

Nuevas Fronteras en Mineralogía y Geoquímica de Campo

/ FERNANDO RULL PÉREZ (1,*)

(1) Unidad Asociada UVA-CSIC al Centro de Astrobiología, Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias, Prado de la Magdalena s/n. 47006, Valladolid (España)

INTRODUCCIÓN.

El análisis y caracterización de los materiales geológicos in-situ, bien de manera remota, o de contacto, ha experimentado un enorme progreso en los últimos años. Este progreso ha venido condicionado principalmente, por el avance instrumental que he permitido el desarrollo de sistemas portátiles de bajo peso y consumo con prestaciones cada vez mejores y muy parecidas a las de los instrumentos de laboratorio. Hasta hace pocos años, la posibilidad de realizar en el campo, en condiciones reales, difracción y fluorescencia de Rayos X, espectroscopia Mössbauer, espectroscopia Raman y LIBS, espectroscopia IR y combinar los resultados con imágenes macro y micro para situarlos en contexto, resultaba casi de ciencia ficción.

En el momento presente, esta posibilidad es una realidad y a ella han contribuido de manera decisiva los esfuerzos técnicos y científicos realizados en el desarrollo de misiones espaciales, particularmente planetarias, y sobre todo, la exploración de Marte.

Parte crucial en esta exploración es el desarrollo de la metodología científica necesaria para comprender los procesos de formación y transformación mineral, así como, la historia geológica del planeta rojo. Y dentro de esta línea, parte esencial es la realización de pruebas y ensayos con prototipos en la Tierra con objeto, no solo de establecer las condiciones operativas de cada instrumento, sino también de establecer las sinergias entre instrumentos y la ciencia colaborativa que en su uso combinado puede extraerse.

El objetivo de este trabajo es el presentar recientes avances en el uso combinado de técnicas de análisis mineralógico y geoquímico in-situ, en

condiciones reales de campo a través de expediciones científicas realizadas en los últimos años. En particular los trabajos realizados en las expediciones AMASE entre 2007 y 2009 al Artico, en colaboración con NASA y ESA, las realizadas en Rio Tinto en 2008 y 2009 y las realizadas en el Barranco de Jaroso (Sierra Almagrera) en 2009.

MATERIALES Y METODOS.

En este trabajo, se presentan resultados obtenidos principalmente con las técnicas espectroscópicas Raman (remoto y de contacto) y LIBS de contacto y se comparan con las técnicas DRX-FRX y Mössbauer con las que se ha trabajado en colaboración. Los equipos Raman y LIBS usados son adaptaciones al campo de instrumentos comerciales y prototipos desarrollados en nuestro laboratorio para la misión ExoMars de la ESA (Rull, F, Martinez-Frias J. 2007).

El equipo Mössbauer es un desarrollo para Tierra (MIMOSII) gemelo de los espectrómetros actualmente en Marte dentro de los vehículos Spirit y Opportunity (Klingerhoefer G. et al. 2003).

El equipo de DRX-FRX es una versión comercial portátil del instrumento CheMin desarrollado para la misión Mars Science Laboratory (MSL) de la NASA (Bish D.L. et al. 2007)

La metodología usada consiste en el análisis in-situ sin ningún tipo de alteración o modificación del material a estudiar con respecto a su posición en la roca o depósito y también en el análisis combinado in-situ, de muestras comunes previamente seleccionadas ya sea recogidas o cortadas a partir de su contexto original.

RESULTADOS Y DISCUSION.

En la Figura 1 se muestran los equipos Raman y Mössbauer en modo contacto

obteniendo espectros simultáneamente en una zona de gossans en Peña del Hierro (Rio Tinto) y eflorescencias en el nacimiento de Rio Tinto. Raman y Mössbauer actúan sobre la muestra sin ningún tipo de preparación. DRX en polvo cristalino necesita la preparación de la muestra, seleccionada sobre los mismos materiales analizados en contacto.

En la Figura 2 algunos de los resultados conjuntos obtenidos por Raman, Mössbauer y DRX sobre evaporitas en el nacimiento de Rio Tinto.



Fig 1. De arriba abajo: Prototipos portátiles de Raman y Mössbauer (MIMOSII, Klingerhoefer et al. 2003) y de DRX (TERRA inXitu inc.) adquiriendo espectros in-situ en Rio Tinto.

palabras clave: Mineralogía, Geoquímica, Estudio In-situ.

key words: Mineralogy, Geochemistry, In-situ Analysis .

Se aprecia en estos resultados la capacidad analítica conjunta de las técnicas. DRX obtiene una mezcla de Copiapita y Coquimbita. Mössbauer obtiene mayoritariamente Jarosita y una menor cantidad de Coquimbita, mientras Raman en distintos granos minerales obtiene Copiapita, Coquimbita y algo de Jarosita.

