

DISCURSO SOBRE GÉNESIS DE CRIADEROS METALÍFEROS

LEÍDO POR

D. ANGEL GIMENO CONCHILLOS

Ingeniero de Minas

El día 25 de Marzo de 1917, en el acto de su recepción en la
Academia de Ciencias de Zaragoza

SEÑORES ACADÉMICOS:

Al dirigiros mi respetuoso saludo, unir a él palabras de gratitud por vuestra bondad para conmigo; es un acto de estricta justicia, y tanto más cuanto vuestro espontáneo nombramiento, recae en quien en manera alguna se encuentra en situación de llenar airosamente el lugar que le habéis destinado.

Al asegurar esto, no hago un acto de modestia inútil por mi parte, sino que mis actividades siempre han sido dirigidas a un campo que, aunque recibe la savia del vuestro, se desenvuelve dentro del limitado círculo que el proceso industrial le marca.

Pequeño es éste en cuanto al avance de la ciencia se refiere; grande y poderoso, en cuanto llena las necesidades de la vida, y es el fundamento esencial de los pueblos.

De ninguna manera se debe considerar el único fin la práctica, es decir, reducido número de determinados principios que se repiten en explotación industrial. En bastantes años que he pasado entre fábricas y minas, he visto zozobrar a las primeras dificultades serias e imprevistas, a hombres que sólo tenían una larga práctica, y a verdaderos técnicos que despreciando las nuevas inspiraciones, los rumbos marcados por vosotros en los avances científicos, se aislaban, y no dirigían sus trabajos, utilizando los medios que el progreso les marcaba.

Fácil es llevar la Universidad al taller, a la mina, desde el momento en que vuestras enseñanzas llegan por medio del libro, de la revista, mejor puede oírse vuestra elocuente palabra dentro de aquel ambiente. Con las armaduras por techo, entre los resplandores de las coladas o con el ruido de los laminadores, o bien en el tajo con el golpeteo de las perforadoras entre el techo y el muro del criadero, ese es lugar donde aficiones de toda mi vida me colocaron, y allí, quizás mi desliñada palabra podría tener un eco apreciado en vuestros oídos desde el momento en que sería fiel intérprete de vuestras teorías, y os expresaría claramente mis dificultades, para que con vuestra imaginación poderosa, dierais solución a los problemas con nuevos avances científicos.

Vosotros habéis querido que sea aquí, yo me resigno, pues la gratitud me obliga, y, únicamente al entrar yo en vuestro campo, recordad siempre que, aun poniendo mi buena voluntad a vuestra disposición, no tengo los medios que pondría en práctica, sino una vez más y con vosotros, recorriéramos Sestao y Baracaldo, para ver sus fábricas; Galicia, para admirar sus trabajos romanos de estaño y oro; Vizcaya y Santander, sus hierros, y finalmente, la Mancha y Andalucía, donde reside la verdadera minería a grandes profundidades de Mercurio y Plomo, y los importantes trabajos de Cobre y Manganeseo.

GENERALIDADES

Según el Sr. Fernández Navarro, «La tierra que en algún tiempo fué considerada como el prototipo de lo inmutable y estadizo, no es sino un ser natural que, como todos, evoluciona. Nació, recorre un ciclo vital y morirá.»

Los criaderos, según Groddek, «Deben considerarse como individuos geológicos, cuyo estudio es inseparable del de la historia de todo el globo terrestre.»

Todo yacimiento, según De Launay, «una vez formado ha continuado, por decirlo así, viviendo; tiene una histo-

ria, cada episodio de la cual ha podido influir en su estado presente y ha podido cambiar su posición relativa con la superficie; unas veces subiendo, y otras bajando, estando además sometida a efectos de metamorfosis y de metasomatosis sucesivas, que han concluído por transformarla, quedando al fin con caracteres completamente distintos a los que tenía en los momentos geológicos de su primera formación.»

El mismo autor nos dice en otra parte: «Ningún elemento material situado en la tierra o sobre la superficie de la tierra, permanece inerte, cada uno de ellos está sometido a modificaciones constantes que lo llevan por ciclos más o menos complicados a formas provisionales más estables que las otras, formas ellas mismas destinadas a sufrir otras transformaciones, sea por reacción lenta en las mismas condiciones del medio, sea por reacción rápida si el medio se modifica.»

