

HISTORIA DE LA APLICACIÓN DEL MICROSCOPIO AL ESTUDIO DE LOS MINERALES Y DE LAS ROCAS

POR D. RAFAEL BREÑOSA.

Ingeniero de Montes

Las primeras tentativas para aplicar el microscopio al estudio de las propiedades de los seres inorgánicos se remontan al siglo xvii, poco tiempo después del descubrimiento de tan preciado instrumento, pero atendiendo al atraso en que por aquella época se encontraba el cultivo de las ciencias naturales, y sobre todo el de la mineralogía, no es de extrañar que fueran objeto de estudio muy pocos minerales, y entre ellos solamente las piedras preciosas. *Roberto Boyle*, en 1663, al mismo tiempo que *Malpighi*, en Bolo-
nia, investigaba con gran provecho en otros dominios de la ciencia, publicó su trabajo *Observationes de adamante*, en el cual refiere que se dedicó á averiguar por medio del microscopio, aunque inútilmente, la causa de unas manchas opalinas que se observaban en un notable diamante descrito por él. *Leeuwenhæck* en 1695, trató de sorprender con el microscopio el maravilloso proceso de la cristalización, que en tan alto grado excita todavía el interés de los mineralogistas, y de estudiar la estructura interna de los cristales.

En toda la primera mitad del siglo xviii no se practicaron observaciones de esta clase, hasta que en 1760 publicó *H. Baker* la Memoria intitulada: *Examination of salts and saline substances, their amazing configurations as formed under the eye of the observer*, mientras que casi al mismo tiempo *Ledesmüller* hacía la descripción microscópica de una piedra fosforescente y fibrosa del Palatinado de Baviera, tratando de explorar ambos los oscuros dominios de la génesis y estructura de los cristales.

En 1774 se inicia un progreso en esta vía fecunda con un método, de autor anónimo, propuesto para averiguar la composición de las rocas criptómeras ó afaníticas, examinando el polvo al microscopio. *Dolomieu* se sirvió de él, lo aplicó igualmente en 1800 *Fleuriau de Bellevue* al estudio de los cristales microscópicos de las lavas y lo perfeccionó *Cordier* en 1815, sometiendo el polvo de las rocas á selecciones sucesivas por medio de lavados que separaban los elementos de diferentes densidades, examinándolos después al microscopio y practicando sencillos ensayos con el soplete, los ácidos y la barra imantada. Pero ni el mismo *Cordier*, autor del procedimiento, lo empleó en trabajos petrográficos de alguna importancia, ni aconsejó á otros su uso, en razón á la dificultad de separar por medio de un líquido tan poco denso como el agua los elementos de las rocas, y á lo imperfecto de la observación microscópica tratándose de partículas minerales limitadas por superficies arbitrarias, en las que se producen reflexiones que perturban la formación de la imagen. Además, este procedimiento no permite, con la suficiente perfección, observar los contornos cristalográficos de los elementos minerales, sus asociaciones, cruceros y estructuras, las propiedades ópticas, el proceso de sus descomposiciones, ni otros valiosos caracteres para el diagnóstico. Por estas deficiencias del método de *Cordier*, parécenos que *Fouqué* no ha estado del todo justo al presentar á su ilustre compatriota como el fundador de la moderna microlitología (*Revue Scientifique*, 14 Mars, 1874); porque sin la idea, nacida después en Inglaterra, de la preparación de secciones transparentes de los minerales y las rocas, hubiera seguido el microscopio, como hasta entonces, sin

Nicol
1830

grandes aplicaciones á su estudio. Esa idea se debe al ingenio de *William Nicol*, ya conocido por la construcción del aparato de polarización que lleva su nombre, que en 1830 encontró la manera de obtener preparaciones delgadas de cuerpos duros, apropiadas para la verdadera observación microscópica con luz transmitida. La primera aplicación que tuvo este procedimiento fué á obtener secciones transparentes de maderas fósiles, y se describe en la Memoria de H. Witham: *Observations on fossil vegetables, accompanied by representations of their internal structure, as seen through the microscope* (Edinburgh and London, 1831.)

Brewster
1816-1845

Un poderoso impulso experimentaron los estudios micro-mineralógicos, sobre todo en el punto concreto de la estructura cristalina, por una serie de importantes trabajos practicados por David Brewster, que se publicaron desde el año 1816 hasta el 1845. Además de los caracteres estructurales de los minerales en sus relaciones con las propiedades ópticas, llamaron especialmente su atención las inclusiones líquidas que en los mismos se encuentran, y no se escapó á la sagacidad de Brewster su gran importancia para descifrar el origen y modo de formación de los minerales, deduciendo consecuencias importantísimas de sus estudios sobre el topacio, berilo, esmeralda y otras piedras preciosas. Este sabio enriqueció la ciencia, no solamente con investigaciones especiales, sino que la impulsó con el descubrimiento de nuevos instrumentos y métodos de observación; demostró la ventaja del exámen de los minerales con luz polarizada, en algunos casos, y dió un medio para la medida de los ángulos de los cristales en el microscopio.

Scheerer
1845

Casi en la misma época se hicieron estudios sobre la estructura del carbón de piedra por Link, Reade, Phyllips, Bailey y Göppert, observando al microscopio secciones delgadas y demostrando su origen vegetal; y Scheerer descubrió por medio del microscopio, pero no en secciones preparadas por el método de Nicol, sino en laminillas de crucero, la causa de las irisaciones y cambiantes de colores que ofrecen algunos minerales, que no es otra que la existencia en el seno de los mismos de interposiciones de laminillas microscópicas de otros minerales. Sus estudios versaron sobre la piedra del sol, hipersitena, labradorita, dialaga, broncita, antofilita y venturina, y los resultados de sus observaciones se han confirmado plenamente después, admitiéndose en el día como verdades incontrovertibles.

Sorby
1850

Pero el primero que estudió al microscopio una roca, por medio de secciones transparentes, fué el ilustre Sorby, que tanto ha contribuído al progreso de la micro-litología. Deseando estudiar la estructura de unos corpúsculos agatiformes que existían en una arenisca caliza infrayacente al *Coral rag*, y que quedaban como residuo al tratar la roca por los ácidos, preparó secciones transparentes de ella examinándolas con luz polarizada. A pesar de la importancia de ese estudio, y para probar la poca atención que se concedía al nuevo procedimiento de examen de las rocas, baste decir que ninguna de las publicaciones científicas de aquella época en la culta Alemania dió cuenta del trabajo de Sorby, y que dos años después comunicó Andrews á la reunión general de la *British Association* en Belfast el estudio micrográfico de un basalto de Inglaterra, practicado en *esquirlitas de la roca, á la luz reflejada*. No habla en él absolutamente nada del empleo de secciones delgadas, ni de la luz polarizada transmitida, y los resultados obtenidos corresponden á la im-

perfección del método usado por dicho autor. Sin embargo, en ese estudio se adquirió un dato importantísimo para la ciencia, pero sin auxilio del microscopio, cual es, la presencia del hierro nativo en algunos basaltos.

En su memorable trabajo *On the origin of slaty cleavage*, Sorby trató de aplicar su procedimiento del examen microscópico de las secciones delgadas á la resolución de algunos problemas petrogenésicos, como el origen de la falsa estratificación ó estratificación trasversal, que desde fines del siglo anterior había dado origen á las más peregrinas hipótesis, hasta que Baur en el año 1846 publicó la teoría mecánica de este fenómeno. Por el exámen microscópico comparativo de muchas preparaciones delgadas demostró que esa estratificación secundaria era producida por el paralelismo que ocasionaba una presión lateral en las laminillas de mica y de otros elementos minerales que afectan iguales formas, y que el orden en que se agrupan dichos elementos está en determinada relación con la dirección é intensidad de la estratificación. Algunos años más tarde (1856) mostró que en las calizas dotadas de estratificación trasversal, la nueva agrupación de los elementos, debida á una presión mecánica, rige también para los microscópicos fragmentos orgánicos que entran á veces en su composición, pues no solamente cambia con ella su posición, sino hasta su forma. Así como los cristales romboédricos de espato calizo y de dolomía son encorvados, laminados ó rotos por aquella causa dinámica, la observación microscópica enseña que, de igual modo, los artículos del tallo de los encrinites fósiles, originariamente de forma cilíndrica, han sido comprimidos en el sentido de la estratificación secundaria, presentando secciones trasversales pronunciadamente elípticas, y longitudinales irregularmente dobladas y fracturadas.

Pero se engañará grandemente quien suponga que el método de observación de las secciones delgadas al microscopio, á pesar de estos primeros éxitos tuvo rápida y extensa propagación. Oschatz fué el continuador inconsciente de los trabajos de Sorby, y el primero que practicó este método en Alemania. En la reunión de la Sociedad de naturalistas alemanes de 24 de setiembre de 1851, recomendó que se estudiara la estructura de los cristales y fósiles, bien reduciéndolos á polvo é incluyendo éste en bálsamo de Canadá, ó bien tallándolos en placas delgadas transparentes. Volvió sobre el mismo asunto en la sesión de la Sociedad geológica de Berlín de 7 de enero de 1852, y presentó para que pudieran examinarse al microscopio preparaciones de venturina, oligoclasa, labradorita, granate, obsidiana, piedra pomez, granito, lapis lázuli, marmol de Carrara, ágata, malaquita, crisoprasa etc. En la sesión de la misma Sociedad de 5 de abril de 1854, comunicó que había preparado en secciones transparentes un gran número de minerales, y exhibió una colección de esas preparaciones, cuyo espesor era de $\frac{1}{100}$ de línea ($=0^{\text{m}},0022$), ponderando las dificultades mecánicas que había que vencer para obtenerlas. Por último, este campeón infatigable de la nueva escuela, presentó otra serie de preparaciones á la reunión de la Sociedad de naturalistas alemanes, celebrada en Gotinga el 20 de setiembre de 1854; pero ni remotamente consiguió un vivo interés por su procedimiento, ni su adopción por parte de los mineralogistas científicos. Unicamente lo empleó Deicke para el estudio de la estructura de los granos calizos de la oolita, cuyas secciones delgadas le permitie-

Oschatz
1851

Deicke
1853

ron descubrir la muy complicada é interesante composición de estas esférulas, constituídas por capas concéntricas.

