

El Modelo IOCG y el Potencial de Exploración Cuprífera de la Cordillera de la Costa del Norte de Chile

Jorge Oyarzún M.
Universidad de La Serena (Chile)

Introducción

El ritmo y la magnitud de los esfuerzos dedicados a la exploración minera obedecen a tres factores principales. El primero, constituido por las circunstancias externas, que incluyen la oferta-demanda e inventarios del metal, precios actuales y previsibles, aspectos políticos, cambios en los incentivos legales y tributarios y, crecientemente, aspectos ambientales y de “aceptabilidad social” de la minería. El segundo se refiere a la aparición de nuevas herramientas de exploración, como las distintas formas de la prospección geofísica, la prospección geoquímica, la espectrometría infrarroja de la alteración hidrotermal, los métodos instrumentales de análisis geoquímico por multielementos y, desde luego, los avances en la tecnología y economía de los sondajes. El tercer factor, tema del presente artículo, es el surgimiento de nuevas ideas de exploración, concretadas en torno a modelos de yacimientos, que incluyen su contexto geológico, expresión geofísica, geoquímica y mineralógica, y expectativas de magnitud, leyes y asociaciones de metales valiosos presentes.

En Julio de 1975 se realizaron los sondajes de descubrimiento de Olympic Dam en el sur de Australia, el yacimiento gigante (3800 millones de t, con 1% de cobre, 0.5 g/t de oro, 400 g/t de uranio mas tierras raras, Williams y otros, 2005) que llevo a la proposición de un nuevo modelo de yacimiento, los IOCG (óxidos de hierro con cobre y oro), que ha sido foco de atracción desde entonces. El descubrimiento del yacimiento de Candelaria por Phelps Dodge a fines de los '80 en el antiguo distrito de Punta del Cobre y su posterior adscripción al modelo IOCG, mostró el potencial de la Cordillera de la Costa del Norte de Chile para albergar este tipo de yacimiento. Posteriormente, se han catalogado como IOCG otros depósitos o distritos conocidos con anterioridad, como Manto Verde y San Antonio (Sillitoe, 2003).

El número de Julio 2006 la revista de la Society of Economic Geologists SEG Newsletter, incluye una mirada retrospectiva de Douglas Haynes, uno de los participantes en el descubrimiento de Olympic Dam, sobre las ideas y estudios previos que condujeron a él. Coincidentemente, el número de Economic Geology de Marzo-Abril de este año, incluye también dos artículos que directamente aluden al mismo modelo de yacimiento. El propósito de la presente nota es analizar su relación con el potencial cuprífero y las ideas de exploración en la Cordillera de la Costa del norte de Chile, así como con la proposición de modelos genéticos para los yacimientos de ese ámbito geológico, antes y después de la irrupción del concepto de IOCG.

