

SOBRE MIGMATIZACION Y PROCESOS AFINES

POR FELIX GONZALEZ BONORINO

Pasando revista a la literatura concerniente a nuestras Sierras Pampeanas, se encuentran referencias, aisladas y vagas unas veces, más concretas las menos, acerca de la existencia en ellas de rocas formadas por migmatización. Como algunas voces autorizadas se han levantado para poner en duda aquellas afirmaciones, hemos creído oportuno efectuar una corta revisión del problema, tratando primero de aclarar conceptos y ensayando luego su aplicación a nuestro basamento cristalino; revisión que ha de adquirir forzosamente un tono crítico, única manera de no extraviarse en esa Babel que es la literatura mundial sobre el tema, en donde es difícil hallar dos autores que se expresen en un mismo lenguaje.

Desde el comienzo de la exploración geológica de las antiguas áreas precámbricas los geólogos tuvieron la sensación de hallarse frente a rocas y estructuras formadas en niveles profundos de la corteza, poco menos que en el mismo foco magmático. El primer y más trascendente problema que se les presentó fué el de la presunta existencia, entre las rocas aflorantes, de la capa granítica primordial de la tierra, la costra primitiva cuya consolidación significó el jalón inicial de la historia geológica. Si bien hasta ahora no ha sido confirmada su presencia, el progreso de la exploración permitió apreciar la gran intensidad de los fenómenos ígneos-metamórficos evidenciados por aquellas rocas. Una fuerte sensación de la excepcionalidad de estos procesos se extendió entre sus primeros investigadores, tanto que Fenoscandia resultó el último baluarte de las ideas catastróficas. Aunque en sus mismas ideas iba implícita una apreciable proporción de catastrofismo, es el mérito de Sederholm haber dado por primera vez una explicación actualista a los fenómenos del metamorfismo arcaico.

Como jefe del Servicio Geológico de Finlandia, aquel geólogo dedicó largos años a la tarea de desentrañar las complicadas estructuras de las rocas precámbricas del sur de ese país, a favor de un conjunto admira-

ble de afloramientos. Fué especialmente a raíz de sus estudios que esta área se convirtió en el ejemplo clásico del metamorfismo de más alto grado; las antiquisimas cadenas svionianas, arrasadas hasta sus raíces, muestran el hogar mismo de los fenómenos magmáticos, donde metamorfismo y plutonismo corren parejos.

Otras áreas similares por su complejidad y tipos litológicos han sido reconocidos en distintas regiones de la tierra en donde existen remanentes de los núcleos antiguos, y las teorías elaboradas por Sederholm para explicar las características del arcaico de Finlandia fueron también aplicadas a aquéllas. Estas teorías se conocen, en general, con los nombres de granitización, migmatización, anatexis, palingenesis, etc.

Las ideas de Sederholm tuvieron general aceptación en casi todo el mundo, aunque también hallaron opositores, especialmente entre aquellos geólogos poco familiarizados con las áreas precámbricas, y habituados en cambio al plutonismo y al metamorfismo ortodoxos de los niveles superficiales de la corteza. Los investigadores del Arcaico las acogieron, por el contrario, con verdadero entusiasmo. Por otra parte, aquellas teorías no cayeron en campo virgen en todos lados, ya que ideas parecidas habían sido emitidas previamente en distintos países. Recordemos, sólo como ejemplo, a Durocher, Michel-Levy, Lacroix, Termier y Barrois en Francia; Lehmann, Erdmannsdörffer, Steinmann, en Alemania; Horne, Greenly, Cole, en Gran Bretaña.

En nuestro país, la aplicación de estos conceptos a la interpretación del basamento cristalino ha sido relacionada con el problema de su edad. Algunos de los que consideran a las rocas de las Sierras Pampeanas como paleozoicas, o al menos su metamorfismo, se basan en que este último no ha sido en ellas tan intenso comparado con el de las áreas arcaicas de Fennoscandia y Laurentia.

Este concepto superlativo del metamorfismo de estas áreas tiene su origen seguramente en las vívidas descripciones y la impresionante terminología de Sederholm y su escuela. Ahora bien, a la luz de nuestros conocimientos modernos sobre éstas y otras regiones de distintas edades, ¿es en verdad el metamorfismo de aquellos núcleos arcaicos tan intenso y excepcional que su naturaleza y características puedan considerarse como privativas de una única Era de la historia geológica?

Al tratar de responder a esta pregunta dejaremos de lado a aquellos potentes complejos sedimentarios arcaicos que, como el de Temiskaming, conservan aún todos los caracteres primarios a menudo hasta en sus menores detalles, los cuales revelan haber sido muy poco afectados; nos referimos, en cambio, a las áreas clásicas del metamorfismo ígneo precámbrico, como el borde septentrional del golfo de Finlandia, en donde nació el concepto del ultrametamorfismo.

El hecho mismo de vernos precisados a esta especificación está dicien-

do que el metamorfismo no ha sido de igual intensidad en toda la extensión de los terrenos arcaicos. La antigua idea de una corteza arcaica afectada en toda su extensión por una especie de « ultrametamorfismo », asociado a un diastrofismo universal, no resiste a un análisis basado en nuestros conocimientos modernos sobre aquellas áreas. El grado de metamorfismo está, en ésta como en todas las eras, estrechamente asociado a la intrusión de magmas, la cual no es de ninguna manera universal, como tampoco el diastrofismo. De esto se deduce que el metamorfismo de nuestras Sierras Pampeanas puede equipararse perfectamente al de muchas áreas arcaicas, y aún superarlo. En cuanto a si los procesos operantes en aquel metamorfismo pueden ser homologados a los considerados como propios del más intenso arcaico, es otro problema, que nos proponemos tratar someramente en estas líneas, ensayando primero una respuesta a la pregunta que planteamos más arriba.

Antes de seguir adelante conviene ponernos de acuerdo sobre algunos términos implantados por Sederholm, cuyo significado pocas veces concuerda en distintos autores ¹.

