

Pts = 1,50

Obsequio de

MEMORIAS
DE LA
REAL ACADEMIA DE CIENCIAS Y ARTES
DE BARCELONA

TERCERA ÉPOCA

VOL. XII. NÚM. 14

ORIGEN Y FORMACIÓN DE LOS MAGMAS ERUPTIVOS

MEMORIA LEÍDA POR EL ACADÉMICO ELECTO

DR. D. MAXIMINO SAN MIGUEL

en el acto de su recepción

Y

DISCURSO DE CONTESTACIÓN POR EL ACADÉMICO NUMERARIO

DR. D. CARLOS CALLEJA

Publicado en abril de 1916

BARCELONA

SOBS. DE LÓPEZ ROBERT Y C.^ª, IMPRESORES, CONDE ASALTO, 63

1916

MEMORIAS

DE LA

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS Y ARTES

DE BARCELONA

TOMO XLII. N.º 11

TRABAJOS PUBLICADOS

ORIGEN Y FORMACION DE LOS MAGMAS ERUPTIVOS

MEMORIA LEIDA POR EL ACADÉMICO SEÑOR

DR. D. MAXIMO SAN MIGUEL

EN LA SESION DE

Y

DISCURSO DE CONTESTACION POR EL ACADÉMICO NUMERARIO

DR. D. CARLOS CALERIA

Publicado en abril de 1918

BARCELONA

EN LA TIPOGRAFIA DE LA REAL ACADEMIA DE CIENCIAS Y ARTES DE BARCELONA

1918



M. San Miguel de la Cerna

ORIGEN Y FORMACIÓN DE LOS MAGMAS ERUPTIVOS

MEMORIA

LEÍDA POR EL

DR. D. MAXIMINO SAN MIGUEL

en el acto de su recepción el día 30 de abril de 1916

SEÑORES ACADÉMICOS:

Cuanto más me esforzaba en alejar el día señalado para corresponder al honor que hace ya mucho tiempo tuvisteis voluntad de hacerme, más temía su llegada; y era tanto mi temor, que llegué más de una vez a tomar la firme resolución de no someterme a la, para mí, tan dura prueba exigida por vuestro reglamento, para poder alcanzar el elevado puesto que vosotros con muchos y meritorios trabajos científicos habéis logrado; y cuando a tal estado de ánimo había llegado, amigos muy queridos, miembros de esta Academia, me recordaban el compromiso adquirido y me hacían pensar que necesariamente había de llegar ese día, por mí tan temido, y que todo hombre de ciencia debe desear, por ser el día que con solemnidad grande, recibirá el premio a tantos y tan prolongados desvelos en pro de la más noble causa, de la Ciencia que aquí nos reúne.

Por otra parte, sería acto difícil de calificar en estas líneas, corresponder con el olvido y el desprecio a tan señalado favor como me hicisteis al creer en mí una inteligencia capaz de tomar parte activa en vuestras tareas científicas.

Esta consideración, más que otra alguna, hizo nacer en mí, aunque tarde, el decidido propósito de acudir a vuestro llamamiento, esforzándome para ello en ofreceros algo, que aunque inferior a vuestras producciones, no lo sea tanto que no merezca siquiera ser tenido en consideración.

Llegó con esto el momento más difícil de mi corta vida científica: hacer un discurso que entretenga a un auditorio culto sin fatigarle, que tenga tanto de buena obra literaria como de fondo científico y que revista interés y novedad. Para mí todo ello es, sino imposible, de una dificultad grande. Encerrado en mi laboratorio, rodeado de piedras y de algunos aparatos algo más vistosos que aquellas, reina a mi lado un profundo silencio. Las rocas con muda elocuencia, solo inteligible a la sagaz vista del geólogo y a la penetrante mirada de la investigación óptica y química, pretenden enseñarme su estructura, su origen y su significación en el vasto concierto geológico y yo lo poco que de ellas voy aprendiendo no se explicarlo, sin gran esfuerzo, mas que con la sencillez que ellas me enseñaron; así es que en vano podéis esperar de mi elegante literatura.

Las rocas no muestran sus secretos a la primera vista que se las hace, son

muy parcas en revelarlos y sólo a los amigos de mucho años les es dado sondear, con seguridad de éxito, su profundo misterio; por eso poco cargado de enjundia estará este mal discurso mío.

Hechos de interés si que serán todos los que exponga, que nada hay tan insignificante en la Ciencia que pueda despreciarse.

Por fin no se si habré acertado a escoger tema de novedad, pues, esto es muy relativo; seguro estoy que lo será para algunos, pero no tengo la pretensión de creer que lo sea para todos.

Quiero que no olvidéis esta verdad: vengo aquí realmente obligado por un compromiso que yo alegre y voluntariamente me impuse, al aceptar el honroso puesto que me ofrecisteis; pero lo hice cuando había pensado sólo en la gloria y no en el sacrificio que exigía el alcanzarla; y ahora que vengo a recibir el abrazo de compañero y a recoger el noble distintivo de Miembro de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, tiemblo y desfallezco; veo en el horizonte las veces que habré de repetir este sacrificio, y lo más doloroso para mí, la poca esperanza de salir airoso de tantos y tan difíciles pasos. No puedo ofrecer experiencia científica, que mi corta edad bien elocuentemente lo demuestra, ni se tampoco si llegaré algún día a adquirirla; pero si que puedo ofrecer, voluntad firme de ayudaros, de redoblar mi actividad y de aumentar con el trabajo lo que mi corta edad y pobre inteligencia pueden producir.

*

* *

Las rocas, cosa inerte, sin vida, fija, inmutable, intransformable, definitiva, de mal aspecto muchas veces, ¿Qué interés pueden tener para la Ciencia? Esto nos hemos preguntado todos los que hemos estudiado Geología; todos convínimos al comenzar su estudio, que era campo donde no se recogían sabrosos frutos, que su investigación era cosa árida e insustancial, y que en último término como toda recompensa a largo y pesado trabajo, salía un nombre con que bautizar una roca, que a nuestro entender ni siquiera este honor le habría cabido, sino hubiera inteligencias caprichosas y raras que pretenden hacer de las piedras seres definidos, incluso por un nombre propio. Y realmente estudiadas las rocas como ordinariamente se hace en nuestras aulas, no nos faltaba razón. Se nos iniciaba en una Ciencia que podríamos llamar Petrografía estática; conocíamos las rocas como cosa muerta e inmutable, no nos importaba lo que habían sido antes, como se habían formado, ni lo que serían después. Veíamos que minerales de distinta especie, se asociaban íntimamente, que cada asociación mineralógica era una especie de roca y poseía su nombre propio, pero no creíamos que pudiera estudiarse la razón de esa asociación y no otra. Sabíamos que unas piedras son un conjunto de granos todos cristalinos, que otras son mezcla de granos cristalinos y de una masa no cristalina y que otras son verdaderos vidrios naturales, sin diferenciación cris-

talina, pero ignorábamos la causa de tan variadas estructuras y su significación. Muy vagamente creíamos poder llegar a conocer, ayudados por el microscopio, la edad relativa de los minerales que componen una roca, pero desconocíamos la verdadera significación e importancia de este dato. En fin muchas cosas sueltas sabíamos, aplicables a rocas distintas, como individuos perfectamente separados en la corteza terrestre, pero nada de lo más sugestivo e importante en Petrografía había logrado asentar en nuestra tierna inteligencia; las nociones de una Petrografía dinámica nos eran desconocidas.