Los modelos metalogénicos y Olympic Dam

Como señala Haynes en su artículo, la exploración que llevó al descubrimiento de Olympic Dam tuvo su origen en un modelo metalogénico preciso, aunque su resultado condujo a un tipo de depósito no previsto y a la proposición de un nuevo tipo de modelo. En general, los modelos para depósitos hidrotermales incluyen una fuente de la mineralización, un sistema de transporte y precipitación de los metales, y ambientes estructurales y litológicos propicios para albergar dicha mineralización. En el caso de los yacimientos vinculados a magmas, se reconoce que el ambiente extrusivo (lavas) no es propicio para formar concentraciones metalíferas, porque los metales tienden a dispersarse y el azufre y otros volátiles a salir del sistema. Sin embargo, bajo la influencia de un proceso removilizador de metales, por ejemplo por efecto de un cuerpo intrusivo, contemporáneo o más joven, esas lavas pueden entregar su contenido metálico disperso y dar lugar a una concentración económica de minerales. Si el intrusivo aporta azufre y elementos metálicos, entonces el yacimiento llevará también su signo geoquímico. De otro modo, sus características serán las de las rocas extrusivas y el yacimiento será pobre en azufre, a menos que la mineralización sea albergada por rocas ricas en azufre, por ejemplo, sedimentos reductores, que posean sulfuros de origen bacteriano anaeróbico. El primer caso se da en los yacimientos de cobre pobres en azufre albergados en basaltos proterozoicos de Michigan (USA). También, en parte, en los basaltos y andesitas jurásicas del yacimiento de Buena Esperanza, Tocopilla, conforme al modelo propuesto por Jeri Losert en 1973. La idea de base en la exploración australiana combinaba la lixiviación de cobre de rocas basálticas proterozoicas con su posible concentración en sedimentos marinos reductores. Lo más notable de esta idea era la audacia que implicaba llevarla a cabo, puesto que la zona a explorar estaba cubierta por potentes estratos de edad cámbrica y neoproterozoica, vale decir, de más de 500 millones de años, posteriores a la eventual mineralización. Por consiguiente, la posibilidad de tener éxito dependía del acierto de la idea geológica y de la información que entregara la geofísica – mas la suerte eventual de los exploradores (que sí la tuvieron....). Las lavas basálticas poseen una respuesta magnética importante y mayor densidad que las rocas sedimentarias. En consecuencia, la combinación de anomalías magnéticas indicadoras de la presencia de basaltos, asociadas a zonas atenuadas debidas a aquella de los sedimentos marinos, serían las claves de la selección de sitios. Cabe señalar, sin embargo, que el modelo de yacimiento buscado ya había sido reconocido en Australia a principios de los 1970's, en cuanto a que los basaltos con alteración propilítica (albita, hematita, clorita, epidota, carbonato) actuaban como potentes fuentes de cobre – un reconocimiento análogo al ya mencionado de Jeri Losert con respecto a Buena Esperanza.

El descubrimiento de Olympic Dam fue una muy grata y notable sorpresa para la audaz exploración de la Western Mining Corporation. Muy grata, considerando la magnitud, ley y composición del yacimiento. Notable, porque lo descubierto no coincidía con lo esperado, en tanto el yacimiento se encontró en una especie de chimenea de brecha granítica y no en el ambiente sedimentario esperado.

Con Olympic Dam surge el modelo IOCG, que mas que un modelo geológico estrictamente definido, alude a la asociación de mineralización de cobre y oro con óxidos de hierro, magnetita o hematita. También a la idea de que estos yacimientos pueden ser ricos en uranio, tierras raras e itrio, un tema que analizaremos más adelante.

La Cordillera de la Costa y los IOCG

La Cordillera de la Costa del norte y centro de Chile incluye potentes series de rocas volcánicas andesíticas a basálticas de edad jurásica y cretácica. Ellas presentan intercalaciones de sedimentos marinos y continentales y están intruídas por granitoides, en parte contemporáneos y comagmáticos respecto a las rocas volcánicas. Las rocas volcánicas presentan efectos de alteración propilítica causados tanto por procesos de hundimiento tectónico como por los cuerpos intrusivos emplazados bajo ellas. Esta alteración de carácter oxidante, que incluye albita rosada debido a la hematita incorporada, ha sido efectiva en la removilización del cobre. Sin embargo, persisten discusiones respecto a su contribución al cobre presente en los yacimientos de tipo manto y a otras formas de mineralización conectadas con estos. Por otra parte, los estudios de M. Zentilli y de M.E. Cisternas sobre el material bituminoso presente en algunas secuencias volcánicas, por ejemplo en las del yacimiento de El Soldado, apuntan también a un aporte de secuencias sedimentarias reductoras al proceso de concentración del cobre.

También en el dominio de la Cordillera de la Costa se encuentra la faja ferrífera principal, cuyos yacimientos de magnetita con anfíbola y apatita “tipo Kiruna” se emplazaron en torno a los 120-110 millones de años atrás. Esto, en coincidencia casi perfecta con la edad de los principales yacimientos cupríferos tipo manto y IOCG de la misma Cordillera (El Soldado y Panulcillo, 110 Ma, Candelaria 115 Ma.). En consecuencia tenemos, por una parte, yacimientos cupríferos tipo manto asociados a una alteración hidrotermal oxidante, y depósitos ferríferos de mayor temperatura con magnetita y anfíbola. Los depósitos IOCG se sitúan a medio camino entre ambos, compartiendo tanto la mineralización cuprífera como la presencia de magnetita-anfíbola.