Granitización. — De la lectura de sus numerosos trabajos se desprende que Sederholm comprendía con este término la invasión de un magma granítico y / o sus derivados en un complejo de rocas preexistentes, con la consecuente mezcla más o menos íntima entre ambos. Es pues un término de sentido amplio, que incluye a toda una serie de fenómenos asociados a la invasión, como ser inyección, brechamiento, metasomatismo, refusión, resolución, etc. Los derivados magmáticos serían fluidos de naturaleza no bien definida, llamados « ichors » por Sederholm. Aquel concepto ha sufrido más tarde modificaciones en varios sentidos. Aunque la « granitización » lleva implícita una mezcla más o menos íntima del magma con las rocas de caja, muchos incluyen en ella toda invasión magmática, aun del tipo más « ortodoxo », sin ninguna mezcla. En este sentido, indicaría simplemente un ascenso de magma (« magmaaufstieg »; Hansen, 1921, p. 61; Backlund, 1936). Otra fuerte tendencia moderna considera a la granitización esencialmente como un proceso metasomático asociado con refusión (Wegmann y Kranck, 1931, pp. 61-5, 92-6; Wegmann, 1936; Backlund, 1938). Esta acepción es solamente una de las muchas que Sederholm diera al término. La diferencia entre estas tendencias no estriba precisamente en la definición, sino más bien en la importancia geológica atribuida a los procesos respectivos.

¹ Para una revisión crítica de estos conceptos véase Grout (1941), trabajo que debe ser leído cuidadosamente por todos los que se interesen por estos problemas. Consúltese también Kull (1944).

Migmatización. — Es la mezcla del magma con la roca invadida; es pues, un aspecto de la granitización. También, aunque en forma al parecer subordinada según la idea original, el magma puede ser reemplazado por soluciones más o menos diluídas de origen ígneo. Para Wegmann y otros, consecuentemente, la migmatización es principalmente un metasomatismo provocado por aquellas emanaciones.

Según la concepción de Sederholm, creador del término, el proceso adoptaría dos aspectos principales: formación de gneisses inyectados o «venosos» (*lit-par-lit*, según la expresión de los geólogos franceses), y de brechas eruptivas o «agmatitas», según que los filones o venas graníticas hayan penetrado a lo largo de los planos de foliación, o en forma irregular.

Anatexis. — Cuando la fusión se realiza en gran escala, se denomina «anatexis». Como decimos arriba, el agente sería más bien las emanaciones o «ickors» magmáticos, que ascenderían de profundidades indefinidas, quizás desde la base de la corteza, dotadas de alta temperatura (Sederholm, 1926, p. 135). Sederholm identifica la anatexis con una «refusión» regional, pero admite que en algunos casos se trataría más bien de una «resolución»⁴. La anatexis es una forma extendida de granitización (Sederholm, 1913); sin embargo, se ha usado también para indicar refusión (o resolución) en pequeña escala, para lo cual Sederholm usa más bien la palabra «palingenesis».

Palingenesis. — Este término se «refiere a la edad geológica, significando que la roca en cuestión ha recibido nueva vida; en otras palabras, ha recibido nueva eruptividad» (Sederholm, 1926, p. 135).

De todos estos procesos, fases del más general de granitización, el único cuya realidad puede aceptarse sin reparos es la migmatización; es éste un fenómeno evidente, al menos en lo que significa de mezcla de magma (o de sus derivados) y rocas preexistentes, el cual se presenta en mayor o menor grado asociado a casi todas las intrusiones. En las

⁴ Los autores modernos prefieren hablar de resolución, en lugar de refusión. Véase Eskola (1932, 1933), Barth (1936). La diferencia entre ambos fenómenos es más aparente que real, y en todo caso de grado. Sederholm no aclara mayormente el significado que le atribuye a «resolución», pero evidentemente pensaba en una fusión con una cantidad relativamente elevada de soluciones magmáticas, que actuarían, en realidad, más como fundentes que como disolventes. En vista de la reducida solubilidad de los silicatos en agua, principal componente de aquellos fluidos, no es de esperar que las emanaciones hayan «disuelto» en gran escala a las rocas. Por otra parte, al hablar de «refusión» ya Sederholm suponía una cierta proporción de volátiles, con lo cual la diferencia entre ambos conceptos se reduce. En todo esto se advierte una absoluta falta de precisión en los conceptos y en la nomenclatura, defecto que se observa igualmente en los continuadores de Sederholm.

áreas arcaicas puede observarse en sus resultados — las rocas de mezcla, o «migmatitas» — formando aureolas alrededor de los cuerpos graníticos. La formación de «agmatitas» — brechas eruptivas — puede estar ligada a un posible «stopping», pero no es una prueba del mismo.

La fusión de las rocas, ya sea en escala regional o local, es un proceso sobre el cual Sederholm ha insistido y ejemplificado repetidamente. Como decimos más arriba, el mismo autor admite que el pasaje de las rocas al estado líquido puede ser en realidad una «resolución»¹. El proceso tendría mucho de común con el «ultrametamorfismo» de Holmquist, aunque este término es también usado en un sentido amplio para indicar un metamorfismo de excepcional intensidad.

Refiriéndose a la región de la costa meridional de Finlandia, Sederholm (1907, p. 101) expresa que «toda el área ha estado en condición de fusión». De la descripción más o menos detallada de las rocas y estructura que acompaña no resulta claro cuáles son las evidencias que lo condujeron a tal conclusión. No ofrece ninguna prueba de la anatexis regional, ni menos aún criterios para su reconocimiento. Algo más explícito es con respecto a la palingenesis, o fusión en pequeña escala, de la cual ofrece varios ejemplos. Así, por ejemplo, describe la transformación de una leptita en granito gneísico por palingenesis, y comienza atribuyendo el fenómeno a «cambios metasomáticos», lo cual revela una lamentable confusión de conceptos. Se trata de una leptita melanocrática en forma de trozos englobados en granito y penetrados por venas del mismo a lo largo de los planos de esquistosidad (*loc. cit.*, fig. 11). En algunos fragmentos se advierte que el proceso ha avanzado tanto que han sido disgregados mecánicamente, al mismo tiempo que sufrieron, probablemente, un cierto metasomatismo. Del mismo carácter son los otros casos presentados como ejemplo de palingenesis en otra publicación (Sederholm, 1907, pp. 97-9, tab. I-VIII). En todos ellos se reconoce fácilmente un fenómeno de inyección magmática a lo largo de la foliación, disgregación mecánica y metasomatismo, de acuerdo a principios bien establecidos (Bowen, 1922; Nockolds, 1933). Es evidente que a través de este proceso los xenolitos han adquirido un relativo grado de plasticidad, el cual se manifiesta en una cierta deformación, pero esta plasticidad es debida a la penetración de magma y no a la presión de sus componentes. Así y todo, la mayor parte de los xenolitos presenta contornos netos y aristas agudas, lo cual revela una apreciable rigidez.

