LA MECANICA CELESTE DE GARAVITO

Damos cabida en este número de nuestra publicación al admirable estudio del sabio astrónomo colombiano Dr. Julio Garavito Armero, que se refiere a una forma de las que pueden darse a los desarrollos canónicos de Jacobi; y nos permitimos llamar la atención sobre él, porque las relaciones mecánicas que confirman las leyes de Newton son todas de importancia capital en una época en que parece discutible la ley de la fuerza tal como la concibió ese espíritu inmortal.

Bien conocidas son las transformaciones analíticas de Jacobi, expuestas en los Vorlesungen über Dynamik *de este célebre autor, para que sea necesario aquí hacer alguna referencia especial sobre este punto. Así nos contentamos con remitir al lector a las* "Lecciones de Mecánica Celeste" *de Poincaré, en donde se expone el asunto con lujo de detalles, partiendo de las ecuaciones canónicas diferenciales, para llegar, con cambios canónicos de variables, a las ecuaciones de Dinámica pura de Hamilton.*

Garavito establece las ecuaciones de movimiento de dos cuerpos sujetos a la acción de la gravitación, siendo uno de éstos el sol y el otro un planeta, partiendo del movimiento absoluto para hallar el relativo. Así opera las transformaciones de coordenadas convenientes y los cambios de variables indicados en el desarrollo para llegar a las ecuaciones canónicas que sienta Poincaré, en forma relativamente sencilla y de admirable claridad.

No es materia fácil dar idea de la originalidad y de la importancia del método de exposición de Garavito, en una simple nota destinada a llamar la atención de los lectores respecto de la importantísima cuestión que Tisserand llevó a un alto punto concreto, respetando el pensamiento de los fundadores de la Mecánica celeste. Baste para nuestro intento hacer notar que la elegancia y la lógica de los desarrollos matemáticos de Garavito en este capítulo, son propios de un investigador de verdad y están a la altura de los analistas más distinguidos.

Naturalmente, al tratar de la aplicación de ecuaciones diferenciales a este problema dinámico acometido por Garavito, no es posible dejar sin mención el nombre de Carlos Gustavo Jacobo Jacobi, el célebre matemático alemán, nacido en Postdam, y autor del tratado: Fundamenta nova theoriæ functionum ellipticarum. *Este nombre está indisolublemente ligado a la teoría expuesta en los* Vorlesungen über Dynamik, *que comenta Poincaré en sus* Methodes nouvelles de la Mecanique Celeste, *y que ha dado designación clásica a las* ecuaciones canónicas de Jacobi.

El capítulo de Mecánica celeste que publicamos en el presente número y que actuaba inédito en nuestro poder, puede considerarse como la introducción a los estudios de Garavito sobre el movimiento de la luna. A este punto volveremos, pues, cuando publiquemos su gran trabajo matemático, que también está inédito, y que significa un progreso definitivo en la solución del problema de los tres cuerpos. Entonces procuraremos dar una idea del proceso mecánico que ha llevado al conocimiento de la gravitación hasta sus últimos límites, empezando con Hansen y concluyendo con Newcomb, Delaunay, Hill, Brown y Garavito.

* * *

REPRODUCCION DE UN GRAN TRABAJO DE HUMBOLDT

Por considerarla de importancia histórica, desde varios puntos de vista, no hemos vacilado en insertar en este número una traducción de las Memorias referentes a los monos del Amazonas y del Magdalena, que publicó en París el célebre autor de "Cosmos", poco después de la publicación de sus "Viajes por las regiones equinoxiales de América meridional".

Esta traducción, hecha por el Profesor Ureña, se acompaña con la reproducción litográfica de las preciosas láminas en colores que ilustraron la edición original. Estas láminas son grabadas en acero, pero su iluminación se hizo a mano. De manera que cada ejemplar tuvo su mérito individual.

Talvez se objete a esta inserción diciendo que no vale la pena reproducir trabajos bien conocidos cuando tanta labor original nuestra está necesitada de publicidad. Pero a ello habremos de responder diciendo que tal hicimos con la "Quinología de Mutis", publicada y glosada por Triana, y que este trabajo ha tenido extraordinario éxito entre los lectores de la Revista, quienes casi en su totalidad desconocían completamente la bella colaboración botánica de Triana, a que nos referimos, y que gracias a nuestra reproducción ha sido ampliamente conocida por el mundo científico.

Igual cosa habremos de decir del presente escrito de Humboldt, que no conocen sino algunos especialistas, y que merece ser admirado por el público, ya que por él se muestra el insigne polígrafo como expositor metódico admirable en las Ciencias Naturales. Además, la preciosa edición en que está presentado es un orgullo tipográfico de la época; los finos grabados que contiene difícilmente admiten par hoy día.

Al explicar los motivos que nos han movido a reproducir en este número de la Revista de Ciencias las Monografías sobre los monos del Amazonas y del Magdalena, del Barón de Humboldt, nos permitimos excitar a los lectores colombianos de nuestra publicación para que se sirvan estudiarlas y comentarlas, agregando a ellas los conocimientos que hoy se tienen sobre la fauna amazónica.

■ ■ ■

LA COMPOSICION DE LOS SILICATOS NATURALES

RICARDO LLERAS CODAZZI
Profesor de Mineralogía y Geología de la Universidad Nacional

INTRODUCCION

En el año de 1898 publicamos en los "Anales de Ingeniería" un artículo en el cual se consideraban las especies minerales como compuestos químicos y en consecuencia se abordaba la cuestión de la clasificación de ellas desde el punto de vista de la atomicidad de los elementos.

