

COLABORACION ESTUDIANTIL

Origen y clasificación de los depósitos minerales

Por OCTAVIO BETANCOURT

IV. ALTERACIONES DE LOS DEPOSITOS MINERALES

Después de formado un depósito mineral pueden sobrevenir causas especiales que alteren sustancial o parcialmente su estructura física o química. Cabe distinguir, como lo anoté anteriormente, dos clases de transformaciones, a saber: deformaciones por causas mecánicas y alteraciones por fenómenos químicos. Ambos procesos dan lugar a la formación de depósitos secundarios, pero quizá el de mayor importancia es el de índole química.

Deformaciones mecánicas.—El carácter de estos cambios está esencialmente ligado a la profundidad del yacimiento. Se pueden distinguir tres zonas en la corteza terrestre en relación con los fenómenos dinámicos: una zona superficial en donde las rocas sometidas a presiones se quiebran en fragmentos más o menos grandes; otra zona profunda en donde las rocas fluyen y llenan todos los espacios vacíos, debido a las grandes presiones existentes allí; por fin, queda una zona intermedia en donde las rocas son quebradas en parte, y en parte compactadas sin rupturas. La resistencia de las rocas es sin embargo variable, y por lo tanto, se podrá observar en profundidades bastante grandes, cuarcitas y rocas ígneas que mantienen abiertas las grietas debido a su gran resistencia, en tanto que a profundidades moderadas las arcillas y los shales fluyen fácilmente. Se puede decir que la zona intermedia en la cual las rocas se quiebran y fluyen a la vez es la de mayor extensión y la más interesante para el estudio en cuestión, aunque en la zona alta ocurren la mayor parte de las dislocaciones, y en la zona baja la mayoría de los plegamientos perfectos.

Un depósito mineral puede sufrir todos los cambios dinámicos propios de los estratos sedimentarios. En tal virtud, los filones se dislocan, se pliegan y se fracturan en todas las formas en que lo hacen los estratos. El fenómeno más importante en las transformaciones dinámicas que pueden ocurrir en un depósito mineral es el llamado metamorfismo dinámico.

Metamorfismo dinámico.—Cuando una roca está sometida a presiones suficientemente grandes se deforma o se quiebra según el caso, y sobrevienen entonces cambios sustanciales en su estructura o composición. Los minerales frágiles como cuarzo o feldespatos son amasados, cementados y recrystalizados, dando lugar al desarrollo de micas, cloritas y ambiboles. Por otra parte, los minerales fibrosos son orientados según una dirección normal a la más altas presiones, ocasionando una estructura esquistosa o pizarrosa. Bajo condiciones excepcionales pueden desarrollarse granates, estauroлита, andalusita, otrelita y otros silicatos pesados. Investigaciones cuidadosas prueban que en rocas sedimentarias aluminosas existe poca ganancia de minerales durante el metamorfismo, y en cambio, hay pérdida de los minerales más solubles como el carbonato de calcio.

Los fenómenos que tienen lugar durante el metamorfismo dinámico son principalmente disolución, representación, deshidratación, deoxidación, compactación y cementación. Estos fenómenos traen como consecuencia la formación de minerales complejos de peso específico alto que ocupan menos espacio que los minerales simples; en ocasiones hay pérdidas, pero probablemente en ningún caso adición de materia mineral.

Los depósitos metamorfoseados por presión contienen, por lo general, una gran variedad de minerales, de los cuales unos han sido formados durante la génesis del yacimiento, pero otros se han desarrollado en el metamorfismo. Los más comúnmente encontrados son granate, clorita, epidota, zoicita, mica y anfíboles. Los sulfuros quizá son poco alterados, aunque se ha creído que la pirrotita es esencial en esta clase de depósitos. Por deshidratación y reducción se pueden formar hematita y magnetita.

Alteración superficial.—Los minerales, en mayor o menor grado, son atacados por los agentes atmosféricos. Los más afectados por estas influencias son los compuestos metálicos. De tal suerte que un depósito mineral expuesto al aire y al agua, sufre transformaciones radicales de índole química, y en menor escala de índole física.

Debido a la alteración superficial, un depósito de bajo tenor puede llegar a alcanzar un valor económico que haga factible su explotación. El enriquecimiento de los yacimientos se explica por la remoción de los materiales sin valor y la consiguiente concentración de los minerales útiles que se trata de extraer, o de un modo inverso, por la disolución de estos minerales y su concentración en otro lugar. Muchos metales son fácilmente disueltos en aguas cargadas

de oxígeno y precipitados en profundidades mayores por la acción de diversos reactivos químicos. Este es el proceso general que da origen a la mayoría de los depósitos secundarios.

