

EPOCAS METALOGENETICAS (1)

MANUEL ALVAREZ, JR. (2)

En la actualidad generalmente se considera que la mayor parte de los depósitos metalíferos y muchos depósitos no metálicos son el resultado de la actividad ígnea. Algunos depósitos se originan poco después de la consolidación de los magmas; en tanto que otros, prematuros al principio, se forman durante uno o más períodos de crecimiento por diversos procesos que dan subsecuentemente depósitos completamente desarrollados.

Se ha mostrado que un magma tiende a separarse en: 1) sulfuros líquidos inmiscibles que se asientan y forman depósitos de sulfuros magmáticos; 2) cristales de silicatos y óxidos que forman rocas ígneas o depósitos minerales; 3) emanaciones gaseosas que escapan, y 4) líquidos residuales. Estos dos últimos son de particular interés para la geología económica, pues son los colectores y los transportadores de la mayor parte de los constituyentes de los depósitos minerales. Por sí mismos o mezclados con las aguas meteóricas, constituyen las soluciones mineralizantes o soluciones hidrotermales a las cuales deben su formación la mayor parte de los depósitos minerales metálicos.

La evidencia de esta relación entre las magmas y los depósitos minerales consiste en la presencia de rocas ígneas que en sí mismas constituyen depósitos minerales; en las relaciones de rocas ígneas específicas con los metales; en los depósitos de volcanes, fumarolas y manantiales termales; en la zonificación de minerales alrededor de centros ígneos y en el carácter de las soluciones mineralizantes evidenciado por los minerales depositados.

Parecen pues bien establecidas las relaciones genéticas que guardan los depósitos minerales con las rocas ígneas. Ahora el siguiente paso es establecer las relaciones que guarda el magmatismo con el tectonismo.

El autor presentó en la II Convención de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros un trabajo con el título de "Tectónica Profunda de Mé-

(1) Original recibido en enero de 1960.

(2) Vocal Geólogo: Instituto Nacional de la Investigación Científica.

xico", en el que se expuso un mecanismo que controla los ciclos magmático y tectónico y una cronología de la tectónica de México incluyendo los fenómenos magmáticos.

Esta cronología se basó a su vez en un trabajo anterior del suscrito sobre la tectónica de México, en el cual estableció que la orogenia mexicana tuvo lugar durante el Paleoceno y Eoceno, si bien se inició al finalizar el Cretácico en la parte norte del geosinclinal Mexicano.

Como en el segundo trabajo se mostró que las intrusiones batolíticas acompañan a las orogénias, puede considerarse que la intrusión del batolito del gran geoanticlinal occidental, tuvo lugar durante el Eoceno.

Establecida la cronología de los ciclos tectónicos y magmáticos en México, es necesario precisar aún más la conexión entre los ciclos magmáticos y los procesos metalogénéticos; para lo cual es pertinente recordar el esquema de Fersman de las cuatro etapas sucesivas de cristalización, las cuales están gobernadas por descensos de temperatura, a saber:

1. Etapa magmática, en la cual se mantiene un equilibrio entre la fase líquida y la cristalina.
2. Etapa pegmatítica (entre los 800° y los 600° C. aproximadamente) durante mucha parte de la cual coexisten las fases cristalinas, líquida y gaseosa.
3. Etapa neumatolítica (de los 600° a los 400° C., o sea el intervalo de temperatura entre el punto de inversión del cuarzo y la temperatura crítica de las soluciones acuosas), caracterizada por el equilibrio entre cristales y gas.
4. Etapa hidrotermal (de los 400° a los 100° C.) en la cual se mantiene el equilibrio entre cristales, solución acuosa y gas acuoso.

Durante la cristalización de la masa ígnea, una onda de fluidos acuosos, de composición cambiante, puede ser expelida continuamente de la intrusión y dar lugar a las soluciones hidrotermales mineralizantes; en tanto que los gases de la etapa neumatolítica producirán yacimientos minerales de contacto al depositar los elementos y compuestos metálicos que llevarán en su seno.

Ahora bien, la etapa magmática de cristalización tiene que corresponder a la fase orogénica en la cual se intrusiónó el batolito; y la etapa pegmatítica debe corresponder al final de dicha fase, ya que actualmente se considera que las pegmatitas son prácticamente contemporáneas a las masas graníticas que las contienen.

Lógicamente también, las fases neumatolítica e hidrotermal corresponderán a la fase casi-cratónica correspondiente a la fase de vulcanismo síalico subsecuente, fase en la cual hay aun cierta movilidad de la corteza

y durante la cual se producen en ella las grandes fracturas, lo cual indudablemente facilitó el ascenso de las soluciones mineralizantes.