Posteriormente vino a nuestras manos el libro del Doctor Ettore Ricci, que lleva por título "Introduzione allo Studio dei Silicati", publicado en Milán en 1898 y en el cual se adoptan esas mismas ideas y se funda el autor en ellas para establecer una clasificación, no sólo de los silicatos aluminosos y magnesianos, sino también de los metálicos. Por ese tiempo tuvimos también noticia de las consideraciones a ese respecto del célebre Profesor Tschermak y de la teoría de la asociación poligénica de Bombicci. Apoyados en esos importantísimos trabajos presentamos en las Sesiones Científicas del Centenario de la Independencia de Colombia, 1910, un estudio sobre la composición de los silicatos naturales.

Algún tiempo después pudimos obtener las obras completas de Bombicci y la admirable publicación "The Constitution of the Silicates" de Frank W. Clarke. La lectura de estos libros nos indujo a tomar de nuevo el asunto para tratarlo con mayor extensión, pues la materia es fecunda y la doctrina expuesta acaso pudiera aplicarse a las demás especies minerales, tales como los fosfatos, carbonatos, sulfatos, sulfuros etc., quizás con mayor rigor que a los silicatos.

A medida que avanzábamos en nuestro estudio íbamos adquiriendo noticias sobre los trabajos de otros autores, muchos de los cuales eran una confirmación de nuestra manera de pensar.

Nuestra manera de apreciar la composición de los silicatos naturales difiere algún tanto de los puntos de vista adoptados por muchos de estos autores, como fácilmente lo notará el lector.

El trabajo que damos hoy al público contiene el resumen de nuestros estudios y lecturas sobre tan interesante cuestión, sirviéndonos de norma, como es de colegirse, el artículo a que hemos hecho referencia.

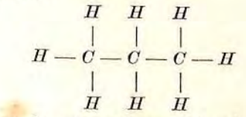
Para mayor claridad, dividiremos este estudio en dos partes: en la primera expondremos la teoría general de los silicatos que sirve de fundamento al estudio de su composición, y las opiniones a este respecto de los principales autores; en la segunda presentaremos las fórmulas desarrolladas de las principales especies y haremos notar su importancia, pero únicamente de aquellas que pueden servir de tipos en una clasificación.

TEORIA GENERAL DE LOS SILICATOS

Se ha definido la Química orgánica diciendo que es "el estudio de los compuestos del Carbono"; de la Mineralogía podría decirse que es, al menos en lo que respecta a los minerales geognósticos, el estudio de los compuestos del Silicio. Parece, en efecto, que estos dos metaloides, por su múltiple atomicidad, constituyen la gran masa de materia prima que la naturaleza ha elaborado para formar los dos grandes reinos: el de los seres que presentan el fenómeno de la vida y el de los desprovistos de ella y que forman casi la totalidad de la corteza terrestre.

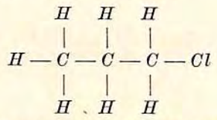
Los compuestos orgánicos son tan numerosos y de composición tan complicada, que la memoria más feliz no sería capaz de retener las fórmulas que los representan, si no pudieran derivarse unas de otras, de una manera metódica, de acuerdo con ciertas reglas fijadas de antemano, que provienen de las leyes fundamentales de la Física y de la Química.

Por ejemplo, si en la fórmula $C_n H_{2n+2}$ substituímos a n por la sucesión de los números enteros, vamos encontrando las fórmulas $C H_4$ $C_2 H_6$ $C_3 H_8$ etc., que representan la composición de los carburos de hidrógeno de la primera serie. La fórmula $C_n H_{2n+2}$ representa pues la composición de *cualquier* carburo de hidrógeno de la primera serie, y es, por consiguiente, una fórmula general. Los alcoholes se derivan de los carburos por substitución del oxhidrilo al hidrógeno, y así, hay fórmulas semejantes para todas las series de compuestos orgánicos. Hay más todavía: no es indiferente la colocación de los átomos de los cuerpos componentes al hacer las substituciones, o en otros términos, no es indiferente el modo de saturación de las valencias del carbono. De ello depende la existencia de las substancias isómeras. Un ejemplo presentado según la notación que podríamos llamar *gráfica*, hará comprender fácilmente esta diferencia:

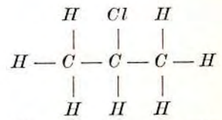


es lo que se llama una fórmula *simétrica* de un carburo. Si substituímos el Cloro al hidrógeno, obtenemos

las fórmulas de dos cuerpos que, aun cuando tiene exactamente una misma composición cuantitativa, difieren sin embargo en casi todas sus propiedades, debido *únicamente al lugar que ocupa en la molécula del compuesto, el átomo de cloro:*



Cloruro de propilo normal



Cloruro de isopropilo

Si respecto de los átomos de Silicio se hacen consideraciones análogas a las que se han hecho sobre los compuestos del carbono, se llegará sin duda a la determinación de los tipos moleculares y a la fijación de ciertas reglas que darán la clave de la composición de los numerosos silicatos naturales.

H. Schiff inició por primera vez esta idea, después de un concienzudo estudio del Silicio y sus compuestos; fijó una fórmula general para los anhídridos y ácidos silícicos, e hizo muchas de las substituciones, aunque sin fijarse en que de esta manera abría un amplio campo a las investigaciones mineralógicas. Más químico que mineralogista, dejó sin explotar un venero riquísimo. Más tarde algunos mineralogistas como Weltzien, Clarke, Tschermak, Bombicci, Ricci y últimamente Brauno, Vernadsky, Wiik, Simmonds, Jakob, Orcel y otros han hecho en este sentido, investigaciones de suma importancia.

Sin separarse de la doctrina primordial expuesta por Schiff y fundándose en las fórmulas de los tipos moleculares puede llegarse a un *modus operandi* para hacer las substituciones, que dé una idea muy clara de la composición íntima de los silicatos naturales.