Yo quisiera inculcar la idea, de que no es el fin último de la Petrografía hacer preparaciones microscópicas de las rocas, estudiar al microscopio su estructura y composición, tomar datos de sus caracteres externos y escribir un nombre; esto ni siquiera tiene valor si el que lo hace no persigue otro fin; el verdadero fin de esta Ciencia es descubrir el modo de formación de las rocas, aún encerrado en el mayor misterio y la serie de fenómenos de toda especie que han determinado el estado presente, que pueden ser reducidos u ordenados en tres categorías: primitivos unos, evolutorios otros y destructores el resto.

Y con ser vastísimo este campo abierto a la investigación, se ha ensanchado considerablemente, con la pretensión nacida en geólogos, físicos y químicos, de estudiar las rocas antes de su formación, empresa verdaderamente temeraria que paulatinamente va llevándose a feliz término, gracias al continuado esfuerzo de las más elevadas inteligencias en cada una de las tres ciencias: Geología, Física y Química. Me refiero a los estudios sobre el origen, propiedades y estado de la substancia que ha formado la roca.

Esta breve exposición os hará pensar que suponemos que las rocas no siempre han existido; primero se formó una sustancia muy diferente de la actual, esta experimentó cambios, evolución física y química; después se hizo piedra y luego, aun siguieron los procesos físico-químicos trabajando hasta que la hicieron desaparecer, y seguramente con el tiempo podrá volver a su primitivo estado. No son, según esto, las rocas seres inertes, inmutables, son cuerpos dotados de vida propia, que se engendran, nacen, mueren y se descomponen; que tienen su cronología propia divisible en períodos o edades, como una planta o un animal. Es cierto que muchas de estas investigaciones se salen hoy del terreno de lo perfectamente comprobable y seguro, pero si por ello hubiera de limitarse la Petrografía a servir hechos y datos para petrificarse en los catálogos y monografías descriptivas, bien podríamos borrar del índice de las Ciencias la Petrografía y dejaría como una mera curiosidad, como sería un catálogo de sellos, por ejemplo.

Después de lo expuesto ya imagino que empezáis a creer en la verdadera importancia científica de la Petrografía y a comprender que no pierden el tiempo las inteligencias que consagran a ella lo mejor de su producción. Si para demostraros esta verdad os leyera una lista de los sabios que se afanan en arrancar a las rocas el secreto de su misterioso nacimiento, oiríais citar los nombres de los más eminentes geólogos, físicos y químicos de nuestros tiempos.

No son pues solo geólogos los que han caído, en el natural deseo de conocer la larga y complicada historia de las rocas, sino que al campo de la Petrografía han acudido obreros afamados de otras ciencias y la nuestra ha hecho manifiestos progresos desde que a sus métodos ha unido los de la Físico-Química. No es único el ejemplo de dos ciencias que habiéndose unido para explorar regiones comunes o muy afines, han dado, aunque pudiera creerse lo contrario, resultados sorprendentes. La Petrografía asociada a la Físico-Química, asociación que para muchos geólogos no sólo sería inútil sino perjudicial, ha demostrado estos últimos años, lo injustos que eran los ataques a estas ciencias por haber invadido el dominio de la Geología.

Hoy como podréis ver en mi discurso, no puede hablarse de Petrografía sin que suenen al oído leyes, principios e hipótesis físico-químicas, a la manera como la Estratigrafía no puede progresar sin el apoyo constante de la Paleontología. Es que recordando una frase de Nougues en su Memoria sobre las Ofitas del Pirineo "El trabajo de todas las inteligencias que observan y las facultades de todos los espíritus que meditan, no serán nunca demasiado en la investigación de estas secretas y misteriosas leyes".

De la historia de las rocas quiero hablaros, pero es ésta tan complicada y larga, son muchos de sus hechos fundamentales aun tan poco esclarecidos y quedan por resolver tantas cuestiones, que es poco menos que imposible redactar en unas cuantas páginas la historia de las rocas eruptivas, sin cometer ligeras inexactitudes y aun errores de generalización no perdonables por un auditorio tan ilustrado como el de esta Academia. Sólo exponiendo las opiniones más autorizadas, las teorías más en boga y las experiencias más notables, podríamos escribir sin temor a incurrir en una síntesis prematura y defectuosa.

En esta rama de la Petrografía no se han abierto caminos cómodos y seguros por donde pueda discurrir nuestra inteligencia para llegar a las grandes concepciones de carácter general. Estamos al principio de una carrera muy larga y llena de obstáculos que lentamente van venciendo las inteligencias privilegiadas, pero sin que podamos todavía vanagloriarnos de haber llegado al conocimiento de todos los hechos y fenómenos que determinan la existencia de las rocas eruptivas; fenómenos que sólo las experiencias en condiciones adecuadas, y la aplicación de las leyes físicas y químicas de ellas deducidas, podrán algún día poner en evidencia.

Podemos desde luego dividir la historia de una roca eruptiva en cuatro grandes períodos; entendiéndolo que no consideramos éstos más que como medio para explicar mejor la evolución de una roca, pues creemos imposible limitar de modo tan rígido los acontecimientos de la Naturaleza que siempre son continuos y consecuencia inmediata unos de otros; la discontinuidad en el proceso evolutivo existe sólo en nuestra inteligencia, que la ha admitido como único modo de poderle estudiar, porque es tan limitada que no puede de una vez comprender y expresar todos los fenómenos que en este proceso tienen lugar.

El primer período ha sido denominado por Rosendusch *período prehistórico*

de las rocas, y comprende el espacio de tiempo en el cual la sustancia se ha formado, según opinión del sabio petrógrafo alemán, por oxidación e hidratación de una aleación metálica en las profundidades de la Tierra, quedando en último término transformada en una solución ígnea de silicatos. La Petrografía no dispone actualmente de medios para conocer este primer proceso, ni conocemos roca alguna en el primer estado, sólo por el estudio de los meteoritos, por las experiencias sobre soluciones de silicatos y aleaciones metálicas en fusión y por especulaciones físico-químicas, podremos formarnos idea, probable cuando menos, de esta primera fase del proceso petrogenésico.