Cinco años después que Oschatz hiciera sus primeras preparaciones microscópicas de minerales, G. Rose se limitó en la sesión de la Sociedad de naturalistas, celebrada en Viena el 22 de setiembre de 1856, á presentar una de las colecciones de aquel, la cual se recibió como una cosa tan nueva, que se consideró preciso consignar circunstanciadamente que consistía en placas talladas de minerales y rocas, tan delgadas, que las sustancias opacas ó sólo traslúcidas en trozos mayores, se volvían transparentes, hasta el punto de permitir su examen con el microscopio. Y esto después de transcurrir un año desde que el mismo Oschatz descubrió en las secciones de los romboedros de espato calizo, en una preparación de marmol de Carrara, las características maclas polisintéticas.

Entre los mineralogistas que á mediados del decenio de 1850-60, auxiliaron sus estudios macroscópicos ó químicos por medio del microscopio, merecen enumerarse los siguientes: Carius estudió al microscopio las rocas de la zona de pizarras metamórficas de Eichgrün; pero sus observaciones se practicaron en laminillas delgadas desprendidas de las rocas, no en secciones talladas de las mismas. Jenzsch investigó, en preparaciones hechas por Oschatz la roca de Hockenberg, en Silesia, tenida por melafiro, y las fonolitas de Bohemia. F. von Richthofen empleó también el microscopio para los trabajos que sirvieron de base á su disertación inaugural. *De melaphyro* (Berolini, 1856). Y, por último, Keibel trató en su Memoria *De saxis viridibus Hercyniae* de las llamadas hiperstenitas de Heinrichsburg, y del gabbro del valle de Radan, que observó, en preparaciones talladas por Oschatz, á la luz polarizada.

Como se vé, en el periodo que reseñamos estaba el microscopio en uso para trabajos petrográficos entre manos más ó menos hábiles, solamente que el empleo de ese instrumento no era el medio principal de investigación, sino el secundario, pues se prefería siempre el examen macroscópico y el análisis químico total. Es verdad que entonces la suma de experiencias era tan pequeña, las diagnósis tan inciertas é incompletas, que se explica perfectamente el papel accesorio que desempeñaba el microscopio; pero de todos modos, los hombres que saliendo de la indiferencia general siguieron el nuevo camino hasta donde podía éste conducirles, merecen un honroso recuerdo, y nosotros se lo consagramos gustosos en las anteriores líneas.

Siguió después un lapso de tiempo de completa paralización en que la investigación microscópica apenas dió un paso de importancia, hasta que Sorby publicó en noviembre de 1858 su trabajo clásico y que forma época en los anales de la microlitología, intitulado: *On the microscopical structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks*, que contiene los resultados de una serie de investigaciones proseguidas con admirable ingenio, y cuya influencia ha llegado hasta nuestros días. Tres regiones completamente nuevas son las exploradas por aquel sabio: estudió la estructura microscópica de los minerales que entran como elementos integrantes de las rocas; comparó con ellos, bajo ese respecto, los cristales formados artificialmente por la vía seca ó la húmeda; y estas comparaciones le condujeron, por último, á la exacta resolución de las más árdias cuestiones petrogenésicas, alrededor de las cuales giraban en círculo vicioso los campeones de las diversas escuelas desde fines del siglo pasado.

Car-
ius
1855

Jenzsch
1855-56

F. von Rich-
thofen
1856

Keibel
1853

Sorby
1858

La introducción de su trabajo abre ya á la ciencia, en breves y elocuentes frases, horizontes sin límites. «En esta Memoria he tratado de probar, dice, » que las sustancias cristalinas naturales y artificiales poseen estructuras » suficientemente características para decidir si han sido depositadas de diso- » luciones acuosas, ó han cristalizado en el seno de una masa en fusión; y » que en algunos casos puede calcularse aproximadamente la temperatura y » la presión bajo las cuales han sido formadas.»

Con razón podía concluir su trabajo con las siguientes palabras:

«Aunque los objetos que he descrito son muy pequeños, las conclusiones » que pueden derivarse de los hechos son muy grandes.»

De las investigaciones microscópicas practicadas en cristales obtenidos por diversas vías, deduce Sorby los siguientes principios:

1.º Los cristales que poseen en su interior cavidades llenas de agua, más ó menos saturada con diversas sales, han sido formados por precipitación en disoluciones acuosas.

2.º La magnitud relativa de las burbujas de gases, en las inclusiones líquidas normales, depende de la temperatura y de la presión bajo las cuales se formaron los cristales, y puede servir, en algunos casos, para determinar dichas temperatura y presión reales ó relativas.

3.º Los cristales que contienen solamente inclusiones vítreas ó litoides se formaron en el seno de un magma fundido.

4.º Los cristales que no contienen más que inclusiones de gases ó vapores fueron formados por sublimación ó por solidificación de una sustancia homogénea en fusión, siempre que esas cavidades no hayan contenido en periodos anteriores líquidos que han desaparecido.

5.º A circunstancias iguales, los cristales con pocas cavidades se formaron más lentamente que los que contienen muchas.

6.º Los cristales cuyas inclusiones líquidas albergan una diversa cantidad de cristalillos, y se convierten paulatinamente en inclusiones gaseosas, fueron formados bajo la presencia alternativa de líquidos y gases.

7.º Cuando se encuentran en el mismo cristal inclusiones líquidas, gaseosas y vítreas, es prueba de que se formó bajo gran presión y en el seno de una masa en fusión y del agua.

8.º Los cristales que reúnen los caracteres especificados en los párrafos 6.º y 7.º se formaron á una gran presión, por la actividad combinada de un magma en fusión y del agua, y la acción de gases ó vapores; así es que en este caso concurrían todas las circunstancias de la fusión, de la disolución acuosa y de la sublimación.

Desde muy antiguo se conocían en muchos cuarzos, amatistas, cristales de sal común, espato fluor y yeso inclusiones líquidas, visibles á la simple vista, que se caracterizan por las burbujas gaseosas que contienen y que se mueven al inclinar en diversos sentidos el cristal; y después David Brewster demostró que esas cavidades llenas de líquidos, de magnitud microscópica, existen en otros muchos minerales, como por ejemplo, en la esmeralda, berilo, topacio, zafiro, etc.; pero se creía que esas inclusiones sólo las contienen los cristales perfectos, y que en estos constituyen un fenómeno raro y accidental, hasta que Sorby demostró que las inclusiones líquidas de formas redondeadas (*fluid-cavities*), se encuentran también en el cuarzo de los filones,

en el del granito, pórfido, micacita y otras rocas, en cantidad prodigiosa, pues se calcula que en una pulgada cúbica de cuarzo rico en inclusiones hay mil millones de éstas. Las burbujas gaseosas que contienen las inclusiones líquidas se mueven en algunos casos espontáneamente y de una manera constante: vibran unas veces imperceptiblemente, marchan otras lentamente de un lado á otro, ora se mueven continuamente, como poseídas de la mayor inquietud, y ofrecen un nuevo ejemplo del movimiento browniano, no bien explicado todavía. La existencia de la burbuja movable la explicó Sorby del modo siguiente: el agua ó la disolución salina fué incluída en la masa mineral á una muy elevada temperatura, y al disminuir ésta hasta llegar á la del momento de la observación, el líquido incluído se contrajo no llenando ya, por consiguiente, todo el espacio primitivo. Comparando el volúmen de la burbuja con el del líquido, y estableciendo por investigaciones especiales la ley de dilatación de las disoluciones incluídas, á diferentes temperaturas, llegó á deducir la temperatura á la cual el líquido llenaba toda la cavidad, y por consiguiente, la de la formación del mineral y de la roca que integra. Pero si efectivamente la intensidad de la contracción depende del grado de temperatura al iniciarse el enfriamiento, habría de resultar que en todas las inclusiones de un mismo individuo mineral la relación entre el volúmen del líquido y el de la burbuja debería permanecer constante. Los hechos, sin embargo, no responden á esta suposición, pues se encuentra en un mismo cristal un número infinito de inclusiones tocándose unas á otras, cuyas burbujas ofrecen volúmenes relativos los más diferentes: hay grandes inclusiones con pequeñísimas burbujas, al lado de otras muy pequeñas dotadas de enormes burbujas, y en condiciones que no permiten la hipótesis de que en algunas cavidades hubiérase evaporado una parte del líquido. Las ingeniosas conclusiones de Sorby y la seductora perspectiva de poder deducir la temperatura de formación de los cristales por un cálculo sencillo, que aplicado especialmente á las inclusiones líquidas contenidas en los elementos de las rocas cristalinas conduciría á resultados muy importantes, no se hallan, pues, confirmadas por la observación, ni encuentran en ella un firme punto de apoyo. De este modo, el origen de la burbuja en las inclusiones líquidas, que no puede explicarse por la suposición de Sorby, queda como problema no resuelto hasta el día.

Según las observaciones fundamentales de Sorby, un cristal que se forma en el seno de una masa artificialmente fundida puede incluir mecánicamente dentro de sí, durante el proceso de su crecimiento, pequeñas partículas del magma fundido, las cuales enfriándose rápidamente se presentan comunmente como inclusiones de sustancia vítrea ó litoide, que él designa con el nombre de *glass* ó *stone-cavities*. Este es un fenómeno completamente análogo al que tiene lugar en la formación de cristales, en el seno de disoluciones saturadas, pues pequeñas porciones de las aguas madres quedan incluidas en aquellos, sobre todo, si la cristalización es muy rápida. Aquellas partículas, vítreas ahora, cuando fueron encerradas dentro del cristal en vías de crecimiento, representaban inclusiones del líquido cristalizante, que se solidificó al descender la temperatura.

Sorby demostró después que los elementos de las rocas volcánicas, ó genuinamente pirógenas, como los feldespatos de las resinitas vítreas de Escocia, la augita y el leucito de las lavas del Vesubio, las augitas de los basaltos, etc.,

contienen inclusiones vítreas, que, por lo regular, están provistas de una ó de muchas cavidades en forma de burbujas inmóviles; y como sucede en las inclusiones hialinas que contienen los cristales obtenidos artificialmente por vía de fusión, también en ellas se observan muchas veces diferenciaciones cristalinias en las partículas vítreas.

