carbon
Albite



Difracción de Rayos X de Polvo

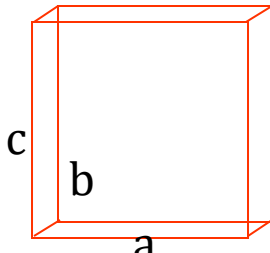
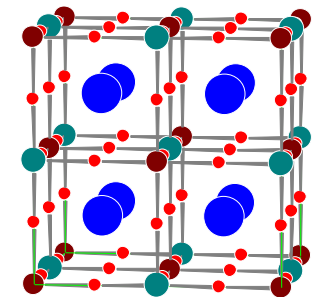


Forma de
pico

Tamaño de
partícula &
defectos

Intensidades
relativas

Distribución
atómica en la red



Posición de picos
**Celda unitaria:
simetría y
volumen**

Dispersión difusa,
porta muestra,
matriz, fases
amorphas, etc...

Ejemplo Restauración: Monumento J. G. Artigas



Las marcas son ilustrativas y no se corresponden en escala

- | | | | |
|--|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|  Unión de placas |  Corrosión por picadura (globular y pitting) |  Injertos anteriores |  Ataque por cloruros activos |
|  Plomo | | | |



Ge GRUPO ESPAÑOL
de CONSERVACIÓN
International Institute for Conservation
of historic and artistic works

Ge-conservación
Conservação | Conservation

El monumento al General José Gervasio Artigas: la conservación-restauración de escultura conmemorativa en bronce en ambiente urbano

Ge-conservación nº4, 2013

48

ISSN: 1989-856



Claudia Frigerio - Restauradora
UdelaR:

Daniel Ariosa – Fing

Enrique Dalchielle – Fing

Alejandro Marquez – Fcien

Ricardo Faccio – FQ (XRD)

SEM, EDS y XRPD

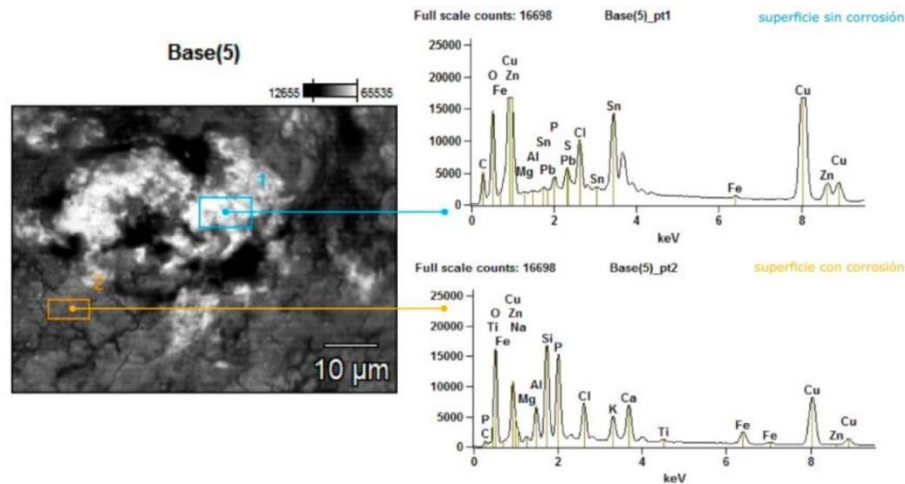


Figura 3. Imagen SEM-BSEI de una de las muestras y espectro de rayos X. (Fotografía: Dr. Alejandro Márquez. Servicio de Microscopía Electrónica de Barrido y Microanálisis. Facultad de Ciencias UDELAR).

1) Muestras #0, #1 y #3 :

Estas muestras contienen todas hierro (**Fe**), Cuprite (**Cu₂O**), Mushistonite (**CuSn(OH)₆**) y Paratacamite (**Cu₂Cl(OH)₃**), además de compuestos amorfos que no podemos identificar sin información suplementaria.

2) Muestra #2 :

La muestra#2 contiene esencialmente calcita (**CaCO₃**), y en tal proporción que no se distinguen los otros compuestos.