Algo más plausible sería, quizás, el ejemplo de palingenesis del granito tipo Hangö de Pävskär (Sederholm, 1926, pp. 39-50). Un «dique»

¹ Ver nota al pie en pág. 76.

de « metabasita » atraviesa el granito, y es a su vez cruzado por éste en varias partes, lo cual le comunica un aspecto brechoso. La interpretación es que se trata de una « refusión » del granito después de haber sido penetrado por el dique. El granito, a la par que fundido, habría sido transformado de granito plagioclásico en microclínico, por las emanaciones (*loc. cit.*, figs. 18 y 22). La observación de las figuras referidas parece indicar que la metabasita ha sido incluída en el magma y fragmentado, sin mayor violencia, de manera que los trozos no sufrieran mayor dispersión. Las supuestas apófisis que surgen de aquella roca son probablemente resultado de la fragmentación. Por otra parte, hubiera sido extraño que la « refusión » metasomática que cambió el granito plagioclásico en otro microclínico dejara sin alterar las formas angulosas y la composición de la metabasita. La lámina IX del mismo trabajo puede interpretarse, a nuestro entender, como un caso común de « stopping » y asimilación diferencial de una leptita atravesada por diques básicos, por parte de un magma granítico potásico. Los restos de granito plagioclásico que, según Sederholm, se observan dentro de aquél no prueba que haya existido allí, ya que pueden ser perfectamente zonas hibridizadas por asimilación parcial de la leptita.

En cuanto al frecuentemente citado ejemplo de palingenesis en el conglomerado arcaico de Viasholm (Sederholm, 1923, pp. 128-37), las pruebas se reducen a una reiterada afirmación del fenómeno ; las descripciones son tan confusas e incompletas, que es en vano pretender sacar de ellas alguna conclusión.

Ya dijimos que la tendencia moderna de la teoría granitizacionista es la de dar mayor importancia a los procesos metasomáticos. La granitización de las rocas, dicen Mac Gregor y Wilson, comprende dos procesos : a) *metasomatismo* por influencia de flúidos penetrantes provistos de gran energía (emanaciones), avanzando por delante del magma ascendente ; b) *penetración mecánica* por el magma. Siguiendo en esto al propio Sederholm, la idea general es que el metasomatismo puede provocar la fusión (« movilización », « reomorfismo » ; Mac Gregor y Wilson, 1939, p. 210 ; Wagemann, 1936 ; Backlund, 1938 b, p. 19)¹. Mediante este tipo de procesos se habrían formado muchos de los cuerpos graníticos del Arqueozoico de Fennoscandia, Laurentia y otras áreas precámbricas. En la primera de ellas, por ejemplo, los granitos de los tipos Hangö y Rapa-kivi, considerados por el propio Sederholm como intrusivos, han sido incluídos más tarde entre los formados por metasomatismo fundente (Wegmann y Kranck, 1941 ; Backlund, 1938 a). Lo mismo respecto a muchos granitos de Canadá (Quirke y Collins, 1930 ; Quirke, 1940).

¹ Grave deformación del concepto de metasomatismo, como ya lo hiciera notar Grout (1941, p. 1535).

Cuando se investigan con sentido crítico los motivos en que se halla basada ¹, se encuentra que la teoría del origen metamórfico de aquellos granitos no es una conclusión necesaria de aquellos hechos, y que hay otras alternativas posibles. En realidad, los granitizacionistas no han demostrado en ningún caso la realidad de su teoría, al menos en gran escala; en cada uno de sus alegatos no han hecho más que probar, en todo caso, la posibilidad teórica del proceso.

El principal problema que pretende resolver la granitización *in situ* es el del espacio. Es realmente una grave y difícil cuestión que debe encarar la teoría ortodoxa de la intrusión magmática, la de explicar a la vez la forma de emplazamiento y el destino de las rocas que ocupaban el lugar del magma. Sin embargo, la invasión magmática « pura », con desalojo de las rocas preexistentes, es un hecho perfectamente comprobado en muchos casos. Sean, por ejemplo, aquellos granitos emplazados en rocas de composición diferente entre sí y a la del granito mismo (esquistos cloríticos, sericíticos, cuarcitas, calizas, etc.); es absolutamente imposible suponer aquí un metasomatismo *in situ*, a menos que la proporción de material aportado sea tan grande que desaparezcan las diferencias de composición de la roca original, con lo cual el problema del espacio queda sin resolver.

Por otra parte, los mismos granitizacionistas admiten y postulan un ascenso (diapirismo) del magma formado por granitización; este ascenso se produciría por « stoping » u otro mecanismo, con lo cual los magmas adquirirían los contactos intrusivos característicos de las intrusiones superficiales.

No es por cierto nuestro propósito negar la existencia de procesos por los cuales las rocas pueden ser convertidas en otras de aspecto y composición más granítica; incluso admitimos, en algunos casos, la « movilización » de las mismas. Lo que sí ponemos en duda es la extensión regional de estos procesos. Es posible que la granitización sea un fenómeno común en niveles profundos de la corteza, pero hasta ahora no se ha demostrado, en nuestro entender, que áreas de extendida granitización afloren actualmente en la superficie de la tierra. Más de un cuerpo intrusivo granítico presenta una aureola de contacto en que cierto metasomatismo de las rocas preexistentes ha tenido lugar, pero ello no auto-

¹ Como prueba del origen metamórfico del granito microclínico de Hangö, por ejemplo, se da su textura « blástica », que más propiamente debe llamarse panalotriomorfa, y que no es rara en los granitos compuestos por microclino y cuarzo. minerales con poca fuerza idiomórfica. Por analogía se ha interpretado en el mismo sentido a cierto cuerpo intrusivo de Canadá (Wegmann y Kranek 1931, p. 87, Quirke, 1940, p. 246). Este recurso de apoyar las propias conclusiones en las de otros más que en los hechos mismos es desgraciadamente muy frecuente en la literatura granitizacionista.

riza, como parecen entender ciertos autores, a suponer que toda la masa de granito ha sido formada por metasomatismo.

Con esta breve e incompleta revisión de los conceptos relacionados con la granitización hemos pretendido demostrar que no hay motivos fundados para atribuir a las áreas arcaicas un metamorfismo tan intenso como el que ha sido y es comúnmente supuesto. En realidad es éste un tema que merece ser más ampliamente tratado, pero nos reducimos a lo ya expuesto para no cansar al lector, remitiéndolo, en el caso que quiera profundizar en el tema, a Grout (1941), en donde hallará una magistral exposición crítica de conceptos y métodos, además de una completa bibliografía.