En los elementos de rocas antiguas eruptivas ó pirógenas se presentan inclusiones análogas, cuya sustancia, sin embargo, á consecuencia de acciones hidro-químicas secundarias, ha sido alterada más ó menos profundamente, pero además contienen otras que son puramente vítreas. Halló asimismo el sabio petrógrafo inglés minerales constitutivos de las rocas, que por el estudio de sus inclusiones microscópicas, debían considerarse como formados por la acción combinada de un magma en fusión y del agua. Para el granito supone que la consolidación se ha efectuado á la temperatura del rojo oscuro, en presencia del agua y bajo una elevada presión.

Existen, por consiguiente, en los minerales integrantes de las rocas, cuerpillos microscópicos, que á pesar de su insignificante pequeñez, y después de demostrar Sorby su excepcional importancia, por la vía experimental, contribuyeron poderosamente á iluminar las oscuras regiones de la petrogénesis. Pero su temor de que algunos geólogos, únicamente acostumbrados á examinar las grandes masas de rocas en sus yacimientos, podrían, quizás poner en duda el valor de los hechos por él observados, despreciando como indignos de su consideración y estudio, objetos tan pequeños, tuvo, por desgracia, plena confirmación durante una larga serie de años.

Por el tiempo en que estos importantísimos trabajos se publicaron en Inglaterra, emprendiéronse también en Alemania estudios micrográficos sobre algunas rocas, que no alcanzaron, sin embargo, el mérito y la resonancia que aquellos. Trabajó Bänseh sobre preparaciones ejecutadas por Oschatz de melafiros del Harz oriental y meridional. Weding dirigió sus investigaciones á la lava del Vesubio de la erupción de 1631, preparada en secciones delgadas, que pegaba á los cristales porta-objetos por sus bordes, y por consiguiente, sin aprovechar la inclusión en bálsamo de Canadá para aumentar la transparencia. Este autor fué el primero que observó las zonas alternativamente oscuras y más claras en los cristales de augita, con contornos paralelos á los externos de las secciones de ese mineral, y las designó como *zonas de crecimiento* de los cristales, las cuales prueban que éstos en su origen no tuvieron las mismas dimensiones que ahora. Gustavo Rose observó también al microscopio, el año 1859, secciones delgadas de los llamados melafiros de Ilfeld, en el Harz.

Bänseh
1858

Weding
1858

G. Rose
1859

Con profundo desconocimiento de cuál debía ser el punto de partida en este linaje de observaciones, también entonces, como en años anteriores, se aplicó la investigación microscópica á las rocas criptómeras ó afaníticas, ó sea, á las de más difícil análisis, en lugar de dirigirla en primer término á las rocas cuyos elementos podían discernirse con los medios usuales de estudio de las rocas en aquella época. Es decir, que en vez de proceder de lo conocido á lo desconocido, se siguió una marcha inversa, contrariando principio tan fecundo después para el estudio y progreso de las ciencias naturales.

Por esta época inauguró Websky sus investigaciones micro-mineralógicas, ocupándose de estudiar en secciones por él preparadas en diferentes direc-

Websky
1858

ciones, la estructura cristalina de la serpentina y otros minerales análogos, como la metaxita, crisotila, picrolita, etc. En estas excelentes investigaciones sobre los caracteres estructurales de esas sustancias, estudiados á la luz polarizada, se habla de las cruces de interferencia, de la orientación del policroismo, de la dirección de los ejes de elasticidad, etc., como puede hacerse ahora, después de transcurridos más de treinta años.

G. von Rath
1860

Dos años después G. vom Rath estudió la fonolita de Olbrück con gran provecho, pues el leucito, conocido ya macroscópicamente en esa roca, lo examinó también al microscopio, y comprobó la presencia de la nefelina, mientras que escapó á su observación la admirable estructura del nosean. En el estudio posterior de la dolerita de Löwenburg, en Siebengebirge, también empleó el microscopio, así como en el de la roca de nosean y melanita de Peterkopf, que emprendió dos años después, y el de la lava de Hannebacher Ley, en el lago de Laach; en la primera sin embargo, no ápercibió, y es extraño, la presencia de la nefelina y leucito, que había descrito tan completamente en la roca de Olbrück, y en la segunda confundió las notables secciones de nefelina con un feldespató triclínico. Cuando por primera vez se encontró en la roca ese mineral, así como los cristales amarillos de melilita, fueron completamente comprensibles los análisis químicos de G. vom Rath, que no tenían explicación satisfactoria ateniéndose á los datos de su descripción microscópica.

Max Deiters
1861

De Bonn salieron además otros dos trabajos micrográficos: Max Deiters agregó á sus análisis químicos de diversas traquidoleritas de Siebengebirge estudios microscópicos sobre preparaciones delgadas ejecutadas por él, y fué el primero que se dedicó al dibujo de las imágenes microscópicas que ejecutó con bastante perfección; y Max Schultze dió á conocer sus estudios sobre la estructura concéntrica de las esférulas de hialita, precipitadas de disoluciones de sílice gelatinosa, y sobre la birrefringencia que en ellas origina la expansión.

Max Schultze
1861

No se había dejado sentir todavía en Alemania la influencia de los trabajos de Sorby, y muchos años transcurrieron aún antes de que se les concediera la importancia que merecían, cuando el notable petrógrafo Zirkel tuvo ocasión de entrar en relaciones personales con él, del modo siguiente, según refiere, M. Fouqué: « Sorby había emprendido en 1862 un viaje de recreo, en » compañía de su madre, á las pintorescas orillas del Rhin. Llegado á Bonn, » hizo conocimiento con un alumno del cuerpo de minas de Prusia llamado » Zirkel, por el cual fué acompañado y dirigido en algunas excursiones geológicas. Juntos visitaron el Eifel, el Siebengebirge y los alrededores del lago de Laach; y cada día en el camino se entablaba una conversación animada é interesante entre el turista y su guía sobre la naturaleza de las rocas volcánicas, sobre los minerales que las componen y los maravillosos detalles de estructura que el microscopio revela en ellos, exponiendo Sorby con claridad y vehemencia los magníficos resultados de sus estudios. Por la noche, después de la excursión del día, la conversación se prolongaba todavía durante mucho tiempo, y en fin, de vuelta en Bonn, el improvisado maestro puso ante los ojos de su joven oyente algunas preparaciones microscópicas que había llevado consigo, y le hizo apreciar por sí mismo la claridad y la importancia de los hechos que habían sido objeto de sus largas conversaciones científicas. Algunos días después, al separarse de Zirkel, dejaba en él un discípulo adicto y entusiasta. »

Hasta entonces todos los estudios micropetrográficos habían versado sobre rocas de una sola localidad, y constituían como un apéndice de la descripción macroscópica ó del análisis químico, estando influidos por ambos muchas veces; pero únicamente por sí mismos, para lo cual era preciso ensanchar considerablemente el campo de exploración, no se habían emprendido todavía estudios micrográficos. A Zirkel estaba reservada la gloria de inaugurar estos trabajos de conjunto, y en el invierno de 1862-63, ayudado por la benevolente indulgencia de Haidinger, que le franqueó el laboratorio del Museo geológico de Viena, preparó un gran número de secciones delgadas, principalmente de rocas, que no habían sido objeto de estudio anterior, y consiguió en el emprendido por él resultados muy notables, si se atiende al escaso desarrollo que habían alcanzado todavía los medios de diagnosis. Sus trabajos versaron sobre granitos de Cornwall y de Bohemia, traquitas de Islandia y de Siebengebirge, pórfidos felsíticos de Donnersberg, de Krenznach y Joachimstahl, riolitas de Nueva Zelanda, basaltos del Eifel y del Rhin, doleritas de Inglaterra y Escocia, resinitas, perlitas y obsidianas de los montes Eugáneos, Escocia, Islandia, Méjico, Nueva Zelanda, etc. Indudablemente contenían estos trabajos algunos errores, pero eran un paso notable hacia la verdad, puesto que se demostraba en ellos la falsedad de que existieran inclusiones vítreas en el cuarzo de los granitos, y líquidas en el de la roca riolítica de Baula (Islandia); se llamaba la atención sobre el anterior desconocimiento de la abundancia de la augita en los basaltos, y se indicaba el medio de distinguir en las secciones delgadas la augita y la hornablenda. Se hacía notar además con gran precisión la diferencia que presentan los bordes de las inclusiones vítreas y líquidas, la acción de muchos elementos sobre la luz polarizada, el dicroísmo de la mica negra y la composición de la pasta de los pórfidos. Dió á conocer más tarde la inesperada abundancia de formaciones cristalinas en el seno de rocas vítreas, al parecer homogéneas, pero toda su descripción está perniciosamente influida por la errónea opinión de Leydolt, deducida con ocasión de sus estudios sobre la corrosión de los vidrios artificiales, de que se llegaría á resolver la masa vítrea, empleando microscopios más potentes y perfeccionados, en un confuso agregado de ténues cristalillos. Con todo esto quedaba suficientemente demostrada la importancia de los estudios microlitológicos, que habían hecho á la ciencia revelaciones inesperadas, confirmándose á la par la exactitud y la verdad de los principios establecidos por Sorby. La publicación de los estudios de Zirkel contribuyó más que ninguno de los anteriores á dirigir el interés de los petrógrafos hacia las investigaciones micrográficas, y esto mismo se demuestra por la oposición que se suscitó contra las ideas de Sorby y de su continuador en Alemania.

Zirkel
1862-63

En una Memoria de Vogelsang sobre la estructura microscópica de las escorias, en la cual manifestó por primera vez sus extraordinarias dotes de observador y expositor, se expresan algunas dudas respecto á los datos suministrados por Sorby y Zirkel, tratándose de demostrar que la micro-estructura de los minerales da lugar á muy diversas interpretaciones, y que con su estudio no puede darse por resuelta la antigua cuestión acerca del origen y modo de formación de las rocas cristalinas. Vogelsang se opone principalmente á admitir la existencia de las inclusiones vítreas en los elementos de las rocas, y advierte que pueden inducir á error en este punto las coloraciones ó

Vogelsang
1864

manchas locales, ó las impurezas que puede contener la sustancia mineral, siendo de parecer, por último, que la pasta de los pórfidos no se resuelve completamente, ni aun al microscopio, en un agregado de minerales determinados, y que es incomprensible que los cristales de los mismos posean inclusiones vítreas, y á su lado otras litoides, como afirma Sorby.