El carácter de la alteración depende de un sinnúmero de circunstancias locales, entre las cuales es decisiva la resistencia relativa de los minerales y la roca encajante. Así, por ejemplo, en filones en donde predomina el cuarzo o minerales resistentes como los granates, la descomposición se verifica más fácilmente en la roca que en el filón mismo, por lo cual la mayoría de estos depósitos permanecen en su estado primario; los depósitos ricos en piritas son excepcionalmente adecuados a la formación de yacimientos secundarios, entre los cuales se cita como de importancia el llamado **sombrero de hierro**, que consiste en una masa dura y porosa de limonita formada por la descomposición de los sulfuros de hierro.

La oxidación se extiende por regla general hasta el nivel hidrostático de las aguas subterráneas, pero es un fenómeno que está afectado por muchas causas, tales como condiciones topográficas, cantidad de lluvias, naturaleza del terreno, clase de minerales, clima, etc. En el proceso de oxidación se realizan los cambios más trascendentales de la transformación mineral, pero por supuesto, no todos los minerales son igualmente oxidables, siendo a este respecto de suma importancia los sulfuros. La oxidación de la piritita, por ejemplo, da ácido sulfúrico, el cual es sumamente activo en la formación de sulfatos de hierro, de los cuales el férrico es un importante agente de oxidación.

Entre los minerales que se encuentran en la zona de oxidación merecen ser citados los hidróxidos de hierro, los óxidos de manganeso, hematita, oro libre, cloruro de plata, carbonato y sulfato de plomo, diversos silicatos y los productos oxidados de cobre y zinc. Se puede dividir la zona de oxidación en tres partes, características por las diferentes reacciones que tienen lugar en cada una de ellas. En la primera, la oxidación es completa, y los minerales encontrados son: limonita, hematita, sílice residual, y a veces oro libre, cloruro de plata y los productos oxidados de plomo, zinc y cobre. La segunda, un poco más profunda, está casi exenta de compuestos metálicos, aunque en ocasiones oro y plata pueden extenderse hasta ella. La tercera puede contener, en parte, minerales oxidados, y comprende metales nativos, óxidos, carbonatos y silicatos traídos de las partes altas.

Enriquecimiento secundario.—La zona de oxidación es princi-

palmente una zona de disolución, aunque también ocurren en ella algunas precipitaciones como las de óxidos e hidróxidos de hierro, manganeso y aluminio. El enriquecimiento principal tiene lugar en otra zona que se encuentra debajo de la de oxidación y que se denomina **zona secundaria**.

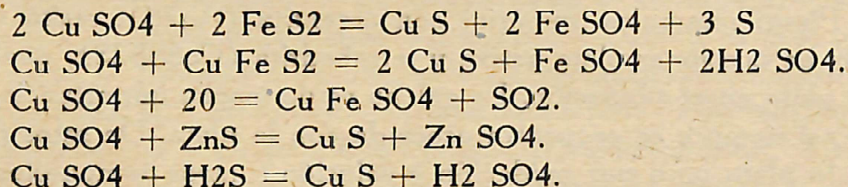
El proceso general de enriquecimiento consiste en la precipitación de los metales de soluciones ácidas u oxigenadas que bajan de la zona de oxidación, por medio de compuestos alcalinos o reductores. El proceso general puede ser ilustrado con las siguientes reacciones, que son unas pocas de las muchas y complicadas que se realizan.

La pirita, el sulfuro más común, se oxida según la ecuación:

$\text{FeS}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$. El sulfato ferroso se oxida a sulfato férrico: $2 \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O} = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$.

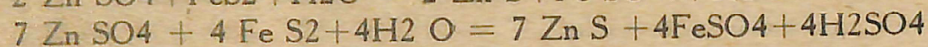
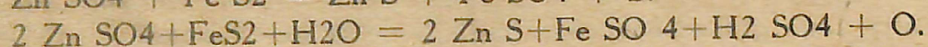
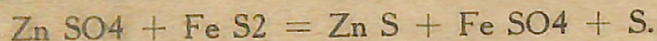
El sulfato férrico no es estable cerca a la superficie, pero en cierta profundidad puede permanecer en solución y servir como oxidante, en cuyo carácter forma limonita así: $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 6 \text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$.

Uno de los papeles de más importancia desempeñados por las sales férricas y ferrosas es el de disolver y precipitar el oro. El ácido sulfúrico, por otra parte, disuelve cobre, plata, zinc y algunos otros metales, los cuales en solución descienden por debajo de la zona de oxidación y son precipitados en forma de sulfuros; de los sulfuros los menos solubles serán más fácilmente precipitados y reemplazarán a los más solubles por metasomasis. Para cobre la precipitación podría realizarse por una de las siguientes reacciones:



La opinión de muchos autores coincide en que el paso de pirita a chalcocita (Cu_2S), que se encuentra siempre en las zonas secundarias, sigue el siguiente orden: Pirita, Chalcopirita, Bornita, Covelita, Chalcocita.