Según este modo de apreciar las cosas, toda la cuestión estriba en proceder de una manera análoga a la que se acostumbra en Química orgánica. De las fórmulas de los anhídridos y ácidos silícicos pueden derivarse las fórmulas de los silicatos por simples substituciones.

Ante todo, y para mejor inteligencia de lo que sigue, nos permitimos hacer una ligera reseña de los compuestos oxigenados del Silicio, pero solamente en lo relativo a su composición y sin entrar a estudiar sus propiedades ni los procedimientos de preparación, como que esto no conduce directamente al fin que nos proponemos.

La combinación del Silicio con el oxígeno da el anhídrido silícico $Si\,O_2$ que se presenta bajo dos formas: cristalizado y amorfo. El anhídrido cristalizado es a su vez dimorfo (cuarzo hialino y Tridimita). Las combinaciones del Silicio en que entran el oxígeno y el hidrógeno o ácidos silícicos, son muy numerosos. Los compuestos mejor estudiados hasta hoy día tienen las siguientes fórmulas:

$$\left.\begin{array}{l} H_2\,Si\,O_3 \\ H_2\,Si_2\,O_5 \\ H_2\,Si_3\,O_7 \\ H_2\,Si_4\,O_9 \\ \ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots \\ H_2\,Si_8\,O_{17} \end{array}\right\} \quad \text{O sea} \quad \left\{\begin{array}{l} Si\,O_2 + H_2\,O \\ 2\,Si\,O_2 + H_2\,O \\ 3\,Si\,O_2 + H_2\,O \\ 4\,Si\,O_2 + H_2\,O \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ 8\,Si\,O_2 + H_2\,O \end{array}\right.$$

Estos ácidos no son los únicos posibles: al contrario, se ha logrado aislar y estudiar un gran número; pero solamente a los citados se les conoce la composición con entera certidumbre. La composición de todos ellos entra en la fórmula general siguiente: $Si_n\,H_{2\,n\,+\,2}\,O_{3n\,+\,1}$ (A)

Por sustracción de moléculas de agua, $H_2\,O$ se deriva de esta fórmula toda una serie de anhídridos así:

Primeros anhídridos	$Si_n\,H_{2n}\,O_{3n}$
Segundos anhídridos	$Si_n\,H_{2n-2}\,O_{3n-1}$
Terceros anhídridos	$Si_n\,H_{2n-4}\,O_{3n-2}$
Cuartos anhídridos	$Si_n\,H_{2n-6}\,O_{3n-3}$

En general el anhídrido del orden m quedará expresado por la fórmula $Si_n\,H_{2n-m-1}\,O_{3n-m+1}$ (B)

Estas fórmulas generales son las que sirven de base para la derivación. Tratándose de los halógenos, por ejemplo, la fórmula (A) dará origen a los siguientes compuestos, siendo R' un átomo de cualquier halógeno:

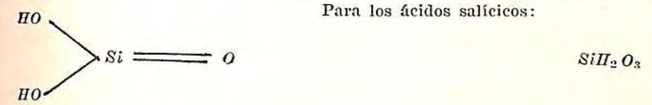
$$\begin{array}{l} Si_n\,H_{2n\,+\,1}\,O_{3n}\,R' \\ Si_n\,H_{2n}\,O_{3n-1}\,R'_2 \\ Si_n\,H_{2n-1}\,O_{3n-2}\,R'_3 \\ Si_n\,H_{2n-2}\,O_{3n-3}\,R'_4 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ Si_n\,H_{2n-m\,+\,2}\,O_{3n-m\,+\,1}\,R'_m \end{array}$$

Y lo dicho para los halógenos es válido, como es natural, para cualquier radical monovalente.

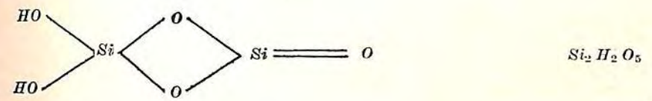
Con los demás cuerpos pueden hacerse substituciones semejantes, teniendo en cuenta las valencias.

Notemos además que todas las fórmulas expuestas, tanto de los ácidos como de los anhídridos, se derivan de las del siliciuro de hidrógeno saturado: $Si\,H_4$ Así:

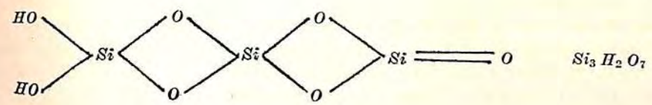
Para los ácidos salícicos:



$Si\,H_2\,O_3$



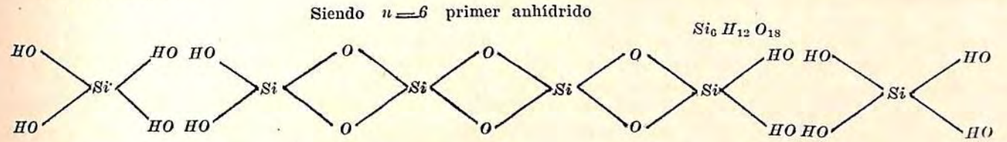
$Si_2\,H_2\,O_5$



$Si_3\,H_2\,O_7$

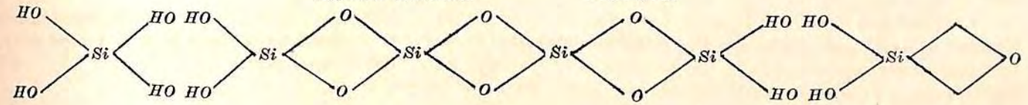
Para los anhídridos

Siendo $n = 6$ primer anhídrido



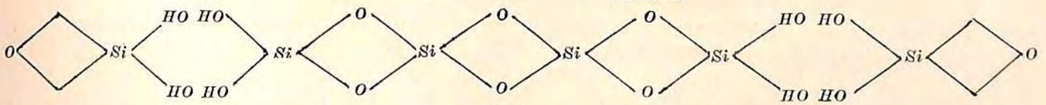
$Si_6\,H_{12}\,O_{18}$

Segundo anhídrido



$Si_6\,H_{10}\,O_{17}$

Tercer anhídrido:



$Si_6\,H_8\,O_{16}$

Así sucesivamente, cualquiera que sea el valor de n y el orden del anhídrido.