Nuestra tesis es, pues, que todos los casos de granitización regional, tanto del basamento arcaico como de otras áreas menos antiguas, citados en la literatura, pueden ser igualmente explicados recurriendo a los procesos propios del metamorfismo ortodoxo, o sea el metasomatismo propiamente dicho (sin fusión), el metamorfismo por recristalización y reconstitución, y del plutonismo intrusivo, en el cual va incluida la inyección magmática. La ventaja esencial que posee esta teoría sobre la de la granitización es que busca la explicación de los mismos fenómenos mediante procesos que requieren mucho menor desgaste de energía.

Granitización en las Sierras Pampeanas. — Volviendo ahora la vista hacia nuestro país, encontramos regiones que podemos comparar, por los fenómenos metamórficos que presentan, a muchas áreas arqueozoicas de *Fennoscandia* o *Laurentia*. Los grandes cuerpos graníticos que forman el núcleo de muchas de nuestras Sierras Pampeanas presentan con frecuencia contactos netos, sin señales de una importante acción de contacto, sea ella mecánica o química, sobre las paredes. Otras veces, sin embargo, el magma ha penetrado íntimamente en las rocas, dando origen a extensas zonas de migmatitas. Este dispar comportamiento del magma es observable aún dentro del ámbito de un mismo cuerpo. En el batolito de Aneconquija, por ejemplo, los contactos occidentales, ubicados al oeste del meridiano que pasa por el Nevado del Candado, son en general bien definidos, trazables en el espacio de algunos centímetros. En la parte oriental, en la alta falda de los Cerrillos, y en gran parte de las sierras que se extienden hasta el Ambato, aparecen grandes áreas continuas de gneises inyectados por el magma granítico. En estas inyecciones la proporción de material ígneo es variable, sobrepasando a menudo el 50 %, y ha penetrado en general a lo largo de los planos de esquistosidad de la roca preexistente.

Este diferente comportamiento del magma respecto a las rocas de caja tiene explicación en las características estructurales de las intrusiones propias del momento en que tuvieron lugar. El material inyectado a lo

largo de los planos de estratificación o esquistosidad es anterior a los grandes cuerpos discordantes, y es esencialmente sinorogénico, es decir que ha penetrado mientras las fuerzas tectónicas estaban en acción. Este hecho está demostrado por las frecuentes señales de milonitización que muestran muchos de los cuerpos concordantes. Es posible que este proceso intrusivo haya durado hasta poco después del cese de las fuerzas, ya que algunos de aquellos cuerpos graníticos no presentan milonitización; o, al menos, que su consolidación se haya demorado hasta entonces.

Es muy probable que el fenómeno de «dilatancia» haya sido el factor preponderante en la inyección magmática. Como es sabido, la dilatancia es el aumento de volumen y, consecuentemente, de espacio interno que experimenta un cuerpo por efecto de una presión unilateral. La razón de esta dilatación está en la ruptura del orden de agregación de las partículas que forman el cuerpo. La importancia geológica de este principio ha sido ya señalada por Mead (1925). La acción tectónica habría disminuido la presión existente entre los planos de esquistosidad, permitiendo la entrada del magma. No es difícil de creer que haya habido incluso una cierta succión del líquido.

Las migmatitas del sistema Anconquiya-Ambato. — Estas áreas de esquistos inyectados, llamados también por Rassmuss «gneis de Piscoyacu», han sido consideradas generalmente como asiento de procesos metamórficos de muy alto grado, zonas de inyección y de «refundición» (Rassmuss, 1916, p. 50; Bonarelli y Pastore, 1916, p. 32). Para aquel autor, «gneis de Piscoyacu» es sinónimo de migmatita.

Al referirnos a la migmatización hemos visto que se trataba ante todo de una mezcla («migma») de magma con rocas preexistentes. Es evidente que al crear el término Sederholm tenía presente sobre todo este proceso (Sederholm, 1923, p. 14; 1926, p. 136; 1934, p. 40 y sig.), aunque también ha incluido de acuerdo a sus descripciones y ejemplos, otros procesos, especialmente la penetración de fluidos (icor) metasomatizantes, y aun fusión parcial de una roca, aunque en este caso no puede establecerse claramente si el autor se refería a los fluidos que intervenirían en la fusión. Más tarde el concepto de migmatita ha derivado hacia estos dos últimos sentidos, especialmente el primero de ellos. Para Wegmann y su escuela, las migmatitas son esencialmente el producto de un proceso metasomático. Niggli, por otro lado, las define como el resultado de una fusión incompleta.

Aquel primer concepto de migmatita, más de acuerdo con las intenciones del autor de la palabra, es el que adoptaremos nosotros, y en él entran perfectamente, por su constitución y su origen, los esquistos inyectados a los que estamos refiriéndonos.

El material inyectado por los planos de esquistosidad es en parte pegmatítico, en parte aplítico. Las bandas pegmatíticas son, naturalmente, de grano más grueso, y a veces discontinuas, hinchándose a trechos en forma de lentes, formados a veces por un sólo cristal de feldespato o de cuarzo ¹. Las bandas aplíticas son en general más regulares y gruesas, existiendo todas las transiciones entre las venas de algunos milímetros y cuerpos grano-aplíticos de varios metros de espesor, los cuales, sin embargo, conservan siempre su forma tabular. En Escaba, por ejemplo, pueden ser observados con claridad estos cuerpos. Allí, como en gran parte de la sierra, la posición de los esquistos es más o menos vertical, y los cuerpos intrusivos, de pequeñas dimensiones, son concordantes y presentan contactos bien definidos.

La íntima penetración de la roca por parte del magma influyó seguramente para que aquélla adoptara un carácter altamente metamórfico, pero en ningún momento hubo fusión de la misma. La biotita ha aumentado su tamaño y cambiado seguramente algo su composición original. El cuarzo y el poco feldespato existentes en el momento de la inyección ² han sido total o parcialmente recristalizados, siendo ahora difícil diferenciarlo de los cristales originales.

Las «arteritas» del Anconquija. — En la falda tucumana de esta sierra afloran grandes áreas de esquistos cuarzo-oligoclasa-biotita-anfibólicos, con frecuencia también granatíferos, que en ciertos lugares, como ser entre Tañí del Valle y Monteros, presentan un hermoso bandeado, razón por la cual Rassmuss los denominara «esquistos listados». Estos esquistos han sido atravesados más o menos profusamente por venas de cuarzo. Estas venas son en general discordantes; pero no raramente siguen paralelas al bandeado; muchas veces muestran un trazado tortuoso, lo que las asemeja a los pliegues «ptigmáticos» de Sederholm (1907, p. 110), con los cuales han sido comparados por Rassmuss (1916, p. 48). Este mismo autor llama a esta facies del esquisto «gneis de Suncho», y por analogías de otras rocas migmatíticas de Finlandia, también «arteritas».