Para zinc podría ocurrir así:



En algunos casos se forma smithsonita así: $\text{ZnSO}_4 + \text{Ca CO}_3 = \text{Zn CO}_3 + \text{Ca SO}_4$. Otros minerales secundarios del zinc son calamita ($\text{Zn H}_2 \text{ SiO}_5$) e hidrocincita ($\text{Zn CO}_3 \cdot 2 \text{ Zn O}_2 \cdot \text{H}_2$). El mineral primario más importante es la blenda, pero ésta se encuentra también como lo acabamos de ver, en la formación secundaria.

Plomo: los minerales primarios son galena, burnonita (Pb Cu Sb S_3), jamesonita ($\text{Pb}_2 \text{ Sb}_2 \text{ S}_5$) y bulangerita. Estos pasan por oxidación a cerrusita, anglesita y a los sulfatos dobles de plomo con cobre o hierro. Los compuestos secundarios del plomo son muy inciertos aunque se da como probable la formación de galena por las reacciones siguientes:



Oro: es transportado a la zona secundaria en forma de cloruro y en solución de sulfato ferroso. Se ha observado que la migración del oro es grandemente activada por presencia de compuestos de manganeso. Mientras en ácido clorhídrico el oro es insoluble, el cloro naciente en presencia de manganeso lo disuelve rápidamente. La precipitación se lleva a cabo por la acción de ácido sulfhídrico, carbón, sulfuros, telururos, carbonatos o materia orgánica. El enriquecimiento mayor será hallado en la parte inferior de la zona de oxidación, en forma generalmente muy pura.

Plata: minerales primarios son argentita (Ag_2S), resita ($\text{Ag}_2 \text{Te}$) y en ocasiones plata nativa y tetrahedrita ($\text{Cu}_8\text{Sb}_2\text{S}$), que contiene plata en combinación. La galena es de mucha importancia porque casi siempre se encuentra asociada con la plata. De estos minerales la plata pasa por oxidación o solución a otros compuestos que la pueden transportar a la zona de precipitación, principalmente el sulfato (Ag_2SO_4). Del sulfato puede precipitarse, por ejemplo, por la presencia de un sulfuro; $\text{Ag}_2\text{SO}_4 + \text{ZnS} = \text{Ag}_2\text{S} + \text{ZnSO}_4$. Muchas otras reacciones ocurren en la precipitación de la plata, de las cuales resultan como minerales secundarios: plata nativa, argen-

tita, cerargirita (Ag Cl), embolita (Ag Br Cl), bromita (AgBr) y yodita (AgI).

Alteración hidrotermal.—Es de suma importancia la alteración que producen las soluciones calientes que ascienden a través de los depósitos minerales. Tienen una acción muy marcada sobre las rocas, algunos de cuyos minerales disuelven para depositar en su lugar otros que ellas transportan. Los tipos de esta clase de alteración son clasificados así: propilitización, sericitización, silicificación y alunitización.

La propilitización consiste en el cambio de silicatos por clorita, piritita, epidota, sericita, o carbonatos. Las rocas más afectadas son andesitas y basaltos, las cuales presentan un color gris verdoso después de la alteración.

Sericitización ocurre cuando hay un cambio de soda por potasa con formación de carbonatos y adición de piritita. El producto resultante es una mezcla de sericita, adulario y piritita, con calcita y cuarzo, en algunos casos. Las rocas así alteradas presentan un color blanco o amarillo claro.

Silicificación es el cambio de algunos minerales de las rocas ácidas por sílice. Las rocas alteradas conservan por lo general su aspecto anterior. También es común encontrar silicificadas las rocas calcáreas.

De menos importancia que las anteriores, la alunitización es una alteración que cubre en algunos yacimientos, según la cual los feldespatos se descomponen a alunita, con adición de piritita, oro u otros minerales.

APENDICE

Epocas metalogénicas.—Se designa con el término época metalogénica un período geológico determinado, durante el cual ha tenido lugar la formación de una serie de yacimientos metalíferos análogos entre sí. Las condiciones adecuadas para la formación han podido tener un área de influencia más o menos grande, de tal suerte que en los diferentes lugares de la tierra, la superficie ocupada por un yacimiento determinado es absolutamente variable; el área favorable para el depósito de un yacimiento se distingue con el nombre de **región metalogénica**. Ejemplos de tales regiones pueden darse: la formación jurásica de hierro en Inglaterra y Francia, los filones auríferos de California, la cordillera de los Andes para la

formación de filones de oro y plata, la Meseta Sur-africana en los depósitos de cromita, platino y diamantes de origen ígneo, etc., etc.