El segundo período le ha llamado Rosendusch *intratélurico* y se refiere a aquel tiempo en que se desarrollaron cristales en la solución ígnea silicatada, que acabo de indicar; esta primera formación de granulaciones sólidas y cristalinas tiene lugar en el interior de la Tierra, aunque a menor profundidad que la formación de la solución ígnea.

El tercer período empieza con la ascensión de la fusión silicatada hacia la superficie y termina con su completa cristalización y solidificación; se llama por esta razón período *efusivo*. La definición de este período, generalizada a todas las rocas eruptivas y sin más aclaración, no podría admitirse, porque es el caso que hay un gran número de rocas que no han debido conocer período efusivo propiamente dicho: son todas aquellas que no han salido por un grieta o volcán a la superficie y que si han ascendido lo han hecho tan lentamente, que sólo de modo insensible han ido variando las condiciones físicas, terminándose tranquilamente la cristalización, en el interior de la corteza terrestre, a bastante profundidad y elevada presión. Tales rocas son los granitos, las sienitas, dioritas y gabros. Las rocas en que fácilmente se reconoce un primer período de cristalización intratélurico y otro posterior efusivo, son las que forman diques (filones) y corrientes; son los porfidos y los basaltos, para no citar ejemplos poco conocidos.

Estos tres períodos comprende la Historia de la formación de una roca eruptiva y a ellos sigue un cuarto período en el cual sufre ésta modificaciones físicas y químicas, cambios de estructura, textura, tenacidad, dureza y de composición química, que en conjunto tienden a destruirla, por lo que se define como período de *alteración*.

Todas las rocas han pasado o deberán pasar por estos períodos sucesivos; pero hay una serie de fenómenos que intervienen en la modificación de las rocas, que no afectan a todas ni son universales; ellas les hacen cambiar de aspecto y algo de composición; son los procesos llamados metamórficos que producen los gneis y las pizarras cristalinas de carácter muy distinto del de la roca primitiva.

Ya se ve claramente lo que fatigaría vuestra atención si de todos estos procesos formativos y evolutivos os hablara, trataré sólo de los formativos que son los menos conocidos y los más importantes, dejando para otra ocasión el tratar de otros estudios no menos sugestivos que se hacen con las rocas.

No es difícil comprender que a una cierta profundidad existan masas silicatadas en fusión; todos sabéis que penetrando en sentido vertical en la corteza terrestre, aumenta la temperatura un grado cada 33 metros; admitiendo que este aumento no sea más rápido en las zonas profundas y que otros factores no favorezcan la fusión de las cuerpos en ellas existentes, es evidente que a una profundidad de 30 kilómetros, insignificante con relación a la distancia de la superficie al centro de la Tierra (6377 kilómetros) todos los silicatos deben estar fundidos. Conocemos por esta ley, llamada del grado geotérmico, el estado fluido de ciertas substancias en el interior de la Tierra, pero quizá no llegara a convencernos de su real existencia, sino supiéramos por haberlo visto o leído, que en ciertos lugares de la Tierra existe una natural comunicación con estas zonas profundas y por procesos también naturales, salen a la superficie los productos en ellas encerrados, revelándonos con ello la verdadera naturaleza y estado de la substancia en las regiones profundas; y como escapan por esas chimeneas naturales substancias fluidas a elevada temperatura, cierto es como habíamos previsto que en el interior de la Tierra existen masas fundidas. Precisamente estas masas son las que han de formar las rocas, y esta afirmación también os es familiar porque conocéis que aquella materia ígnea que sale del volcán se enfría luego y se transforma en roca: así nacieron los mantos de basalto de la región volcánica gerundense.

Son pues las rocas eruptivas porciones de la masa fluida que en el interior de la Tierra existen, llevadas a regiones menos profundas o a la superficie misma. En cuanto a la profundidad a que dicha masa debe encontrarse nada positivo sabemos, pero deducimos de la ley del grado geotérmico que es insignificante con relación al radio terrestre; tampoco sabemos positivamente a qué profundidad estaban las lavas arrojadas por los volcanes, pero deducimos de la densidad media del Globo que no debe ser grande, pues siendo la densidad media de éstas 2 y la media de la Tierra 5,5 ha de ser la masa central mucho más pesada que la roca volcánica más densa.

De esta materia en fusión que sale por el volcán o que está encerrada en el seno de la corteza terrestre vamos a tratar. Para mayor brevedad y por ajustarnos al léxico petrográfico, llamaremos en adelante a esas lavas o fusiones *magmas*.

El origen de estos magmas no parece difícil de fijar: los primeros que existieron fueron ciertamente consecuencia de la condensación de las substancias gaseosas que en un principio constituían nuestro Planeta, presentándose nos como cosa nada dudosa que en la Historia de la Tierra hubo un tiempo en que una espesa y extensa atmósfera, de composición muy distinta de la que nosotros conocemos, cubría un mar sin límites de magma ígneo, en cuyo seno apareció un día, por continua pérdida de calor, la materia sólida y empezó en seguida la formación de la corteza terrestre compuesta, como todos sabéis, de rocas. He ahí, en pocas palabras el origen de la primera roca. ¿Pero las lavas que salen por los volcanes actuales y las rocas formadas en los períodos geológicos muy alejados del período de formación de la corteza terrestre, tienen el mismo origen? No me atrevería a con-

testar por mi cuenta esta pregunta. Muchos autores para nada tocan esta cuestión y otros la resuelven al parecer de modo satisfactorio. Aunque hay no pocas divergencias sobre este asunto entre los geólogos, puede verse actualmente una tendencia a considerar los magmas que han formado las rocas volcánicas desde la Era primaria hasta nuestros días, como resultado de la fusión de rocas ya existentes, verificada en el seno de la costra misma por acciones geodinámicas de un valor incomprensible. Otros autores extienden esta opinión a todos los magmas, incluso los que se han solidificado sin salir a la superficie.

Desde los más antiguos sistemas de las divisiones estratigráficas, las capas inferiores de la corteza han podido ser llevadas por las fuerzas orogénicas a profundidades donde la temperatura es tan elevada que se fundieran. Todas las rocas eruptivas de edad postarcaica proceden de la fusión de los estratos más profundos y consiguientes procesos de diferenciación durante y después de la fusión. Según esto la materia que forma el magma sería siempre la misma, lo que explica la identidad de composición entre las rocas eruptivas de los distintos períodos geológicos, melafidos y basaltos, porfiritas y andesitas p. j.