C- Discusión

La presencia de Fe confirma y explica el fuerte background lineal (fluorescencia) que se observa en todos los difractogramas antes de la sustracción de éste para el análisis. Las proporciones (indicativas) en las muestras #0, #1 y #3 son las siguientes:

Fe:	34%
Cu₂O:	<1%
Cu₂Cl(OH)₃:	23%
CuSn(OH)₆:	42%

Los análisis SEM-EDX permitieron determinar semi-cuantitativamente la media general de los elementos mayoritarios (Cu, 64.5%; Sn, 22.5%; Zn, 9.76%; y Pb, 3.14%) [figura 3]. El porcentaje de elementos aleantes es muy elevado y se corresponde con aleaciones empleadas normalmente para coladas -el estaño mejora la dureza, y el zinc y el plomo la maleabilidad-. Estas proporciones pueden variar ligeramente según zonas al haberse manufacturado la escultura por partes.

Los análisis SEM-EDX aportaron también información para plantear la XRD y determinar la composición de los productos de alteración. En las muestras analizadas se detectaron principalmente cloruros (elevado porcentaje de paratacamita-Cu₂Cl(OH)₃) y óxidos de cobre (cuprita-Cu₂O), habituales en una escultura expuesta en medio urbano salino.

La restauración del juramento de los treinta y tres orientales

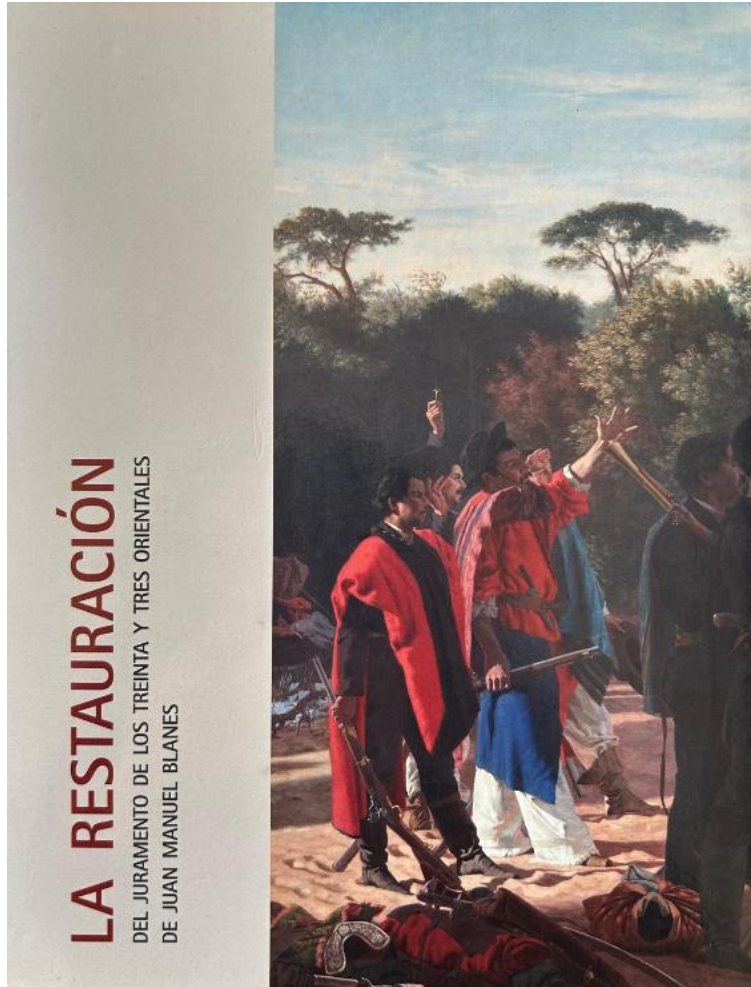


Figura 1
Imagen completa de la obra con zonas de toma
de muestras marcadas.