Las épocas metalogénicas han ocupado, por lo general, períodos cortos dentro de la serie considerable de formaciones geológicas. A menudo ellas han sido incidentes transitorios en la historia de los depósitos sedimentarios. Las hematitas de Clinton descansan sobre y están cubiertas por capas potentes de calizas carboníferas, siendo ellas por sí solas estratos de poca consideración. Esto se aplica también a las formaciones de origen ígneo, las cuales tuvieron lugar en intervalos relativamente cortos, durante las épocas geológicas de actividad ígnea.

Aunque no es un hecho suficientemente probado, la formación de yacimientos metalíferos tiene sin duda, relación con la formación de pliegues y el levantamiento de las montañas. Con razón De Launey divide las épocas metalogénicas para Europa en tres grandes períodos, a saber: época pre-Cámbrica, que corresponde justamente al plegamiento de la cadena Huroniana; época Herciniana, durante la cual se formaron las montañas del mismo nombre, y época Terciaria, que coincide con el levantamiento de los pliegues Alpe-himalayos.

Siguiendo el orden indicado por De Launey e intercalando las formaciones que otros autores han clasificado como de diferentes períodos, daré a conocer la edad de los principales yacimientos metalíferos.

Epoca precámbrica.—Está representada en Europa por el macizo Fino-escandinavo que comprende a Finlandia, Suecia y Noruega, en el cual se encuentran principalmente depósitos contacto metamórficos y de segregación magmática que contienen hierro y cobre, algo de plomo, zinc y estaño, y muy poco de oro, plata, arsénico, antimonio y mercurio.

En Norte América la época pre-Cámbrica está ampliamente representada por el Escudo Canadiense, que extiende sus raíces rasta los Estados Unidos. Son de importancia los depósitos alterados de hierro en Minesota, que tienen relación a rocas metamorfoseadas; depósitos contacto-metamórficos y magmáticos de hierro, molibdenita, apatita y corindón en Ontario y Adirondack, en conexión con intrusiones graníticas; depósitos de hierro en el Lago Superior; filones de cuarzo aurífero en asociación con arsenopirita y que tienen relación a intrusiones graníticas, en Ontario Quebec y Manitoba; por último, son de importancia en esta época los depósitos de cobre

nativo, los filones de cobalto y plata, y los depósitos magmáticos de cobre y níquel de Sudbury, distribuidos todos ellos en la región del Lago Superior.

Los yacimientos pre-cámbricos del Asia están representados por los filones auríferos de Corea e India y los depósitos de hierro, manganeso y grafito de India.

En Africa tienen los depósitos pre-cámbricos mucha importancia porque a ellos pertenecen los famosos conglomerados de Witwatersrand en Transvaal, que producen la mayor parte del oro mundial. También son de esta edad los depósitos magmáticos de oro en Madagascar y Rodesia, de platino en Bushhoeld, y de cromita y cobre en Rodesia y Namaqualand.

En Australia encontramos depósitos precámbricos de oro; plomo, zinc, hierro y cobre, de los cuales los más interesantes son los segundos, que tienen origen en la segregación magmática.

Las formaciones precámbricas en Sur América, aunque de extensión relativamente pequeña, tienen una alta representación en las reservas minerales de este continente. Los yacimientos de más importancia en relación a rocas cristalinas antiguas (granitos, gabros, serpentinas, sienitas, gnesis, esquistos, etc.), son de hierro, manganeso, oro y plata, entre los metálicos, y de piedras preciosas monacita, mica, caolín, bauxita, talco, entre los no metálicos. Las zonas ocupadas por estos depósitos son principalmente las mesetas del Brasil y los Guayanas, que se prolongan hasta Venezuela, pero no faltan algunas formaciones aisladas a lo largo de la cordillera de los Andes.

En Colombia han sido de difícil estudio las formaciones geológicas, distinguidas con el nombre general de complejo pre-cretáceo, lo cual da lugar para que no pueda juzgarse con bastante seguridad sobre los yacimientos situados en épocas anteriores al cretáceo. Algunos geólogos sitúan en el Arcaico de Colombia muchas de las formaciones auríferas de la Cordillera Central (Departamento de Antioquia), caracterizadas por filones de cuarzo lechoso y filones de cuarcita en combinación con piritas de hierro. Tanto éstas como el cuarzo y la cuarcita son auríferos, y los filones han sido, en general, atravesados por intrusiones posteriores que han dado nacimiento a nuevas mineralizaciones.

