XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos.
Sociedad Geológica del Perú, Pub. Esp. N° 9 (2010), Cusco p. 54-62

METALOGENIA ASOCIADA A LOS SEGMENTOS OFIOLÍTICOS DE LA CORDILLERA ORIENTAL DEL PERÚ CENTRAL

Ricardo Castroviejo[1], Rolando Carrascal[2], Humberto Chirif[3], José F. Rodrigues[4], Jorge Acosta[3] Heinz-J. Bernhardt[5]

[(1)]Universidad Politecnica de Madrid. ETS Ing. Minas, c/Ríos Rosas 21, 28003_Madrid; ricardo.castroviejo@upm.es; [(2)] Escuela Geología.UNI. Lima-Perú; rcarrascal@terra.com.pe; [(3)] INGEMMET, Dir. Recursos Minerales y Energéticos, Av. Canadá 1470. Lima 41 Perú; hchirif@ingemmet.gob.pe / jacosta@ingemmet.gob.pe; [(4)] FEUP_Fac. Engenharia, Univ. Porto. Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto, Portugal; felic@fe.up.pt; [(5)] Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Ruhr-Universität, 44780 Bochum, Germany, heinz-juergen.bernhardt@rub.de

INTRODUCCION

Es bien conocida la aportación de las ofiolitas a la producción minera de sustancias como cromo y níquel (laterítico) o también rocas industriales, refractarios, asbestos, talco o sulfuros masivos, pero a pesar de constituir metalotectos de indudale importancia no suelen recibir la atención debida y, en general, se desconoce su significado como metalotecto de **MP**, metales preciosos (oro y **EGP** o elementos del grupo del platino). Por otra parte, raramente se habla de la exploración de terrenos ofiolíticos como estrategia minera, a pesar de las evidencias existentes, por ejemplo para oro (Ash et al., 1991, Ash, 2001, Castroviejo, 2004) o, en general, para MP (Pereira et al., 2004). A ello han contribuido, con toda probabilidad, las dificultades que entraña el reconocimiento y la investigación de terrenos ofiolíticos, por las que diversos yacimientos ofiolíticos no fueron reconocidos como tales hasta la realización de estudios específicos, como ahora ha ocurrido (Tapo). En este resumen se hará en primer lugar una breve exposición de algunos conceptos básicos acerca de la metalogenia y exploración de terrenos ofiolíticos. A continuación, se hará una aplicación de los mismos a las ofiolitas conocidas en la Cordillera Oriental del Perú (Deptºs. Junín y Huánuco), sintetizando los resultados de los trabajos realizados a la fecha, a partir de la información básica (cartografía, geología) presentada en este simposio (en especial, por JF Rodrigues y cols).

METALOGENIA DE LOS TERRENOS OFIOLÍTICOS

Desde la óptica de la minería metálica clásica, se asocian las ofiolitas a importantes producciones de cromita podiforme y de lateritas niquelíferas. Como ejemplo típico pueden citarse los yacimientos del Oriente Cubano (vbgr. el cinturón ofiolítico de Mayarí-Baracoa, Moa) para ambas sustancias, o bien las lateritas de Nueva Caledonia (Ni) y los depósitos de Cr podiformes alpinos (Albania, Grecia, Turquía, etc.) o circumpacíficos (vbgr. en Filipinas). También los sulfuros masivos volcanogénicos, **SMV**, para Cu (Zn, Au), *vbgr*. Chipre u Omán. En la tabla 1 se esboza (señalando el habitualmente olvidado potencial para MP) una tipología de las concentraciones metálicas posibles en ofiolitas: hay que tener en cuenta tanto las concentraciones en origen, en cualquiera de las litologías presentes, como las transformaciones o adiciones que dichas concentraciones van a sufrir a lo largo de la compleja historia orogénica típica de las formaciones ofiolíticas acrecidas a un margen continental (metamorfismo, deformaciones, hidrotermalismo, potencialmente acentuado por efecto del magmatismo orogénico, desmantelamiento erosivo del complejo, meteorización, etc.). Estas concentraciones reciben el nombre de: **primordiales**, las relacionadas con el estadio suboceánico, en cualquiera de sus fases; **exóticas**, las intracorticales, generadas (o transformadas) en el ulterior estadio de incorporación de la ofiolita al continente, integrándose en la historia orogénica de la cordillera o del cinturón colisional; **supergénicas**, las relacionadas con fenómenos superficiales, tras el descubrimiento del complejo ofiolítico por erosión.