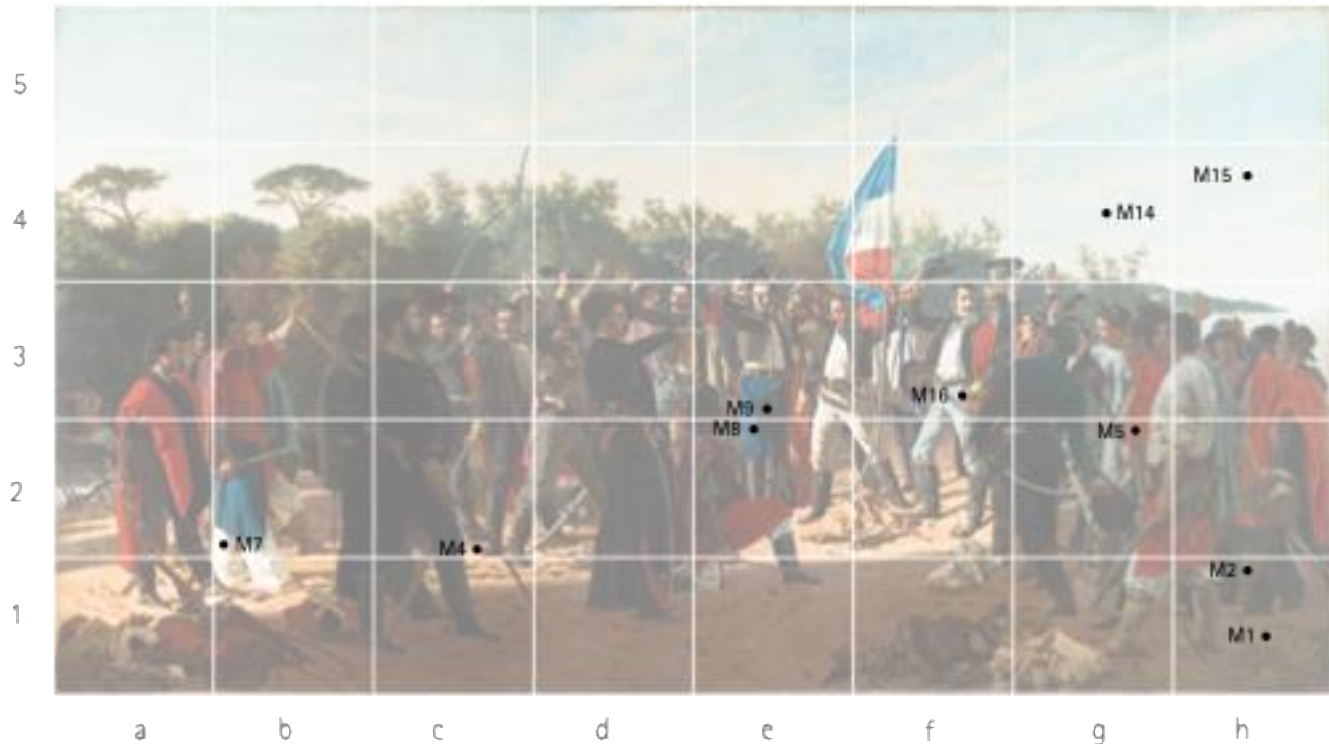




Figura 3:
Fotografía de la obra completa. Se indican
los resultados en los sitios de estudio.

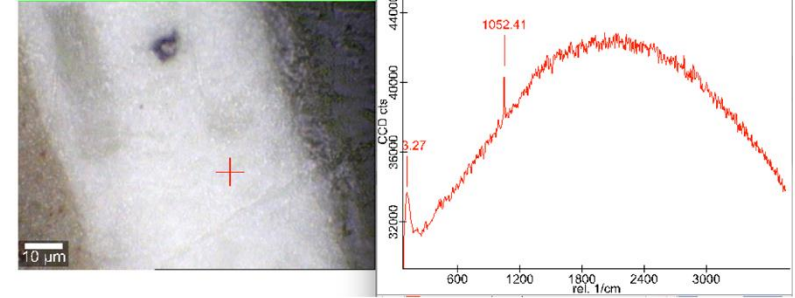


Figura 1.- Muestra M1H1 (01) indicando lugar de adquisición y espectro
correspondiente identificando señal a 1052 cm^{-1} atribuido a PbSO_4 .

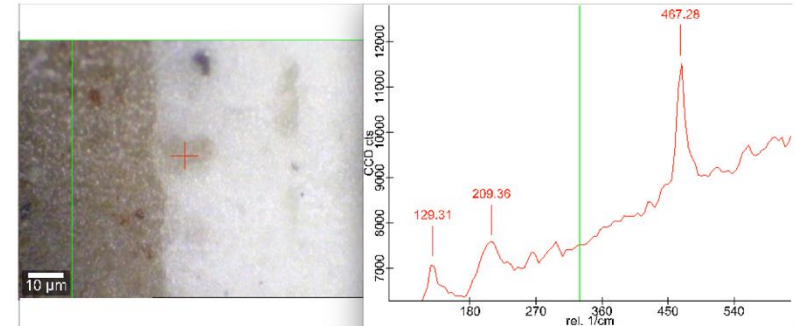


Figura 2.- Muestra M1H1 indicando lugar de adquisición (02) y espectro
correspondiente identificando señal a 129, 209 y 467 cm^{-1} atribuido a SiO_2 .