Epoca paleozoica.—A esta pertenecen en Europa: hematitas sedimentarias del Cámbrico-Silúrico en Noruega, Inglaterra, Francia, Alemania, Bohemia y España; cobre, níquel, cromo y titanio de

origen ígneo en relación con gabros del Cámbrico y Silúrico, en Noruega; depósitos hercinianos (carbonífero) de plomo, zinc, cobre, plata, antimonio y arsénico a todo lo largo de las cadenas montañosas; depósitos de estaño en Inglaterra, Francia, Sajonia y España en relación con intrusiones graníticas del Carbonífero. Además de éstos, son considerados como hercinianos la mayoría de los depósitos de España, Francia Central, Alemania Central y los famosos de platino, hierro, cobre y oro de los Urales.

En Norte América tenemos hematitas oolíticas del silúrico en Alabama, y filones auríferos en Quebec, Nueva Escocia y Alabama, de edad cámbrica.

Los depósitos del Asia son principalmente los de las montañas centrales con filones de oro, plata y otros metales: casiterita y wolframio en Malayas, Burmer, Siam y China; pirita, pirrotita y chalcopirita en Japón, etc.

Los importantes depósitos de cobre del Congo Belga, hallados en areniscas y calizas sedimentarias, son probablemente del Paleozoico inferior.

También pertenecen a esta edad los filones de cuarzo aurífero, estaño, cobre y platino de la Australia.

En Sur América tienen poca importancia las mineralizaciones paleozoicas. Unicamente se han reputado como de esa época algunos filones auríferos de Argentina y Bolivia y las minas de plomo en el primero de estos países. A pesar de la pobreza y escasez de filones auríferos en los estratos paleozoicos, los aluviones formados con sus detritus son por lo general ricos, y se encuentran en abundancia en Bolivia, Perú, Ecuador y Colombia. Particularmente, en nuestro país son dignos de mencionarse los de Yarumal y Santa Rosa, en Antioquia, y los de Bucaramanga, en Santander. Filones auríferos en rocas paleozóicas tienen alguna importancia para Colombia, pero generalmente los más ricos se encuentran relacionados con intrusiones terciarias.

Epoca mesozoica.—Se formaron en esta época los depósitos de cobre, diseminados en areniscas, en Alemania y Rusia; los depósitos de hierro oolítico del jurásico de Inglaterra, y probablemente las concentraciones de plomo y zinc del Paleozoico de Bélgica y del Triásico de Silesia.

Para Norte América tiene marcada importancia el mesozoico. Durante el Triásico se formaron los depósitos de cobre (tipo zeolítico) y de hierro contacto-metamórfico de New Jersey y Connecti-

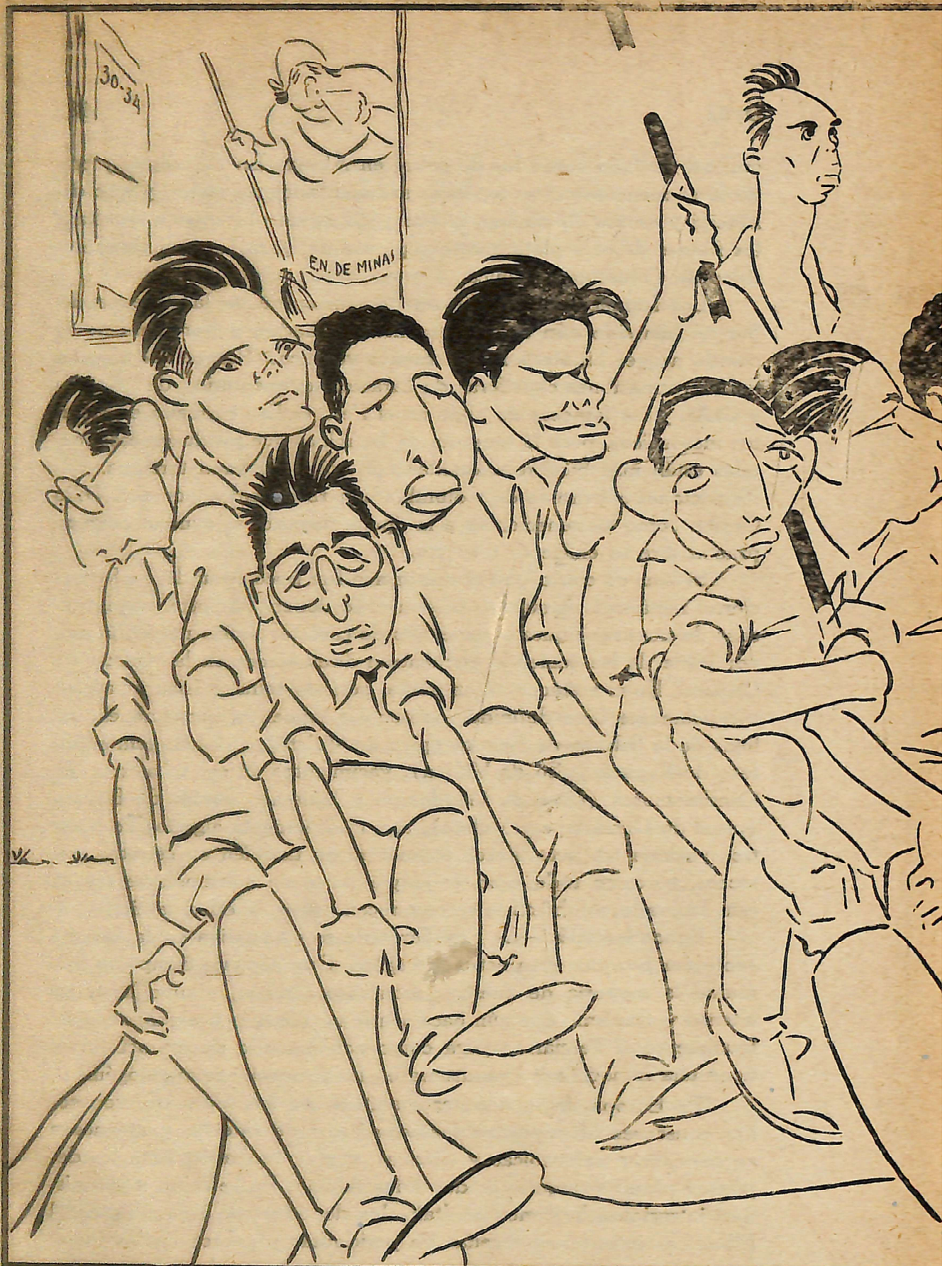
cut, así también como los de cobre en Alaska. En el jurásico y cretáceo se mencionan los depósitos sedimentarios de plomo y zinc del Missipi y de los Apalaches, el oro y cobre de placeres en Alaska y los filones de oro, plata, cobre y plomo del gran batolito granodiorítico de Columbia Británica.