Se podría, sin dificultad, obtener de las fórmulas generales (A) y (B) las de las especies minerales pertenecientes al grupo de los silicatos y cada una de estas fórmulas daría para los valores particulares de n series de especies minerales que, a más de tener su composición química ajustada a una misma fórmula, estarían ligadas por caracteres taxonómicos de indiscutible valor, hasta el punto de que llegaríamos a establecer las familias naturales generalmente admitidas.

Pero también se puede proceder y es lo más lógico, sobre la fórmula fundamental SiH_4 y se obtendrán entonces fórmulas desarrolladas, casi todas simétricas, que representan las diferentes especies de los silicatos. Estas fórmulas tendrán la ventaja de hacer resaltar las analogías entre las diversas especies minerales de una misma familia.

Veamos ahora los métodos de que se han valido los diferentes naturalistas que se han ocupado en la subdivisión del grupo de los silicatos y en la apreciación de su composición química.

Como ya hemos dicho, Schiff deriva las fórmulas de las especies minerales de las ya establecidas para los ácidos y los anhídridos silícicos.

Veamos algunos ejemplos:

El ácido silícico normal o monosilícico tiene por fórmula: $Si\left\{\begin{array}{l} HO \\ HO \\ HO \\ HO \end{array}\right.$ En esta fórmula substituyendo H_4 por Fe_2, H_4 por Mg_2, H_2 por Mg o por Fe se obtienen los siguientes resultados:

$Si\,O_4\,Fe_2$ ..... Fayalita
$Si\,O_4\,Mg_2$ ..... Forsterita
$Si\,O_4\,Mg\,Fe$ ..... Peridoto

El primer anhídrido monosilícico tiene por fórmula: $Si \begin{cases} O \\ HO \\ HO \end{cases}$ En esta fórmula, haciendo substituciones semejantes a las anteriores, se obtienen los siguientes resultados (duplicando, si es preciso, la fórmula):

$Si_2\,O_6\,Ca\,Mg$ ..... Diopsita
$Si_2\,O_6\,Ca_2$ ..... Wollastonita
$Si_2\,O_6\,Mg\,Fe$ ..... Broncita
$Si_2\,O_6\,Mg$ ..... Enstatita
$Si_2\,O_6\,Ca\,Fe$ ..... Hedenbergita
$Si_2\,O_6\,Mn_2$ ..... Rhodonita.

El ácido disilícico tiene por fórmula: $Si \begin{cases} HO \\ HO \\ HO \\ O \end{cases} Si \begin{cases} HO \\ HO \\ HO \end{cases}$ En esta fórmula, por un procedimiento análogo a los anteriores, se obtiene:

$Si_2\,O_7\,Mg_3 + 2\,Aq$ ..... Serpentina
$Si_2\,O_7\,Fe_3$ ..... Hisingerita
$Si_2\,O_7\,Pb_3$ ..... Barisilita

El segundo anhídrido silícico tiene por fórmula: $Si \begin{cases} O \\ HO \\ O \end{cases} Si \begin{cases} HO \\ O \end{cases}$ Del mismo modo que en las fórmulas anteriores, da origen a las siguientes especies:

$2\,(Si_2\,O_5)\,Al\,Li$ ..... Petalita
$6\,(Si_2\,O_5)\,Al_2\,Ca_2\,HK$ ..... Milarita
$Si_2\,O_5\,Ca$ ..... Oquenita.

La fórmula del ácido trisilícico es: $Si \begin{cases} HO \\ HO \\ HO \\ O \end{cases} Si \begin{cases} HO \\ HO \\ O \end{cases} Si \begin{cases} HO \\ HO \\ HO \end{cases}$ Esta fórmula, por el procedimiento conocido, origina las siguientes especies:

$Si_3\,O_{10}\,Al_2\,Ca + 3\,Aq$ ..... Scolecita
$Si_3\,O_{10}\,Al_2\,Na_2 + 2\,Aq$ ..... Natrolita

El segundo anhídrido trisilícico tiene por fórmula: $Si \begin{cases} O \\ HO \\ O \end{cases} Si \begin{cases} HO \\ HO \\ O \end{cases} Si \begin{cases} O \\ HO \\ O \end{cases}$ En esta fórmula, haciendo las substituciones del caso, se obtiene:

$Si_3\,O_8\,Al\,Na$ ..... Albita
$Si_3\,O_8\,Al\,K$ ..... Ortoclasa
$Si_6\,O_{16}\,Al_2\,Ca + 5\,Aq$ ..... Stilbita

El primer anhídrido tetrasilícico tiene por fórmula: $Si \begin{cases} O \\ HO \\ O \end{cases} Si \begin{cases} HO \\ HO \end{cases} Si \begin{cases} O \\ HO \\ HO \end{cases} Si \begin{cases} O \\ HO \\ HO \\ HO \end{cases}$ Esta fórmula da origen a las siguientes especies minerales:

