



El modelo geometalúrgico *stricto sensu*

Samuel Canchaya Moya

Cía. de Minas Buenaventura S. A. A., Las Begonias 415, San Isidro, Lima, Perú

1. Introducción

En el XIV Congreso Peruano de Geología (que también fue el XIII Congreso Latinoamericano de Geología), el autor sentó las bases de lo que se debe entender como *modelo geometalúrgico* (MG); lamentablemente los especialistas, tanto nacionales como extranjeros, están concibiendo y entendiendo el MG de distintas maneras, a veces muy singulares y particulares.

La principal motivación de realizar el presente trabajo es justamente aportar criterios y argumentos para resolver la confusión que se está dando en torno a lo que realmente es un MG, el cual suele confundirse con el *modelo metalúrgico*, o con modelos geometalúrgicos determinísticos.

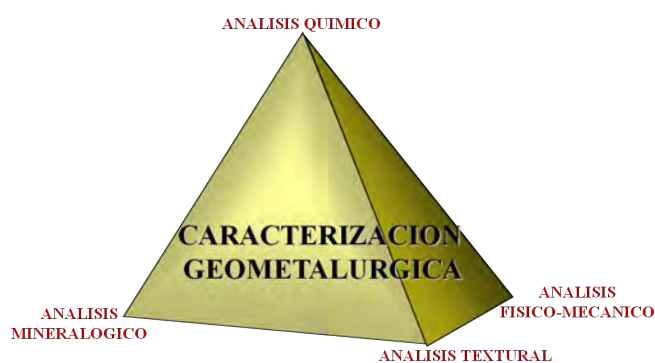


Figura 1. Aspectos que comprende la caracterización geometalúrgica (Canchaya, 2008).

2. La base conceptual o filosófica del *modelo geometalúrgico*

Tenemos que comenzar recordando que la base filosófica de la geometalurgia es el concepto de *roca total* (Canchaya, 2008), que considera a la roca como un todo:

las denominaciones de mena y ganga son circunstanciales y establecidas por el ser humano en base a sus requerimientos o necesidades generalmente coyunturales o culturales. Por lo tanto, la subdivisión entre menas y gangas puede ser un ejercicio válido, siempre y cuando no se olvide que constituyen un todo.

3. La caracterización geometalúrgica

Para poder implementar un *modelo geometalúrgico* se hace necesario primero realizar una *caracterización geometalúrgica* (CG). Nada más relacionado y comprometido con el *concepto de roca total* que dicha CG, que tiene que ser global. Por tal motivo comprende los cuatro aspectos principales siguientes (Fig. 1):

1. Caracterización química
2. Caracterización mineralógica
3. Caracterización textural
4. Caracterización físico-mecánica

Actualmente existe una amplia gama de métodos de análisis por instrumentación que permite realizar la *caracterización geometalúrgica* (CG). Sin embargo, si nos alineamos con el *concepto de roca total*, dicha CG debería ser realizada, de preferencia, empleando aquellos análisis que por naturaleza son totales o "bulk", como por ejemplo:

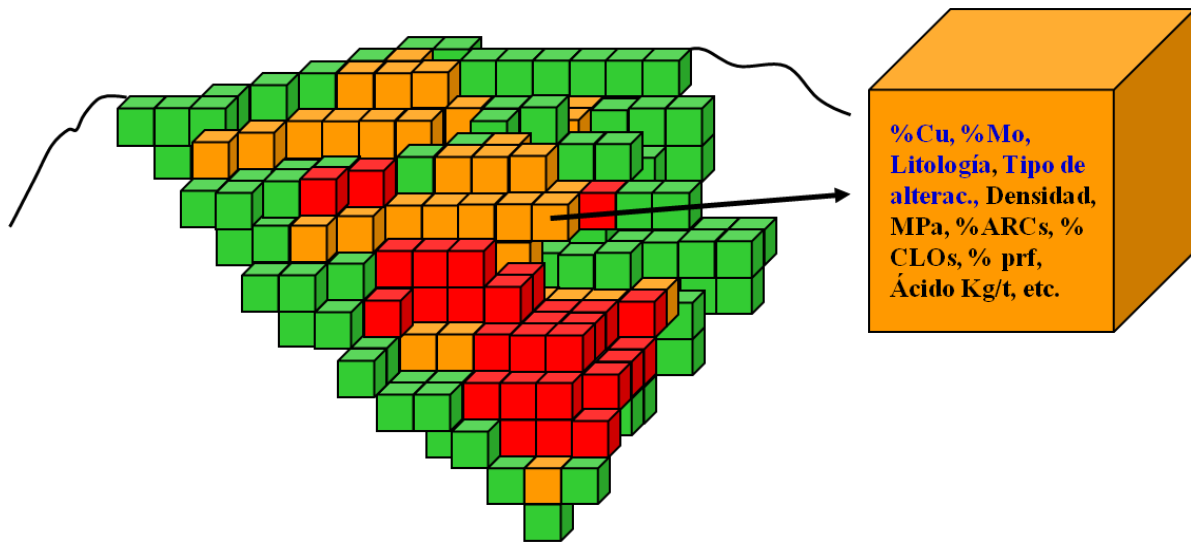
1. Análisis químico global (*whole chemistry analysis*, que antes sólo se hacía por fluorescencia de rayos-X (FRX); pero que actualmente también es posible realizarlo por espectrometría de masas con excitación de plasma por acoplamiento inductivo (ICP-MS).
2. Análisis con microscopio óptico realizado con secciones delgadas/pulidas, que son secciones montadas y