Las formaciones metalíferas de esta época en la América del Sur no han sido aún suficientemente estudiadas, y por tanto no es cuerdo acoger hipótesis más o menos verídicas. Parece que algunas de las formaciones cupríferas de carácter sedimentario de Bolivia y Chile, y las famosas de plata en el Perú se han formado en estratos mesozoicos, pero la mayoría de las minas que producen esos metales están más bien relacionadas con rocas de edad terciaria. Las formaciones cupríferas de Colombia son reconocidas por don Tulio Ospina como pertenecientes a la época mesozoica, aunque ninguna prueba directa existe al respecto.

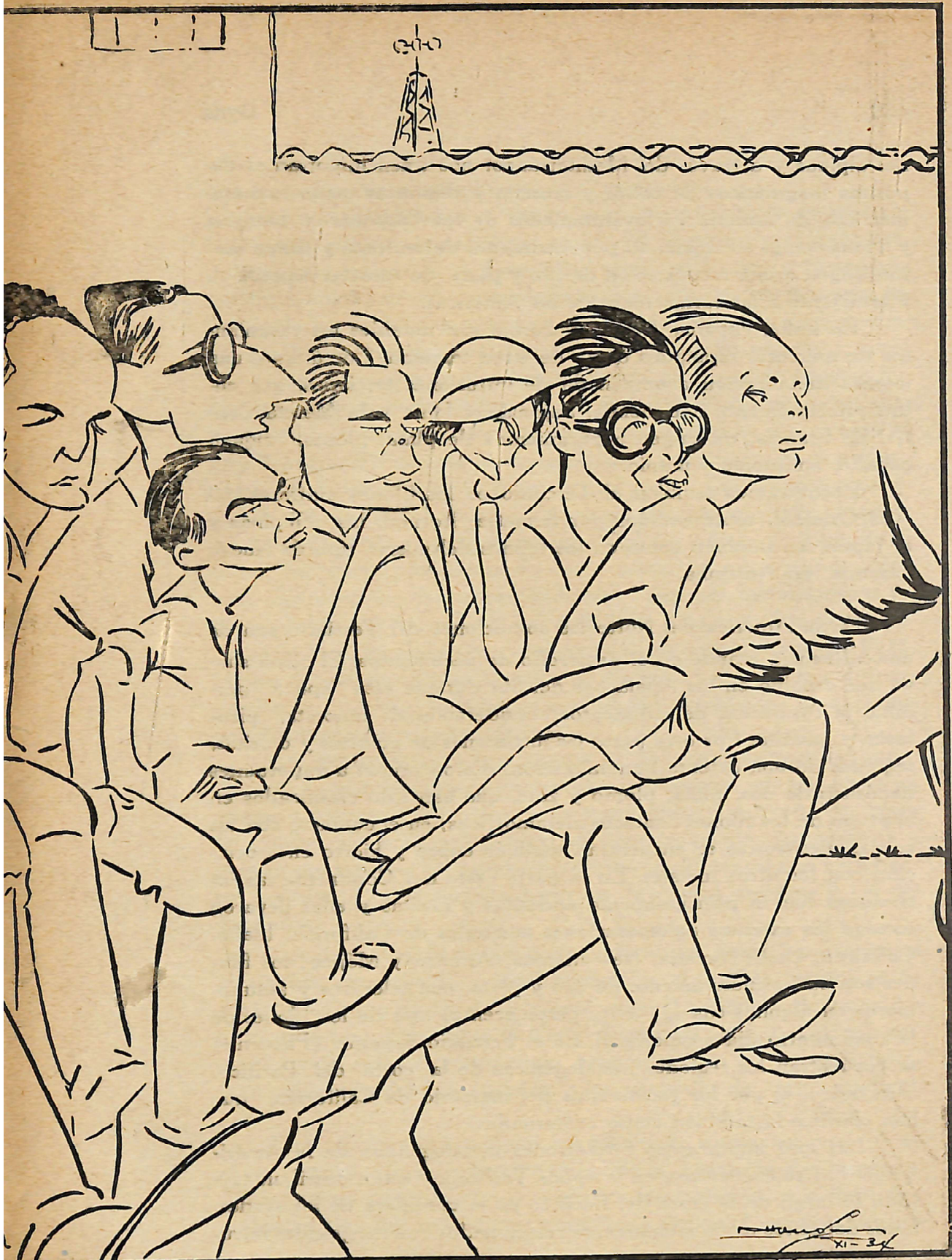
Si bien es cierto que el mesozoico fue poco fecundo en formaciones metálicas en nuestro país, a él se deben, por otra parte, muchas de nuestras riquezas minerales de carácter sedimentario, la mayor parte de las cuales se encuentran diseminadas en la Cordillera Oriental. En el cretáceo colombiano, período estratigráfica y paleontológicamente bien definido, existen las siguientes formaciones: salinas de la Sabana de Bogotá (piso de Villeta), calcáreo esmeraldífero de Boyacá (piso de Villeta), yacimientos de cal y hierro de Cundinamarca (pisos de Guadalupe y Villeta), asfalto de Boyacá (pisos de Guadalupe y Villeta), etc. Posiblemente algunos de nuestros yacimientos petrolíferos se encuentran también en estratos cretáceos, pero, en todo caso, la mayor parte de nuestras reservas en este estimado combustible se reconocen como de edad terciaria.

Epoca terciaria.—La Era Terciaria se caracteriza en la historia geológica por una gran actividad ígnea. Durante este tiempo se formaron la mayoría de nuestras montañas actuales, y tuvo lugar un intenso volcanismo que aún hace sentir sus efectos en algunas partes. Igualmente el Terciario, quizá como consecuencia de esa actividad, tiene una importancia grandísima en las formaciones metalogénicas.