$Si_4\,O_{12}\,K_2\,Al_2$ ..... Leucita
$Si_4\,O_{12}\,(Na_2\,Ca)\,Al_2$ ..... Andesina
$Si_4\,O_{12}\,(K_2\,Ba)\,Al_2$ ..... Hialofana

El segundo anhídrido pentasilícico tiene por fórmula: $Si \begin{cases} O \\ HO \\ O \end{cases} Si \begin{cases} HO \\ HO \\ O \end{cases} Si \begin{cases} HO \\ HO \\ O \end{cases} Si \begin{cases} HO \\ HO \\ O \end{cases} Si \begin{cases} HO \\ O \end{cases}$ Esta fórmula da origen a las siguientes especies minerales:

$Si_5\,O_{14}\,Mg_4 + Aq$ ..... Talco
$Si_5\,O_{14}\,(Ba\,K_2)\,Al_2 + 5\,Aq$ ..... Harmotoma

Todo esto es bastante sencillo y muy ajustado a la lógica; pero, como veremos en seguida, hay otras maneras de considerar los grupos moleculares, talvez más fecundas, y otros procedimientos más ingeniosos para llegar a las fórmulas de las especies minerales.

C. Weltzien, en su importante trabajo "Systematische Uebersicht der Silicate", considera las asociaciones moleculares que constituyen los silicatos, de un modo semejante, aunque no del todo idéntico.

Parte de la fórmula del anhídrido normal monosilícico: $\begin{matrix} Si \\ H_2 \end{matrix} \Big| O_3$ y por adición de agua o de sílice, obtiene los tipos de los silicatos ordenados conforme al cuadro siguiente:

	Monosilicatos	Disilicatos	Trisilicatos	Tetrasilicatos	Pentasilicatos
I	$\begin{matrix} Si \\ H_2 \end{matrix} \Big\| O_3$	$\begin{matrix} Si_2 \\ H_2 \end{matrix} \Big\| O_5$	$\begin{matrix} Si_3 \\ H_2 \end{matrix} \Big\| O_7$	$\begin{matrix} Si_4 \\ H_2 \end{matrix} \Big\| O_9$	$\begin{matrix} Si_5 \\ H_2 \end{matrix} \Big\| O_{11}$
II	$\begin{matrix} Si \\ H_4 \end{matrix} \Big\| O_4$	$\begin{matrix} Si_2 \\ H_4 \end{matrix} \Big\| O_6$	$\begin{matrix} Si_3 \\ H_4 \end{matrix} \Big\| O_8$	$\begin{matrix} Si_4 \\ H_4 \end{matrix} \Big\| O_{10}$	$\begin{matrix} Si_5 \\ H_4 \end{matrix} \Big\| O_{12}$
III	$\begin{matrix} Si \\ H_6 \end{matrix} \Big\| O_5$	$\begin{matrix} Si_2 \\ H_6 \end{matrix} \Big\| O_7$	$\begin{matrix} Si_3 \\ H_6 \end{matrix} \Big\| O_9$	$\begin{matrix} Si_4 \\ H_6 \end{matrix} \Big\| O_{11}$	$\begin{matrix} Si_5 \\ H_6 \end{matrix} \Big\| O_{13}$
IV	$\begin{matrix} Si \\ H_8 \end{matrix} \Big\| O_6$	$\begin{matrix} Si_2 \\ H_8 \end{matrix} \Big\| O_8$	$\begin{matrix} Si_3 \\ H_8 \end{matrix} \Big\| O_{10}$	$\begin{matrix} Si_4 \\ H_8 \end{matrix} \Big\| O_{12}$	$\begin{matrix} Si_5 \\ H_8 \end{matrix} \Big\| O_{14}$

Es claro que todas las relaciones posibles del ácido silícico con los radicales caben dentro de este cuadro; y, por tanto, todas las fórmulas de los silicatos pueden derivarse de los tipos apuntados. Weltzien hace, no obstante, algunas salvedades al respecto del agua, según sea de cristalización o de constitución.

Algunos ejemplos demostrativos harán ver claramente estas deducciones:

$Si\ H_2$	O_3	$Si\ Mg$	O_3	Emtatita
$Si\ H_4$	O_4	$Si\ Mg\ Fe$	O_4	Peridoto
$Si\ H_6$	O_5	$Si\ Al_2$	O_5	Andalucita
$Si_2\ H_2$	O_5	$Si_2\ Ca$	$O_5 + 2\,H_2O$	Apofilita
$Si_2\ H_8$	O_8	$Si_2\ Al_2\ Fe$	O_8	Eleolita
$Si_2\ H_8$	O_8	$Si_2\ Al_2\ Na_2$	O_8	Nefelina
$3\ Si_3\ H_3$	O_9	$Si_9\ 2\,Al_2\ Ca_2\ K\,Na$	O_{27}	Dipiro
$Si_3\ H_{12}$	O_{12}	$Si_3\ Al_2\ Mg_3$	O_{12}	Granate
$Si_6\ H_8$	O_{16}	$Si_6\ Al_2\ K_2$	O_{16}	Ortoclasa

Los citados ejemplos muestran que el procedimiento es general, aunque no idéntico al anterior; todas las especies que constituyen el grupo de los silicatos tienen sus fórmulas ajustadas a los modelos mencionados.