¹ Esta estructura ha sido denominada «boudinage» (Wegmann, 1935, p. 310). Es interesante hacer notar que estos esquistos con nódulos de feldespato y cuarzo han sido tomados por algunos como gneises conglomerádicos, como si fueran aquellos rodados de rocas pegmatíticas (Rassmuss, 1916, p. 52). Un error semejante ha ocurrido con respecto a rocas análogas de la sierra de Córdoba, según noticia verbal del doctor Pastore (Beder, 1922, p. 10).

² Wegmann (1935, p. 317) define la inyección como una penetración de líquidos hidrotermales o pneumatolíticos. Nosotros usamos el término aquí para indicar más bien la penetración de *magma* en cuerpos alargados de pequeñas dimensiones, el de «venas» para las que resultan de penetraciones de carácter hidrotermal.

Las venas de cuarzo granular, que poseen algunos milímetros de espesor en promedio, son seguramente de origen posttectónico, aunque directamente relacionado con la deformación. Unas venas cruzan la esquistosidad, y al desviarse hacia un lado y otro siguiendo por corto trecho aquélla, desarrolla la estructura ptigmática. Otras, tal vez las más, al menos en las partes más plegadas, atraviesan rectamente la esquistosidad siguiendo los planos axiales de los pliegues, a favor de planos de deslizamiento (« shear »), formados por flexura, característicos de los plegamientos semiplásticos de capas incompetentes. El control estructural en la penetración de las venas es evidente, aunque su textura microscópica indica, como decimos, que se han formado esencialmente después que el movimiento hubo cesado.

Origen de las venas de cuarzo. — Podría ponerse en duda la propiedad del nombre « arterita » aplicado a estas rocas. El primer punto en discusión sería la naturaleza de las venas o inyecciones que las cruzan. Aunque Sederholm, creador del término, no lo establece en forma explícita, surge claramente de sus descripciones de sus arteritas que el material que forma las venas es esencialmente granítico. En otras palabras, es el producto de la consolidación de un verdadero magma. Sederholm contrapone a este líquido « arterial » otro que por analogía llama « venoso », el cual sería equivalente al líquido hidrotermal (Sederholm, 1926, p. 88-9). Esto parece indicar que este autor no atribuye mayor importancia a los líquidos hidrotermales en la formación de arteritas, como no sea indirectamente, como un agente de la anatexis.

Ahora bien, las venas de cuarzo son consideradas por la mayoría de los autores como de origen hidrotermal (ver Landes, 1937; Tolman, 1931, 1939; Furnival, 1939). Algunos sostienen, sin embargo, su origen magmático, basado en la estrecha relación geológica entre venas graníticas y cuarzosas (« silexitas »), o en otros motivos (Miller, 1919; Spurr, 1922; Bichan, 1941). El problema no está resuelto aún. Una cosa hay que dejar establecida, sin embargo, y es la transición gradual existente entre muchas venas graníticas y cuarzosas, hecho observado especialmente en los márgenes de los cuerpos intrusivos. En muchas venas granopegmatíticas delgadas, que cruzan el granito de los cuerpos intrusivos del Anconquija o las rocas de su caja, como por ejemplo en el C^o Ñuñorco Grande, se nota una gradual disminución del feldespato, y en el espacio de pocos centímetros el material de la vena queda formado únicamente por cuarzo granular. Esta es, por otra parte, la relación existente en general en las pegmatitas, donde el cuarzo es considerado, según decimos arriba, como el producto de una fase hidrotermal superpuesta a la magmática. En las venas de cuarzo que estamos considerando se encuentran, en efecto, relictos de feldespato que muestran haber

sufrido reemplazo, pero esta relación no indica, en nuestro parecer, que el reemplazo haya sido hidrotermal, aunque bien puede haber tenido influencia la concentración de fundente. En los mismos granitos se observa con frecuencia que el cuarzo reemplaza en cierto grado al feldspato ya cristalizado; sería, en todo caso, un fenómeno deutérico.

Por otra parte, una verdadera acción hidrotermal exige un continuo y prolongado pasaje de líquidos diluidos, y en nuestro caso no hay evidencias del mismo, como podrían ser venas o planos a lo largo de los cuales hubiera ocurrido metasomatismo (cloritización, etc.), tanto en las prolongaciones distales o proximales de las venas de cuarzo. Éstas pueden trazarse hacia adentro, ya directamente en el granito, donde se pierden, o en venas aplíticas, las cuales tampoco se prolongan mayormente dentro del granito. Parecen tener un origen más bien local, y no hay señales que las venas puedan haber servido de drenaje a líquidos hidrotermales.

En conclusión, creemos que las venas de cuarzo han de haberse formado más bien por la consolidación de un líquido intermedio entre magmático e hidrotermal, es decir, compuesto esencialmente por sílice, pero con suficiente proporción de agua (20-30 %²) como para conservarse líquido a la temperatura dominante en las rocas, la cual, dicho sea de paso, debió ser relativamente elevada. Este tipo de líquido ha sido llamado por Bichan (1941, p. 216) «silicotermal».

De todo ello resulta que, en lo que concierne a la naturaleza de las venas, no puede decirse que la aplicación del término «arterita» a los esquistos con venas de cuarzo del Anconquija sea errónea, aunque es evidente que éstos se apartan de las típicas arteritas en la composición del material inyectado. Un buen término sería quizás «venita», si no hubiera sido empleado ya por Holmquist en un sentido distinto (Holmquist, 1921). De todos modos, creemos que debe evitarse el llamar arterita a los esquistos con venas de cuarzo.

Rasmuss ha denominado «arterita» a su gneis de Suncho, y «migmatita» al de Piscoyacu. En realidad, migmatita es un término general que abarca, entre otras cosas, a las arteritas. Sederholm establece «la diferencia entre una *arterita* (migmatita arterítica), o gneis venoso, y una *agmatita*, o brecha eruptiva», que «yace principalmente en que en la primera una roca esquistosa ha sido dividida especialmente a lo largo de planos de foliación, mientras que en el otro caso rocas masivas, a veces algo esquistosas, han sido rotas en fragmentos angulares esparcidos» (Sederholm, 1926, p. 136). De acuerdo a esto el gneis de Piscoyacu sería una típica arterita, con más razón que el de Suncho.

La naturaleza y origen de las migmatitas de la sierra del Anconquija, especialmente en su relación con la estructura del batolito, es un problema que nos proponemos estudiar próximamente con mayor detalle.