En el mismo número de *Economic Geology* antes citado aparece un artículo de A. de Haller y otros relativo al yacimiento cuprífero con magnetita y anfíbola de Raul-Condestable situado al sur de Lima, que había sido clasificado antes como volcánico-exhalativo o como skarn, y para el cual se propone ahora la adscripción al modelo IOCG. La edad de Raul-Condestable es 115 millones de años y los autores citados hacen resaltar la productividad del lapso 120-110 millones de años en términos de mineralizaciones en el ámbito de la Cordillera de la costa. El modelo genético propuesto para Raul-Condestable por estos autores incluye el efecto de un domo tonalítico subyacente, comagmático con las lavas andesíticas mineralizadas.

Algunas consideraciones prácticas

Tanto los yacimientos tipo manto como los IOCG tienen especiales atractivos para los exploradores que quieren ir más allá de las alteraciones hidrotermales y las anomalías geoquímicas. No solamente implican desafíos mayores, sino que también ofrecen un campo amplio en cuanto a yacimientos no aflorantes y por lo tanto aún por descubrir. Por otra parte, existen indicios observables en terreno que pueden llevar a suponer la existencia de cuerpos mayores no aflorantes, y se puede hacer un buen uso de la magnetometría y la geocronología, y de los criterios litológicos y estructurales.

Entre los primeros están, naturalmente, la presencia de mineralización de óxidos de hierro y anfíbola, unidos a aquellos de mineralización de cobre, como en el caso de Punta del Cobre. Las anomalías magnetométricas pueden ser también muy útiles, con dos reservas. La primera, que las lavas basálticas y andesíticas cretácicas poseen alto contenido primario de magnetita y, por lo tanto, generan elevadas anomalías magnéticas que no deben ser fuentes de confusión. Por el contrario, las anomalías más interesantes serían las de tamaño intermedio o menor, entendiendo que además su intensidad podría ser menor debido al posible efecto de soluciones hidrotermales ácidas sobre la magnetita.

Un tercer criterio útil es el geocronológico, en particular en lo referente al lapso 120-110 millones de años. A este respecto cabe señalar la existencia de excelentes mapas geológicos como el del área La Serena – La Higuera, elaborado por Carlos Empanan y Germán Pineda (2000), que incluye una completa información sobre la edad de los intrusivos presentes y, por lo tanto, permite focalizar el interés en fajas determinadas.

Rol de los intrusivos y otros elementos asociados a IOCGs

El hecho de que Olympic Dam se relacionara con una diatrema en rocas graníticas y diera lugar a un nuevo modelo ilustra dos aspectos de distinta naturaleza. El primero, que en exploración minera es esencial contar con ideas y que estas pueden ser productivas incluso cuando están en parte equivocadas. El segundo, que los intrusivos juegan roles importantes en este modelo de depósito. Esto último se relaciona con otro artículo aparecido en el mismo número de *Economic Geology*, referente a un tema algo distinto: la presencia de sulfuros magmáticos en rocas volcánicas e intrusivas. Al respecto, W. J. A. Stavast y otros señalan que las rocas subvolcánicas, diques y sills, de dos distritos de UTA (USA), Bingham (Cu-Au-Mo) y Tintic (Ag-Pb-Zn-Cu-Au) son ricos en sulfuros magmáticos, no así los cuerpos porfíricos mayores ni las lavas. La interpretación de los autores apunta al efecto de la intrusión porfírica en la resorción, oxidación y removilización del contenido metálico de dichos sulfuros, los que son utilizados por el intrusivo en la formación de los yacimientos mayores. A este respecto, el intrusivo hipabisal o subvolcánico posee las condiciones para retener las fases volátiles, ricas en agua azufre y halógenos que intervienen en el proceso mineralizador principal, tanto aportando como removilizando metales.