Entiende el Sr. Villasante, en su hermoso estudio sobre Génesis de los criaderos ferríferos de Cartagena, «que el estudio de la génesis de un criadero, debe relacionarse con el dinamismo general de la comarca, completándose después con el de las reacciones de los agentes meteóricos y las infiltraciones de las aguas descendentes.»

«Considera imposible explicar la complicada metalogénia cartagenera, por una sola acción hidrotermal.»

«Supone que en virtud de la acción hidrotermal, se formaron los filones que pudiéramos llamar primarios, durante la fase solfatariana, con que terminaron las primeras erupciones volcánicas del neógeno superior, y una vez así formadas las concentraciones metalíferas, pudieron servir, por su probable destrucción, de fuente de abastecimiento de otros criaderos secundarios a más altos niveles geológicos.» (Prólogo del Sr. Sánchez Lozano).

Dice el Sr. De Launay, «que los yacimientos metalíferos son producidos por un préstamo más o menos directo de las rocas ígneas.»

Esta roca ígnea, cuyo origen es profundo, puede muy bien estar en niveles inferiores o haber emergido a la su-

perficie, encontrarse a nuestra vista u oculta y distante del criadero objeto de nuestro estudio, pero la formación del mismo está ligada directa o indirectamente a aquélla.

Por lo tanto, para reconocer un criadero, no bastará establecer el sicronismo de los bancos en que arma con los de determinado tramo, por medio del estudio de sus rocas y fósiles, ni el reconocimiento de la constitución de la fractura, ni de los elementos de su relleno, o sean menas y gangas, pues éstas no llegarán a nuestras manos intactas, sino que será preciso estudiar la historia del mismo, íntimamente ligada a la facies tectónica de la comarca.

Únicamente así, podremos hacer una hipótesis acertada sobre su formación y sobre los accidentes que ha debido sufrir para llegar al estado actual y deducir de la parte reconocida que tenemos a la vista, la que se oculta en las profundidades del terreno, base indispensable para apreciar su valor industrial y poder establecer el adecuado proyecto de laboreo.

Nada importa que entre la formación del criadero que tenemos a la vista, y la erupción de rocas hipogénicas originales, hayan transcurrido miles de años, ni que los fenómenos se efectuaran mediante la destrucción de otros criaderos intermediarios, menos potentes quizás; ello es que la integración de las partes minerales diseminadas en la roca, que no podían ser objeto de beneficio, se ha efectuado por la naturaleza y el criadero hoy es industrialmente utilizable.

Como la química y la mecánica del globo son completamente distintas a las que se emplean en la metalurgia y en los laboratorios, por ejercerse sobre tiempos indefinidos con grandísimas cantidades, y éstas sumamente diluídas y con temperaturas y presiones extraordinarias; esta integración que al hombre le hubiera sido imposible realizar, la encuentra hecha en su beneficio.

Y aun se llega a más, desde el momento que en las primeras edades, cuando el hombre no disponía de elementos industriales, pudo utilizar los últimos términos de esa serie de integraciones, encontrando, bien en los aluviones,

bien en los crestones de los filones, los metales nativos, cuyo beneficio le era fácil, y hoy, por el contrario, que cada día se va aumentando el poder del minero y del fundidor; utiliza menas más impuras y más refractarias; tan grande es la armonía que preside en toda obra de Dios.

AGENTES PRODUCTORES

No todos los que desde los tiempos más remotos se han ocupado del estudio de los criaderos le han dado el mismo valor a los distintos agentes capaces de ser causa de su formación; antes por el contrario, han tratado de explicar los fenómenos siempre con sujeción a un orden de ideas, y de aquí las frecuentes discusiones entre newtonianos partidarios de Werner y plutonistas siguiendo las ideas de Hutton, siendo así, que es necesario el criterio más amplio para explicar el modo de formación de los distintos criaderos, desde el momento que, como dice muy bien el Sr. González Tarín, en su capítulo sobre producción artificial de minerales:

«Un mineral puede formarse por medios muy distintos, por vía seca, por vía húmeda, sublimación o acciones eléctricas, a la temperatura y presión ordinaria, y a una elevada y fuerte presión.»