La extensión horizontal y vertical de sus afloramientos convierte a esta sierra en un campo propicio para la investigación de algunos fenómenos oscuros del plutonismo. Por lo pronto, las observaciones preliminares parecen demostrar que la migmatización tiene menos que ver con la profundidad en la corteza que con la naturaleza del magma y las particularidades estructurales de la roca de caja. Migmatización y plutonismo «heidelbergiano» pueden presentarse asociados en un mismo cuerpo intrusivo.

En muchos otros lugares de nuestro país existen migmatitas. Puede decirse que en todas las Sierras Pampeanas, en donde haya contactos ígneos, hay también fenómenos de migmatización. Eso sí, la magnitud del fenómeno puede haber sido en muchos casos insignificante. En la Sierra de la Huerta, por ejemplo a la altura de San Agustín del Valle Fértil, pueden verse dentro del granito áreas constituidas por brechas eruptivas, formadas por trozos de roca de caja muy numerosos, y modificados por metasomatismo en rocas anfibólicas o feldespáticas con textura pavimentosa. El conjunto puede considerarse como una agmatita. Aparentemente la extensión de esta roca de mezcla es reducida, pero se repite localmente en toda el área del granito.

En las sierras de Córdoba y San Luis existen también señales de migmatización. Beder ha señalado la presencia, en la primera de ellas, de una roca granítica con inclusiones abundantes en parte asimiladas de esquistos micáceos, a la que llama «granito viejo» (Beder, 1922, p. 24-5). En ciertas partes la asimilación ha llegado a un grado tan avanzado que sólo se observan manchas difusas de minerales ferromagnésicos, las cuales, siguiendo a Sederholm, pueden llamarse «nebulitas». Aquí tampoco parecen tener gran extensión las áreas de mezcla. En otros lugares existen arteritas, como en la región de Alta Gracia (Kull, 1944, pp. 7, 25-8, lám. VIII y IX). Aquí el área de inyección *lit-par-lit*, de tipo pegmatítico, parece tener una extensión bastante amplia¹.

Resumen y conclusiones. — En la primera parte de esta nota hemos tratado de demostrar que los procesos operantes en las áreas arcaicas no han sido en realidad tan severos como pretenden muchos autores, especialmente Sederholm y su escuela de granitizacionistas. En nuestra opinión no se han ofrecido todavía pruebas fehacientes de fenómenos tales como fusión (o resolución) regional o anatexis, o granitización metasomática regional. Todos los casos interpretados en este sentido pueden ser explicados también, y en general mejor, por medio de procesos

¹ En las sierras de Umango y Famatina, según Hausen (1921, p. 35), hay también áreas de esquistos penetrados por el magma granítico, cuyas características, de acuerdo a las descripciones, son idénticas a las de otras Sierras Pampeanas.

menos radicales, en los que entran en juego el principio de reacción y la capacidad penetrante de los magmas pegmatíticos.

Por otro lado, existen en la literatura ejemplos más o menos bien demostrados de fusión, pero se trata exclusivamente de fenómenos locales, asociados en general con rocas volcánicas o hipabisales de distintas edades. El carácter excepcional de estos fenómenos revela la intervención de circunstancias especiales (Walker y Poldervaart, 1893; Larsen y Switzer, 1939; Hjelmquist, 1938).

Con referencia a nuestras Sierras Pampeanas, existen en ellas diversas áreas migmatíticas de importancia diversa, mencionadas algunas de ellas hace ya tiempo, pero no mayormente estudiadas. En el sistema Anconquija-Ambato, especialmente, hay áreas extensas de migmatitas arteríticas, que esencialmente corresponden al « gneis de Piscoyacu », de Rassmuss. El llamado por este mismo autor « gneis de Suncho » o « arterita » es un esquisito cuarzo-feldespático-micáceo-anfibólico, no fundamentalmente diferente del de Piscoyacu, pero que no ha sido inyectado por venas aplíticas concordantes sino más bien atravesado discordantemente por venas de cuarzo. Estos esquistos adoptan localmente un bandeo característico muy bien desarrollado, producto de la estratificación original ayudada por diferenciación metamórfica, resultando así bandas mica-anfibólicas y cuarzo-feldespáticas alternadas, de pocos milímetros cada una. Estas rocas no corresponden necesariamente a un nivel estratigráfico superior que las migmatitas.

En la Sierra de Córdoba se han observado también esquistos inyectados por venas pegmatíticas, que bien pueden incluirse entre las migmatitas arteríticas.

En los últimos años ha existido en nuestro país poca disposición a admitir la presencia, en nuestro basamento cristalino, de ciertas rocas que, como las migmatitas, presuponían aparentemente procesos ígneos-metamórficos propios de zonas muy profundas de la corteza terrestre. Esta tendencia tiene quizás su origen, por un lado, en la ya referida sobrevaloración del metamorfismo de las áreas arcaicas, y por otro, en una subestimación del de las Sierras Pampeanas.

Muchos de los esquistos cristalinos de las sierras de Córdoba, por ejemplo, comúnmente asignados a la mesozona, pueden corresponder muy bien a la catazona. Muchos de ellos poseen silimanita (Pastore, 1932, p. 13; Kull, 1944, p. 16, 26), y la plagioclasa alcanza a menudo a casi 30 % de anortita y aún sobrepasa esa proporción.

Para interpretar debidamente el metamorfismo del basamento cristalino es necesario despojarse de ciertos falsos conceptos que dificultan la visión del proceso. Uno de ellos es el de las zonas de profundidad, elaborada por Sederholm, Beke y Grubenmann, que tanta influen-

cia tuviera en la teoría del metamorfismo. Ya los trabajos precursores de Barrow (1893) demostraron la íntima relación existente entre metamorfismo e intrusión ígnea; recién en las últimas dos décadas se tuvo debida consideración de sus conclusiones, corroboradas por múltiples observaciones, y poco a poco el factor temperatura ha ido adquiriendo mayor importancia comparado con el de presión (profundidad). Si los autores modernos siguen empleando la división zonal de Grubenmann, es con la convención tácita o explícita de que el factor esencial es más bien la temperatura, la cual a su vez no está directamente relacionada a la profundidad, sino más bien a las intrusiones magmáticas (Billings, 1937).