Tschermak admite los tipos moleculares siguientes:

Primero, el grupo de los silicatos simples, en los cuales no figura el aluminio, que da dos tipos:

$Mg\,Si\,O_4$ ..... Tipo: Forsterita
$Mg\,Si\,O_3$ ..... Tipo: Piróxeno

En segundo lugar, los silicatos de aluminio, que son múltiples y en los cuales figura un metal monovalente:

$Al_2\,Si\,O_5$ ..... Tipo: Distena
$Na\,Al\,Si\,O_4$ ..... Tipo: Nefelina
$K\,Al\,Si_2\,O_6$ ..... Tipo: Leucita
$K\,Al\,Si_3\,O_8$ ..... Tipo: Ortoclasa
$Li\,Al\,Si_4\,O_{10}$ ..... Tipo: Petalita

Deducidos respectivamente de los siguientes grupos moleculares:

$2\,Al\,HO_2$	$H_2\,Si\,O_3$
$Al\,HO_2$	$H_2\,Si\,O_3$
$Al\,H_3\,O_3$	$2\,H_2\,Si\,O_3$
$Al\,H_3\,O_3$	$3\,H_2\,Si\,O_3$
$Al\,H_3\,O_3$	$4\,H_2\,Si\,O_3$

Por último, los silicatos de aluminio y metal divalente, que también son múltiples:

$Ca\,Al_2\,Si_2\,O_8$ ..... Tipo: Anortita
$Ca_3\,Al_2\,Si_3\,O_{12}$ ..... Tipo: Granate
$Be_2\,Al_2\,Si_6\,O_{18}$ ..... Tipo: Berilo

Estas fórmulas se derivan respectivamente de

$2\,Al\,HO_2$	$2\,H_2\,SiO_3$
$Al_2\,H_4\,O_5$	$3\,H_2\,Si\,O_3$
$2\,Al\,H_3\,O_3$	$6\,H_2\,Si\,O_3$

Así, de diversas maneras, deriva este autor las fórmulas de los silicatos aluminosos básicos:

$(Ca\,O\,H)_2\,Al_2\,Si_3\,O_{10}$. Silicato prehinítico. $(Ca\,O\,H)\,Ca\,Al_3\,Si_3\,O_{12}$. Silicato epidótico.

Luégo, en las subdivisiones, hay consideraciones sumamente ingeniosas. Así, al tratar de la Turmalina adopta las conclusiones de Riggs y Wülfing, que consideran este mineral como mezclas isomorfas de silicatos y boratos, así:

$4\,H_2O$	$2\,Na_2O$	$8\,Al_2O_3$	$3\,Bo_2O_3$	$12\,SiO_2$
$3\,H_2O$	$12\,MgO$	$5\,Al_2O_3$	$3\,Bo_2O_3$	$12\,SiO_2$
$3\,H_2O$	$12\,FeO$	$5\,Al_2O_3$	$3\,Bo_2O_3$	$12\,SiO_2$

Equivalentes respectivamente a las fórmulas:

$H_8\,Na_4\,Al_{16}\,Bo_6\,Si_{12}\,O_{63}$
$H_6\,Mg_{12}\,Al_{10}\,Bo_6\,Si_{12}\,O_{63}$
$H_6\,Fe_{12}\,Al_{10}\,Bo_6\,Si_{12}\,O_{63}$

También considera las Plagioclasas como mezclas isomorfas de dos silicatos:

uno sódico: Albita $Ab = Na_2O\,.\,Al_2O_3\,.\,6\,SiO_2 = Na\,Al\,Si_3\,O_8$

y otro cálcico, Anortita $An = Ca\,O\,.\,Al_2O_3\,.\,2\,SiO_2 = Ca\,Al_2\,Si_2\,O_8$

Cada miembro de la serie de las Plagioclasas sigue, según esto, la ley $mAb + nAn$ O sea: $Ab_m\,An_n$ Así se obtiene:

Ab ..... Albita
de Ab á $Ab_3\,An$ ..... Oligoclasa
de $Ab_3\,An$ á $Ab\ An$ ..... Andesina
de $Ab\ An$ á $Ab\ An_3$ ..... Labradorita
de $Ab\ An_3$ á An ..... Bytownita
An ..... Anortita

El tercer orden de la clasificación, o sea el orden de los hidrosilicatos, se presta también a ciertas consideraciones semejantes; de modo que, en definitiva, queda dividido así:

SALES ACIDAS

$H_2\,Na\,Al\,Si_2\,O_7$ ..... Analcima
$H_2\,K\,Al_3\,Si_3\,O_{12}$ ..... Muscovita
$H_4\,Al_2\,Si_2\,O_9$ ..... Kaolín
$H_2\,Mg_3\,Si_4\,O_{12}$ ..... Talco

Que se derivan respectivamente de

$Al\,HO_2$	$2\,H_2\,Si\,O_3$
$3\,Al\,HO_2$	$3\,H_2\,Si\,O_3$
$Al_2\,H_4\,O_5$	$2\,H_2\,Si\,O_3$
	$4\,H_2\,Si\,O_3$

SALES BASICAS

$[HO\,Zn]\ 2\,Si\,O_3$ ..... Calamina
$[HO\,Mg]\ 3\,H\,Si_2\,O_6$ ..... Serpentina
$[HO\,Mg]\ 2\,H_2\,Al_2\,Si\,O_7$ ..... Clorita

Que se derivan respectivamente de

$H_2\,Si\,O_3$
$2\,H_2\,Si\,O_3$
$Al\,H_6\,O_6$ y $H_2\,Si\,O_3$

En las fórmulas de las Ceolitas va más adelante: las divide de tal suerte, que una parte aparece como sal normal, otra como ácido silícico y otra, en fin, como agua de cristalización.

