

# Minerales "Exóticos" en Cromititas Ofiolíticas. Implicaciones para la Geodinámica Mantélica

/ JOAQUÍN A. PROENZA (1\*), ANTONIO GARCÍA-CASCO (2,3), JOSÉ MARÍA GONZÁLEZ-JIMÉNEZ (2), JÚLIA FARRÉ DE PABLO (1), NÚRIA PUJOL-SOLÀ (1), THOMAS AIGLSPERGER (1), LISARD TORRÓ (1), CRISTINA VILLANOVA DE BENAVENT (1), LÍDIA BUTJOSA (1), JOAN CARLES MELGAREJO (1), SALVADOR GALÍ (1), DIEGO DOMÍNGUEZ (1), JOSEP ROQUÉ (1), ESPERANÇA TAULER (1), CRISTINA DOMÈNECH (1), YAMIRKA ROJAS-AGRAMONTE (4), FAOUZIYA HAISSSEN (5), IDAEL F. BLANCO (6), CONCEPCIÓN LÁZARO (2), ANTONI CAMPRUBÍ (7), VANESSA COLÁS (7)

(1) Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona (UB), Martí i Franquès s/n. 08028, Barcelona (España)  
(2) Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, Campus Fuentenueva s/n. 18071, Granada (España)  
(3) Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-UGR). Avda. de las Palmeras 4. E-18100 Armilla, Granada (España)  
(4) Department of Geosciences, University of Mainz, 55099 Mainz (Alemania)  
(5) LGCA, Département de Géologie, Faculté des Sciences Ben M'sik, Université Hassan II de Casablanca (Marruecos)  
(6) Departamento de Geociencias, Universidad de los Andes. Cra 1 No 18A - 70, IP-201, Bogotá (Colombia)  
(7) Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria. 04510 Coyoacán, Ciudad de México (México)

## INTRODUCCIÓN

Los depósitos ofiolíticos de cromita constituyen un rasgo característico de la secuencia mantélica de las ofiolitas (González-Jiménez et al., 2014 y referencias en éste). Los cuerpos de cromititas se encuentran en dunitas y harzburgitas distribuyéndose a lo largo de una zona de espesor variable, entre 1 y 2 km, debajo de los niveles de gabros bandeados de la corteza inferior oceánica. El origen de cuerpos monominerálicos de cromita en el manto, especialmente el mecanismo de concentración de cromita y el ambiente tectónico de formación, continúa siendo un tema sujeto a debate (e.g., Proenza et al., 1999; González-Jiménez et al., 2014). A tal efecto, se han propuesto hipótesis basadas en:

i) cristalización cotéctica de cromita+olivino y su posterior separación mecánica; ii) procesos de mezcla o contaminación de magmas; iii) asimilación de piroxenitas y gabros; iv) aumento del grado de polimerización del fundido debido a la pérdida de agua; v) cambios en la fugacidad de oxígeno. Todas estas hipótesis asumen procesos a baja presión en el manto (<20 km profundidad).

Sin embargo, el descubrimiento de minerales exóticos típicos de condiciones de ultra-alta presión y extremadamente reducidas (diamante, coesita, stishovita, moissanita y otros carburos, elementos nativos y aleaciones, y nitruros, a >9GPa y > 280 km) y de dominios continentales (circón, cuarzo, feldespato-K, corindón) en

cromititas y sus encajantes peridotíticos en complejos ofiolíticos supone un desafío para las ideas generalmente aceptadas sobre la formación de las ofiolitas ("paleo litosfera oceánica") y de los cuerpos de cromititas encajados en ellas (Yang et al., 2014, 2015; McGowan et al., 2015; Robinson et al., 2015; Griffin et al., 2016).

En este trabajo se presentan los resultados preliminares obtenidos en el estudio de asociaciones minerales "exóticas" en cuerpos de cromitita encajados en ofiolitas del margen de la placa del Caribe en sus sectores septentrional (Cuba y República Dominicana) y meridional (Colombia), oeste de México (Tehuiztingo y Península de Vizcaíno) y N de África (Marruecos).

## SELECCIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO Y TÉCNICAS ANALÍTICAS

La selección de las cromititas ofiolíticas objeto de estudio se fundamenta en las siguientes características:

- Abarcan edades desde el Neoproterozoico (Bou Azzer, Marruecos), hasta el Cretácico Superior (Mayarí-Baracoa, Cuba).
- Incluyen ofiolitas tipo zona de suprasubducción (SSZ; Mayarí-Baracoa en Cuba), tipo pluma mantélica u "oceanic plateau" (Loma Caribe en Rep. Dominicana), y tipo margen cordillerano (Vizcaíno en México).
- Incluyen cromititas ricas en Cr (#Cr>0,6: Loma Caribe en Rep. Dominicana, Mayarí en Cuba) y ricas en Al (#Cr<0,6: Moa-Baracoa en Cuba).
- Incluyen cromititas localizadas en

sectores someros del manto, en la zona de transición manto-corteza, asociadas con cuerpos de gabros (Moa-Baracoa en Cuba) y cromititas localizadas en sectores del manto relativamente profundos asociadas con cuerpos de piroxenitas (Mayarí en Cuba).

v) Incluyen ofiolitas con metamorfismo orogénico en facies de anfibolitas ("Dunitas de Medellín", ofiolita de Aburrá, Colombia) y en facies de eclogitas (Tehuiztingo, Complejo Acatlán, México).