Otro concepto fuertemente arraigado entre los geólogos es el de que las micacitas revelan un grado de metamorfismo menos elevado que los gneises. En sí misma, esta idea no tiene ningún fundamento. La diferencia entre ambos tipos de rocas consiste en su textura (o estructura), por lo mismo que dichos términos no tienen más significado que el textural. La textura, a su vez, depende de la composición original de la roca. Dos capas contiguas, una de arcilla y la otra de arenisca arcillosa, darán últimamente, por metamorfismo progresivo, una micacita y un gneis, respectivamente. Lo mismo sucede con un esquisto arcilloso y un granito, sometidos al mismo metamorfismo dinamo-regional; en este caso, el gneis será un ortoesquistos.

Con la existencia en las sierras de Córdoba y San Luis de enormes cuerpos batolíticos, no es de extrañar que se hayan producido fenómenos propios de catazona, entre ellos la migmatización. El metasomatismo de la roca de caja es un fenómeno que en general pasa inadvertido en la observación superficial, pero hay indicios evidentes de haber ocurrido. Son comunes los esquistos con minerales como estauroлита, etc. transformados por el metasomatismo potásico en pseudomorfos de sericita. Un estudio más detallado de estas rocas demostraría seguramente muchas otras pruebas de introducción de soluciones magmáticas en los esquistos.

Nunca se encarecerá bastante el eliminar, en la clasificación de las rocas, otros caracteres que su mineralogía y su textura. Estos son los únicos elementos tangibles y verificables que tenemos a nuestra disposición. La incurable tendencia a hacer entrar en las definiciones caracteres de índole especulativa, especialmente el genético, lleva irremediablemente a confusiones lamentables. Una terminología precisa y universal es condición *sine qua non* de toda ciencia interpretativa, y la Petrología no es una excepción. Es necesario distinguir esta última de la Petrografía; mientras ésta nos dice del « cómo » de las cosas, aquélla se propone resolver el « por qué ». La mezcla de una con otra, la introducción de conceptos interpretativos en la Petrografía lleva siem-

pre a discusiones estériles que dificultan el progreso de la Petrología.

Del mismo modo, es necesario usar de la mayor precisión al denominar los procesos mismos. Las definiciones deben tener en lo posible bases exactas, físicoquímicas, y excluir los conceptos ambiguos. Son de empleo muy extendido entre los geólogos ciertos términos que pretenden expresar gráficamente un proceso, pero que no poseen ningún significado técnico. Generalmente esta terminología es una expresión de ignorancia acerca de la naturaleza del fenómeno, la cual no siempre es justificable. Es común oír hablar de rocas « cocinadas », ¹ « fritas », « digeridas », etc. Poco puede sacarse en concreto de esta terminología con más afinidades culinarias que geológicas. Cuando una roca cualquiera, situada en las proximidades de un contacto ígneo, muestra haber aumentado su cohesión, es porque ha sufrido cierta recristalización de sus componentes; la roca ha sido, pues, *recristalizada*, y no « frita ». Si una roca, como ser un xenolito, ha sido modificada en su composición por efectos de la penetración de soluciones magmáticas, no ha sido cocida, ni digerida, sino *metasomatizada*.

Hay muchos otros ejemplos de esta terminología confusa y ambigua. La mayor parte de los geólogos emplean los términos « asimilación » y « digestión » sin una idea clara de los procesos que se quiere expresar. Grout (1941) ha redefinido éstos y otros conceptos, pero su uso es todavía poco recomendable a menos que se empleen en forma general. Cuando se quiere evitar confusiones, es bueno emplear términos más específicos. Cuando un trozo de roca es incluido por un magma, puede sufrir *inyección*, si el *magma* se introduce en su cuerpo formando un conjunto heterogéneo (migmatita); *metasomatismo*, si la composición de sus minerales es alterada por intercambio de sustancias entre el magma y la roca, sin que en ningún momento esta última pierda su condición de sólido; *recristalización*, si el xenolito cambia solamente su textura original; *fusión*, si ha alcanzado el estado líquido ²; *disgregación* (mecánica), cuando los componentes son separados y dispersados en el magma; *deformación*, cuando por haber disminuido su rigidez (principalmente por disgregación) ha sido modificada su forma primitiva. Casi siempre los xenolitos experimentan al mismo tiempo y en distinto grado más de uno de estos procesos.

¹ BARTH, por ejemplo (1936, p. 839), define a ciertas rocas como formadas por el cocido o hervido (« stewing ») de rocas preexistentes en líquidos de origen magmático. Este lenguaje no es justificado en un petrólogo, sobre todo cuando es usado en una definición.

² La fusión sólo es reconocible con certeza cuando la roca presenta vitrificación; de lo contrario, no se puede en general distinguirse de la recristalización. Hay que tener presente que esta última puede provocar tanto el aumento como la disminución del grano.

Hay quienes, confiados en su visión intuitiva, pretenden « ver » los procesos en las rocas como si hubieran sido testigos de su génesis. Esta impresión subjetiva, basada casi siempre en un examen superficial de afloramiento, afecta la objetividad de las observaciones, lo cual suele agravarse todavía con el empleo de una nomenclatura imprecisa. Las cosas no son siempre como parecen; esta sencilla máxima no es tenida en cuenta lo suficiente. En la interpretación de los fenómenos geológicos, especialmente aquellos en que interviene ese elemento de atributos confusos que es el magma, entra por fuerza una valuación puramente subjetiva de las condiciones físicas y químicas predominantes, la cual depende a su vez de la actitud mental del observador, ya que se carece en general de la base experimental y de las observaciones directas. A menos que aquella valuación vaya sostenida por el mayor número de observaciones y pruebas indirectas como sea posible, será sólo casual el que no se llegue a conclusiones demasiado alejadas de la verdad. Sederholm acusa a la escuela «microscopista» de Rosenbush de reducirse al estrecho campo del microscopio, sin atender más bien a los caracteres megascópicos, pero, a su vez, aquel petrólogo puede ser criticado por dar exclusiva importancia a la apariencia superficial de los afloramientos, sin controlar sus conclusiones con un número suficiente de análisis microscópicos y químicos, abordando el problema sin mayor espíritu crítico.

Esta desmedida confianza en los métodos inductivos basados en observaciones casi siempre superficiales, ha dificultado mucho el progreso de la petrología de las áreas arcaicas. El auge de las teorías granitizacionistas de nuestros días, con sus omnipotentes fluidos granitizantes, amenaza quitar a la Petrología parte de su carácter de ciencia. Muchos otros llamados a cordura, al estilo del de Grout, han de ser necesarios antes que el método rigurosamente científico vuelva por sus cabales.