En el mismo año de 1864, Laspeyres en su descripción del pórfido de Halle sometió á una severa crítica los resultados de Sorby y Zirkel. No encontraba ninguna diferencia entre las inclusiones vítreas y líquidas, consideraba á estas últimas como de origen secundario, no primordial, debiendo considerarse como cavidades rellenas de líquido por infiltraciones posteriores; no quería poner en duda la existencia de burbujas movibles, pero afirmaba no haberlas encontrado nunca, y creía, además, que algunos elementos minerales solidificados sin afectar formas cristalográficas, ó inclusiones gaseosas cuyas paredes estuvieran interiormente coloreadas por un pigmento, adquirirían la forma engañosa de esferillas vítreas.

Laspeyres
1864

Weis
1866

También Weis puso en duda la existencia real de las inclusiones vítreas (*Beiträge zur Kenntniss der Feldspathbildung. Haarlem-1866*), y afirmó que éstas podían considerarse más bien como inclusiones de sustancia mineral amorfa dentro del cristal. Vogelsang suponía que las inclusiones líquidas eran cavidades incompletamente rellenas por la inyección secundaria de un líquido, pero este mismo geólogo dió años después la más brillante prueba de su primordialidad, al hacer el extraordinario descubrimiento de que aquel era algunas veces ácido carbónico líquido. A estos primeros impugnadores debe agregarse además el Dr. Mohr, que en aquella época estaba en la cúspide de la justa fama que alcanzó, el cual, en su obra *Geschichte der Erde*, puso en duda la movilidad de las burbujas en las inclusiones líquidas microscópicas.

Habiéndose hecho del dominio público todas estas objeciones, se creyó que Sorby y su colega alemán habían incurrido en grandísimos errores al hacer sus observaciones, así es que no es de extrañar que á mediados del decenio de 1860-70 volviera otra vez la calma al campo apenas explorado de la observación microscópica. La acogida que habían tenido los primeros trabajos no eran ciertamente para estimular su continuación. Por eso, las comunicaciones hechas en 1864 por Kosmann sobre el estudio microscópico de algunas lavas y de la domita de Auvernia, todavía estaban á la altura de los primeros trabajos de esta clase; y G. vom Rath que el año 1860 había descubierto el leucito y la nefelina en las secciones delgadas de la roca de Olbrück en el lago de Laach, estudió magistralmente cuatro años después, pero por los antiguos procedimientos, las rocas de Rieden, leucitofiros y fonolitas noseánicas, sin emplear el análisis microscópico. Al emitir su opinión, respecto á estas últimas, de que una gran parte de la masa fundamental soluble en los ácidos, se componía de una sustancia no determinable mineralógicamente, á la cual faltaba ácido sulfúrico para formar nosean, le hubiera bastado el exámen microscópico de una sección delgada de la roca para reconocer y distinguir en esa pasta la nefelina.

Kosmann
1864

G. vom Rath
1864

En la primavera de 1866 comenzó la célebre erupción volcánica del mar Egeo, en el golfo de la isla de Santorino, que tuvo por efecto la aparición de las nuevas islas Jorge I y Aphroessa, que se reunieron después con la Nea-

kammeni. Algunos trozos de las lavas vomitadas en estado líquido durante aquel paroxismo volcánico, y solidificadas por enfriamiento á la vista de todos, fueron estudiados por Zirkel el mismo año, y dieron ocasión propicia para descubrir la estructura y naturaleza de las inclusiones vítreas, que con tanta abundancia y tan perceptiblemente contenían los feldespatos, y para demostrar de un modo indudable la existencia real de estos productos tan controvertidos. Se demostró su perfecta igualdad con la masa vítrea que los rodeaba, su naturaleza amorfa y su desvitrificación parcial, el contraste que ofrecen con las inclusiones líquidas, y su analogía con las partículas hialinas incluidas en el cuarzo de los pórfidos felsíticos, riolitas, etc. El fenómeno concluyente de las inclusiones vítreas con burbujas, que habían sido seccionadas al hacer las preparaciones, bastaba para evidenciar el estado sólido de aquella sustancia. Pero también aquí se cometió el error de considerar á la augita de las lavas de Santorino como olivino.

Zirkel
1866

El año 1867 se distingue por haber aparecido durante él muy importantes trabajos petrográficos, en los cuales se revelan nuevas fuerzas de investigación micrográfica que se unen en feliz consorcio á las pocas que hasta entonces habían dado el impulso en los nuevos dominios de la ciencia. Aparece la notable obra de Vogelsang *Philosophie der Geologie und mikroskopische Gesteinsstudien-Bonn 1867*, en la cual los estudios microlitológicos ocupan toda la tercera parte. El rápido progreso alcanzado en la investigación microscópica de las rocas lo considera el autor solamente como una necesidad de la época, pero cree que de ella, como de los antiguos procedimientos, no pueden esperarse los datos necesarios para escribir la verdadera historia de la tierra. El libro está lleno de nuevas observaciones y de ingeniosas ideas, admitidas la mayor parte en el día: establece con toda claridad y precisión la doble misión de la microlitología, que es la diagnosis exacta de los elementos mineralógicos y el estudio de la micro-estructura de las rocas; describe y figura la muy característica *estructura fluidal*, ó sea, aquella disposición de los elementos de las rocas que induce á suponer un movimiento del magma primitivo en la totalidad de su masa ó en ciertas partes de la misma; y se encuentra empleado por primera vez el término de *microlitos*, tan en uso ahora, para designar los elementos microscópicos de las rocas, de forma acicular, clasificables unas veces y otras no. Sobre otros muchos puntos interesantes que trata Vogelsang, como la desvitrificación producida por corrientes moleculares, las diferenciaciones cristalinas en los vidrios artificiales, y el estudio de los productos arrojados por los volcanes y su comparación con las rocas eruptivas, no podemos entrar aquí en más amplios detalles. El notable talento investigador de aquel sabio, prematuramente arrebatado á la ciencia, se revela brillantemente en los nuevos horizontes que abre á la moderna petrografía. Diez planchas en colores, grabadas en cobre, cuya extraordinaria belleza artística y exactitud de ejecución no pueden superarse ahora, adornan é ilustran la obra, que no encontró entonces favorable acogida por parte de las autoridades científicas, á causa de la aguda crítica que contiene la primera parte de los trabajos geológicos de Alejandro de Humboldt.

Vogelsang
1867

En el mismo año de 1867 hizo G. Rose el notable descubrimiento de que las perlas obtenidas al soplete, que se enturbian por el empleo de una corriente de aire acelerada é irregular, deben su opacidad á la formación de

G. Rose
1867

cristales microscópicos, que se pueden observar al microscopio apretando la perla con las puntas de las pinzas cuando está todavía blanda, y obteniendo de este modo una laminita limitada por caras planas y paralelas. Dichos cristales pueden aislarse tratando las perlas con agua ó los ácidos, y así consiguió obtener G. Rose cristales muy notables de anatasa, descubriendo á la par una nueva vía para la formación de los cuerpos cristalizados. Cuando en la misma época estudió aquel sabio mineralogista el gabbro de Neurode, en Silesia, dió muy interesantes datos para el conocimiento de la microestructura de la labradorita, dialaga y del olivino, pero parece que no emprendió un estudio sistemático de la roca en secciones delgadas de la misma. En este año ingresó por primera vez el ilustre G. Tschermak en las filas de los micropetrógrafos, con ocasión de sus estudios sobre la andesita cuarcífera, teschenita y pikrita, así como sobre la presencia del olivino en las rocas y la serpentini-

G. Tschermak
1867

Después de estos trabajos, en que el microscopio no se había elevado todavía á desempeñar un papel principal en los estudios litológicos, se publicaron dos memorias de Zirkel, cuyo objeto era estudiar monográficamente la composición microscópica y la estructura de determinadas rocas, en ejemplares de ellas procedentes de muy diversas localidades: una, sobre las fonolitas, en las cuales se comprobó la presencia, antes solamente supuesta, de la nefelina, y la ni siquiera sospechada del nosean, dotado de una muy notable microestructura, demostrándose también que el bisilicato ferro-magnesiano que contienen es augita, en la mayor parte de los casos, y no hornablenda, como antes se creía; y la otra, sobre las rocas vítreas y semi-vítreas, como la obsidiana, perlita, resinita, piedra pomez, describiendo y dibujando los numerosos y variados productos microscópicos de desvitrificación que contienen (belonitas, triquititas, esferolitas,) la estructura fluidal y perlítica, los caracteres de los grandes cristales diferenciados en la masa de esas rocas, y comparando al microscopio estos productos naturales de la solidificación de magmas con los vidrios obtenidos artificialmente.

Zirkel
1867

Zirkel
1868

Al siguiente año apareció otro trabajo del mismo autor acerca de la estructura microscópica del leucito y de la composición de las rocas leucíticas. Demostró en él la tendencia característica que tiene ese mineral, que en las preparaciones delgadas ofrece secciones octógonas ó redondeadas, á incluir dentro de sus cristales y durante su crecimiento, cuerpecillos microscópicos extraños que se alinean en filas paralelas á los contornos de las secciones. Después que se adquirió el conocimiento de esta estructura y se estudiaron las rocas leucíticas (lavas de Italia, del lago de Laach y de Kaiserstuhl), se llegó á saber que ese mineral, considerado antes como raro, es muy frecuente como elemento microscópico, no solo de otras lavas, sino también de muchos basaltos comunes, como los de Bohemia, Sajonia, Thuringer Wald, etc.