Resulta, pues, que a nosotros no llegarán nunca materiales del núcleo terrestre; todo el juego geodinámico se limita a la superficie y la corteza, no haciéndose sentir la influencia del núcleo más que por aquellos fenómenos que son consecuencia indudable de su contracción secular; los que elevan montañas sobre el fondo del oceano, crean fosas marinas profundas en regiones antes continentales y motivan los terremotos.

Según estas modernas ideas, la vida de una roca, formaría un ciclo evolutivo cerrado; empezaría por la existencia de un magma primitivo que se transformó en roca eruptiva, ésta con el tiempo se redujo a polvo y arenilla que arrastrada por las aguas fué a posarse en el fondo del mar; sobre ella cayeron más sedimentos y a larga fecha la arenilla o barro antes superficial, quedaría bajo espeso manto de sedimentos, y aun pudo, por fenómenos de hundimiento, ser llevada a profundidad tal que se fundiera, originándose un nuevo magma que algún día podrá a su vez convertirse en roca eruptiva.

Que esto sea en absoluto verdad, no puede ni debe mi escasa autoridad científica afirmarlo, pero que es muy verosímil y que es esta idea un maravilloso punto de apoyo para multitud de investigaciones petrográficas, nadie puede dudarlo.

Ya tenemos la substancia que formó y ha de formar todas las rocas eruptivas, réstanos ahora conocer su naturaleza y los fenómenos que en ella tienen lugar antes de transformarse en roca.

*

* *

Sólo la composición química de las rocas eruptivas puede ilustrarnos sobre la verdadera naturaleza de los magmas internos. Su estado podemos conocerle

estudiando el de las lavas a su salida por cráteres, cosa por demás difícil, o investigando sobre magmas artificiales preparados en condiciones lo más aproximadas que sea posible a aquellas que deben reinar en el interior de la costra. La mayoría de los autores modernos han espuesto la idea, de que para la completa explicación del proceso formativo del magma, no es suficiente por sí solo el estudio de las rocas nacidas de él; y las consideraciones deducidas de las condiciones de yacimiento tampoco pueden enseñarnos las leyes y causas que han determinado, primero la creación de un magma y después la formación de una o varias rocas distintas a expensas de él. Unicamente la vía experimental físico-química, la repetición de los procesos naturales en el laboratorio y el metódico estudio de los magmas silicatados artificiales, puedan suministrar una cierta o muy probable solución al problema. Es este un terreno de la Petrografía que nos ofrece extensos e inexplorados campos, en los que químicos, físicos y geólogos podrán recolectar inesperados frutos. Las propiedades físicas y químicas de estas mezclas de silicatos fundidos, en el interior de la corteza terrestre, y aún en las condiciones ordinarias del laboratorio son, exceptuando los pocos silicatos empleados en la industria, particularmente en la del vidrio, casi desconocidas.

Para Rosendusch, el magma cuando sale por el cráter de un volcán se compone de una mezcla en fusión de óxidos, en la cual nadan más o menos cantidad de cristales, combinaciones estables de estos óxidos; pero la composición química de las rocas muestra como factor común a todas ellas y a sus magmas, la existencia de silicatos asociados en muchos casos a la sílice libre. El mismo autor en la última edición de su Fisiografía microscópica de las rocas eruptivas dice "Los magmas son mezclas de ciertas combinaciones mineralógicas, para determinadas condiciones; pero no son soluciones de estos minerales y menos aun mezclas de ellos en cualquier proporción, sino que sólo pueden desarrollarse aquellas especies de las cuales existen en el magma sus componentes, aun no asociados, para formar el mineral". En su tratado de Petrografía da otras dos definiciones que copiaremos íntegras para servirnos siempre de las opiniones más autorizadas. "Los Magmas eruptivos, no son asociaciones químicas estequiométricas, es decir que no pueden expresarse por una fórmula química, sino soluciones en fusión con variable proporción de disolvente y materias disueltas". En la misma obra se lee esta otra definición "Un magma es una solución silicatada, con pequeña proporción de agua, fosfatos, titanatos, zirconiatos, etc., etc..." En una nota del mismo autor, que es clásica en la Petrogenia (1) considera el magma constituido de ciertas combinaciones estequiométricas que llama núcleos (Kern) y que define por sus átomos metálicos; en el primitivo magma debieron existir todos los núcleos posibles y de éstos derivan todos los minerales que se encuentran en las rocas.

Bröger después de alabar el valor de esta publicación, niega rotundamente

(1) Über die chemischen Beriehungen der Eruptivgesteive—Tsch. Mitth. 1889.

la existencia de tales núcleos y después de exponer muchos hechos contrarios a la teoría de Rosenbusch, se expresa así "Las anteriores consideraciones parecen comprobar que las combinaciones separadas en el magma son las mismas que forman los minerales de las rocas eruptivas".

Grubenmann define los magmas como soluciones ígneas de silicatos, óxidos y sulfidos, que encierran gran cantidad de gases; parte por lo menos de los componentes deben haberse disociado en sus iones; los no ionizados deben existir como moléculas completas (silicatos). Estos silicatos ya existentes en el magma son los más sencillos, y al solidificarse se polimerizan o reúnen en combinaciones isomorfas más complejas.

Para Brun el magma (la lava) en el momento de salir por el cráter es un complejo de vidrio fundido y de parte sólida y de gran cantidad de gases; pero el agua considerada por los demás autores como un agente químico de capital importancia, no se encuentra en el magma.

No quiero fatigaros exponiendo más y más opiniones sobre la naturaleza del magma, que con las indicadas, quedan marcadas las más opuestas. Por ellas se ve, que lejos estamos de conocer el primer problema, el que sirve de base a la petrogenesis; y como un mismo autor define el magma de modo muy distinto según sus diversas publicaciones, lo que hace creer, que hoy nada seguro y concreto sabemos sobre el estado de los elementos petrográficos en el magma. Parece confirmar la idea de Rosenbusch, de no existir ya separadas las moléculas silicatos en el magma, el hecho de que cuando el magma no cristaliza, tales especies minerales no existen y la roca formada es un vidrio homogéneo, en el que encuentra el análisis químico, los mismos componentes que en las rocas de la misma erupción, completamente cristalizadas; deben según esto existir en el magma sólo las bases, óxidos, los compuestos más sencillos y estables. A este razonamiento se opone la posibilidad de que estén disueltos los minerales petrográficos unos en otros, formando un complejo físico-químico, del que se separan por cristalización como especies individualizadas, cuando la solidificación se ha hecho con lentitud suficiente para ir sucesivamente alcanzando el punto de saturación cada especie mineral, que no es otra cosa que un sencillo miembro del sistema, dando lugar a una roca mezcla de especies minerales individualizadas; pero cuando el magma o sistema físico-químico solidifica bruscamente, alcanzando todos sus miembros a la vez el punto de saturación cuando ya las moléculas del sistema no gozan de movilidad suficiente para reunirse en los centros de cristalización, la roca resultante debe ser el mismo sistema físico-químico pero sólido, la solución compleja al estado sólido.