En toda la exposición que antecede hemos tratado de guardar un justo medio entre las doctrinas antagónicas del metamorfismo ígneo, criticando sus excesos y ponderando sus pruebas. En lo que respecta a nuestro país, nuestra tesis es simplemente que existen realmente, en las Sierras Pampeanas, evidencias de migmatización, incluso en gran escala, pero que este hecho no debe interpretarse en sí mismo como señales de un metamorfismo excepcionalmente fuerte, sino más bien como el resultado de la concurrencia de varios factores favorables, relacionados, eso sí, con intrusiones magmáticas de grandes proporciones.

Abstract. — The problem of migmatization is discussed in connection with the Crystalline Central Complex of the Sierras Pampeanas (Argentina). The idea has been forwarded that there the metamorphism is essentially different to that shown by the Archean areas in Finland and Canada. The literature is briefly reviewed in an endeavour to demonstrate that the processes revealed

by the rocks of these areas are not as intense as is commonly supposed. No fusion phenomena, at least on a regional scale (anatexis), has been proved in an unquestionable way; on the contrary, every case can be better explained by processes demanding less energy, ruled by the reaction principle and mechanical magmatic action.

On the other hand, the mixing of magma and country-rock so as to form arterites and other migmatitic types quite similar to those described from classical Archean areas, has been recorded on a large scale in some of the Sierras Pampeanas. Sharp contacts and intimate *lit-par-lit* injection occur side by side in Anconquija; the reason for such different relationships is thought to be the different tectonic conditions under which the intrusions came up, the concordante and «lit-par-lit» injections being essentially synorogenic. The principle of dilatancy could have been operative. The origin of certain fine quartz veins cutting the schists is briefly dealt with; the field evidence points to a gradational passage from a granitic magma towards a water-rich silica liquid, somewhat different from a true hydrothermal solution.

LISTA DE LOS TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BACKLUND, H. G., 1936. *Magmaaufstieg in Faltengebirgen*. Bull. comm. Geol. Finlande, 115, 293-347.
- BACKLUND, H. G., 1938 a. *The problems of the Rapakivi granites*. Jour. Geol., XLVI, 3.
- BACKLUND, H. G., 1938 b. *Zur Granitisationstheorie* Geol. Fören. Fördhandl., LX, 177-200.
- BARROW, G., 1893. *On an intrusion of muscovite-biotite gneiss in the south eastern Highlands of Scotland and its accompanying metamorphism*. Quart. Jour. Geol. Soc. 49.
- BARTH, T. F. W., 1936. *Structural and petrologic studies in Dutchess County, N. Y. Part. II. Petrology and metamorphism of the palaeozoic rocks*. Bull. Geol. Soc. Amer., XLVII, 775-850.
- BEDER, R., 1922. *Estudios geológicos de la Sierra de Córdoba, etc.* Dir. Min. Geol. Hidrog., Bol. 33. Bs. As.
- BICHAN, W. J., 1941. *Nature of the ore-forming fluid*. Econ. Geol., XXXVI, 2, 212-17.
- BILLINGS, M., 1937. *Regional metamorphism of the Littleton-Moosilauke area, N. H.* Bull. Geol. Soc. Amer., XLVIII, 463-566.
- BONARELLI, G. y PASTORE, F., 1916. *Bosquejo geológico de la provincia de Tucumán*. 1ª Reunión Nac. Soc. Arg. Cs. Nat. Tucumán, 27-46.
- BOWEN, N. L., 1922. *The behavior of inclusions in igneous magmas*. Jour. Geol., XXX, 6, 513-70 supl.
- ESKOLA, P., 1932. *On the origin of granitic magmas*. Min. Petr. Mitteil., XLII, 455-81.
- ESKOLA, P., 1933. *On the differential anatexis of rocks*. Bull. comm. géol. Finlande, 103, 12-25.
- GROUT, F. F., 1941. *Formation of igneous-looking rocks by metasomatism: a critical review and suggested research*. Bull. Geol. Soc. Amer., LII, 1525-76.
- HÖLMQUIST, P. J., 1921. *Typen und Nomenklatur der Adergesteine*. Geol. För. Stockolm Fördhandl., XLIII, 612-31.
- KULL, V., 1944. *Estudio petrográfico-geológico de la región de Alta Gracia (Córdoba)*. Dir. Min. Geol. Hidrog., Bol. 55, 1-82.

- KNOPE, A., 1938. *Partial fusion of granodiorite by intrusive basalt, Owens Valley, Cal.* Amer. Jour. Sci., 36, 373-6.
- LANDES, K. K., 1937. *Pegmatites and hydrothermal veins.* Amer. Miner., XXII, 551-60.
- LARSEN, E. and SWITZER, G. 1939. *An obsidian-like rock formed from the melting of a granodiorite.* Amer. Jour. Sci., 237, 8, 562-8.
- MAC GREGOR, M. and WILSON, G., 1939. *On granitization and associated processes.* Geol. Mag., LXXVI, 193-215.
- MEAD, W. J., 1925. *The geologic rôle of dilatancy.* Jour. Geol., 33, 685-98.
- MILLER, W., 1919. *Pegmatite, silicite, and aplite of northern New York.* Jour. Geol., XXVII, 27-54.
- NOCKOLDS, S. R., 1933. *Some theoretical aspects of contamination in acid magmas.* Jour. Geol., XLI, 561-89.
- PASTORE, F., 1932. *Hoja 201 del mapa geológico de la Argentina.* Dir. Min. Geol., Bol. 36, 1-67.
- QUIRKE, T. T. and COLLINS, W. H., 1930. *Disappearance of the Huronian.* Geol. Surv. Canada, Mem. 160.
- RASSMUSS, J., 1916. *La sierra de Aconquija.* 1ª Reun. Nac. Soc. Arg. Cs. Nat., Tucumán, 47-69.
- SEDERHOLM, J. J., 1907. *Granit och gneis.* Bull. comm. geol. Finlande, 23, 1-110.
- SEDERHOLM, J. J., 1913. *On regional granitization (or anatexis).* 12th Int. Geol. Congr., Canada, 319-24.
- SEDERHOLM, J. J., 1923. *On migmatites and associated pre-cambrian rocks of S. W. Finland.* I. Bull. comm. geol., Finlande, 58, 1-153.
- SEDERHOLM, J. J., 1926. *On migmatites.* II. Bull. comm. geol. Finlande, 77, 1-140.
- WEGMANN, C. E., 1935. *Zur Deutung der Migmatite.* Geolog. Rundsch., XXVI, 5, 305-50.
- WEGMANN, C. E. und KRANK, E. H. 1931. *Beitrage zur Kenntnis der Svecofanniden in Finland.* Bull. comm. geol. Finlande, 89, 1-107.