Vogelsang
Geissler
1869

Los mismos que hasta entonces habían cultivado el campo de estas exploraciones en tan malas circunstancias y esparcido la primera semilla, no abandonaron sus trabajos el año 1869. A los ingeniosos experimentos que Vogel-sang, con la colaboración de Geissler, había ya comenzado en el verano de 1868, debemos la demostración de la existencia del ácido carbónico líquido en las inclusiones de los minerales. Ya el año 1858 Simmler emitió la hipótesis de que el líquido que contenían algunas de las inclusiones estudiadas por

Brewster en ciertos minerales, debía ser ácido carbónico líquido, porque las propiedades físicas de que estaba dotado, especialmente su gran dilatabilidad, concuerdan con la de ese cuerpo; pero su existencia real la demostraron aquellos dos investigadores. El líquido que contenían las inclusiones de un cristal de roca y otro de topacio, sometido á diversas temperaturas, seguía la misma ley de dilatación que la que corresponde al ácido carbónico líquido, según Thilorier; además, haciendo decrepitar esos cristales y recogiendo los gases desprendidos en unos tubos, por medio de la bomba de mercurio de Geissler, se obtuvo al espectroscopio el espectro del ácido carbónico puro; y, por último, pulverizando finamente esos minerales dentro de agua de cal, se precipitó parte de ésta en forma de carbonato. Casi al mismo tiempo é independientemente, demostró Sorby, de un modo que no daba lugar á duda, que también el zafiro contiene inclusiones de ácido carbónico líquido.

La entera concordancia de resultados en ambas experiencias debía llevar el convencimiento al ánimo de aquellos para quienes la existencia en la naturaleza del ácido carbónico líquido era un fenómeno por demás extraordinario.

El 13 de mayo de este año presentó Tschermak á la Academia de ciencias de Viena un trabajo sobre la manera de distinguir al microscopio los minerales de los grupos de la augita, hornablenda y biotita, que no ocupa más que diez páginas, pero cuya importancia es grandísima porque abre un nuevo camino á las investigaciones microlitológicas. Hasta entonces se había fundado la diagnosis de esos minerales, que tan abundante participación toman en la constitución de las rocas, en el criterio, no siempre seguro, de las formas de las secciones y de los caracteres de los cruceros; pero en ese trabajo se demostró con claridad inimitable que los métodos empleados por Haidinger, Des Cloizeaux, Grailich y Lang en el estudio óptico de los cristales macroscópicos, y que tan fecundos resultados dieron en sus manos, podían aplicarse igualmente á la investigación microscópica de las secciones de minerales. Tschermak probó que la diferente orientación é intensidad del policroismo, así como la posición de las secciones principales ópticas con respecto á las líneas de crucero, pueden fijarse perfectamente en las preparaciones delgadas y sirven para distinguir suficientemente unos de otros los minerales de aquellos grupos. Si las secciones principales de los nícoles están formando ángulo recto, siempre que un mineral birrefringente se extinga, sus ejes de elasticidad coincidirán con aquellas secciones. Esta es la vía, fecunda en resultados positivos, que inauguró Tschermak y continuaron despues con lisonjero éxito Rosenbusch y otros ilustres mineralogistas. Para el estudio del policroismo ideó el sabio mineralogista de Viena presentar uno después de otro los dos tonos de colores que ofrece simultáneamente la lente dicroscópica de Haidinger, valiéndose del giro del polarizador, y empleando solo este nicol.

Tschermak
1869

A fines de 1869 publicó Zirkel el resultado de sus importantes estudios, continuados durante muchos años, sobre los basaltos, en el curso de los cuales había examinado al microscopio 305 preparaciones de esas rocas. Bajo el nombre genérico de basaltos, fueron comprendidas una multitud de rocas eruptivas básicas, post-terciarias, de color oscuro y gran densidad, cuya masa fundamental aparece á la simple vista como homogénea, y cuya composición mineralógica fué objeto de muchas opiniones, que á causa de la insuficiencia

Zirkel
1869

de los medios de exámen, resultaban poco fundadas, hasta que estuvo reservado á la investigación microscópica dar solución satisfactoria á estas cuestiones. Se averiguó que esas rocas, tan semejantes en su aspecto exterior y en su constitución química, no están compuestas de los mismos elementos principales, como antes se creía, sino que pueden dividirse por este concepto en tres grandes grupos diferentes, que representan distintas combinaciones de minerales: los basaltos feldespáticos, los nefelínicos y los leucíticos. Las lavas basálticas se incluyen también en estos grupos por la composición mineralógica y por todas las circunstancias de su micro-estructura. Saber á cuál de estos grupos pertenece un basalto determinado, es cuestión que no puede resolverse sino con auxilio del microscopio, puesto que la masa oscura, al parecer homogénea, que es común á todos, oculta la estructura interna, y ni siquiera el más minucioso análisis químico da suficiente luz para decidirse sobre este punto. Sin embargo, ya en aquel tiempo podía pensarse en una clasificación geográfica de los basaltos, puesto que, en conjunto, las rocas pertenecientes á una misma región difieren poco en su composición, mientras que, por otro lado, las diferentes regiones comparadas entre sí ofrecen grandes diferencias. Zirkel estudió con el mayor cuidado la naturaleza, las propiedades diagnósticas, la testura de los diversos elementos de los basaltos, las diferentes modificaciones posibles en la estructura de esas rocas, y su clásica monografía *Untersuchungen über die mikroskopische Zusammensetzung und Structur der Basaltgesteine* ha servido de modelo á las muchas que se han escrito en estos últimos años. Por la misma época se dió á conocer H. Fischer en esta clase de trabajos con muy interesantes investigaciones sobre las inclusiones de sustancias cristalinas extrañas en los minerales, publicadas con el título de *Kritisch-mikroskopisch-mineralogische Studien*. Propúsose averiguar por medio del microscopio, si algunos minerales que ofrecen resultados complicados en sus análisis químicos, ó que, componiéndose de un pequeño número de elementos, dan notables oscilaciones en la cantidad de los mismos, ofrecen sustancia pura, sin mezcla de otros cuerpos extraños. Como consecuencia de esos estudios, encontró una serie de minerales, considerados antes como simples, que estaban compuestos de dos, tres y hasta cuatro; por ejemplo, la wehrlita, fayalita, antosiderita, escolopsita, lapis lazuli, etc. Muchos otros se resolvieron en una verdadera mezcla de sustancias de diversa naturaleza, diferente color, y distintas propiedades ópticas, de las que solamente el microscopio puede revelar el verdadero caracter, antes ni siquiera sospechado, porque á la luz reflejada, y áun valiéndose de la lente más fuerte y precisa, no es dado descifrar el secreto de su constitución interna.

H. Fischer
1869

Por último, también en el año 1869, tan fecundo en trabajos petrográficos, aparece el primero de Rosenbusch sobre la nefelinita de Katzenbuckel, en el cual se revelan ya las preclaras dotes de observador profundo y de eminente innovador que adornan á este sabio, á quien la ciencia litológica debe tantos progresos en los años posteriores.

Rosenbusch
1869

Hasta ahora una pléyade ilustre, pero poco numerosa, de mineralogistas y geólogos se había dedicado á investigaciones microscópicas, casi despreciadas en su principio, algo más consideradas después; pero el año 1870 la situación había cambiado por completo. Los resultados obtenidos en los últimos años con los nuevos métodos de investigación habían probado que el microscopio,

el preciado instrumento que desde mucho tiempo antes se consideraba como indispensable al botánico y al zoólogo, al histólogo, al anatomista y al fisiólogo, no sólo *puede* emplearse en el estudio de los minerales y las rocas, sino que *debe* usarse siempre, si se quiere que la ciencia de los seres inorgánicos se eleve sobre el nivel antiguo, que puede compararse al que alcanzaba la fisiología cuando no sabía más acerca de la sangre sino que era *un liquido de color rojo*. Adquirido este convencimiento, los nuevos métodos de investigación se difunden por todos los ámbitos del mundo científico, una multitud de observadores los aplican al estudio de las rocas en las comarcas más accesibles á sus exploraciones, recogiendo abundantes frutos en este campo, casi inexplorado hasta entonces, y aun en Inglaterra enmudecen los que oponían á este linaje de estudios la célebre frase:

«*mountains should not be looked at throug microscope*»

(las montañas no deben mirarse con el microscopio).

A partir de esta época, las publicaciones científicas se llenan con memorias y comunicaciones sobre trabajos microlitológicos, y sería tarea excesivamente laboriosa y prolija dar cuenta cronológica de todos los ejecutados en este ramo de las ciencias naturales, pues equivaldría á escribir la historia de los notables progresos que la petrografía ha realizado en estos últimos veinte años, historia que sale fuera de los modestos límites de este trabajo, encaminado no más que á dar cuenta de las primeras aplicaciones del microscopio al estudio de los minerales y de las rocas.

España no quedó retrasada, ni indiferente ante el movimiento científico iniciado en Alemania é Inglaterra, y secundado en Francia, como con lamentable frecuencia acontece. El Sr. Macpherson, geólogo diligente é ilustrado, dotado de maravilloso talento de observación, tan apto para ejecutar las más minuciosas investigaciones analíticas, como para concebir las síntesis más ingeniosas y profundas, fué el apóstol de la nueva escuela en nuestra patria. En sus viajes por Alemania é Inglaterra, y en relación y contacto con los grandes maestros, estudió hacia los años 1873 y 74 los nuevos procedimientos de preparación de las rocas y de análisis microscópico de las mismas, introduciéndolas bien pronto en España, donde formó aventajados discípulos, entre los que es justo citar en primera línea á los señores D. Francisco Quiroga, profesor de cristalografía en el Museo de Historia natural de Madrid y D. Salvador Calderón, profesor de la Universidad de Sevilla y entusiasta cultivador y propagandista de la microlitología.

Los trabajos petrográficos, ejecutados por los nuevos procedimientos y publicados hasta la fecha por autores españoles, van indicados á continuación por orden cronológico, sirviendo este índice de conclusión al presente trabajo compilatorio.

1875

- MACPHERSON (D. José). — Breves apuntes acerca del origen peridótico de la serpentina de la Serranía de Ronda).—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo IV.

1876

- MACPHERSON (D. José). — Sobre las rocas eruptivas de la provincia de Cádiz, y de su semejanza con las ofitas del Pirineo.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo V.

1877

- MACPHERSON (D. José). — Sobre los caracteres petrográficos de las ofitas de las cercanías de Biarritz.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo VI.
- CALDERÓN (D. Salvador)
y QUIROGA (D. Francisco). — Erupción ofítica del Ayuntamiento de Molledo (Santander).—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo VI.

