

## GEOLOGIA Y YACIMIENTOS MINERALES

*Por Hugo G. L. Bassi*

Aunque el conocimiento y explotación de los metales al estado nativo apareció varios milenios antes de Cristo, el arte minero, es decir la manera de beneficiarlos, tomó perfiles definidos recién en la civilización griega y en la romana.

En las minas de plomo con plata de Laurium, trabajadas por Pericles 500 años A.C. para financiar sus Guerras Médicas y aún explotadas hasta hace pocas décadas, se encuentran vestigios de los primitivos trabajos donde se puede apreciar el alto grado de perfeccionamiento alcanzado.

Los romanos fueron aún más allá y en las explotaciones de galena argentífera de la isla de Cerdeña, hay trabajos de aquella época que indican una extracción selectiva del mineral rico en plata dejando en la veta la galena pobre, aunque a la observación ocular no se distingue diferencia alguna entre ambas.

No obstante, las primeras referencias sobre características geológicas se deben a Agricola, en el siglo XVI. A partir de entonces, las exigencias cada vez mayores en el arte minero y las numerosas observaciones hechas en las explotaciones contribuyeron en gran parte al nacimiento de la geología como ciencia independiente. Es decir, hubo transferencia científica a partir de la tecnología. Naturalmente que en su propio desarrollo la geología se apartó rápidamente de su fuente, debiendo su progreso al nacimiento de la mineralogía, disciplina que a su vez fue consecuencia de la química y de la cristalografía.

Sin embargo la geología no prestará servicios a la búsqueda y exploración mineral

hasta mucho más tarde, después de un largo período consagrado a la teoría.

Sólo a fines del siglo pasado se comienza a concretar una especialidad que se orienta, en principio, al origen de los yacimientos y consecuentemente a la clasificación genética: Vogt, Posepny y de Launay en Europa y más tarde Lindgren en Norteamérica.

Hasta principios de este siglo las teorías metalogénicas se derivaron de las observaciones de la geología pura o bien de minuciosas investigaciones de laboratorio sobre minerales o menas, aisladas de su manera de yacer, es decir, de su posición en el yacimiento y su relación con los demás elementos geológicos del depósito: litología, tectónica y estructura.

Pero no existía una disciplina especializada en apreciar las características geológica de la mina con el fin de extraer conclusiones aplicables a la exploración de nuevo mineral y explotación del conocido.

Tal disciplina tomó formas definidas con Mac Kinstry en la década del '40 quién, en su libro *Mining Geology*, estableció las bases y el desarrollo de esta orientación geológica.

Hoy la geología de minas tiene las desventajas de una actividad pionera. Excepto en aquellos países donde es ampliamente reconocida, como en EE.UU., Canadá, Perú y Chile, el geólogo de minas debe convencer por una parte al productor minero, en su aspecto utilitario y por otro al ambiente científico quien, precisamente por ese aspecto utilitario, la considera muy alejada de los campos de investigación.

Referente al aspecto utilitario es indispensable que se cumpla una condición insoslayable la que es: encontrar más mineral. Todo negocio minero depende de esa

Confencia pronunciada durante la entrega del Premio "Eduardo L. Holmberg" 1986-1988, el día 22 de mayo de 1991.

incógnita: las reservas de mineral. Quien las prevea con certeza y quien las aumente se transforma automáticamente en pieza clave del mecanismo minero.

Es necesario transformar esa incógnita en un factor conocido: ¿no hay reservas?, ¿hay reservas?, cuánto y donde. Favorable o desfavorable la exactitud de tal factor es fundamental.

El problema está en manos del geólogo como geólogo de minas. Y aquí entra el aspecto científico puro. A semejanza del médico deberá diagnosticar y luego indicar la terapéutica correspondiente, es decir, la exploración. Y como aquél, el éxito dependerá de la exactitud de su diagnóstico.