La metodología analítica utilizada incluye un procesamiento previo de las muestras de cromitita (1 a 3 kg) mediante selFrag y/o hidroseparación ([www.hslab-barcelona.com](http://www.hslab-barcelona.com)) y separación magnética. A partir de probetas y láminas pulidas se ha realizado un estudio mineralógico y textural (mediante microscopía óptica, SEM-EDS, FE-SEM, XRD y micro-Raman) y se ha determinado la composición química de los minerales mediante microsonda electrónica (EPMA). Los granos de circón separados de las muestras de cromititas se han datado mediante U-Pb (SHRIMP y LA-ICPMS-MC). También, se han realizado sobre ellos análisis *in-situ* de isótopos de O y de Hf.

## RESULTADOS

De forma similar a las asociaciones minerales exóticas descritas en las cromititas de las ofiolitas de Luobusa y Ray-lz (Yang et al., 2014, 2015; Robinson et al., 2015; Griffin et al., 2016), los resultados preliminares indican que las cromititas estudiadas

<b>palabras clave:</b> Minerales Exóticos, Cromitita, Ofiolita, Condiciones	<b>key words:</b> Exotic Minerals, Chromitite, Ophiolite, Super-Reducing
<b>palabras clave:</b> palabra 1, palabra 2, etc.	<b>key words:</b> keyword 1, keyword 2, etc.

contienen (Fig. 1): i) asociaciones minerales altamente reducidas (MAR) y asociaciones minerales corticales (MC). Las asociaciones MAR incluyen carburos (moissanita y WFeC), elementos nativos (Fe, Cr, Ni, Cu, Si, Zn, Sn, W), aleaciones (Fe-Ni, Co-Fe) y fosfuro de Ni-Fe. Las asociaciones MC se componen de circón, cuarzo, feldespato-K, biotita, apatito, rutilo y titanita. Se han encontrado circones en todas las cromititas ofiolíticas estudiadas (Fig. 1A) y mayoritariamente tienen edades U-Pb mucho más antiguas (hasta >2900 Ma) que las de las ofiolitas (edad de estructuración de la corteza oceánica) que las contienen. Las cromititas de Cuba oriental (encajadas en una ofiolita de edad Cretácica) contienen circones con edades comprendidas entre 99 y 2750 Ma, mientras que las cromititas de Vizcaíno (encajadas en una ofiolita del Jurásico-Triásico) contienen circones con edades Paleozoico, Proterozoico Inferior y Arcaico (hasta 2920 Ma).

Por otra parte, las cromititas de México y de Cuba presentan exsoluciones orientadas de diópsido en cromita (Fig. 1B). Estas exsoluciones son características de cromititas que pueden contener diamantes y asociaciones minerales de ultra-alta presión (MUAP; Yamamoto et al., 2009; Yang et al., 2015, 2015; Griffin et al., 2016).

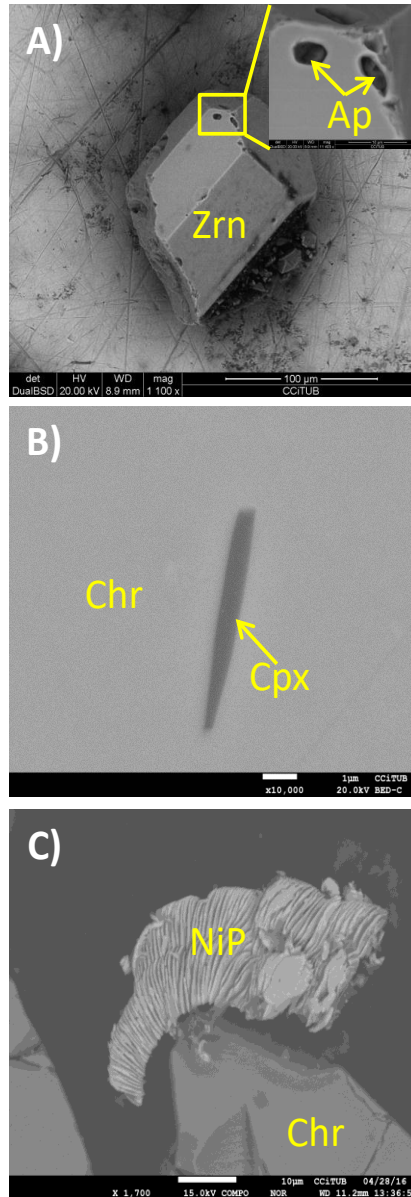
Finalmente en un cuerpo de cromitita de Cuba Oriental (depósito Potosí; Proenza et al., 1999) se ha identificado, en zonas de contacto con diques de gabros, una asociación de minerales exóticos dominada por fases ricas en HFSE (circonolita rica en Y-REE, circón, baddeleyita, ilmenita rica en Mg, rutilo), apatito, anfíboles ricos en Ti, incluyendo kaersutita, y sulfuros de Fe-Ni-Cu (principalmente pirrotina, pentlandita, calcopirita y cubanita).