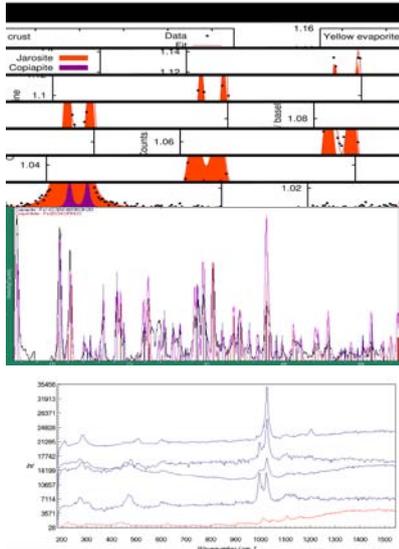


fig 2. De arriba abajo: Espectros Mössbauer y Raman obtenidos in-situ sobre evaporitas en el nacimiento de Río Tinto. Difractograma de R-X obtenido de una pequeña muestra de la costra evaporítica.

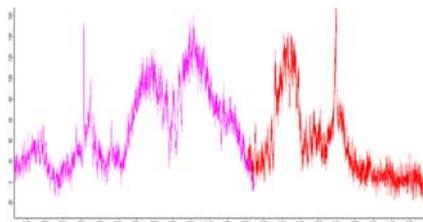


fig 3. Espectro LIBS tomado in-situ de una muestra de la costra evaporítica. La composición elemental muestra fundamentalmente Fe, K y cantidades menores de Al.

En la Figura 4 el equipo Raman de contacto toma espectros in-situ en xenolitos, en el complejo volcánico de Bockfjord (Svalbard) durante la expedición AMASE 2009.

La Figura 5 muestra la identificación de olivino y piroxeno obtenida en la muestra analizada en la Figura 4.



fig 4. Obteniendo espectros Raman in-situ en xenolitos del complejo volcánico de Bockfjord (Svalbard). (Créditos F. Vago, AMASE 2009)

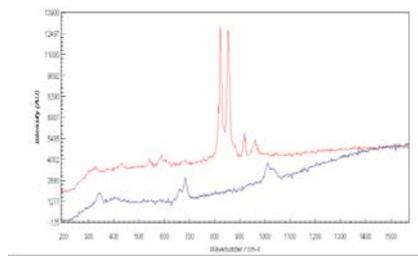


fig 5. Espectros de olivino y piroxeno obtenidos en el xenolito de la Figura 4. Los espectros son de gran calidad teniendo en cuenta las difíciles condiciones de adquisición.

CONCLUSIONES.

Cuando los distintos instrumentos actúan sobre las mismas muestras los resultados son generalmente coincidentes. No obstante, la diferente sensibilidad de cada uno de ellos junto a su distinta penetración sobre la muestra nos presentan un panorama ligeramente diferente de cada muestra. La difracción de los RX es sensible a cada fase mineral dentro del conjunto de polvo analizado. Lo que nos informa de la composición mineral promedio. Mössbauer actúa por contacto, proporcionando información de la composición promedio en el área irradiada, sobre la mineralogía de la superficie con una profundidad cercana a 0.5mm. Raman también actúa superficialmente, con menos profundidad de campo que Mössbauer y a escala del grano mineral. Tanto la FRX como Mössbauer pueden suministrar información sobre la composición elemental promedio de la muestra, en un reducido rango de elementos. Esta información se complementa con LIBS, que por su parte, nos informa de la composición elemental a una escala y profundidad de campo comparables a Raman. Las técnicas Raman y LIBS también se usan en el estudio de las

fases líquidas, por tanto la identificación de los grupos moleculares y la composición elemental de los fluidos se puede poner en correlación con la de las fases cristalizadas.

De esta forma, la combinación de las diferentes técnicas proporciona una panorámica mineralógica y geoquímica a diferentes escalas y profundidades de la muestra, permitiendo así, detallados estudios en el campo similares a los que se pueden hacer en laboratorio.

El desarrollo de nuevos prototipos combinando parte de estas técnicas en limitados conjuntos analíticos portátiles y robustos capaces de trabajar en condiciones reales de campo, es una necesaria tarea de futuro. Nuestro grupo está intensamente implicado en ella y confiamos en el corto-medio plazo desarrollar un pequeño laboratorio analítico portátil combinando al menos tres-cuatro técnicas mineralógicas y geoquímicas complementarias.

AGRADECIMIENTOS.

Al Prof. Goestar Klingelhofer por la colaboración mantenida durante los últimos años y su contribución a los resultados Mössbauer. Igualmente al Dr. Philippe Sarrazine y Dr. Dave Blake por la colaboración en DRX tanto en AMASE como en Río Tinto. Esta gratitud incluye al Prof. Daniel Martin por su contribución al tratamiento de datos DRX. Al Dr. J. Martinez-Frias por la extensa y fructífera colaboración en los estudios de Río Tinto y Jaroso y sus trabajos pioneros en ambos lugares. A mis colaboradores de la Unidad Asociada Dr. J. Medina y A. Sansano por su ayuda y soporte. A la organización de AMASE (NASA/ESA) y al Centro de Astrobiología por el apoyo en la realización de las expediciones. También al Proyecto CAREX por la organización del estudio conjunto en Río Tinto-2009.

REFERENCIAS.

- Bish D.L. et al. (2007): *Field XRD/XRF mineral analysis by the MSL Chemin instrument. Lunar and Planetary Science XXXVIII. 1186*
 Klingelhofer et al. (2003): *Athena MIMOS II Mössbauer spectrometer investigation, JGR 108,*
 Rull F. & Martinez-Frias J. (2006): *Raman spectroscopy goes to Mars, Spectroscopy Europe 1, 1-21*