En apoyo de esta opinión está el hecho, por todos reconocido como cierto, de la lenta separación de especies cristalizadas, en los vidrios volcánicos, en esos sistemas físico-químicos sólidos; cristalización, que por la escasísima movilidad de las moléculas, se hace con lentitud tal que es obra secular, pero que en nada esencial difiere de la cristalización que tiene lugar en las soluciones líquidas. Podemos, pues, dejar sentado que en el magma deben existir las especies minerales con su

molécula completa, al estado de disolución, ionizadas o no, y que admitir esta hipótesis es necesario para explicar racionalmente los procesos de formación de las rocas.

Algunos autores defienden la existencia de un magma primitivo del cual derivarían todas las rocas conocidas; es natural que admitida esta hipótesis, los primeros pasos en Petrogenia, serán encaminados a conocer la naturaleza y composición de este magma; en este sentido ha hecho Clarke trabajos curiosísimos; ha calculado la composición media de la corteza terrestre y la ha encontrado muy próxima a la que ofrecen las rocas llamadas Exesita y Monzonita (1), concluyendo de esto que tales rocas son los representantes directos del magma original. Esta hipótesis no encuentra hoy partidarios y sí investigadores que la atacan con multitud de hechos observados, contrarios a ella, siendo entre los geológicos el más importante, la pequeñísima proporción en que se encuentran estas dos rocas en la Costra, cuando según la hipótesis debían formar la masa principal y las otras rocas ofrecerse siempre a ellas subordinadas. Este camino, no ha dado el resultado deseado y debe abandonarse; quizá siguiendo derroteros distintos, podremos llegar a conocer que magmas han producido las rocas.

El análisis químico de miles de rocas ha demostrado lo variada que es su composición; las investigaciones microscópicas enseñan cuan diversas combinaciones mineralógicas presentan y con que diferentes estructuras se muestran; son tantas las diferencias de unas rocas a otras, que imposible parece se haya podido llegar a establecer una estrecha relación genética, siquiera sea únicamente para las rocas de una misma región.

La transformación del magma fluido en roca sólida es acompañada de una serie de fenómenos físicos y químicos, que explican de un lado la diversidad de composición química y mineralógica que ofrecen las rocas correspondientes a un mismo macizo eruptivo, y de otro, las distintas estructuras que presentan. Esta idea admitida hoy por todos los geólogos, marca el camino que las investigaciones deben seguir para conocer la causa, al parecer tan misteriosa, de la existencia de tanta variedad de rocas eruptivas como conocemos.

*

* *

Toda roca eruptiva procede de un magma, pero, ¿todas las rocas que conocemos derivan de un magma primitivo común o ha sido necesaria la existencia para cada especie de un magma especial independiente? Esta pregunta es un problema de muy difícil solución y mal haría yo si por mi cuenta quisiera contestaros, que

(1) La Exesita es roca de estructura granitoidea, compuesta de Plagioclasa básica, piroxenos monoclinicos, Nefelina, Sodalita-Biotita y Olivino. Los Monzonitas son Sienitas alcalinas con plagioclasa, Ortosa, piroxeno, anfilol y algo de Cuarzo. (Ver M. San Miguel Apuntes de Geología geognostica.

bien podéis comprender que no han nacido en mí las hipótesis que tienden a resolverle. Tampoco, aunque fuera ayudado por la opinión de uno o varios eminentes petrógrafos, podría contestaros concretamente y con seguridad, que son muchas las hipótesis ideadas y muy distanciadas las opiniones de los más esclarecidos autores modernos.

Se puede, sin embargo, separar dos grupos de opiniones: Uno supone todas las rocas nacidas de un magma primitivo común que ha experimentado cambios físicos y químicos importantes, que determinaron una división en varios magmas parciales diferentes, de composición química distinta, los cuales sufrirán nuevas segmentaciones, que darán lugar a otra generación de magmas, de composición aún más distanciada de la que presentaba el magma inicial. Otro, admite la existencia, ya antes de que pudiera formarse ninguna substancia sólida en la Tierra, de dos o más magmas independientes, los cuales mezclados en proporciones diversas, han formado todas las especies de rocas conocidas.

El primer grupo de opiniones, constituye la teoría denominada de la *diferenciación* (Spaltung) y el segundo la de las *Mezclas*, establecida por Bunssen para explicar la formación y origen de las lavas de Islandia. Aquella es actualmente muy seguida, ésta cuenta ya muy pocos defensores, y éstos no tal como la ideó Bunssen sino muy modificada.

En cada una de las dos escuelas, la de los partidarios de la diferenciación y la de los que siguen la teoría de las mezclas, existen diferencias notables en cuanto a la apreciación de las causas que las determinan, condiciones en que se han producido y fenómenos que las acompañan.

Trataré de exponer con la mayor brevedad posible las ideas más notables sobre este particular, las que en último término nos llevarán al conocimiento de los procesos de elaboración de los magmas y de su transformación en rocas; pero para ello necesito de vuestra grande benevolencia, ya hasta aquí hartamente demostrada, pues se que ha de fatigaros una exposición histórica de opiniones y trabajos de los sabios petrógrafos que vivieron en el pasado y presente siglo.

Poulet Scrope—Volcanos, 1825—fué el primero que en el siglo XIX trató de la naturaleza de los magmas y su origen. Consideraba las lavas como rocas cristalinas fundidas en presencia del agua, que debió penetrar en los poros de las rocas y contribuir con la elevada temperatura a su fusión; según esto la diversa composición mineralógica de las rocas puede explicarse: 1.º por distinta composición de las rocas fundidas y 2.º por repetidas fusiones y solidificaciones de la lava antes de la erupción. Las diferentes especies de una misma región, que yacen unas al lado de otras, proceden, según Scrope, de una especie de diferenciación entre minerales ferruginosos y feldespáticos, determinada por la separación de los segundos al estado de vapor.

Ch. Darwin (1844) supone las rocas nacidas de un magma inicial homogéneo y explica su variedad, por la separación de cristales al enfriarse el magma; estos cristales se acumularían en el fondo por ser más densos que el magma, lo que ya

motivaría la separación de una roca cristalina en el fondo y un magma de composición distinta sobre ella; o una fuerte presión obrando sobre toda la masa obligaría a la parte aún fluída a introducirse por las grietas de las rocas envolventes, con lo cual se formaría en éstas una roca de composición diferente que la que quedó in situ. En apoyo de esta idea dice que el basalto brota, en general, al pie del cono volcánico, mientras la Obsidiana sale del pico mismo, lo cual no es cierto para ningún volcán basáltico.