El diagnóstico es consecuencia de una buena auscultación, la que a su vez depende de la metodología a utilizar y del "background" geológico del investigador. Este debe dominar el campo de la geología pura y además conocer a profundidad los procesos metasomáticos que modifican las rocas originales y los diferentes mecanismos que dan lugar a la formación de un yacimiento.

Decía Harrison Schmitt en 1936, la mayor parte de los recientes descubrimientos de minerales son el resultado de minuciosos estudios de condiciones litológicas y estructurales y éstos tenían como base planos geológicos detallados a gran escala.

Todos los yacimientos son diferentes entre sí por lo que cada uno exige un tratamiento especial. Esto implica tediosos mapeos de superficie a escalas grandes, por ejemplo en los que un centímetro representa 10 m en el terreno. Todo ubicado correctamente en el espacio, por lo que es necesario apoyo topográfico de alta calidad. También mapeos de las galerías subterráneas, aún con mayor detalle.

Un estudio geológico es conocimiento de estructura y litología. No se concibe una separada de la otra por lo que el mapeo es el registro simultáneo de ambas características. Sin olvidar además que un yacimiento mineral es una enfermedad de la corteza terrestre. La corteza normal no contiene yacimientos.

Los yacimientos en veta son los clásicos depósitos minerales explotados durante la historia de la humanidad. Hoy, para ser

rentables, deben contener una cantidad alta de metal, del orden de 80 a 100 dólares por tonelada de mena. Su búsqueda científica es siempre difícil ya que sus espesores oscilan en 1 ó 2 m y rara vez están acompañados por decoloraciones llamativas de las rocas circundantes.

Los tiempos actuales provocó una nueva era para la minería. La evolución industrial en la extracción y transporte de grandes tonelajes y los modernos procedimientos de concentración han hecho que menas con muy baja ley y con enorme volumen puedan ser explotadas con beneficio. Así hoy es económicamente explotable yacimientos con un contenido metal de sólo 10 a 15 dólares por tonelada, en marcado contraste con los tradicionales vetiformes.

Estos nuevos yacimientos, del tipo de mineral diseminado, han abierto un nuevo e importante camino en la producción minera. Sus magnitudes son marcadamente mayores a los clásicos vetiformes, cubren hectáreas de superficie y alcanzan profundidades del orden de centenas de metros, lo cual proporciona millones de toneladas. El yacimiento es prácticamente una roca, con mineral diseminado en su interior, con alteración a menudo total; volviendo a nuestra analogía: totalmente enferma. Sus colores son generalmente claros, resaltando sobre los tonos oscuros del ambiente volcánico, donde casi siempre se encuentran estos depósitos. Yacimientos de este tipo se conocen desde hace unas décadas en La Argentina, tales como La Alumbra en Catamarca y El Pachón en San Juan. En Chile son frecuentes y algunos, como Chuquicamata, se explotan desde principios de siglo. Chuquicamata es un enorme yacimiento. En un cerro que antes de la explotación era una elevación de 500 m de altura hoy se encuentra una enorme fosa, hecha por el hombre, cuyo piso está 500 m por debajo del nivel de la llanura, tiene 2 km de longitud y 1 km de ancho. Se extraen diariamente 200.000 ts de mena, lo que representa el equivalente de un tren completo que tuviere 50 km de longitud.

Este tipo de yacimiento permite ser identificado desde gran altura pudiendo ser registrado tanto por las fotografías aéreas comunes como por las imágenes satelitarias.

Por lo que la prospección geológica de esos depósitos es marcadamente más sencilla que la de los modestos yacimientos vetiformes.

No obstante llegado el momento de evaluarlos tanto uno como otro exigen detallados estudios geológicos.

El rol de la geología es "ver" a través de la masa rocosa. La función del geólogo de minas es transparentar el bloque de roca que contiene el yacimiento, tratando de ubicar en el espacio los factores concurrentes que conforman el depósito. Es decir, marcar en el espacio, debajo de la superficie aflorante, los puntos en donde se podría repetir la acumulación mineral conocida. Algo así como predecir la existencia de otros núcleos de mineral, desconocidos por el operador y que constituyan objetivos de exploración.