Decía nuestro profesor D. Román Oriol, hace muchos años, «que ni la teoría newtoniana de Werner, ni la plutónica de Hutton, ni la transmutación de Bergniann, ni la del metamorfismo de Lyell, ni la hidrotermal de Elie de Beaumont, ni la segregación lateral de Whitney Cotta y otros autores, ni la hidroeléctrica que preconiza D. Manuel Fernández de Castro, pueden aisladamente explicar el origen de todos los criaderos que se explotan por la industria minera, y sin embargo, todos o casi todos, resultan aplicables a casos particulares.»

Es preciso pues, huir ante todo, para no ser inducido a graves errores, de toda clase de exclusivismo, y aceptar como principio inconcuso que a la formación de los cria-

deros han contribuido el agua, el calor, las grandes presiones, las corrientes eléctricas, las acciones moleculares, y, en mayor o menor escala, todos los agentes que han intervenido en la formación de nuestro planeta.

MINERALIZADORES

Los metales son incapaces de desprenderse de los magmas profundos en que están diseminados, volatilizarse y depositarse a las relativamente bajas temperaturas, que claramente se ve formarse el relleno de muchas fracturas, dada su composición química, y la ausencia algunas veces de silicatos que hubieran escorificado metales.

Estos metales han sido arrancados de aquellos magmas por medio de los agentes mineralizadores, formando compuestos volátiles cuando la roca ha estado en fusión, se han desplazado y reunido en la misma, o han salido de ella para depositarse a más distancia, o arrastrados por las aguas se han precipitado en una grieta o han producido la metamorfosis de un banco sedimentario.

El agua es un mineralizador por excelencia que a alta temperatura y presión goza del papel de un ácido; aparte de ello, De Launay considera como agentes inmediatos:

Fluor, Cloro, Bromo, Yodo, Boro, Azufre, Selenio, Teluro, Carbono.

Y como elementos auxiliares en combinaciones oxidadas:

Fósforo, Vanadio, Arsénico, Antimonio, y en combinaciones sulfuradas:

Bismuto y Molybdeno, elementos suministrados por el volcanismo y que aquí se han producido en la fusión de las rocas ígneas.

Lapparent, en su geodinámica interna, estudia las emanaciones gaseosas de los volcanes, o sean los fumarolas, y las considera descompuestas en fumarolas secas o anhidas, cuya temperatura es de 500°, no se desprenden más que de la lava en fusión, no depositan la menor gota

de agua, y están formadas de cloruros anhidros, entre los que domina el de sodio.

Fumarolas ácidas que se desprenden más lejos que las procedentes de la lava en fusión, y están constituídas por una mezcla de ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, con una enorme cantidad de vapor de agua; así se les da el nombre de clorhidro-sulfurosas, siendo su temperatura de 300° a 400°.

Fumarolas alcalinas, frías o amoniacaes, cuyo carácter esencial es la presencia del clorhidrato de amoníaco, que descompuesto por la volatilización, desprende amoníaco libre, habiendo observado M. Fouqué la presencia de un carbonato.

El vapor de agua se encuentra en cantidades enormes, y se puede notar la presencia del hidrógeno sulfurado, su temperatura siendo próxima a 100°.

Fumarolas frías, consistentes en agua casi pura; su temperatura es inferior a 100°, encerrando 5 % de ácido carbónico e hidrógeno sulfurado que permite designarlas bajo el nombre de fumarolas sulfhídricas.

Las mofetas o emanaciones de ácido carbónico ponen fin a la erupción.

El Sr. Villasante opina, que si no siempre puede admitirse que las fumarolas sean el vehículo de transporte de los elementos metálicos de nuestros criaderos, es indudable que contuvieron elementos reductores apropiados para el proceso químico, que produjo las soluciones y precipitaciones de las substancias metalíferas, y distendiéndose por las diferentes fisuras y oquedades de los terrenos, influenciados por anteriores erupciones, o precipitándose en el circuito de otras aguas subterráneas, irían preparando una atmósfera adecuada para la precipitación de estas últimas substancias.