En Europa las intrusiones graníticas de los Alpes trajeron como consecuencia depósitos metasomáticos de siderita y magnesita en las calizas paleozoicas y triásicas, y muy probablemente los depósitos plombo-zinquíferos del Trías Alpino. En relación a las mismas intrusiones hallamos en Italia los depósitos de especularita del Elba. Las intrusiones eocenas de peridotitas y gabros en las regio-



FRANCISCO CALLE G., CARLOS PIZANO A., HORACIO RAMIREZ G., JESUS GOMEZ Q., ROBERTO ARANGO R., PROSPERO RUIZ R., MIGUEL MORENA A., OCTAVIO DETANCOURT



JORGI MIJICA, GUSTAVO ALVAREZ V, EDUARDO MONTOTA S, ROBERTO DIEZ M., INES GREIFFENSTEIN, LUIS GONZALEZ G, JUAN BERDUGO S.

nes alpinas y a través del Mediterráneo, nos traen importantes depósitos magmáticos de cobre y cromita y depósitos contacto metamórficos de esmeril. El levantamiento de los Cárpatos en Hungría y Transilvania acompañado por intrusiones de andesita y dacita dieron origen a una metalización de oro y plata, de carácter superficial, y semejante a las formaciones de las Américas.

En Italia, España, Austria y Serbia son notables los yacimientos de mercurio reputados como de edad terciaria. Por último, una intensa metalización acompañada de intrusiones terciarias, que cubre principalmente a Bohemia, Sajonia, el Harz y la Meseta Central de Francia, da origen a yacimientos de plata, plomo, níquel, cobalto, antimonio y uranio.

Encontramos también el Terciario en los filones auríferos del Asia Oriental, representados por Sumatra, Borneo, las Filipinas y el Japón, así también como en los filones del mismo tipo de Nueva Zelanda, en Australia.