### CONSIDERACIONES FINALES

Las composiciones isotópicas de Hf y O y las inclusiones minerales en los circones indican su origen cortical continental, habiendo sido introducidos en el manto por subducción (e.g., Robinson et al., 2015).

Las exsoluciones orientadas de diópsido en los cristales de cromita se interpretan como resultado de la transformación polimórfica Ca-ferrita a cromita durante la descompresión asociada al ascenso de cromitas desde zonas profundas del manto (> 400 km)

(Yang et al., 2014, 2015, McGowan et al., 2015; Griffin et al., 2016 y referencias en éstos).



**fig 1. A)** Cristal idiomórfico de circón con inclusiones de apatito (cromititas de Bou Azzer, Marruecos). **B)** Exsolución orientada de clinopiroxeno (cromititas de Moa-Baracoa, Cuba). **C)** Fosfuro de Níquel (schreibersita ?, cromititas de Loma Caribe, Rep. Dominicana). Imágenes de electrones retrodispersados.

La presencia de moissanita (SiC) y carburos de W-Fe en las cromititas ofiolíticas estudiadas documentan un ambiente extremadamente reducido.

La presencia de asociaciones de MUAP, MAR y MC en las cromititas ofiolíticas no es fácil de reconciliar con los modelos ampliamente aceptados para explicar el origen somero de las cromititas y ofiolitas que las contienen. Dos

hipótesis son propuestas: i) reciclado, al ser sometidas a subducción, en el manto profundo de cromititas formadas en el manto suboceánico a baja presión; ii) la cromita cristaliza en sectores profundos del manto y es transportada a niveles mantélicos someros debajo de dorsales mediante (super)plumas.

### AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es una contribución al Proyecto MINECO CGL2015-65824.

### REFERENCIAS

- Griffin, W.L., Afonso, J.C., Belousova, E.A., Gain, S.E., Gong, X.H., González-Jiménez, J.M., Howell, D., Huang, J.X., McGowan, N., Pearson, N.J., Satsukawa, T., Shi, R., Williams, P., Xiong, Q., Yang, J.S., Zhang, M., O'Reilly, S.Y. (2016): Mantle recycling: transition zone metamorphism of Tibetan ophiolitic peridotites and its tectonic implications. *J. Petrol.*, **57**, 655–684.
- González-Jiménez, J.M., Griffin, W.L., Proenza, J.A., Gervilla, F., O'Reilly, S.Y., Akbulut, M., Pearson, N.J., Arai, S. (2014): Chromitites in ophiolites: How, where, when, why? Part II. The crystallization of chromitites. *Lithos*, **189**, 140–158.
- McGowan, N.M., Griffin, W.L., González-Jiménez, J.M., Belousova, E.A., Afonso, J., Shi, R., McCammon, C.A., Pearson, N.J., O'Reilly, S.Y. (2015): Tibetan chromitites: excavating the slab graveyard. *Geology*, **43**, 179–182.
- Proenza, J.A., Gervilla, F., Melgarejo, J.C., Bodinier, J.L. (1999): Al- and Cr-rich chromitites from the Mayarí-Baracoa Ophiolitic Belt (Eastern Cuba): consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle. *Econ. Geol.*, **94**, 547–566.
- Robinson, P.T., Trumbull, R.B., Schmitt, A., Yang, J.S., Li, J.W., Zhou, M.F., Erzinger, J., Dare, S., Xiong, F.H. (2015): The origin and significance of crustal minerals in ophiolitic chromitites and peridotites. *Gondwana Res.*, **27**, 486–506.
- Yang, J.S., Robinson, P.T., Dilek, Y. (2014): Diamonds in ophiolites. *Elements*, **10**, 127–130.
- Yang, J.S., Meng, F., Xu, X.Z., Robinson, P.T., Dilek, Y., Makeyev, A., Wirth, R., Widenbeck, M., Cliff, J. (2015): Diamonds, native elements and metal alloys from chromitites of the Ray-Iz ophiolite of the Polar Urals. *Gondwana Res.*, **27**, 459–485.
- Yamamoto, S., Komiya, T., Hirose, K., and Maruyama, S. (2009): Coesite and clinopyroxene exsolution lamellae in chromites: In situ ultrahigh-pressure evidence from podiform chromitites in the Luobusa ophiolite, southern Tibet. *Lithos*, **109**, 314–322.