El Sr. Guardiola advierte, que la sucesión de distinta clase de emanaciones en el espacio, tiene efectos también en el tiempo, y por lo tanto en cualquier zona pueden encontrarse minerales de distintas fases.

Las ideas antiguas se encuentran perturbadas, según

De Launay, ante la posibilidad nueva que se vislumbra, de transmutaciones lentas operadas en profundidad sobre los metales considerados hasta aquí como inmutables. La observación de cada día nos muestra la radioactividad tan constante y tan clara en las aguas subterráneas, conduce, necesariamente, a buscar en la misma, la interpretación de estos fenómenos oscuros, donde los filones metálicos se han modificado poco a poco después de su formación, sin que la consideración química dé una respuesta satisfactoria.

Cambios, según Thomson, que exigían en las sustancias no radioactivas, casi épocas geológicas para ser denunciados, con sustancias radioactivas, producen efectos apreciables en el curso de pocas horas.

Es, pues, un elemento que entra hoy nuevamente en juego, para poder fundar hipótesis, en muchos casos en que las antiguas teorías no dan una solución satisfactoria.

ROCA MAGMÁTICA

Henry Le Chatelier nos dice, que la tierra ha formado parte con el sol y los planetas de una inmensa nebulosa, es decir, de una masa de vapores completamente homogénea (Teoría de Laplace).

Esta nebulosa, progresivamente se ha dividido en varias masas independientes, y las más pequeñas, se han más o menos solidificado, dando lugar a la tierra y a los planetas.

Ulteriormente sobre cada uno de estos planetas, el magma primitivo ha sido objeto de una serie de transformaciones, cuyo mecanismo nos es completamente desconocido.

En lugar de una bola homogénea, como nosotros hubiéramos producido por fusión y enfriamiento de materias análogas, nos encontramos con que la tierra está formada por la yuxtaposición de rocas de aspecto distinto.

Más adelante, añade: «No conocemos ninguna roca que

provenza de la solidificación del magma fundido (1), éstas existirían solamente a profundidades muy grandes que no hemos alcanzado.

El magma fundido, después de su enfriamiento parcial, ha sufrido bajo la acción combinada de la presión del agua recalentada, y quizás de los fluoruros volátiles, una recristalización que la ha llevado a su estado actual, esta temperatura pudiendo ser próximamente 1.000° que ha permitido la estabilidad del feldespato y del cuarzo.

Las rocas cristalinas no volcánicas, serían antiguos terrenos sedimentarios, progresivamente transformados bajo las influencias múltiples que se agrupan bajo la designación del metamorfismo.

El Sr. Cortázar supone que una vez suficientemente enfriado nuestro globo, debió producirse en la superficie viscosa una capa de rocas anhidras, en cuya composición entrañan los elementos que ahora se hallan en los mares y capas terrestres.

Las reacciones sucesivas entre las substancias atmosféricas, el agua cargada de sales, los elementos que habían de constituir la roca superficial y la temperatura consiguiente al estado de la tierra, hubieron de dar como resultado la oxidación de toda materia carbonosa y la conversión de los elementos carbonatos y sulfuros en silicatos.

De la primera capa de silicatos básicos, muchas veces rota y restablecida, y de la parte viscosa atravesada de lo interior, resulta un suelo desigual y grietoso, perfectamente preparado para el trabajo de transformación física y química, que habían de efectuar los agentes atmosféricos.

Lapparent, dice que la provisión de masas silicatadas que han formado a través de todas las edades los depósitos de rocas eruptivas, puede ser conforme a la feliz idea de Elie de Beaumont, atribuída a la copelación natural de un núcleo fluido metálico, en el cual domina el hierro.

Las rocas básicas son las que ocupan la parte inferior

(1) Debe referirse solamente a las rocas hipogénicas plutónicas u holocristalinas.

caracterizadas por la presencia del peridoto, que es el silicato más pobre en sílice.

El peridoto puede ser considerado, según la experiencia de M. Daubré, como una especie de escoria universal, resultado del primer grado de oxidación y escorificación de un baño metálico interno.

Esta escoria es tanto más ligera cuanto más oxígeno y sílice contiene.

Lasaul, «muchas rocas permiten reconocer dos fases claramente distintas de solidificación de los elementos del magma; cada una de ellas presenta particularidades de cristalización notables.