En la fig. 1 se ubican los tipos primordiales en un perfil ofiolítico idealizado. Dominan hoy por su interés económico los ortomagmáticos (Cr y potenciales co-productos EGP, Ni, Co, Au) y los SMV del tipo Cu-Zn, con minería activa actualmente (Chipre, Omán, Turquía, etc.). Éstos pueden estar enriquecidos en oro por efecto de ulteriores procesos hidrotermales exhalativos submarinos, de los cuales se han caracterizado dos tipos antagónicos: Au-Cu y Au-Pb-Zn-Cu. Los tonelajes de los SMV ofiolíticos son generalmente modestos (del rango 0.1-10 mt generalmente), al menos en comparación con los grandes gigantes mundiales de la clase SMV, como Río Tinto; sin embargo, suelen tener leyes superiores en Au y Cu (~2.5 ppm Au y 2 % Cu, en promedio) y son el único tipo de SMV que se aproxima, en conjunto, a la clase definida como sulfuros

masivos propiamente auríferos (*gold-rich,* Hannington et al., 1999). La oxidación submarina de estos sulfuros puede producir concentraciones auríferas también económicas (*ocres*, explotados en Chipre, *tipo 1.5*). Otros tipos de concentraciones posibles son las hidrotermales suboceánicas de baja temperatura (*t. 1.5*), las relacionadas con pórfidos (*t. 1.3*) y las epitermales (*t.1.4*). Las dos últimas, sobre todo las epitermales, pueden ser transicionales con los SMV, lo que les confiere un indudable interés como metalotecto aurífero. Su potencial lo avalan tanto los descubrimientos recientes en el Pacífico, por ejemplo, en el Conical Seamount (las mayores leyes hasta ahora encontradas en sistemas suboceánicos actuales: máximo 230 ppm Au, 26 ppm de media), como las investigaciones en minas activas sobre sistemas SMV fósiles.

Las concentraciones exóticas resultan de gran complejidad por los procesos orogénicos superpuestos: no es raro que las series ofiolíticas aparezcan dislocadas y desplazadas, a veces en bloques inconexos, a lo largo de centenares de km. Destacan, por ser objeto actual de minería activa, las concentraciones metamórficas y las orogénicas. Entre las primeras pueden citarse las *listvenitas* (ultramafitas hidrotermalizadas, reemplazadas en gran parte por carbonatos) y *birbiritas* (*íd*. silicificadas). Entre las segundas, varias clases, sobre todo de oro orogénico (Ash, Castroviejo, *op. cit*.) y de SMV,. Existe también un potencial para la formación, sobre series ofiolíticas en contexto acrecional, de concentraciones relacionadas con intrusiones, epitermales u otras. Las concentraciones supergénicas más destacadas, por su actual minería activa, son las de zona de oxidación, como el *gossan* aurífero, producto de la oxidación *in situ* de los SMV ofiolíticos aflorantes y del que se extrae el grueso de la producción de oro de Omán (~0.6 t/año). También las concentraciones lateríticas y detríticas representan fuentes importantes de Ni, Co, Cr, etc. (y potenciales de MP, poco investigadas por el momento).

Los análogos actuales de las ofiolitas, citados habitualmente como típicos, son las dorsales oceánicas. Sin embargo, parecen ser más favorables los ámbitos de *supra-subducción* (fig. 1). Asimismo, la presencia de magmatismo félsico resulta un indicio alentador, por ejemplo, para concentraciones auríferas en SMV.

APLICACIÓN A LAS OFIOLITAS DE LA CORDILLERA ORIENTAL.

Existen indicios mineros de talco en Huánuco, pero los únicos indicios metálicos hallados son las concentraciones de Cr del Macizo de Tapo (Tarma, *t. 1.1*, tabla 1), diseminadas en serpentinita o en modestos cuerpos masivos lenticulares, podiformes como corresponde al tipo ofiolítico y fuertemente tectonizados. Mineralógicamente la composición de la cromita es relativamente variada, reflejando una sucesión de procesos metamórficos y metasomáticos. Las composiciones varían entre *cromitas* (s.l.), *cromitas alumínicas*, *ferritcromitas* y *magnetitas*. Los datos microanalíticos sugieren una cromita primordial con Cr# (Cr/Cr+Al) ~ 0.5, Mg# (Mg/Mg+Fe) ~ 0.7 y Fe^{3+}# (Fe^{3+}/ Fe^{3+}+Cr+Al)<0.16, que se enriquece progresivamente en Fe^{3+} y se empobrece fuertemente en Al por metamorfismo, resultando morfologías de granos típicamente zonados; los núcleos de la cromita masiva conservan relictos de facies esquistos verdes, mientras que las zonas externas se han equilibrado progresivamente a facies anfibolitas, lo mismo que, en general, la cromita diseminada (Fanlo et al., 2009); en la periferia predominan ferritcromita o magnetita. Se constatan además procesos de movilización del Cr hacia nuevas especies minerales carbonatadas (*stichtita*, $Mg_6Cr_2CO_3(OH)_{16}.4h_20$) o silicatadas (*kämmererita* o Cr-clorita, $Mg_5(Al, Cr)_2Si_3O_{10}(OH)_8$), mientras que el Mg es lixiviado hacia fases silicatadas (clorita, serpentina) y el Ti se fija en pirofanita o Mn-ilmenita, secundaria de espinelas (cromita o magnetita). Son muy escasas las inclusiones de sulfuros (pirita o maucherita) en cromita, aunque es de notar el alto contenido en Ni (hasta 1.3 %) que puede alcanzar la ferritcromita. No se han observado tampoco inclusiones de especies portadoras de MP.