El siguiente cuadro muestra cómo se acoplan estas etapas de cristalización a los ciclos tectónico y magmático:

<i>Edad</i>	<i>Ciclo tectónico</i>	<i>Ciclo magmático</i>	<i>Ciclo de cristalización</i>
Jurásico Sup. y Cretácico	1) Fase geosinclinal	1) Magmatismo simático inicial	
Paleoceno y Eoceno	2) Fase orogénica	2) Plutonismo síalico sinorogénico	1) Etapa magmática 2) Etapa pegmatítica
Oligoceno y Mioceno	3) Fase casi-cratónica	3) Vulcanismo síalico subsecuente	3) Etapa neumatolítica 4) Etapa hidrotermal
Plioceno y Pleistoceno	4) Fase cratónica	4) Vulcanismo simático final	

Este cuadro indica que las épocas metalogenéticas correspondientes a la Orogenia Mexicana (Laramide) se encuentran entre la cima del Eoceno y la base del Plioceno, pues los yacimientos de segregación magmática se presentarán a continuación de las pegmatitas, o sea al principio del Oligoceno, los de contacto durante el Oligoceno y los hidrotermales hacia el contacto Oligoceno-Mioceno y hacia el contacto Mioceno-Plioceno o sea que estos últimos serán ya post-andesitas pre-riolitas, o bien post-riolitas pre-basaltos.

Si ahora se considera que el gran batolito del geoclinical occidental, cuya principal expresión topográfica es la Sierra Madre Occidental, está constituido fundamentalmente por cuarzo diorita, granodiorita y cuarzo monzonita, es lógico que los principales yacimientos a él asociados sean de oro, plata, cobre, zinc y plomo, así como magnetita, hematita, tungsteno, estaño, molibdeno, antimonio, cinabrio y fluorita, ya que son justamente estos minerales los que se encuentran asociados con este tipo de rocas en el occidente de los Estados Unidos, y de los cuales los de México son una prolongación.

Finalmente, puede esperarse que estos minerales se encuentren dispuestos en zonas cada vez más alejadas del batolito en el siguiente orden: estaño, tungsteno, arsénico, cobre, zinc, plomo, plata, antimonio y mercurio, aunque habrá casos en que varios de estos minerales ocurran juntos o de que se altere este orden, debido a que las zonas se encuentren telescopiadas.

Respecto a las épocas metalogenéticas relacionadas con el batolito de la Sierra Madre del Sur y el de Baja California, éstas serían de una

edad de fines del Cretácico Medio, en tanto que las relacionadas con el levantamiento de Oaxaca (*) y la Sierra Cristalina de Chiapas, probablemente tuvieron lugar durante el Devónico.

Este panorama de las épocas metalogenéticas de México es desde luego muy general, pues sólo toma en cuenta aquellos yacimientos directamente relacionados con los grandes batolitos, y no con aquellas intrusiones aisladas y alejadas de los batolitos, ni aquellos relacionados con condiciones especiales de metamorfismo, etc.

Como una comprobación preliminar de la teoría expuesta se estudiaron 32 informes sobre otros tantos yacimientos o grupos de yacimientos y se llegó a la conclusión de que ó pueden ser asignados al Cretácico Medio, 5 al Terciario en general, 2 al Oligoceno, 3 al Terciario Superior en general, 3 al contacto Oligoceno-Mioceno, 11 al contacto Mioceno-Plioceno y 2 al contacto Plioceno Inferior-Plioceno Medio; pero es muy posible que los asignados al Terciario en general de hecho deban serlo al Oligoceno, los asignados al Terciario Superior en general, deban serlo al contacto Oligoceno-Mioceno y los asignados al contacto Plioceno Inferior-Plioceno Medio deban serlo al contacto Mioceno-Plioceno en cuyo caso se obtendrán los siguientes porcentajes: 19% asignados al Cretácico Medio, 22% al Oligoceno, 19% al contacto Oligoceno-Mioceno y 40% al contacto Mioceno-Plioceno.

Ahora bien, si sólo se toman en cuenta los relacionados con la Orogenia Mexicana se obtendrán los siguientes porcentajes: 27% asignables al Oligoceno, 23% asignables al contacto Oligoceno-Mioceno y 50% asignables al contacto Mioceno-Plioceno.

Estos resultados parecen estar de acuerdo con la teoría expuesta, aunque desde luego se reconoce que el número de informes estudiados es muy reducido; pero como no se escogieron para este fin sino sólo porque se les podía asignar una edad más o menos definida y se tomaron de los informes del Instituto Nacional para la Investigación de los Recursos Minerales y del librito guía para las excursiones A-2 y A-5, del Congreso Geológico Internacional sobre la geología a lo largo de la Carretera Panamericana entre Cd. Juárez, Chih., y México, D. F., se considera que es un grupo representativo de los yacimientos de México.