Para Dana (1849) la diferenciación sería una consecuencia de la desigual fusibilidad de los minerales que componen las rocas; en los basaltos p. ej. el feldespato se consolidaría primero, por ser el menos fusible y la Augita después. De la hipótesis de Dana no es esto lo más importante sino el estudio que hace de la cuestión ya antes tratada, de si en el magma existen ya individualizadas, las moléculas de los minerales petrográficos; del cual concluye que deben existir los componentes pero en otra combinación, pues, cree haber observado que de un mismo magma, según las condiciones de consolidación puede cristalizar Hornablenda o Augita.

En 1851 dió a conocer Bunsen su célebre teoría de las *mezclas*; según ésta, todas las rocas eruptivas de Islandia proceden de magmas que resultan de la mezcla en proporciones variables de dos magmas extremos independientes; uno ácido-*normal traquítico*—y otro básico—*normal piroxénico*.—Admitía además la influencia de la asimilación por el magma, de ciertas porciones, las más próximas, de las rocas envolventes, en la elaboración de las series de magmas intermedios. La mezcla de los dos magmas iniciales independientes debió efectuarse durante el período efusivo, cuando ambos ascendían hacia la superficie.

Sartorius v. Waltenshausen que acompañó a Bunsen en sus excursiones por Islandia, dedujo del estudio y observación de las mismas rocas, una teoría completamente opuesta, que dió a conocer el año 1853. Para este autor las rocas eruptivas de Islandia proceden de un solo magma inicial, en el que se produjo una separación de magmas parciales según su peso específico, por eso las rocas superficiales son muy ricas en feldespato y pobres en óxidos básicos; estos y la densidad aumentan con la profundidad, hasta que a 21 millas dominan los silicatos pesados y los óxidos metálicos (Augita y Magnetita) sobre los feldespatos.

Charles Lyell, en su manual de Geología (1855) considera también la elaboración de magmas parciales a expensas de uno inicial homogéneo, como consecuencia de una separación de magmas parciales según el peso específico. Su opinión difiere de las de Darwin y Scrope únicamente, en que para él esta segmentación tiene lugar ya cuando todos los componentes son fluídos. En la página 522, puede leerse lo que sigue: “Una gran cantidad de rocas en el interior de la Tierra son fundidas por el calor volcánico, entonces las partes más pesadas de esta masa líquida caen al fondo y las más ligeras quedan arriba y serán, por lo tanto, las que primero salen cuando la erupción volcánica.

Para J. B. Jukes (1857) la diferenciación del magma inicial en otros varios

de diferente composición sería influida por el punto de fusión de sus componentes; en un magma que asciende o se enfría lentamente cristalizan primero los cuerpos menos fusibles, los cuales caerán al fondo y los más fusibles, aún líquidos, descansarán sobre ellos. Esta idea necesita una breve aclaración; de los minerales que forman las rocas los menos fusibles son los más ligeros y los más fusibles los más pesados, por consiguiente en esta hipótesis se supone una diferenciación inversa a la producida por la densidad y así como según la de Lyell salen al exterior primero las rocas ácidas, las menos densas, en esta serían las básicas y más pesadas y las últimas las ácidas.

En el mismo año, otro autor cuya influencia en Petrogenia ha sido muy grande—Durocher—trató de reunir en una sola teoría las opiniones de Bunssen, Darwin y Dana. Consideraba a todos los magmas, como productos de la mezcla de dos magmas extremos, rico en sílice el uno y muy pobre en este elemento el otro, que deben estar superpuestos como dos capas concéntricas al rededor del núcleo terrestre. Lo más original de la hipótesis de Durocher es que no admite la real existencia de estos magmas extremos que dice son *puramente hipotéticos*. Los supone nacidos, por *licuación*, de un magma primitivo en el que se produjo una separación de materiales fluidos y aún cristalinos; estos magmas pudieron después experimentar más amplias licuaciones, y finalmente dar lugar a diversas rocas según las condiciones que hayan presidido la diferenciación del magma inicial. Opina que las diferencias de composición mineralógica no se deben tanto a diferencias de composición química como a las de presión y temperatura y en general, a las condiciones en que se efectuó el enfriamiento. “Los magmas que han producido las rocas ígneas son comparables a caldos de fusión que contienen varios metales y que al consolidarse se dividen en diferentes aleaciones según las condiciones de su solidificación, aún que el baño primitivo ofreciera la misma composición”.

Después de este autor siguieron emitiendo opiniones muchos otros sin añadir nada nuevo ni de observación propia, por esto no creo conveniente fatigaros con la repetición de las mismas ideas.

En 1880, nace una nueva teoría desarrollada por C. E. Duthon. Supone el eminente geólogo americano, que la primera Costra debió ser homogénea y próximamente de la composición química de un basalto, pues esta roca es la más importante en todos los períodos geológicos (1); por descomposición de esta nacerían sedimentos (calizos por un lado, arenas y arcillas por otro); si una de estas masas de sedimentos, fuera por acciones geotectónicas, puesta en condiciones de ser asimilada por el magma basáltico primitivo, el magma resultante no tendría igual composición que el inicial, y de él nacería necesariamente una roca diferente, pudiendo por este proceso originarse tres nuevos tipos de magmas que darían otras tantas familias o grupos de rocas. No le parece probable una separación de los

(1) Aquí debe entenderse la familia basaltos, no sólo los basaltos propiamente dichos sino también Melafidos, Diabasas, etc.

crisales ya formados, porque cuando estos existan, ya el magma no será suficientemente fluido para que puedan fácilmente moverse; igualmente considera inadmisibile una división del magma en dos partes, una pesada y otra ligera, superpuestas.