La primera fase de solidificación comprende la formación de los más grandes cristales que existen antes de la consolidación final de la roca, que ha sufrido transformaciones mecánicas y químicas por los movimientos del magma, por refusión y redisolución parcial; aparece a menudo en fragmentos redondeados y concoideos.

La segunda fase, comprende la consolidación del magma de la masa fundamental, en la cual se forman ordinariamente cristales más pequeños de los mismos minerales, producidos en la primera fase, más o menos incompletamente formados, es decir, no determinables, y en fin, productos completamente vítreos.

En las condiciones diversas de composición y de estructura, está basada toda nuestra petrografía y toda la parte de la metalogena, que se llama segregaciones ígneas.

Con arreglo a la opinión de Groddeck, Hunt y Fernández de Castro, no hay que buscar el primer yacimiento sino en las rocas más antiguas del terreno estrato cristalino, y procediendo todas las demás desde el paleozoico al diluvial de los materiales que han constituido las formaciones precedentes, no pueden menos de hallarse diseminadas en las más modernas los elementos de los más antiguos.

Mallada, aparte de un gran número de especies minerales que siempre se han considerado como curiosidades para el adelanto de la ciencia, el número de criaderos me-

talíferos más o menos explotable, que directa o indirectamente se relaciona con las rocas hipogénicas, es tan inmensa, que su relación completa se haría interminable.

CRIADEROS FORMADOS POR LA ACCIÓN DIRECTA DEL MAGMA

Algunos han comparado la acción directa de la roca ígnea a los efectos de nuestros hornos siderúrgicos, y su diferencia es esencial.

En nuestros hornos altos, se trata de formar un silicato múltiple que, en marcha normal, es bastante homogéneo, cuyo grado de basicidad sea el mayor posible para escorificar determinadas substancias, y cuyo punto de formación y por lo tanto de fusión, sea el necesario para que al lingote se incorpore gran cantidad de silicio, 3 a 4 % si se trata de hacer un producto para fundición, o 0,5 % si se debe fabricar lo que debe afinarse en el horno Martín.

Otras veces es un baño de fundición que está en solera básica y hay dos intermediarios para su afin, entre las impurezas que deben desaparecer y el oxígeno del aire caliente, que son la escoria y el óxido de hierro.

La escoria, tanto en el primer caso como en el segundo, es un elemento esencial de fabricación, y de ella depende la calidad de los productos; y la marcha de la operación es en cada caso vigilada por el aspecto de aquéllas, en lo que se tiende a la uniformidad.

Este es todo el proceso, aunque en otro orden de ideas, más parecido a las fases de las aleaciones de hierro y carbono que hoy han establecido por medio del reconocimiento de sus estructuras una base de fabricación.

Cada metal tiene un punto crítico del cual no puede bajar su temperatura sin que se vuelva sólido, y esta transformación se verifica por una orientación de las moléculas para formar cristales, acusándose en una tendencia a agruparse o separarse según distintas causas.

El magma básico, según De Launay, es complejo, al principio los silicatos básicos han comenzado por ser disueltos en los silicatos alcalinos, haciendo éstos el papel de un agua madre, y, finalmente, se nota la separación de rocas; por una parte el peridoto, es decir, el silicato magnesiano, y por otra, la anortita o labradorita, es decir, el silicato aluminico cálcico.

Antes de llegar a las peridotitas y anortitas, por una parte gabros de olivino, por otra, gabros de dialaga o enstatita, es decir, que subsisten de un lado piagioclasas, con olivino, del otro piroxeno con plagioclasas.

1.º El primer caso, es que la colada del mismo magma forma ella misma el criadero; los Sres. Adán de Yarza y D. César Rubio, al estudiar la génesis de los minerales en Suecia, han atribuído la formación de kiruna a una colada de carácter pegmático, es decir, principalmente magmático, aunque con intervención de acciones pneumotolíticas y segregaciones; esta colada debe originarse a raíz de la del pórfido sienítico (que es el yacente), y poco antes de la del pórfido cuarífero que sirve de pendiente al criadero.