1878

- ADÁN DE YARZA (D. Ramón).—Roca eruptiva de Motrico.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo VII.
- CALDERÓN (D. Salvador). — Ofita de Trasmiera.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo VII.
- CALDERÓN (D. Salvador). — Contribuciones al estudio de la fosforita de Belmez.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo VII.

1879

- MACPHERSON (D. José). — Descripción de algunas rocas que se encuentran en la Serranía de Ronda.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo VII.
- MACPHERSON (D. José). — De la posibilidad de producirse un terreno aparentemente triásico con los materiales de la creta.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo VIII.
- MACPHERSON (D. José). — Estudio geológico y petrográfico del Norte de la provincia de Sevilla.—*Bol. Com. del Mapa geológico de España*. 1879.
- ADÁN DE YARZA (D. Ramón).—Las rocas eruptivas de Vizcaya.—*Bol. Com. del Mapa geológico de España*. 1879.
- CALDERÓN (D. Salvador). — La evolución en las rocas volcánicas en general, y en las de Canarias en particular.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo VIII.
- QUIROGA (D. Francisco). — Noticias petrográficas.—Primera parte.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo VIII.

1880

- MACPHERSON (D. José). — De las relaciones entre las rocas graníticas y porfíricas.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo IX.
- QUIROGA (D. Francisco). — Estudio micrográfico de algunos basaltos de Ciudad Real.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo IX.
- CALDERÓN (D. Salvador). — Nuevas observaciones sobre la litología de Tenerife y Gran Canaria.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo IX.

1881

- MACPHERSON (D. José). — Apuntes petrográficos de Galicia.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo X.
- CALDERÓN (D. Salvador). — Ensayos de geología general.—La evolución terrestre.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo X.
- QUIROGA (D. Francisco). — Sobre el jade y las hachas que llevan este nombre en España.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo X.

1882

- LANDERER (D. José J.) — Las revoluciones del globo lunar.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural*.—Tomo X.
- MACPHERSON (D. José). — Description des ophites et des téschénites du Portugal.—*Bull. Soc. géolog. de France*.—Tomo XIII.

- CALDERÓN (D. Salvador). — Los grandes lagos nicaragüenses (en la América central).—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural.*—Tomo XI.
- CALDERÓN (D. Salvador). — Estudio petrográfico sobre las rocas volcánicas del Cabo de Gata é isla de Alborán.—*Bol. Com. Mapa geológico de España.* 1882.

1884

- MACPHERSON (D. José). — Sucesión estratigráfica de los terrenos arcáicos de España.—*Petrografía.*—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural.*—Tomo XIII.
- CALDERÓN (D. Salvador). — Les roches cristallines massives de l' Espagne.—*Bull. Soc. géolog. de France.*—Tomo XIII.
- CALDERÓN (D. Salvador). — Rocas eruptivas de Almadén.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural.*—Tomo XIII.
- BREÑOSA (D. Rafael). — Las porfiritas y microdioritas de San Ildefonso y sus contornos.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural.*—Tomo XIII.

1885

- QUIROGA (D. Francisco). — Limburgita de Nuévalos (Zaragoza).—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural.*—Tomo XIV.
- BREÑOSA (D. Rafael). — Estudios micro-mineralógicos.—El dimorfismo del bisilicato de cal.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural.*—Tomo XIV.
- BREÑOSA (D. Rafael). — Una macla de yeso.—*Actas de la Soc. Esp. de Historia natural.*—Tomo XIV.
- VICENT (P. Antonio S. J.). — Noticia litológica de las islas Columbretas.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural.*—Tomo XIV.

1886

- MACPHERSON (D. José). — Descripción petrográfica de los materiales arcáicos de Galicia.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural.*—Tomo XV.
- CALDERÓN (D. Salvador). — La sierra de Peñafior (Sevilla) y sus yacimientos auríferos.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural.*—Tomo XV.
- CALDERÓN (D. Salvador) y PAÚL (D. Manuel). — La moronita y los yacimientos diatomáceos de Morón.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural.*—Tomo XV.

1887

- MACPHERSON (D. José). — Descripción petrográfica de los materiales arcáicos de Andalucía.—*An. de la Soc. Esp. de Hist. natural.*—Tomo XVI.
- QUIROGA (D. Francisco). — Noticias petrográficas.—Continuación.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural.*—Tomo XVI.

1889

- QUIROGA (D. Francisco). — Observaciones geológicas hechas en el Sáhara occidental.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural.*—Tomo XVIII.
- LOPEZ CAÑIZARES (D. Baldomero). — Algunos basaltos de la costa occidental de Africa.—*An. de la Soc. Esp. de Historia natural.*—Tomo XVIII.

NUEVA TEORÍA DE LA FABRICACIÓN DEL ÁCIDO SULFÚRICO

POR A. ETARD.

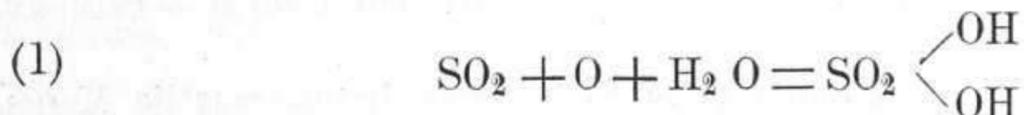
La fabricación del ácido sulfúrico tiene tal importancia, que domina hasta cierto punto todas las industrias químicas, por eso se ha estudiado siempre con el mayor interés bajo el punto de vista práctico y teórico. Los sucesivos perfeccionamientos introducidos en dicha fabricación permiten obtener una producción que puede exceder del 95 por 100, y por lo tanto, pocas son en este concepto las mejoras susceptibles de introducirse en ella.

Desde Gay-Lussac hasta nuestros días, eminentes hombres de ciencia se han ocupado en la teoría del ácido sulfúrico, y como sucede frecuentemente en ciencias, cada generación ha dado fórmulas que fueron luego completadas por la generación siguiente, deseosa de explicar los hechos que en todo estudio se acumulan con el transcurso del tiempo. Contra lo que se observa casi siempre, los perfeccionamientos industriales se han adelantado en mucho á los de la teoría, de suerte que en la actualidad, en presencia de hipótesis nuevas, nos preguntamos qué valor se puede conceder á las reacciones reputadas clásicas que se efectúan en las cámaras de plomo donde se produce el ácido sulfúrico.

I

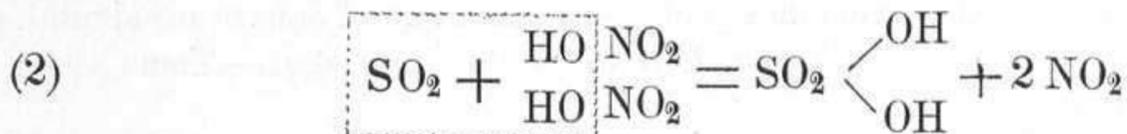
Es sabido que el ácido sulfuroso procedente de la combustión del azufre ó de las piritas se transforma en ácido sulfúrico *por oxidación* cuando se pone en contacto con el oxígeno del *aire* y de dos auxiliares indispensables: el *vapor de agua* y el *ácido nítrico*.

El ácido sulfuroso, el oxígeno y el agua se consumen realmente en esta operación, y los tres constituyen el peso del ácido sulfúrico producido, como si la ecuación de este trabajo fuera sencillamente:

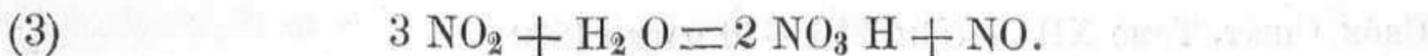


El óxido nítrico, siempre presente durante la transformación, no se consume; parece, por su ir y venir de un lado para otro entre las moléculas que se combinan, como una lanzadera entre dos hilos, de ahí el que sea difícil hallar una explicación exacta del papel que desempeña.

Según la suposición más sencilla, los ácidos sulfuroso SO_2 y nítrico NO_3H , reaccionan primero conforme á la ecuación siguiente:



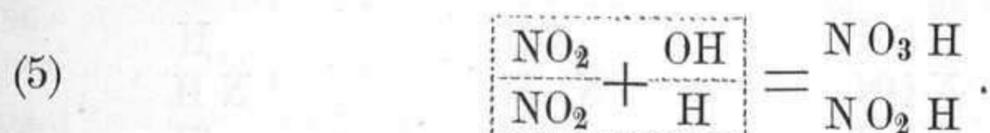
Después de obtenida esta primera cantidad de ácido sulfúrico, el ácido hiponítrico NO_2 encuentra el vapor de agua y se trasforma en parte al estado de ácido nítrico, cuya acción conocemos ya, produciéndose además bióxido de nitrógeno NO .



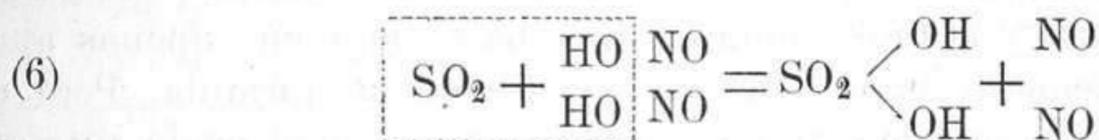
Este último se combina directamente con el oxígeno del aire convirtiéndose en lo que era antes: NO_2 .



El ciclo queda establecido; y se concibe que dichos fenómenos se reproduzcan indefinidamente: NO es el agente que se apodera del oxígeno del aire para traerlo al ácido sulfuroso: se oxida y se reduce sin cesar. Estas fórmulas tan conocidas son, á lo que parece, las más antiguas; pero desde un tiempo á esta parte se explican los hechos de un modo algo diferente. El vapor nitroso NO_2 , formado durante la primera fase que se continua admitiendo, generaría, según la nueva teoría, al reaccionar con el agua, el ácido nítrico y el ácido nitroso, $\text{NO}_2 \text{H}$:



Haremos caso omiso de la acción del ácido nítrico así obtenido, pues está indicada ya en la fórmula (2); pero el ácido nitroso es también capaz de oxidar el ácido sulfuroso:



y, como lo demuestra la ecuación, se forma al mismo tiempo, además del ácido sulfúrico, bióxido de nitrógeno NO , que entra en la circulación oxidándose, como de ordinario, en contacto del aire (4).