Una de las razones por las que se abordó el problema en una forma especulativa es que en gran parte de los informes de geología minera no sólo no señalan la edad de las formaciones en que arman los yaci-

(*) Recientes medidas de la edad absoluta de las pegmatitas del levantamiento de Oaxaca indican que ésta es precámbrica; por lo tanto, si algunos yacimientos están relacionados con este levantamiento éstos serán precámbricos.

mientos, sino que no siempre señalan siquiera la secuencia y en algunos casos ni aun la roca que los contiene y si está restringida a ella.



BIBLIOGRAFIA

- Lindgren, Waldemar, *Mineral Deposits*, 1933.
 A.I.M.M.E., *Ore Deposits of the Western States*, 1933.
 Bateman, Alan M., *Economic Mineral Deposits*, 1946.
 Rankama, Kalervo y Sahama, Th. G., *Geochemistry*, 1950.
 Turner, Francis J. y Verhoogen, Jean, *Igneous and Metamorphic Petrology*, 1951.
 Economic Geology, *Fiftieth Anniversary Volume*, 1955.
 Alvarez Jr., Manuel, *Tectónica Profunda de México*, Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., Vol. X, pp. 163-182, 1958.
- C.D.I.R.M., *Yacimientos de Scheelita en la parte Norte de la Sierra de Juárez, Distrito Norte de la Baja California*, Boletín N° 2.
 " *Los Criaderos de Uranio y Oro en Placer de Guadalupe y Puerto del Aire, Edo. de Chihuahua*, Boletín N° 5.
 " *Los Yacimientos Mercurio-Antimoniales de Huitzucu, Edo. de Guerrero*, Boletín N° 6.
 " *La Industria Minera en el Estado de Chihuahua*, Boletín N° 7.
 " *Los Yacimientos de Estaño de la República Mexicana*, Boletín N° 8.
 " *Los Yacimientos Argentíferos de Batopilas, Edo. de Chihuahua*, Boletín N° 11.
 " *Los Yacimientos Argentíferos de Temascaltepec, México*, Boletín N° 12.
 " *La Geología de la Región Mercurial de El Cuarenta, Municipio de San Bernardo, Edo. de Durango*, Boletín N° 13.
 " *Los Yacimientos de Antimonio de San José, Sierra de Catorce, Edo. de San Luis Potosí*, Boletín N° 14.
 " *Los Yacimientos de Antimonio de la Región de los Tejocotes, Municipio de San Juan Miatepec, Edo. de Oaxaca*, Boletín N° 15.
 " *Los Placeres de Estaño de la Región de Guadalcázar, Edo. de San Luis Potosí*, Boletín N° 17.
 " *Los Yacimientos de Manganeso de Talamantes, Municipio de Allende, Edo. de Chihuahua*, Boletín N° 18.
 " *Los Yacimientos de Manganeso de la República Mexicana*, Boletín N° 19.

- I.N.I.R.M., *Estudio Geológico del Distrito Minero de Guanajuato, Gto.*, Boletín N° 22.
- „ *Los Yacimientos Antimoniales de la Región de El Antimonio, Edo. de Sonora*, Boletín N° 23.
- „ *Los Criaderos Minerales de "El Bote", Zacatecas, Zac.*, Boletín N° 24.
- „ *Geología y Yacimientos Minerales de la Región Manganésifera de Lucifer, al Noroeste de Santa Rosalia, Baja California*, Boletín N° 25.
- „ *Geología del Distrito Mercurial de Huahuastla, Edo. de Guerrero*, Boletín N° 27.
- „ *Geología y Mineralización de la Mina San Antonio, Distrito Minero de Santa Eulalia, Edo. de Chihuahua*, Boletín N° 28.
- „ *Mineralización Plumbo-Cuprífera Relacionada con Intrusiones Igneas en Conglomerados Terciarios Continentales del Edo. de Durango*, Boletín N° 31.
- „ *Los Yacimientos de Estaño en el Estado de Durango*, Boletín N° 36.
- „ *Geología de los Yacimientos Mercuriales de Canoas, Edo. de Zacatecas*, Boletín N° 39.
- „ *Geología y Yacimientos Minerales del Distrito Minero de Zimapán, Hgo.*, Boletín N° 40.
- „ *Geología y Depósitos Minerales del Distrito Cuprífero del Boleo, Baja California, México*, Boletín N° 41.
- „ *Los Yacimientos Ferríferos de Las Truchas, Mich., y Plutón, Gro.*, 1957.
- Líbreto Guía de las Excursiones A-2 y A-5 de la XX Sesión del Congreso Geológico Internacional, 1956.