2.º El segundo caso es el de las segregaciones ígneas; es una licuación o diferenciación en un baño ígneo, homogéneo cristalizado, en el que se ha realizado una separación molecular concentrando ciertos elementos en puntos determinados de la roca, que la rodea por todas partes; se admite una pequeña intervención de elementos volátiles.

Esta zona de segregación es homogénea, domina el hierro bajo la forma de magnetita y se encuentran también hierros cromados y silicatos de manganeso.

Es de notar, según De Launay, que las segregaciones son distintas, según que haya exceso de olivino en el magma complejo, es decir, de magnesia, y se separan el cromo, el platino y el níquel y el cobalto, o que domine el gabro a dialaga, la enstatita e hiperstena (pudiendo contener olivino como accesorio) y entonces el titano es el elemento característico, el hierro siendo indiferente.

Es característico en estos criaderos el contener impurezas, que por pequeñas que sean, denuncian su origen o sean los silicatos ferromagnesianos, los anfíboles y los piroxenos que representan restos de la roca madre básica del criadero.

3.º La separación inmediata, en el fenómeno anterior cuando se efectúa esa concentración en el borde de la roca madre, es un principio de separación; aquí se admite no sólo los elementos volátiles, sino también el principio de la acción hidrotermal.

En las separaciones inmediatas aparecen el níquel y el cobre con la intervención del azufre.

4.º Yacimiento de contacto, origen pneumatolítico. La formación y precipitación del óxido de hierro, muy principalmente de óxido salino o magnético por reacciones mutuas entre un magma ferromagnesiano y la caliza es un fenómeno, en el que concurren, según el Sr. César Rubio, no sólo las reacciones químicas, en las cuales hace un papel saliente la disolución del óxido cálcico en el magma eruptivo, sino el enfriamiento rápido de éste por su contacto con las calizas.

El Sr. Rubio, añade, que en esta acción metasomática de los magmas básicos sobre ciertas calizas precipitando hierro, digiriéndolo, por decirlo así, el óxido cálcico de la roca, es un caso típico y frecuente.

No ha habido refusión de elementos, pues se encuentran las estructuras primitivas, y los fenómenos que se producen, tienen la apariencia de desprendimientos de materias volátiles y de circulaciones hidrotermales, ricas en elementos químicos que pueden ejercer su acción más lejos de la roca hipogénica.

DE FORMACIÓN INTERMEDIA ENTRE LOS ÍGNEOS Y LOS HIDROTERMALES

Los caracteres esenciales de estos criaderos es que no sólo no están en contacto con la roca hipogénica, sino que están alejados de ella, necesitándose el agente transporta-

dor del vapor de agua o del agua misma a grandes presiones para formarlos; pero distinguiéndose de los filones hidrotermales en la falta de continuidad en profundidad y en que no existe la estructura concrecionada.

Los macizos sobre que actúan las aguas son los de consolidación, estando los criaderos localizados en pizarras en los intersticios de sus hojas, en impregnación, en zonas de pliegues de estratos o metalizando bancos interestratificados.

Las soluciones proceden de gran profundidad y han penetrado en las oquedades de las pizarras, formadas por los efectos tectónicos, habiendo intervenido el vapor de agua y los carbonatos alcalinos.

Los metales son el hierro, pero sobre todo el cobre, y más raramente el níquel, el cinc y el plomo con trozos de oro, estaño, bismuto.

Son criaderos generalmente de piritas de hierro y de cobre.

De Launay clasifica estos criaderos en cuatro grupos:

1.º Zonas lenticulares, piritosas en los intersticios de las pizarras.

2.º Fahlbandas, pizarras en estado de dislocación con secreciones piritosas, entre ellas muy finas y alguna vez pulverulentas.

3.º *Lenticulares*. Lentecillas alargadas interestratificadas, algunas veces de poca importancia, pero otras pudiendo formar vetas de algunos metros, que en ocasiones se han creído sedimentarias.

4.º Masas lenticulares de pirita en las pizarras primarias, respetando la formación sedimentaria.

CRIADEROS DE FORMACIÓN HIDROTHERMAL

Fernández de Castro: «El agua ha sido y es el principal vehículo de que se ha servido la naturaleza para trasladar de un punto a otro las sustancias minerales, ya en disolución, ya en suspensión, ponerlas en contacto y provocar

las acciones eléctrico-moleculares y actuar directamente en ellas para su descomposición y síntesis.