Evidentemente que el geólogo no puede ver a través de la roca. Pero sí puede hacerlo basándose en un mapeo acucioso de la superficie en el que reconozca correctamente las unidades litológicas y aquilate sus posibilidades de proyectarse a profundidad, tanto por su competencia como roca como por el ambiente estructural y tectónico que las controla, sin olvidar la influencia de las alteraciones hidrotermales.

Un mapeo de este tipo y a escala-mina demanda proporcionalmente un tiempo bastante mayor que el tradicional utilizado en geología regional o de distrito. El estudio geológico de una mina mediana con un kilómetro de longitud de veta y una superficie a reconocer de 1 km<sup>2</sup> puede requerir de 3 a 5 meses de trabajo de campo, sin contar con el que demande el laboreo subterráneo y otro tanto de tiempo para la síntesis y reconstrucciones en gabinete.

En un yacimiento de mineral diseminado esos tiempos son aún mayores. A menudo esos tiempos no son aquilatados por los explotadores mineros quienes, aún en Chile y en la década del '60, estaban habituados a las visitas geológicas de unos pocos días e incluso a diagnósticos inmediatos.

A ese respecto recuerdo la exigencia del Superintendente de la mina El Soldado de Chile Central cuando, al segundo día de mi estadía en el yacimiento, convocó a una reunión de ingenieros de producción en una

galería abandonada de la mina donde el Departamento de Explotación sospechaba la existencia de mineral no descubierto. Hasta esa fecha, el yacimiento explotado desde hacía cuatro décadas, era considerado como una serie de columnas verticales distribuidas al azar y sólo identificables desde la superficie. Yo asistía atento a las diferentes opiniones. En un momento dado el Superintendente requirió mi opinión como experto. Mi respuesta fue: que mal podía sugerirle sobre las posibilidades de nuevo mineral si ni siquiera sabía cuál era la dirección del norte en esa oscura galería subterránea. El creía, a pesar de su vasta experiencia como explotador, que el geólogo podía "ver" a través de la roca.

Quedé en el yacimiento dos años continuos no haciendo otra cosa en ese lapso de tiempo que mapeos, reconstrucciones geológicas, síntesis y finalmente el programa de exploración.

En esa mina, en franco retroceso por el agotamiento de sus reservas y programado ya su cierre, una vez ejecutadas las primeras etapas de la exploración proyectada en base al conocimiento geológico, el éxito logrado permitió imprimirle un nuevo impulso y en los dos años subsiguientes se sextuplicó su producción diaria llegando al ritmo de 3.500 t/día. Hoy, después de 20 años, un nuevo e intenso programa de exploración siguiendo las mismas pautas y apoyado en 120.000 metros de sondeos proyectó a la mina a 12.000 ts/d.

Durante ese estudio identifiqué por primera vez los lineamientos corticales minerogenéticos como control en la distribución de la mineralización, independientemente de rumbo de vetas o de tectónica visible. La intersección de tales lineamientos, determinados teóricamente en base a frecuencia de diaclasas mineralizadas, con rocas favorables (control litológico) produjeron el descubrimiento de las nuevas columnas, todas no aflorantes y que constituyeron la vida actual de la mina.

Este mecanismo, pero extrapolado a una escala semiregional, me permitió explorar un territorio de 2.000 km<sup>2</sup>, rodeando a la mina, con éxito tal que un 70% de las áreas mineralizadas previstas teóricamente fueron encontradas en la realidad.

El mismo principio me llevó en la década del '80 a la concepción de las mallas regmagénicas mediante las cuales se hipotetiza la posibilidad de pronosticar la mayor parte de los eventos geológicos de la corteza y especialmente la distribución de los yacimientos hidrotermales destacados en el Cono Sur Sudamericano.