$Na_2O\,.\,Al_2O_3\,.\,4\,SiO_2\,.\,2\,H_2O$ ..... Analcima
$Ca\,O\,.\,Al_2O_3\,.\,4\,SiO_2\,.\,4\,H_2O$ ..... Laumonita
$Na_2O\,.\,Al_2O_3\,.\,3\,SiO_2\,.\,2\,H_2O$ ..... Natrolita
$Ca\,O\,.\,Al_2O_3\,.\,3\,SiO_2\,.\,3\,H_2O$ ..... Scolecita
$Ca\,O\,.\,Al_2O_3\,.\,6\,SiO_2\,.\,5\,H_2O$ ..... Stilbita
$Ca\,O\,.\,Al_2O_3\,.\,6\,SiO_2\,.\,6\,H_2O$ ..... Desmina

O, lo que es lo mismo, las fórmulas siguientes:

$$Na_2\,Al_2\,Si_2\,O_8 \;.\; 2\,H_2\,Si\,O_3$$
$$Ca\,Al_2\,Si_2\,O_8 \;.\; 2\,H_2\,Si\,O_3 \;.\; 2\,H_2\,O$$
$$Na_2\,Al_2\,Si_2\,O_8 \;.\; H_4\,Si\,O_4$$
$$Ca\,Al_2\,Si_2\,O_8 \;.\; H_4\,Si\,O_4 \;.\; H_2\,O$$
$$Ca\,Al_2\,Si_4\,O_{12} \;.\; 2\,H_2\,Si\,O_3 \;.\; 3\,H_2\,O$$
$$Ca\,Al_2\,Si_4\,O_{12} \;.\; 2\,H_2\,Si\,O_3 \;.\; 4\,H_2\,O$$

Este sistema, que revela el genio del autor por sus conceptos altamente filosóficos, no es sin embargo, lo bastante sencillo para satisfacer plenamente las necesidades taxonómicas. Con todo, algunas de estas consideraciones, como las referentes a las Pagioclasas, se imponen de tal modo que han sido universalmente adoptadas.

Veamos ahora los puntos de vista en que se coloca el Profesor Bombicci, que llaman la atención por su sencillez y que sirven de fundamento a su sistema, uno de los más ingeniosos y comprensibles.

Según Bombicci, *hay solamente tres tipos de silicatos:* sencillísimos, frecuentes y muy nítidos en las especies aisladas. Estos tres tipos bastan para explicar toda la construcción molecular del grupo y corresponden al primero, segundo y tercer grado de hidratación del anhídrido silícico $Si\,O_2$.

$H_2\,Si\,O_3 = Si\,O_2 + H_2\,O$ ..... Anhídrido silícico
$H_4\,Si\,O_4 = Si\,O_2 + 2\,H_2\,O$ ..... Acido silícico normal
$H_6\,Si\,O_5 = Si\,O_2 + 3\,H_2\,O$ ..... Primer hidrato silícico

Basta substituír a los átomos de hidrógeno otros átomos o radicales monovalentes o divalentes, según el caso, para obtener los siguientes tipos mineralógicos:

$R''\,Si^{IV}\,O''_3$ ..... Tipo piroxénico
$R''_2\,Si^{IV}\,O''_4$ ..... Tipo peridótico
$(R''\,.\,R^{IV})\,Si^{IV}\,O''_5$ ..... Tipo andalucítico

Los índices I, II, III, IV, V, VI expresan las valencias de los radicales así R' puede representar *Na, K, Li, etc.* R'' puede representar *Ca, Mg, Mn, Fe, etc.* R^{IV} puede representar Al_2, Fe_2, Cr_2, etc. Por adición de las moléculas así obtenidas se puede llegar a la composición de los silicatos más complicados; esto es lo que el autor llama *poligénesis de las especies.*

Por ejemplo:

$$R\,Si\,O_3 + R_2\,Si\,O_4 + H_2\,O = R_2\,Si\,O_7 + 2\,H_2\,O$$
Piroxeno + Peridoto + Agua = Serpentina + Agua
$$R\,Si\,O_3 + R_2\,Si\,O_4 + Al_2\,Si\,O_5 = R_3\,Al_2\,Si_3\,O_{12}$$
Piroxeno + Peridoto + Andalucita = Granate
$$2\,R\,Si\,O_3 + Al_2\,Si\,O_5 + 5\,H_2\,O = R_2\,Al_2\,Si_3\,O_{11} + H_2\,O$$
Piróxeno + Andalucita + Agua = Delesita + Agua

Bien se comprende, a priori, que en tal modo sintético de reproducción en las fórmulas de los silicatos complexos pueden sumarse una o más de las tres fórmulas de las moléculas típicas o fundamentales, con la fórmula de un silicato complexo y constituído, para producir la fórmula de silicato de composición más complicada; y aún pueden reunirse las formadas de dos o más silicatos complexos en una sola, la cual, en último análisis, viene a quedar constituída por los tipos fundamentales. Es posible también hacer substituciones con elementos simples tales como fluor, cloro, yodo, fósforo, azufre, etc., en las fórmulas fundamentales y en las complexas de los silicatos ya constituídos.

La asociación de partículas integrantes, todas de un mismo tipo (piroxénico, peridótico o andalucítico), pero con diversos radicales metálicos, son bastante frecuentes y pueden referirse a verdaderas substituciones por isomorfismo.

Para que el lector pueda apreciar lo fecundo de este sistema y tome nota de cómo pueden obtenerse los más complicados tipos de silicatos, presentamos algunos ejemplos, tomados de la obra de Bombicci "Teoria delle associazioni poligeniche dei Silicati":

Piróxeno $\left\{ \begin{matrix} Si \\ Mg \end{matrix} \right| O_3$ = Enstatita $\left\{ \begin{matrix} Si \\ Mg \end{matrix} \right| O_3 + n\,H_2\,O$ = Picrosmina.