Dice De Launay, «Que las aguas termales son, por decirlo así, los filones en movimiento».

Newberry observa la marcada influencia de las aguas termales en los criaderos; en muchos de los depósitos que actualmente se forman, existen circunstancias análogas a las de los filones, pues contienen carbonatos alcalinos y piritas, no siendo aventurado creer que tales aguas con carbonatos alcalinos e hidrógeno sulfurado, en condiciones varias de presión y temperatura, sean capaces de disolver y depositar luego todos los minerales que en la actualidad se hallan en los filones. La presencia de cantos y fósiles que se han encontrado en varios depósitos, robustece la teoría del relleno por medio de las aguas termales.

Una fuente termal es un agua mineralizada que proviene a menudo de infiltraciones de las aguas superficiales, y que son caldeadas y cargadas de sales minerales en las capas profundas del globo y vueltas a la superficie.

Son, por lo tanto, los criaderos que se forman a nuestra vista debido a ellas; y si no se puede comparar ni su importancia ni sus metalizaciones con las antiguas, hay que recordar que en la naturaleza a las épocas de actividad, las sucede otras de reposo, en las que los fenómenos tienen que ser pálido reflejo de los anteriores.

Tenemos que considerar, en primer lugar, aquellas aguas jóvenes magmáticas de que nos habla De Launay y que llegan por primera vez a la superficie, o sea, aguas de refusión de magmas internos.

Y en segundo, las aguas manantiales o ciclos de circulación, cuyo mecanismo nos describe admirablemente el Sr. Fábrega, en un estudio sobre la influencia de la naturaleza del terreno en la composición de los manantiales.

El Sr. Fábrega considera en el ciclo directo evaporización marina o de los grandes lagos, precipitación atmosférica, infiltración previa en muchos casos y la imbibición, surgencia del manantial, corriente superficial y desembocadura.

Que comprende aguas someras sin presión y frías, ciclo freático; medianamente profundas, aguas templadas, y algunas veces en los terrenos dislocados, profundos, de gran termalidad, pero siempre, en uno y otro caso, aguas con presión, ciclo artesiano; profundas aguas termales si surgen libremente, y templadas o frías, si se difunden y mezclan con las freáticas, antes del nacimiento ciclo filoniano; más o menos profundas, pero siempre termal y con pulsaciones o ritmo ciclo geysariano.

Las fases del ciclo inverso son infiltraciones directa y profunda de aguas oceánicas o de los grandes lagos, a través de los poros de las rocas del fondo, vaporización interna, o al menos gran caldeo, ascensión por canales amplios, surgencia del manantial, corriente superficial y desembocadura.

El ciclo inverso pudiendo ser de origen marino, ciclo marino, de origen magmático, ciclo magmático.

En la química del ciclo directo, según Van Hise, en la corteza terrestre hay dos zonas, la profunda o de deformación, donde la enorme presión no permite hueco alguno, y la alta o de fractura, donde pueden coexistir amplias fisuras y capilares huecos.

Esta zona de fractura la subdivide en nivel hidrostático o zona de meteorización e inferior o zona de cimentación, bañada constantemente por las aguas procedentes de la zona alta.

La composición de las aguas depende del ciclo que recorre, y dentro de éste de las rocas atravesadas, y si son geysarianas dependen del proceso eruptivo.

En cuanto a la forma de circulación de las aguas y explicación del relleno, Werner sentaba el principio de que todas las grietas se habían llenado por arriba exclusivamente.

Elie de Beaumont, que las sustancias metálicas procedentes de las rocas eruptivas han sido conducidas por las aguas, siendo el conducto que comunicaba con el interior la grieta misma.

Herder admitía las teorías del relleno *per descensum* y *per ascensum*.

Villasante, ajustándose a los conocimientos actuales sobre circulación de las aguas termales, admite que aguas, aun siendo ascendentes, pudieron no ser ya de origen profundo e hipogénicas, sino procedentes de la superficie, que después de arrastrar productos de todo género, llegaron descendiendo hasta una zona profunda y «apropiada para su evaporación o por lo menos para su rápido aumento de temperatura y volvieron a ascender por donde la actividad volcánica de la región las impulsaba, tomando a su paso las substancias más fácilmente atacables, para depositarlas en niveles superiores», y llegar hasta la superficie de donde procedían.