Considerando lo anterior, así como el potencial metálico (en particular cuprífero y ferrífero) presente en las lavas máficas, nos encontramos frente a dos posibilidades. En el primer caso, el intrusivo es comagmático con las rocas volcánicas, situación propuesta por A. de Haller y otros para Raul-Condestable. Por lo tanto, los elementos accesorios deberían ser propios de la serie magmática a la cual ambos pertenecen. Puesto que nuestros magmas son de tipo calco-alcalino, no deberíamos esperar encontrar contenidos altos de elementos como uranio, tierras raras o itrio, que se vinculan a magmas de la serie alcalina. En cambio, una serie de carácter toleítico como los basaltos del sur de Australia, cortados por un intrusivo alcalino de una etapa posterior, sí que puede dar lugar a la combinación metálica presente en ese yacimiento. Esto tiene relación directa con el artículo de J. F. Slack, también en el número citado de *Economic Geology*, referente al distrito Blackbird, Idaho. Este distrito de Co – Cu – Au, de edad proterozoica, había sido clasificado previamente como volcanogénico–masivo o

sedimentario-exhalativo. El autor, basado en los altos contenidos de tierras raras y de itrio del depósito, propone su inclusión en el grupo de los IOCG. Al margen de lo adecuado o no de tal proposición, consideramos que en todo caso sería erróneo marginar de ese modelo a un yacimiento que no tuviera altos contenidos de esos elementos, pero sí presentara la asociación de cobre y oro con los óxidos de hierro (hematita en superficie, magnetita en niveles más profundos).

Ideas Finales

Chile es un país donde la geología ofrece facilidades especiales a la exploración minera. Abundantes afloramientos, claros alineamientos de depósitos en fajas N-S, numerosas alteraciones hidrotermales, etc., a lo que se une la antigua y diligente labor de los pirquineros (pequeños mineros), que han llenado el norte y centro de Chile con sus “picados” (laboreos mineros de pequeña escala). La exploración de IOCG o de mantos no aflorantes supone un desafío mayor, especialmente atractivo en esta etapa de buenos precios del cobre. Desde luego, varias empresas lo han asumido desde hace algunos años, pero quedan aún muchos blancos interesantes esperando sondajes “arriesgados”, como los de la Western Mining Corporation en Roxby Downs, S. de Australia.

Referencias

- de Haller, A. y otros (2006). Geology, geochronology, and Hf and Pb isotope data of the Raul-Condestable iron oxide – copper – gold deposit, central coast of Perú. *Economic Geology* 101: 281 – 310.
- Emparán, C. y Pineda, G. (2000). Area La Serena – La Higuera, escala 1:100.000. Mapa Geológico N° 18, Sernageomin, Santiago.
- Haynes, D. (2006). The Olympic Dam ore deposit discovery – A personal view. *SEG Newsletter* N° 66: 1 y 7-15.
- Losert, J. (1973). Genesis of copper mineralizations and associated alterations in the Jurassic volcanic rocks of the Buena Esperanza mining area (Antofagasta province, northern Chile) Publicación N° 40, Departamento Geología Universidad de Chile, 64 pp.
- Sillitoe, R. H. (2003). Iron oxide – copper – gold deposits: an Andean view. *Mineralium Deposita*, 38: 787 – 812.
- Slack, J. F. (2006). High REE and Y concentration in Co – Cu – Au ores of the Blackbird District, Idaho. *Economic Geology* 101: 275 – 280.
- Stavast, W. J. A. y otros (2006). The fate of magmatic sulfides during intrusión or eruption, Bingham and Tintic districts, Utah. *Economic Geology*, 101: 329 – 345.

Williams, P. J. y otros (2005). Iron oxide copper – gold deposits: geology, space – time distribution, and possible modes of origin. *Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume (1905 – 2005)* pp 371 – 405.