Hasta aquí las teorías no se basaban en hechos o leyes comprobables; siempre eran teorías empíricas que se desarrollaban entre muy estrechos límites y muy análogas o iguales siempre. Con Lagorio 1886, empieza a tenerse en cuenta, en las teorías petrogenéticas, las leyes físicas y químicas que determinan la formación de los magmas. Según este autor, un magma es una solución sobresaturada de varios silicatos, los cuales al menor impulso debieron cristalizar, como especies minerales. Su analogía con una solución salina acuosa es completa y las leyes que rigen a estas son aplicables a los magmas. La diferenciación no puede producirse al estado fluido, únicamente se verifica por separación de sustancia al estado sólido, del mismo modo que la separación de las sales en una solución acuosa. Como disolvente de la solución magma considera un vidrio, silicato de composición $B_2 O_2 Si O_2$, donde $B = K$ ó Na ; las sustancias disueltas son los minerales petrográficos menos importantes. Aplicó a la diferenciación de los magmas el principio de Soret, pero sobre la influencia de este principio dió más detalles Teall en su Petrografía (1888); el principio dice que en una solución homogénea, se produce siempre un enriquecimiento de las sustancias disueltas en la parte más fría, y puede aplicarse muy bien a los magmas eruptivos; masas homogéneas fundidas, pueden por difusión de ciertos constituyentes durante el enfriamiento, hacerse heterogéneas; así puede dividirse un magma en dos, uno más ácido y otro más básico que el inicial. Teall ha demostrado que los bordes de ciertos macizos eruptivos son más básicos que el centro. También Teall considera, como Lagorio, el magma como una solución de silicatos básicos en ácidos.

Un año después se publicó la nota ya citada (1) en que Rosensbusch expone su opinión sobre estas cuestiones. Entiende por diferenciación (Spaltung) la espontánea división de un magma en dos o más diferentes. En las páginas 156 y 157 dice "Puede ahora suponerse el primitivo magma nacido en el interior de la Tierra por progresiva oxidación de un núcleo compuesto de aleaciones metálicas; este debemos representárnosle homogéneo en un principio, pero los hechos conocidos, las rocas eruptivas materialmente tan distintas que forman la Costra, nos llevan a la idea de que ese magma primitivo se ha dividido en varios magmas parciales de composición diferente. Era de esperar que esto no se verificaría sin sujetarse a orden ni ley alguna, sino que tal división ha de estar determinada o influenciada cuando menos, por las afinidades químicas. Así se explica que ciertos magmas sean imposibles y jamás se encontrarán rocas que los representen"; no se conocen granitos desprovistos de alcalís y calcáreos; un magma rico en magnesia, alúmina y

(1) Über die chemischen Berichungen der Eruptingesteine.

hierro es desconocido; la proporción de sílice es función de la proporción de magnesia, de cal, y de alcalís.

La causa de que unos magmas presenten universal repartición y otros falten, no puede explicarse más que porque ciertas substancias en las soluciones ígneas se excluyen mutuamente o por lo menos en ciertas proporciones. La presencia y regular repartición de determinadas masas eruptivas, nos aleja del campo de lo casual y nos da motivos y punto de apoyo, para buscar las leyes según las cuales se verifican estas diferenciaciones.

Admite la existencia de varios magmas (originados quizá por primera diferenciación de una fundamental) que caracteriza por la relación entre la cal y alcalís y la proporción de alúmina, magnesia y hierro, y también por la relación entre estos elementos y los alcalís.

La marcha de la diferenciación sería como sigue: las primeras diferenciaciones del magma fundamental producirían los magmas madres de las rocas de profundidad; después éstos, por sucesivas diferenciaciones engendrarían los magmas efusivos que se ofrecen más elaborados, más puros y a veces muy próximos a los núcleos de proporciones estequiométricas.

En 1890 apareció un trabajo de Brögger (1) en el cual aplica a la diferenciación del magma el principio de Soret o de la pared fría “de las relaciones químicas que existen entre las rocas de una provincia petrográfica se deduce que proceden de un magma común encerrado en un recipiente aislado y cuyo contenido es sencillamente una parte de la masa fluída que debe constituir el centro de la Tierra. En la superficie fría de ese magma se reúnen primero las substancias pobres en SiO_2 y serán las primeras que harán erupción; los materiales de las siguientes erupciones son siempre más ácidos, hasta que al final salen otra vez rocas básicas, que corresponden a los minerales que primero cristalizaron y que se acumularon en el fondo, fundidos de nuevos”.

Brögger niega la asimilación de las rocas envolventes por el magma, pues no encuentra más que pruebas contrarias a ella; en las regiones por él estudiadas no ha podido comprobar aumento de CaO en el magma como correspondería a la asimilación de los estratos silúricos y devónivos de la región de Cristianía que contienen hasta un 25 % de caliza, ni la existencia de una zona intermedia entre el granito y los sedimentos metamorfoseados; por el contrario, siempre el contacto está perfectamente limitado. El feldespató que según Michel-Levy resulta de un aporte de alcalís por los mineralizadores, tampoco ha sido encontrado en las rocas que rodean a los macizos intrusivos de aquella región, y cree, que cuando en las rocas de contacto hay feldespatos, debieron éstos formarse a expensas de su propia substancia. No admite más modo de erupción del granito y rocas análogas

(1) Die Mineralien der Syenitpegmatitgänge der Südnorvegischen Augit und Nephelinsyenite Zeitschr S. Kryst u. Min. Die Eruptivgesteine des Krystianiagelietes—Cristiania.



que la intrusión o inyección, como la que engendró los lacólitos y niega la erupción por asimilación ideada por Kejerulf y M. Levy. Sues suponía los batólitos engendrados por simple relleno de espacios vacíos preexistentes; esta opinión es inadmisibile; el magma ha debido ascender por grietas hasta que no encontrando fácil paso y acumulándose en gran cantidad, tuvo fuerza de ascensión suficiente para levantar la cubierta sedimentaria y formar la bóveda del lacolito.

En la hipótesis Kjeruf-Levy, los estratos que faltan habrían sido incorporados a la masa magmática; en la de Brögger forman el basamento del macizo eruptivo, por lo tanto, no faltan sino que han permanecido in situ, mientras que los demás han sido separados de ellos por la fuerza de la masa intrusiva.

Para Brögger los fenómenos de diferenciación y de erupción dependen de los de enfriamiento y cristalización: "de dos magmas fundamentales muy diferentes, resultan rocas iguales en los planos de enfriamiento, por difusión de los minerales ferromagnésicos y cálcicos hacia ellos, que determinan una primera concentración de los elementos básicos en las paredes del batolito; los otros magmas parciales deberán ser muy diferentes, más aún que los fundamentales de que proceden y también lo serán sus rocas; los magmas parciales últimos deberán ser otra vez iguales, pues quedarían ya de los dos primitivos sólo los elementos que cristalizan más tarde, feldespatos alcalinos y cuarzo". Si esto es verdad, sea cualquiera el magma fundamental, debe empezar la serie de erupciones por rocas básicas, después salen rocas intermedias y más tarde las rocas ácidas. Le Verrier, J. D. Dana, S. H. Williams, Lossen, Dalkyus, Teall etc., llegan a idéntica conclusión.