La investigación de MP en el macizo de Tapo parte de indicios alentadores por la evidencia de actividad hidrotermal atestiguada por la presencia de *listvenitas* y *birbiritas*, frecuentemente ligadas a la fracturación, así como de varias cizallas internas, lo que permitiría pensar en los *tipos 2.1 y 2.2* (tabla 1). No obstante, los análisis realizados sólo muestran un ligero enriquecimiento en oro (hasta 6 ppb) y en Pt y Pd (hasta 5 ppb) en las rocas alteradas próximas a zonas de fractura; los contenidos máximos hallados en las cromititas son: 30 ppb Ir, 29 ppb Os, 4 ppb Pd, 12 ppb Pt, 4 ppb Rh, 69 ppt Ru y < 5 ppb Au, cosa que por otra parte no debe sorprender. En efecto, las ofiolitas consideradas más fértiles (Prichard, 2004; Proenza et al., 2004) son las de supra-subducción, pero los datos petrológicos y geoquímicos sugieren una filiación toleítica y un ámbito de posible dorsal (MORB) para los protolitos máficos de Tapo, lo mismo que para las ultramafitas, simultáneas y probablemente co-magmáticas (Castroviejo et al., 2009; Tassinari et al., 2010). Este criterio se aplica también para la exploración de depósitos importantes de cromita y queda reforzado por el Cr# relativamente

bajo (~ 0.5) hallado en Tapo, frente a los valores más altos (Cr# > 0.7) típicos de distritos productivos como el de Mayarí (Proenza et al. 1999 y 2004, Gervilla et al., 2005).

TIPOLOGÍA DE POTENCIALES CONCENTRACIONES METÁLICAS EN OFIOLITAS (*)			
GRUPO	**1. CONCENTRACIONES PRIMORDIALES**	**2. CONCENTRACIONES EXÓTICAS**	**3. CONCENTRACIONES SUPERGÉNICAS**
ESTADIO	Sub-oceánico (intra-litosférico o fondo oceánico), pre-obducción.	Continental (intra-cortical), sin/post-obducción.	Superficial, post-exhumación.
TIPOS	1.1.- **Magmáticas: Cr** (Ni, EGP)	2.1.- **Metamórficas: Au**	3.1.- **Zona ox./ gossan (Au)**
	1.2.- **En SMV: Cu, Au** (Zn)	2.2.- **Orogénicas: Au**	3.2.- **Lateríticas: Ni**, Co, etc.
	1.3.- *Relac. Pórfidos*	2.3.- *Relac. intrusiones*	3.3.- **Detríticas: Cr**, etc.
	1.4.- *Epitermales*	2.4.- *Epitermales*	
	1.5.- *Otras*	2.5.- *Otras*	
(*) **En negrita** los que tienen **minería activa** actualmente; en *cursiva*, potenciales *tipos auríferos* (v. texto)			

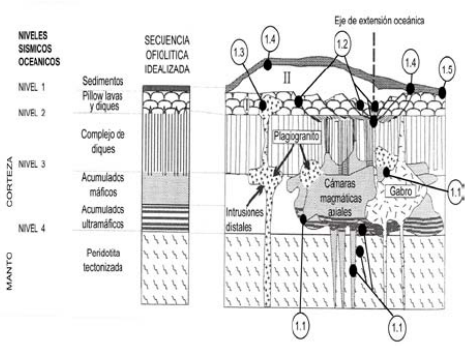

Fig. 1.- Secciones esquemáticas idealizadas de corteza oceánica según datos sísmicos (izq.) y según se observa en secuencias ofiolíticas (centro). Sección de ofiolita supra-subducción (dcha.); las lavas inferiores (I) son basaltos N-MORB o tholeiitas de arco; las lavas superiores (II) pueden contener boninitas (ante-arco) o bien picritas y series tholeiíticas fraccionadas en los tramos superiores (tras-arco). Números 1.1 a 1.5: hipotética ubicación de concentraciones primordiales Au, en correspondencia con la tipología del Cuadro 1 (modif. Galley & Koski, 1999).