En la América del Norte las condiciones del Terciario son de una influencia grande en el desarrollo de yacimientos. El clima suave que dominó en los Apalaches del Sur durante esta época permitió la formación de sedimentos considerables de limonita, piro lusita y bauxita. Por otra parte las intrusiones de granitos y dioritas, seguidas de una extensa mineralización, dieron origen a importantes depósitos de oro, plata, plomo y zinc, que han sido clasificados en el grupo de los filones contacto metamórficos; en el contacto con las calizas mesozoicas se encuentran también cobre y hierro en asociación con los otros metales. En la parte oeste del Continente las intrusiones fueron principalmente andesitas y riolitas y ellas llevaron consigo las extensas aglomeraciones minerales de California, Idaho, Colorado, Utah, Nevada, New México, Arizona y Méjico; los filones son casi exclusivamente de oro y plata, con telururos y antimoniuros en algunos casos, y ellos pertenecen al tipo de los filones de la zona intermedia o superficial. En el Terciario Superior (Plioceno) se encuentran las regiones metalogénicas de la costa del Pacífico, caracterizadas por los yacimientos del mercurio de California, que han clasificado también como cuaternarios.

Las más importantes formaciones metalogénicas de la América del Sur se encuentran en la época Terciaria y están distribuidas a todo lo largo de la costa del Pacífico en la cordillera de los Andes. Estos depósitos están íntimamente relacionados con las grandes intru-

siones batolíticas de basaltos, andesitas, dacitas, dioritas y riolitas que acompañaron el plegamiento de los Andes.

Las mineralizaciones se llevaron a cabo en estratos de diferentes épocas, pero principalmente en los del Cretáceo y el Terciario, en las cuales muestran un desarrollo considerable. Según Steinmann los depósitos aparecen especialmente concentrados en la parte superior de las intrusiones y en las paredes de contactos de los estratos encajantes, disminuyendo considerablemente en riqueza y tamaño, a medida que se profundiza. Por otra parte, es de hacerse notar que en la mayoría de las minas ha desempeñado un papel importantísimo el enriquecimiento secundario, lo cual ha contribuido en gran manera al éxito de la explotación. A las mineralizaciones terciarias se debe la fama de que gozan: Chile, como productor de cobre; Bolivia, como productora de estaño, cobre, bismuto y antimonio; Perú, como productor de plata, cobre y vanadio; y Colombia, como productora de oro y plata. En estos países están bien representadas las correspondientes regiones **metalogénicas** de que se habló al principio de este apéndice; ellas son: Formación auro argentífera de Colombia; depósitos cupro-argentíferos del Perú; filones de estaño, plata, bismuto en Bolivia, y depósitos cupro-argentíferos de Chile, todas ellas con límites geográficos bien definidos e intrusiones características.

Los depósitos auro-argentíferos de Sur América fueron formados por soluciones mineralizantes que depositaron sus minerales en grietas y fisuras superficiales, pues según opina Lindgren, esta clase de formaciones sólo tienen lugar en condiciones de temperatura y presión moderadas. En este hecho estriba la diferencia que existe entre los filones esencialmente auríferos de épocas antiguas y los del Terciario.

Los depósitos de cobre varían mucho en sus características geológicas, pero por lo general predomina el tipo de reemplazo en rocas sedimentarias (principalmente calizas). Algunos de estos depósitos, como los de Cerro de Pasco en el Perú, son ricos en minerales de plata cerca a la superficie, pero a medida que se profundiza la composición del filón cambia y los minerales de cobre predominan.

En Colombia distinguimos los filones de formación terciaria en sus caracteres mineralógicos y petrográficos. Las rocas que los acompañan varían según la región, pero las más comunes son: pórfidos, andesitas, dioritas, monzonitas, traquitas y riolitas. Los minerales son

por lo general pirita, blenda, galena, arsenopirita y chalcopirita, aunque en los filones de la Cordillera Occidental se encuentran también pirrotita, molibdenita, solvanita y pirargirita. La ganga es cuarzo o arcilla, y en algunos casos calcita.

Además de los ricos depósitos auro-argentíferos que se acaban de citar, posee el Terciario de Colombia magníficos yacimientos de carbón mineral que colocan a nuestro país en primer término entre los productores de este combustible en Sur América. Igualmente, como tuve ocasión de mencionarlo ya, los estratos petrolíferos de mayor cuantía están localizados en terrenos del Terciario.

Finalmente, la época cuaternaria ofrece mucho interés para Colombia en la formación de aluviones de oro y platino; los primeros se encuentran diseminados en toda la república, y tienen suma importancia para la minería del país, ya que ellos producen la mayor parte del oro que se explota entre nosotros; en cambio, los de platino están casi exclusivamente limitados a algunos ríos del Chocó, en donde se explotan junto con el oro y los metales raros, osmio, iridio, rodio y paladio, que le acompañan siempre.