Los criaderos, por decirlo así, primarios, siempre están formados por las corrientes ascendentes que recogieron las emanaciones del interior y lo mismo las transformaciones inmediatas que éstos han podido sufrir para convertirlos en otros o modificarlos.

El efecto de las aguas que en su primer recorrido descendente disuelve una porción de elementos incluidos muchos de los que en los laboratorios se consideran como insolubles, dada la cantidad que circula y el tiempo que se ejerce, la acción es muy interesante.

Estas aguas descendentes cargadas de reactivos, desde luego han de ejercer sobre los minerales y sus criaderos en sus zonas de meteorización y de cementación, efectos análogos en la forma aunque distintos en el fondo de los que admirablemente nos describe Van Hise para las rocas.

Estos efectos, muy importantes y dignos del mayor estudio, como los formados por sedimentación, no entran dentro del orden de ideas en que hoy nos ocupamos.

Las condiciones típicas que reúne un criadero hidrotermal, son:

- 1.º Nunca se encuentran trazas de fusión.
- 2.º Su forma concrecionada es característica y el depósito se hizo por capas sucesivas, formando geodas con vacío central.
- 3.º Raramente existen silicatos, antes por el contrario se encuentra la sílice aislada al estado de cuarzo de

las bases cal y magnesia, en estado de carbonatos, y el hierro en estado de óxidos.

4.º La presencia de minerales clorurados y fluorados típicos de esta génesis.

5.º Se encuentran asociados en los filones minerales de fusibilidad muy distinta.

6.º Las inclusiones líquidas en minerales y gangas.

Las aguas ascendentes con los minerales en suspensión y en disolución, en condiciones adecuadas, pueden obrar sobre una fractura regular e irregular o reticulada, Stockwerks, o campo de fractura, pueden rellenar espacios vacíos entre la estratificación, efectuar acciones de contacto entre estratos de distinta permeabilidad, impregnaciones en ciertos bancos y fenómenos de sustitución.

En los casos de precipitación en fracturas, ignoramos las circunstancias en que el fenómeno se produjo; tenemos que juzgarlo por sus efectos; causas distintas pueden producir el mismo y nuestra tendencia natural es a interpretarlo en vista de los fenómenos que nos son conocidos.

Estas causas de precipitación son muy variadas: cambios de temperatura y de presión, reacciones de líquidos de distintos orígenes o de líquidos con gases sobre saturaciones, acción de las rocas de la caja o de la substancia que arrastran las aguas del exterior, cementaciones, acciones eléctricas.

El Padre Secchi, dice: «El conjunto de fenómenos llamados eléctricos, nos revela que existe en la naturaleza una fuerza susceptible de ser desarrollada por todas las acciones capaces de alterar el régimen molecular de los cuerpos, ya sean mecánicas, químicas, caloríficas o magnéticas».

D. Manuel Fernández de Castro cree más bien que el agrupamiento de ciertas substancias en direcciones dadas y alrededor de ciertos puntos, debe atribuirse a fenómenos electrodinámicos y electroquímicos, ocurridos en tiempos en que la masa se hallaba en estado de fluidez.

En los fenómenos de contacto y de impregnación, el líquido puede penetrar por la parte superior o inferior del

banco, pero siempre corriente ascendente, circulando por el permeable entre los que no lo son, sin que de éstos provenga acción alguna más que los precipitantes de que hemos hablado.

Las aguas bajo presión, en lugar de permanecer inertes, pueden ejercer sobre la roca de la caja acciones de metamorfosis directa por la naturaleza de los elementos que contienen que obran como reactivos. Esta acción, es conocida por el nombre de metasomatismo. Es necesario para ella fumarolas muy calientes y activas, para que el ataque de la roca pueda realizarse.

El Sr. Adán de Yarza, explica de este modo la formación de los criaderos de Somorrostro, Galdames, etc., en Bilbao.

HE TERMINADO.

Zaragoza.