desbastadas al espesor de 30 micrones, como una sección delgada sin cubre-objeto, pero con su superficie pulida con la misma calidad que las secciones pulidas comunes. Con los microscopios universales actuales, que permiten, a un simple toque de botón, intercambiar entre luz reflejada y transmitida, es posible estudiar al mismo tiempo, como un todo (*concepto de roca total*) tanto menas como gangas, para un mejor entendimiento de los intercrecimientos entre menas y gangas. Esta información es crítica para poder optimizar su separación durante los procesos metalúrgicos.

3. Análisis mineralógico "bulk" por difracción de rayos-X (DRX), que nos entrega el porcentaje de casi todos los

minerales presentes en la muestra.

4. Caracterización químico-mineralógica, que realizan los microscopios electrónicos modernos ataviados con sistemas de barrido electrónico (*scanning electron microscopy*: SEM), con detección y análisis de la composición química de las fases expuestas al bombardeo electrónico (*energy dispersive X-ray analyzer*: EDS); actualmente han derivado en equipos más sofisticados: MLA (*mineral liberation analyzer*) y QEMSCAN (*quantitative evaluation of minerals by scanning electron microscopy*), que realizan prácticamente el servicio completo, es decir un análisis químico-mineralógico-textural.



MODELO GEOLÓGICO

Este	Norte	Cota	% Cu	Alt	Lit	Densid	MPa	%ARCs	%CLOs	% prf	Ácido Kg/t	Etc.
655600	8834567	4509	0.52	4	12	2.54	33	5.5	3.29	2.50	71.0	
655675	8835772	4484	1.23	4	12	3.02	56	2.3	2.33	3.51	72.2	
655750	8836977	4459	2.01	4	12	2.80	124	7.6	1.02	0.56	82.0	
655825	8838182	4434	0.56	4	12	2.91	156	0.6	0.98	0.87	83.5	
655900	8839387	4409	1.08	2	12	3.81	250	0.5	0.33	1.78	85.6	
655975	8840592	4384	3.45	2	12	2.69	200	2.3	0.45	2.67	83.1	
656050	8841797	4359	0.87	4	13	3.85	49	0.25	2.25	3.70	84.9	
Etc.												

MODELO GEOMETALÚRGICO

Figura 2. Ejemplo de matrices de data y modelos geológico y geometalúrgico de bloques. Modificado a partir de Canchaya (2008).

3. Modelo metalúrgico, modelo geológico, y modelo geometalúrgico

Tal como se ilustra en la Figura 2, el MG es un modelo de bloques muy similar al modelo geológico de recursos, pero con la diferencia que aparte de considerar las variables tradicionales (coordenadas, leyes, litología, y alteraciones), incluye a las denominadas "variables

críticas" (arcillas, consumidores de ácido, cianicidas, portadores de elementos penalizables, etc.) que afectan la recuperación o influyen en la economía del proceso; y que por ello deben ser determinadas por muestreo y análisis sistemáticos.

Por otro lado, el modelo metalúrgico es tan sólo la relación determinística entre variables de entrada (principalmente mineralógicas) y variables de salida (generalmente metalúrgicas).