En este linaje de estudios no se puede ser exclusivo: sin duda las dos teorías son á la vez verdaderas y, en realidad, todas las reacciones, que acabamos de recordar, se efectúan en aquellas vastas cámaras de plomo, donde el movimiento ocasionado por la llegada y la condensación incesante del gas hace cambiar por completo la composición del medio. Y aun admitiendo ambas teorías, no formulamos todavía cuantas hipótesis podrían hacerse respecto de lo que en dichas cámaras ocurre. Su deficiencia es manifiesta, pues no explican el porqué, en este medio artificial, creado para obtener una oxidación completa del ácido sulfuroso, se forman productos de reducción total del ácido nítrico, como el amoniaco, y derivados, como la hidroxilamina. Se ha observado con toda claridad la presencia de estas materias en el ácido sulfúrico de industria sin encontrar hasta aquí una explicación satisfactoria respecto de la producción de tales compuestos.

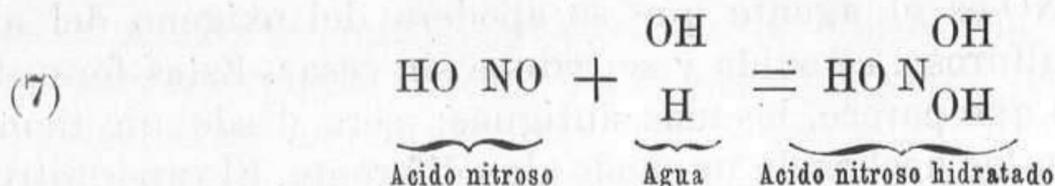
Es ya sabido desde mucho tiempo que el ácido sulfuroso y el ácido nitroso —cuya existencia en las cámaras ha sido comprobada— reaccionan para dar origen á cuerpos muy complicados, descubiertos por M. Frémy en 1845: los *derivados sulfonitrogenados*.

II

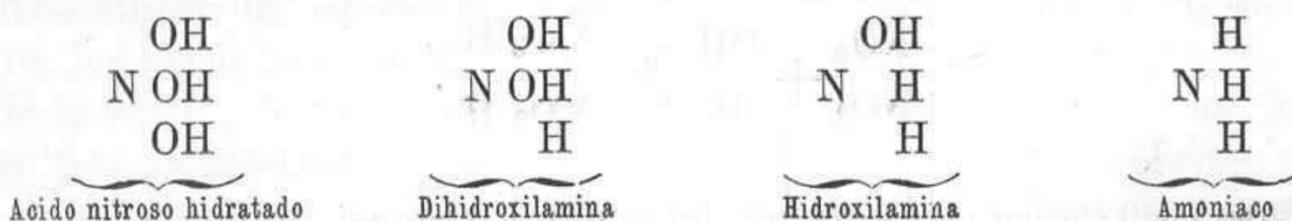
Permítasenos una digresión acerca de tan interesante estudio, poco conocido aun, y escribir las fórmulas con objeto de dilucidarlo un poco. En quí-

mica, bajo ciertas condiciones, se puede disponer á voluntad del orden de los factores.

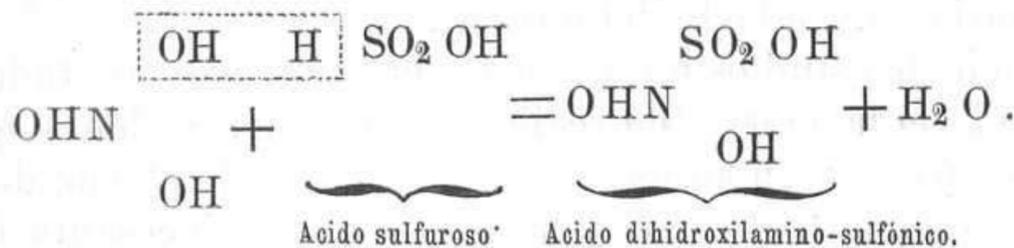
Si se desarrolla la fórmula $\text{NO}_2 \text{H}$ del ácido nitroso, hidritándolo al propio tiempo, se tendrá el ácido nitroso hidratado $\text{N}(\text{OH})_3$ de simetría ternaria como el amoniaco $\text{N}(\text{H})_3$:



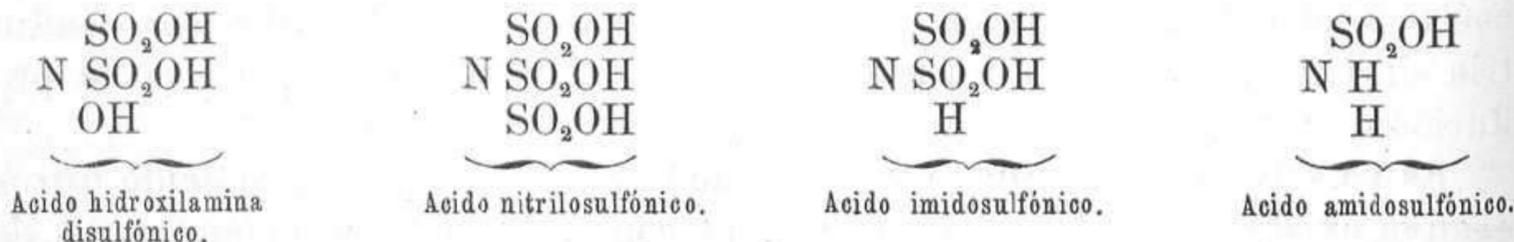
Por otra parte, entre aquel ácido y el amoniaco, existen cuerpos intermedios, uno de ellos muy conocido: la hidroxilamina ú oxiamoniaco:



El amoniaco y la hidroxilamina pueden fijar el ácido sulfuroso por simple adición para formar sales, hecho que nada tiene de extraordinario, puesto que el amoniaco es una base y la hidroxilamina una base también, apenas atenuada por la sola función de ácido (OH) que ofrece en su fórmula. Pero el ácido sulfuroso puede reaccionar aun en cuerpos tales como el ácido nitroso: la combinación, que se realiza con separación de agua, engendra ácidos mixtos nitro-sulfurosos:

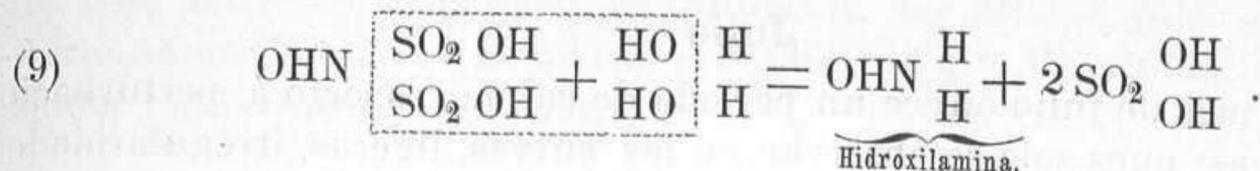


Se concibe que esta separación de agua no sólo se puede efectuar con el primer (OH) del ácido nitroso, sino también con los otros dos, del propio modo que con los de la dihidroxilamina y de la hidroxilamina, obteniéndose ácidos como los siguientes:

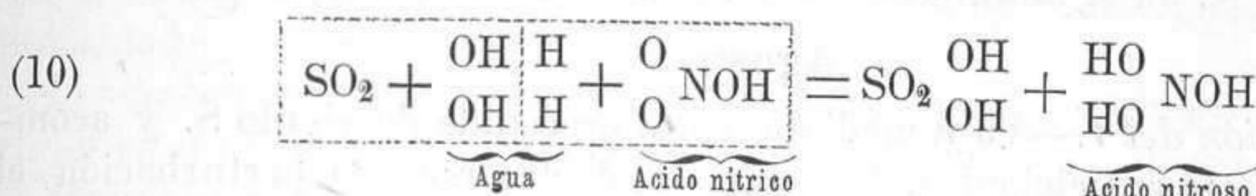


Como varios de estos ácidos son polibásicos, sus sales son con frecuencia muy complejas: además, no todos son conocidos, por tratarse de la cuestión aún oscura de las sales sulfonitrogenadas, si bien podemos explicarnos sus transformaciones progresivas, que dan por resultado las sales de hidroxilamina y de amoniaco, que se encuentran en las cámaras de plomo, como últimos tes-

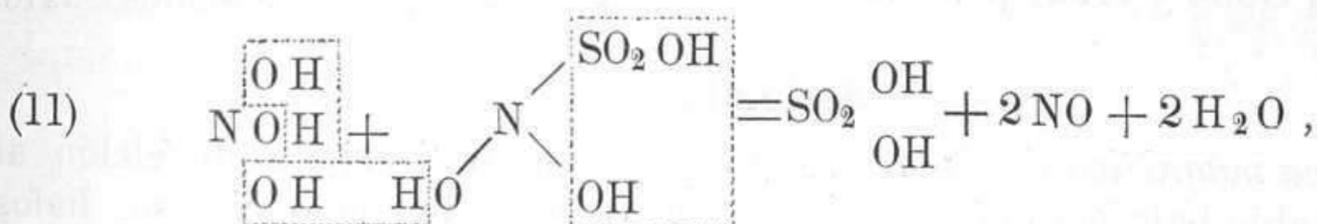
timonios de su acción transitoria. En efecto, el agua puede desdoblar los cuerpos sulfonitrogenados de tal suerte, que una parte de su hidrógeno, que va á reemplazar los grupos sulfurosos, reduzca el ácido nitroso primitivo hasta el estado de amoniaco.