Los macizos eruptivos, con sus filones ácidos y básicos y sus facies periféricas básicas, muestran siempre un conjunto de rocas, que a pesar de su diferente composición, es indudable su comunidad de origen; todos proceden de un mismo magma. Los magmas parciales que han determinado todas estas rocas diferentes no han podido originarse por asimilación de masas petreas extrañas al magma, porque si así fuera, la composición de la roca resultante, no puede estar sujeta a las leyes a que responden las rocas eruptivas, ya que la composición química de las sedimentarias no obedece a ley petrogénica ninguna, sino a la casualidad que llevó a reunirse minerales determinados, y debe por lo tanto, diferir su carácter químico del de la roca eruptiva principal y del de las otras periféricas y filonianas cuando éstas no atraviesan sedimentos de la misma naturaleza; y precisamente se observa lo contrario; una gran analogía química entre todas las rocas, filonianas y principal, que permite definir las como correspondientes a una misma familia petrográfica.

Por otra parte las rocas filonianas son complementarias entre sí, reunidas dan la composición de la roca principal, de la cual se pueden derivar por adición o substracción de ciertas asociaciones estequiométricas. Esto prueba que no puede explicarse la formación de tales series de rocas, su parentesco o comunidad de origen y sus diferencias de composición, más que por la hipótesis de la diferen-

ciación de una gran masa de magma. Esta se ha hecho según dos direcciones: una por enriquecimiento de elementos ferromagnésicos y otra por concentración de silicatos aluminico-alcálinos. Es posible que los términos extremos ácidos resulten exclusivamente por separación de F_2 , Mg y Ca , pero es más verosímil que se deban a una doble corriente de difusión de los elementos petrográficos, ya en combinación y no ionizados, en dirección opuesta "una difusión de los elementos ferromagnésicos hacia las salbandas del dique o la zona periférica del macizo, y otra de los aluminico-alcálinos hacia el centro de la masa magmática". Si esto es verdad deben ofrecer los diques y los batolitos una zona periférica básica y una central ácida ligadas por términos intermedios; la Petrografía enseña que en las regiones en que las series de rocas correspondientes a un mismo macizo son bien conocidas, esta disposición existe siempre.

Brögger niega la existencia de los núcleos estequiométricos de Rosenbusch y no admite más combinaciones en el magma que las que forman los minerales petrográficos.

En cuanto al proceso de la diferenciación se expresa de este modo: "La diferenciación, esto es la formación de diversos magmas parciales, es una función del enfriamiento del magma principal a lo largo de su superficie de contacto con las rocas envolventes; en ella han desempeñado importante papel las condiciones de solubilidad del magma y es muy verosímil que no haya intervenido en la diferenciación ningún factor independientemente de la solubilidad; los elementos más solubles han permanecido más tiempo disueltos y cristalizaron los últimos; los menos solubles se separarían primero. Cuando encontramos facies básicas en el borde y ácidas en el centro de un macizo eruptivo, no debemos pensar que se deben a una separación de dos fluidos inmiscibles, sino a corrientes de difusión de los menos solubles hacia la superficie de enfriamiento y de los más hacia el centro de la masa magmática".

Una ruptura del equilibrio del magma por enfriamiento a lo largo de la región externa, debe ser la causa de la diferenciación; ésta debió continuarse hasta alcanzar de nuevo el equilibrio perdido o hasta la completa solidificación del magma; el resultado final es formar a lo largo de la superficie de enfriamiento, y en la región central, rocas de composición diferente, y en el caso extremo, en el de diferenciación más avanzada, un magma ferromagnésico puro en la periferia y otro alcalino puro en el centro. Admite además la posibilidad de una diferenciación por electrolisis.

J. H. L. Vogt (1891 y 1893) admite una diferenciación según el peso específico y el principio de Soret, discute la posibilidad de una diferenciación; estudia este proceso bajo el punto de vista de las leyes físico-químicas, y llega a concluir que para las rocas básicas es posible una separación de metales, sulfidos y óxidos de un lado, y un magma básico de otro. Silicatos pobres en sílice pueden separarse según el principio de Soret u otro desconocido, como demuestran las experiencias sobre fusiones artificiales. Por investigaciones sobre soluciones sa-

linas acuosas, llega a la idea hoy muy admitida de la diferenciación de los magmas por difusión.

J. B. Dakins y J. J. H. Teall (1) abordaron el problema de la formación de las distintas rocas de un centro eruptivo y de la diferenciación de los magmas. De sus estudios deducen que las rocas de la región por ellos explorada, forman una serie petrográfica y químicamente completa; que todos son producto de un continuo proceso de evolución de un magma inicial común. Verosimilmente, dicen, se han separado por enfriamiento de la masa fluída, primero los minerales ricos en óxidos básicos que son los más densos y después los restantes minerales ricos en sílice.

Iddings en 1892 publicó su célebre Memoria sobre el origen de las rocas ígneas. Considera el fenómeno de la diferenciación como función de la temperatura presión y de la atracción hacia el centro de la Tierra; quizá también influye la disociación de los componentes en sus iones. Admite que en el magma los óxidos existen independientemente, sin combinarse con la sílice.

“Las diferencias de composición química de las rocas eruptivas que constituyen una serie natural, son el resultado de la diferenciación físico-química de un magma de composición intermedia entre las más ácidas y las más básicas, el cual puede proceder, por diferenciación, del magma fundamental” y ya nos encontramos dentro de la hipótesis desarrollada por Rosenbusch, pero Iddings no admite los núcleos estequiométricos, y por lo tanto son distintas las leyes a que cree sujeta la diferenciación. “La causa principal es la temperatura... El disolvente varía con la naturaleza del magma”. Basa la diferenciación en el principio de Soret por lo que la teoría de Iddings es conocida con el nombre de teoría del vaso o recinto cerrado.

No menos curiosas son sus ideas sobre el orden de erupción y origen de los magmas. “El magma de composición media debe salir el primero y en gran abundancia, después irán apareciendo simultáneamente magmas más ácidos y más básicos, hasta las riolitas y lamprofidos que representan los términos extremos a que conduce la diferenciación. Todo hace suponer un magma inicial homogéneo en el cual el estado de fusión perfecta ha precedido al de cristalización, pero como en los diversos períodos geológicos, desde el Cámbrico al Cuaternario, han brotado lavas de idéntica composición, es preciso admitir la existencia de una fuente de magma sustraída durante largo tiempo a toda causa diferenciadora, la cual necesariamente ha de encontrarse en una zona de temperatura muy elevada y constante. Este magma pasa del estado estable al inestable en el momento y después de los grandes movimientos orogénicos; el comienzo de la actividad volcánica de una región coincide con el período de diferenciación del magma primordial”.

(1) On the Plutonic Rock, of Garabel Hill an Meall Breac. *Coc. Geol. de Londres*. 48-1892.