Los pasos a seguir para la implementación de un *modelo geometalúrgico* han sido establecidos por Canchaya (2008): caracterización geometalúrgica piloto, modelado metalúrgico de variables críticas, análisis sistemáticos cuantitativos (ASC), y modelado geometalúrgico.

4. Conclusiones: Modelo geometalúrgico *stricto sensu*

En conclusión, las características fundamentales que debe reunir un verdadero *modelo geometalúrgico stricto sensu* son:

- Debe ser un modelo esencialmente *probabilístico*, no determinístico.
- En realidad es un modelo de bloques, involucrando a todas las *variables críticas*, que previamente han sido identificadas y modeladas.
- Se basa en *análisis sistemáticos cuantitativos* (ASC) o semi-cuantitativos de las variables críticas, determinadas previamente con pruebas metalúrgicas de compósitos representativos.
- Por lo tanto no se implementa a partir de especímenes, sino de *muestras*, obtenidas respetando los procedimientos basados en la moderna *teoría del muestreo* (*theory of sampling*; Gy, 1992, 1999).

Entonces los “modelos geometalúrgicos” determinísticos basados en contadas o incluso varias pruebas metalúrgicas de “compósitos”, no son modelos geometalúrgicos *stricto sensu*.

Por otro lado, algunas pruebas como el *bond work index* (BWI), *sag power index* (SPI), o similares, no van a poder ser incorporadas en una base de datos geometalúrgica, principalmente porque se basan en especímenes y no en muestras sistemáticamente obtenidas. Por lo tanto no podrán ser incorporadas a un *modelo geometalúrgico* (Canchaya, 2012; Canchaya et al., 2013).

Hasta la fecha sólo se conoce algunos casos de verdaderos *modelos geometalúrgicos*, como el realizado por Fennel et al. (2005) para una mina en producción; aunque aún ninguno de largo plazo desde el inicio de un proyecto. Sin embargo en la bibliografía se encuentra algunos intentos de aproximación, como los publicados por Baumgartner et al. (2013), Harbort et al. (2011), Burger et al. (2006), y Alruiz et al. (2009).

Referencias

- Alruiz, O.M., Morrell, S., Suazo, C.J., Naranjo, A. 2009. A novel approach to the geometallurgical modeling of the Collahuasi grinding circuit. *Minerals Engineering*, v. 22, p. 1060-1067.
- Baumgartner, R., Dusci, M., Gressier, J., Trueman, A., Britain, M., Poos, S., Mayta, P. 2013. Building a geometallurgical model for the Canahuire epithermal Au-Cu-Ag deposit, southern Peru. *Proceedings, GEOMET 2011, Brisbane*, p. 53-59.
- Burger, B., McCaffery, K., McGaffin, I., Jankovic, A., Valery, W., La Rosa, D. 2006. Batu Hijau model for throughput forecast, mining and milling optimisation and expansion studies. In: S.K. Kawatra (ed.), *Advances in Comminution*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, Colorado, p. 461-479.
- Canchaya, S. 2008. El modelo geometalúrgico. Resúmenes extendidos, XVII Congreso Peruano de Geología y XIII Congreso Latinoamericano de Geología, Lima, 6 p.
- Canchaya, S. 2012. Density and mechanical competence, main physical and mechanical variables in geometallurgical models. *Proceedings, GEOMET 2012, Santiago de Chile*, p. 24-25.
- Canchaya, S., Baumgartner, R., Gaibor, A., Trueman, A. 2013. Bulk density for resource estimation and geometallurgical purposes: Canahuire Au-Cu-Ag deposit, southern Peru. Abstract, 6th World Conference on Sampling and Blending (WCSB6), Lima, 1 p.
- Fennel, M., Guevara, J., Canchaya, S., Velarde, G., Baum, W., Gottlieb, P. 2005. Qemscan mineral analysis for ore characterization and plant support at Cerro Verde. *Proceedings, XXVII Convención Minera, Arequipa, Perú*, 11 p.
- Gy, P. (ed.). 1992. *Sampling of heterogeneous and dynamic material systems. Theories of heterogeneity, sampling, and homogenizing*. Elsevier, New York, 652 p.
- Gy, P. 1998. *Sampling for analytical purposes*. John Wiley & Sons, New York, 172 p.
- Harbort, G., Manfrino, A., Wright, J. 2011. Development of the Zafranal geometallurgical model. *Proceedings, GEOMET 2011, Brisbane*, p. 61-71.