CONCLUSIONES

Los indicios metálicos conocidos en las ultramafitas de la Cordillera Oriental (Depts. Junín y Huánuco) corroboran, a pesar de su escasez, la caracterización de éstas como terrenos ofiolíticos, *vbgr.* por la geometría y carácter podiforme de las cromititas y por las composiciones de la cromita. Las concentraciones de cromita, aunque se han explotado en Tapo, son modestas y no se han encontrado otros indicios viables de Ni, Co o MP, ni vestigios de sulfuros masivos. Por otra parte, la geoquímica de las rocas máficas asociadas sugiere un posible ámbito de dorsal oceánica, mientras que las grandes concentraciones de cromita suelen encontrarse en ofiolitas de supra-subducción. Prescindiendo de las modificaciones metamórficas, los valores iniciales relativamente bajos de Cr#, próximos a ~ 0.5, sugieren magmas saturados en S y pobres en EGP, relacionados con la zona de transición manto-corteza, que no son ideales como metalotectos. Finalmente, si bien se ha constatado una movilización de MP ligada a zonas de cizalla y un ligero enriquecimiento en *listvenitas* y *birbiritas*, los contenidos metálicos son escasos, así como los sulfuros. Lo mismo sucede en las cromititas.

No obstante, el grado de conocimiento que se tiene por el momento de este posible cinturón ofiolítico es todavía modesto y no puede descartarse que una investigación continuada permita descubrir otras informaciones. Al respecto, es de notar que la superficie en la que se han detectado cuerpos ultramáficos-máficos es muy pequeña todavía, en comparación con la longitud total del posible cinturón ofiolítico, y por otra parte dichos cuerpos parecen corresponder a los niveles mantélicos más someros, ignorándose por el momento la posible presencia de dunitas más profundas y prometedoras.

REFERENCIAS

Ash CH (2001) *Ophiolite related gold quartz veins in the North american cordillera*. BC Min. Energy & Mines: Geol. Surv. Branch, Bull. 108, 140 p. Victoria, BC, Canada.

Ash CH, Macdonald RWJ, Arksey RL (1991) *Towards a deposit model for ophiolite related mesothermal gold in British Columbia*. Geol. Fieldwork (BC Min. Energy & Mines), Paper 1992-1, p. 253-261, Victoria, BC, Canada.

Castroviejo R. (2004) *El Oro en ofiolitas*. In: Pereira E., et al., eds. Complejos ofiolíticos en Iberoamérica. Guías de prospección para metales preciosos. Proy. XIII.1, CYTED, Madrid, p. 25-69.

Castroviejo R., Pereira E., Rodrigues J.F., Acosta J. (2009) *Pre-andean serpentinite-chromite orebodies in the Eastern Cordillera of Central Peru, Tarma province*. Proc. 10th Biennial SGA Meeting, Townsville, Australia, p. 927-929.

Fanlo I et al. (2009) *Metamorphism of chromitites in the Tapo ultramassif massif, Eastern Cordillera, Peru*. Proc. 10th Biennial SGA Meeting, Townsville, Australia, p. 927-929.

Gervilla F et al. (2005) *Distribution of PGE and Os isotopes in chromite ores from Mari-Barcoa Olphiolitic Belt (eastern Cuba)*. Contrib Mineral Petrol, 150: 589-607.

Hannington M.D., Poulsen K. H., Thompson J.F.H., Sillitoe R.H. (1999) *Volcanogenic Gold in the Massive Sulfide Environment*. Rev. Econ. Geol., 8, pp. 325-356.

Pereira E., Castroviejo R, Ortiz F. (eds., 2004) *Complejos ofiolíticos en Iberoamérica. Guías de prospección para metales preciosos*. Proy. XIII.1, CYTED, Madrid, 381 p.

Prichard H M (2004) *Elementos del grupo del platino (EGP) en complejos ofiolíticos*. In: Pereira et al., eds. Complejos ofiolíticos en Iberoamérica. Proy. XIII.1, CYTED, Madrid, p. 71-87.

Proenza J et al. (2004) *Principales guías de exploración de metales preciosos en complejos ofiolíticos*. In: Pereira E., Castroviejo R., Ortiz F., eds. Complejos ofiolíticos en Iberoamérica. Guías de prospección para metales preciosos. Proy. XIII.1, CYTED, Madrid, p. 359-372.

Proenza J, Gervilla F, Melgarejo JC, Bodinier JL (1999) *Al- and Cr- rich chromitites from the Mayarí-Baracoa Ophiolitic Belt (eastern Cuba): consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotite in suprausbduction mantle*. Econ. Geology, 94: 547-566.

Tassinari CG et al. (2010) *Neoproterozoic ultramafic and mafic magmatism...* (this vol.).