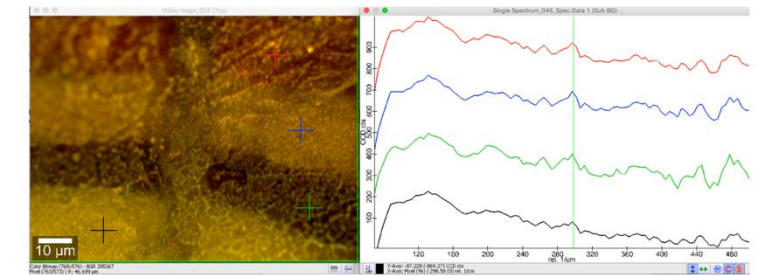


Figura 5.- Muestra M5G2, mostrando 4 zonas diferentes, en las que se marca la
presencia de Fe_2O_3 . Se observa que la zona más roja de la imagen muestra la
concentración mayor de Fe_2O_3 .

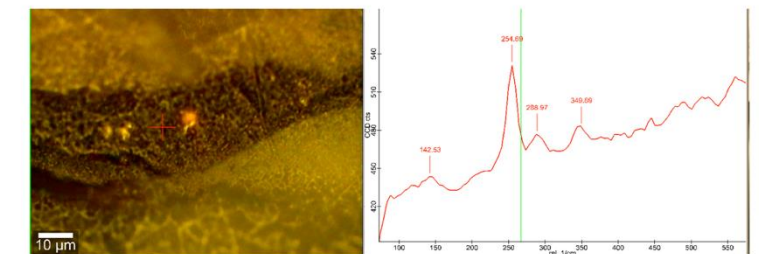


Figura 6.- Muestra M5G2 mostrando la presencia de Bermellón con picos en 254, 289
y 350 cm^{-1} .

Resultados



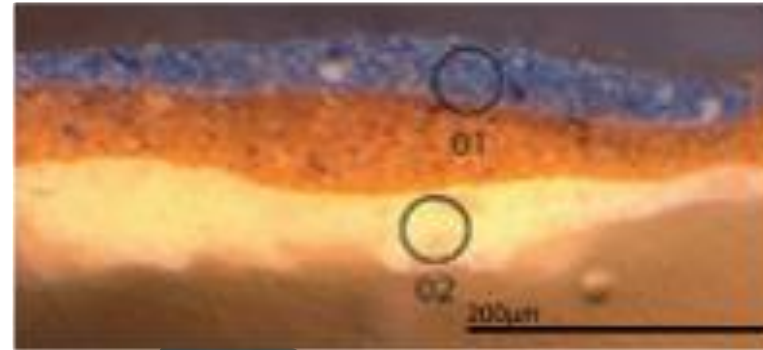
Caracterización de la Preparación Pictórica

Toda la tela fue preparada con **una base uniforme de blanco de plomo** ($\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$).

Inclusiones medianas de sílice, aplicación uniforme, posiblemente preparada de forma industrial o planificada por el artista.

Espesor máximo: **180 μm** , inclusiones hasta **50 μm** .

Fuente: IIPC-UNSAM



Diversidad Cromática y Técnica Pictórica

Blanes utilizó **una paleta amplia**: ocre, verdes, rojos, azules intensos.

Se identificaron pigmentos históricos:

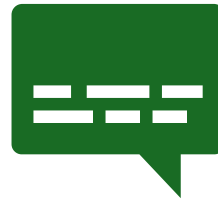
- **Hematita (Fe_2O_3)** para tierras rojas.
- **Bermellón (HgS)** para rojos intensos.
- **Lazurita** (natural o sintética) para los azules.
- **Albayalde** presente en múltiples estratos.

Uso de **veladuras** y capas superpuestas en zonas como el cielo.

Conclusiones



Relevancia de la complementariedad de técnicas de caracterización.



Diálogo constante con los diferentes actores.



Las conclusiones no emergen de forma automática, deben construirse.



**Facultad
de Química**

UDELAR - Uruguay



**UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY**

¡Muchas Gracias!

Dr. Ricardo Faccio

Área Física-DETEMA

Facultad de Química

Universidad de la República

rfaccio@fq.edu.uy