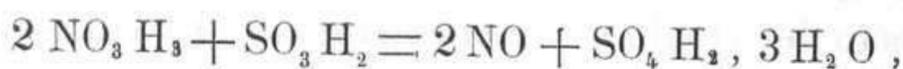
Después de estas explicaciones, que hemos creído necesarias, volvamos al ácido sulfúrico para estudiar su producción, conforme á las nuevas fórmulas de que se ha valido M. Raschig¹. Según este autor, el anhídrido sulfuroso, el agua y el ácido nítrico producen de una vez los ácidos nitroso y sulfúrico:



Este ácido nitroso que acaba de aparecer y una nueva porción de anhídrido sulfuroso que ha tenido tiempo de hidratarse, reaccionan entonces conforme á la ecuación (8) y el ácido dihidroxilamina-sulfónico que se forma se destruye en seguida por una molécula de ácido nitroso:



y NO entra en la circulación por las ecuaciones (4) (5) (7). En último término, sumando las ecuaciones (8) y (10) encontramos, admitiendo la interpretación de M. Raschig, lo que sigue:



esto es, que los ácidos nitroso y sulfuroso hidratados dan origen al ácido sulfúrico hidratado $\text{SO}_4\text{H}_2, 3 \text{H}_2\text{O}$, cuya densidad es igual á 1.55, precisamente la misma del ácido poco concentrado que producen las cámaras de plomo cuando funcionan en buenas condiciones.

Si admitimos que la nueva teoría que acabamos de exponer no explica por sí sola la formación del ácido sulfúrico, no por eso hemos de desecharla, pues nos explica fácilmente la formación de derivados amoniacaes y está de acuerdo con el hecho importante de que las cámaras de plomo producen el ácido trihídrico de 1.55 de densidad.

¹ *Deutschen chemischen Gesellschaft*, XX, p, 1158.

PERTURBACIONES MAGNÉTICAS EN RELACIÓN CON LOS PRINCIPALES CAMBIOS ATMOSFÉRICOS *

POR EL R. P. BENITO VIÑES, S. J.

Director del Real Colegio de Belen de la Habana

Julio

El actual mes de julio ofrece un período de calma respecto á perturbaciones magnéticas; pues solo se observan en las curvas ligeras irregularidades, si se exceptúa la ligera perturbación que á continuación se expresa, y que creo ser la única digna de particular mención.

Ligera perturbación del 5 al 8.—Va precedida de un fuerte máximum barométrico, y acompañada de notable descenso de barómetro, brisas irregulares, cielo cirroso por la parte del N., halos, tronadas, chubascos pasajeros, y relámpagos al N. en el meridiano magnético.

Agosto

Perturbación del 1.—Va inmediatamente precedida de viento S. y acompañada de brisote anticiclónico. Al tiempo de declararse esta perturbación, el huracán de la Barbada, después de haber cruzado al S. y W. de la Isla y recurvado en el golfo, estaba disolviéndose en los estados del Sur.

Perturbación del 28 al 30.—Coincide con vientos del S. rolando al W. con rápido descenso del barómetro y copiosas lluvias. Este notable cambio de tiempo fué debido á una perturbación ciclónica que se organizó en la porción oriental del Golfo y cruzó por entre la Florida y la Isla de Cuba en dirección al NE.

Setiembre

Borrasca magnética del 25 al 27.—Coincide con indicaciones de ciclón al N. W., notable baja barométrica, temperatura elevada, cielo cirroso, halos solares, vientos del E. rolando al S. y relámpagos al N. en el meridiano magnético.

Octubre

Perturbación del 22.—Coincide con el primer N. de la estación. Va precedida de giro directo del viento con cielo cirroso y halos solares y lunares, y acompañada de viento N. rolando al E. con subida de barómetro y cielo encaipotado y lluvioso

Noviembre

Ligera perturbación del 8.—Coincide con vientos flojos de la parte del Sur rolando al W., mínimum barométrico, máximum de temperatura y cielo achubascado con truenos y lluvia. Va inmediatamente precedida de indicaciones de ciclón al 4.º cuadrante con cielo cirroso y halos solares y lunares.

Fuerte perturbación del 20 al 21.—Coincide con un norte bien caracterizado y de los más fríos de la estación. La perturbación se inicia con fuerte mínimum barométrica, giro directo del viento al N. por el W. y repetidos chubascos; y en lo recio de la perturbación se fija el viento al N. con rápido ascenso de barómetro y descenso en la temperatura, tensión y humedad.

* Extracto de las perturbaciones magnéticas y meteorológicas correspondientes al segundo semestre de 1887, registradas en el Observatorio de Belen, Habana.—N. de la R.

Este notable cambio de tiempo, que es el más acentuado de todo el mes, fué debido al paso de un recio temporal por la región de los Lagos y el Canadá, seguido de anticiclón.

Ligeras perturbaciones del 27 al 31.—Coinciden con un recio norte, durante el cual, sin embargo, los elementos meteorológicos sufren poca alteración. Este norte fué, al parecer, continuación del brisote, que se enlaza con el norte anterior; así es que no fué precedido de giro directo del viento, como acontece en los nortes legítimos.

Diciembre

Las perturbaciones del mes de diciembre son todas ellas de poca intensidad y coinciden en general con los nortes de la estación, con el paso de temporales por los Estados Unidos al N. de la Habana y con las perturbaciones magnéticas observadas en Toronto (Canadá).

Perturbación del 12 al 13.—Coincide con el final de un norte de moderada intensidad.

Perturbación del 16 al 18.—Coincide con un norte legítimo y notablemente frío, bien que de poca intensidad y duración.

Perturbación del 21.—Va precedida de viento al S. con cielo cirroso, descenso de barómetro y máximo de temperatura. Esto suele ser de ordinario la preparación inmediata para el norte, sin embargo, el giro directo del viento no se verificó en este caso, entablándose la brisa con giro inverso. Es de notar que esta perturbación coincide con un temporal de nieves en la región de los Lagos.

Perturbación del 25.—Coincide con un norte legítimo de poca intensidad y duración.

CRÓNICA

La temperatura de las capas profundas del suelo.—Recientemente se ha tratado en la Asociación Británica, del aumento de la temperatura al penetrar en las profundidades del suelo. La Comisión encargada del estudio de este fenómeno y de descubrir sus leyes, si es que existen, se ha fijado en las observaciones de Mr. Dunker que dirige actualmente, en unión de los Sres. Robrich y Huyssen, una perforación en Schaldebach que llega ya á 1,749 m. de profundidad.

En el *Neuer Jahrbuch für Mineralogie* se inserta una memoria sobre los trabajos, que se reproduce en extracto; dice así: «La perforación atraviesa piedra arenisca roja, tierra caliza magnesiana, pérmico inferior y terrenos carboníferos hasta las capas de los terrenos devónicos superiores. Se entubó la expresada perforación hasta 1,240 m. de profundidad, habiendo sido los diámetros efectuados en aquella los siguientes:

	Profundidad perforada en metros.	Diario en milímetros.
En los primeros.	584	120
En los sucesivos.	104	92
En los últimos.	393	72
	159	50

Desde esta profundidad hasta el fondo, el diámetro disminuye gradualmente hasta reducirse á unos 25 mm. Este pozo se ahondó por medio de un perforador

con punta de diamante, habiendo importado los gastos de los trabajos 250,000 francos. Los vástagos para los sondeos pesaban 20 t., empleándose diez horas en echar aquellos arriba. La temperatura se observó por disposiciones especiales, á cuyo fin se instalaron en una barra cilíndrica de hierro ó de madera dura dos discos de esta de un diámetro proporcionado al tubo; el disco inferior estaba fijo, el otro movable, siendo la parte de la barra comprendida entre ambos discos la altura de la columna de agua que se deseaba aislar. El termómetro de máxima tenía su receptáculo alojado en la medianía de la citada altura, bien al exterior ó al interior de la barra. El disco movable se colocaba á una distancia dada rellenándose el espacio entre ambos discos con arcilla remojada con agua. Al asentarse la barra en el fondo del agujero de la sonda, parte del peso de todo el aparato apoyaba sobre el disco superior y aplastando la arcilla contra las paredes, quedaba formada una junta estanca. Cuando se quería aislar una columna de agua á una distancia dada de la superficie, se empleaba una disposición doble de la precedente, por medio de la cual quedaba separada el agua entre ambos tapones de arcilla. Las experiencias demostraron que el aislamiento de la masa líquida fué perfecto, continuando en igual estado durante más de diez horas después de la inmersión.

Los termómetros de profundidad carecían de graduación aparente y estaban alojados en una envuelta gruesa de cristal de un diámetro exterior de 15 mm. Después de sacados de la perforación, se introdujeron juntamente con un termómetro normal en un receptáculo lleno de agua á una temperatura algo inferior á la que se creía hallar, agregando poco á poco agua templada al agitar el líquido y hasta llegar el mercurio del termómetro de profundidad á la extremidad abierta. Se efectuaron también comprobaciones con barro espeso introducido y conservado entre dos tapones de madera.

Se ha procedido de esta manera, por secciones de á 30 m., hasta 1,589 m. de profundidad. Al trazar la curva de las temperaturas de la profundidad, se obtiene una línea casi recta, cuya curvatura es tan poco acentuada, que es posible deducir si el aumento de la temperatura es acelerado ó lento, con arreglo á la profundidad. La diferencia total es de 45°,5 C. para 1,653 m., lo que corresponde á 1 C. por cada 36,45 m. Aplicando el método de los mínimos cuadrados, Mr. Dunker admite 1.º C. por 35,50 m.

En América se efectuarán otras experiencias al utilizar los sondeos existentes hechos en busca de petróleo y gas, las cuales enriquecerán las colecciones de documentos reunidos por la Comisión inglesa, si bien será aventurado obtener por ellas la solución de un problema cuyos elementos esenciales se desconocen.

Sobre la pureza del hielo.—El hielo contiene como es sabido, los mismos gérmenes nocivos que el agua de donde procede, puesto que la congelación no destruye todas las especies de bacterias. Por este motivo, sin duda, se ha aprobado en América un proyecto de ley estableciendo una multa de 250 pesetas á las personas que expendan hielo procedente de estanques, ó depósitos, ríos, etc., en los cuales vayan á parar las aguas sucias de cualquier procedencia.

El consumo de hielo adquiere cada día mayor importancia, en tales términos que su recolección en los países productores se evalúa en unos 50 millones de pesetas. El precio de la tonelada que antes era de 100 á 125 pesetas ha descendido ahora á 25 pesetas.

Los Estados Unidos es el país que más hielo consume: New-York por sí solo necesita 1.250,000 toneladas y Filadelfia 750,000.

El hielo mejor del mundo es el procedente de los lagos de Noruega; es limpio, hermoso, trasparente y se extrae á la mano y no con auxilio de máquinas, como lo efectúan los americanos.