Antes de terminar quiero evocar a quienes marcaron la partida del camino de mi orientación geológico-minera.

El Ing. Victorio Angelelli; fue un precursor y él mismo una institución. Se le debe a él el inventario general de los yacimientos argentinos, publicado por primera vez en 1950 y que aún constituye el libro de consulta obligado para quienes se interesen en nuestra minería. Es de destacar que en otros países, aún en los más mineros, no cuentan con un trabajo semejante. Tuve el privilegio de comenzar mi vida profesional en la Sección Estudios Mineros de la Dirección Nacional de Minería, Geología e Hidrología, teniendo como Jefe al Ing. Angelelli. El me enseñó a observar y a reconocer con técnica especial, aprendida en Alemania, un gran número de minerales metalíferos. Lamentablemente al poco tiempo abandonó nuestra Sección para asumir una Jefatura similar en Fabricaciones Militares.

Era la década del 40' y nuestro grupo de geólogos buscaba con ansias su derrotero. Diferente era el destino de los geólogos noveles volcados a la geología regional los que, bajo la Jefatura del Dr. Lambert, disponían de una vía clara a seguir.

La geología de minas ya imperaba desde la década anterior con perfiles definidos en Norteamérica pero, qué difícil hubiese sido para nuestros integrantes de la Sección Estudios Mineros, situados en el otro extremo del continente, enrolarnos en esa orientación!

Afortunadamente en 1947 fue nombrado Jefe de la Sección el Dr. Walter Stoll, un norteamericano doctor en geología e ingeniero de minas. Stoll fue el maestro con mayúscula. El nos inculcó la necesidad del mapeo y nos entrenó en él. Además nos dió el concepto económico de la problemática minera: leyes medias, reservas, rentabilidad. A su escuela se debieron los casi 300 estudios geológico-mineros de detalle que la Dirección Nacional produjo en la década del

'50. Allí se formaron los que más tarde serían profesores de la especialidad: el Dr. Fernández Lima en Buenos Aires y el Dr. Oliveri en San Juan. Yo tuve la suerte de hacerlo en la hermana República de Chile donde, además se me dió la oportunidad de producir los estudios geológicos de minas más importantes de mi carrera.

En Chile la geología de minas creció y se desarrolló, constituyendo sus geólogos un grupo de resonancia continental, extendiendo sus consultas a otros países de Sudamérica.

En la Argentina esta disciplina, creada con tanto esfuerzo, se está peligrosamente diluyendo, no siendo fácil encontrar hoy algún geólogo local en actividad suficientemente entrenado en mapeos geológicos de detalle.

Por tal motivo agradezco doblemente el reconocimiento de La Academia, quién, al otorgarme este premio afianza por resonancia a la orientación de geología de minas, previendo para ella un futuro promisorio.

Por último quiero evocar a quien me dió el concepto de la transferencia tecnológica: mi padre. Mi padre era un artista, formado en la italiana Universidad de Urbino. Los avatares de la vida hicieron que desde muy joven abandonara el arte para incursionar en la industria. Allí aprendió a evaluar los resultados económicos. De manera que, cuando le conversaba sobre mis primeros trabajos y el aspecto científico del estudio geológico, su comentario era casi invariable: pero... ¿hay mineral explotable o no?. Esa frase me acompañó siempre y siempre despertó en mí una realidad: investigación científica sí, fundamental para desentrañar los mecanismos geológicos, pero con un punto de mira permanente: transferencia tecnológica a la producción. La que, por otra parte, financia a la Ciencia.

Este es un tema que debiéramos meditar profundamente en un país en que, como el nuestro, no abundan los recursos económicos.

Dedico este premio al Ing. Angelelli y a las memorias del Dr. Stoll, de mi padre y de mi esposa quién, como compañera de geólogo participó de todos los sinsabores del carro itinerante que marca el destino de los trotamundos, siempre en sus esfumados segundos planos, pero constituyéndose también en un pilar real de la Ciencia.