Peridoto $\left\{ \begin{matrix} Si \\ Mg_2 \end{matrix} \right| O_4$ = Olivina $\left\{ \begin{matrix} Si \\ R_2 \end{matrix} \right| O_4 + n\,H_2\,O$ = Villarsita

Andalucita $\left\{ \begin{matrix} Si \\ Al_2 \end{matrix} \right| O_5$ = Andalucita $\left\{ \begin{matrix} Si \\ Al_2 \end{matrix} \right| O_5 + n\,H_2\,O$ = Alofana

Tipo Eleolita $\left\{ \begin{matrix} Si_2 \\ Al_2 \\ R'' \end{matrix} \right| O_8$ = Tipo Andalucita $\left\{ \begin{matrix} Si \\ Al_2 \end{matrix} \right| O_5$ + Tipo Piróxeno $\left\{ \begin{matrix} Si \\ R'' \end{matrix} \right| O_3$

Eleolita $\left\{ \begin{matrix} Si_2 \\ Al_2 \\ Fe'' \end{matrix} \right| O_8$ + Sílice $+\,2\,Si\,O_2$ + Agua $+\,2\,H_2\,O$ + Eleolita $\left\{ \begin{matrix} Si_2 \\ Al_2 \\ K_2 \end{matrix} \right| O_8$ = Pinita $\left\{ \begin{matrix} Si_6 \\ 2\,[Al_2] \\ Fe'' \\ K_2 \end{matrix} \right| O_{20}$ + Agua $2\,H_2\,O$ (*C. S.*)

Piróxeno alcalino $\left\{ \begin{matrix} Si \\ K_2 \end{matrix} \right| O_3$ + Sílice $Si\,O_2$ + Sílice $Si\,O_2$ + Andalucita $\left\{ \begin{matrix} Si \\ Al_2 \end{matrix} \right| O_5$ = Leucita $\left\{ \begin{matrix} Si_4 \\ Al_2 \\ K_2 \end{matrix} \right| O_{12}$

Andalucita $\left\{ \begin{matrix} Si \\ Al_2 \end{matrix} \right| O_5$ + Piróxeno alcalino $\left\{ \begin{matrix} Si \\ Na_2 \end{matrix} \right| O_3$ = Nefelina $\left\{ \begin{matrix} Si_2 \\ Al_2 \\ Na_2 \end{matrix} \right| O_8$

Leucita $\left\{ \begin{matrix} Si_4 \\ Al_2 \\ K_2 \end{matrix} \right| O_{12}$ + Nefelina $\left\{ \begin{matrix} Si_2 \\ Al_2 \\ Na_2 \end{matrix} \right| O_8$ + Sal gema $2\,Na\,Cl$ = Sodalita $\left\{ \begin{matrix} Si_6 \\ 2\,Al_2 \\ R'_6 \end{matrix} \right| O_{20}$

(Con residuo de Cl_2)

Sodalita $\left\{ \begin{matrix} Si_6 \\ 2\,Al_2 \\ R'_6 \end{matrix} \right| O_{20}$ + Andalucita $\left\{ \begin{matrix} Si \\ 2\,Al_2 \end{matrix} \right| O_3$ + Piróxeno $\left\{ \begin{matrix} Si \\ Na_2 \end{matrix} \right| O_3$ + Sulfuro $Na_2\,S$ = Lapislázuli $\left\{ \begin{matrix} Si_9 \\ (Al_2)_4 \\ R'_{10} \end{matrix} \right| O_{33} + O_2\,S$

Lapislázuli $\left\{ \begin{matrix} Si_9 \\ (Al_2)_4 \\ R'_{10} \end{matrix} \right| O_{33}$ + Andalucita $\left\{ \begin{matrix} Si \\ Al_2 \end{matrix} \right| O_5$ + Sílice $Si\,O_2$ + Calcita $2\left\{ \begin{matrix} CO \\ Ca \end{matrix} \right| O_2$ = Cancrinita $\left\{ \begin{matrix} Si_{11} \\ (Al_2)_5 \\ Ca_2 \\ (CO)_2 \\ R'_{10} \end{matrix} \right| O_{46}$

Una de las aplicaciones de este sistema consiste en la serie de las turmalinas.

Peridoto $\left\{ \begin{matrix} Si \\ R''_2 \end{matrix} \right| O_4$ + 3 Andalucita $\left\{ \begin{matrix} Si \\ Al_2 \end{matrix} \right| O_5$ = Turmalina—1º Tipo $\left\{ \begin{matrix} Si_4 \\ (Al_2)_3 \\ R''_2 \end{matrix} \right| O_{19}$ + $3\,Bo_2\,O_3$

Turmalina 1º $\left\{ \begin{matrix} Si_4 \\ (Al_2)_3 \\ R''_2 \end{matrix} \right| O_{19} + 3\,Bo_2\,O_3$ + Andalucita $\left\{ \begin{matrix} Al_2 \\ Si \end{matrix} \right| O_5$ = Turmalina—2º Tipo $\left\{ \begin{matrix} Si_5 \\ (Al_2)_4 \\ R''_2 \end{matrix} \right| O_{24} + 3\,Bo_2\,O_3$

Turmalina 2º $\left\{ \begin{matrix} Si_5 \\ (Al_2)_4 \\ R''_2 \end{matrix} \right| O_{24}$ + Sílice $Si\,O_2$ + Ortoclasa $\left\{ \begin{matrix} Si_6 \\ Al_2 \\ R'_2 \end{matrix} \right| O_{16}$ = Turmalina—3º Tipo $\left\{ \begin{matrix} Si_{12} \\ (Al_2)_5 \\ (Ca.\,Mg.\,Fe.\,Mn) \\ (Li.\,Na.\,K)_2 \end{matrix} \right| O_{41}$ + $Bo_2\,O_3 + O\,R''$

Turmalina 3º $\left\{ \begin{matrix} Si_{12} \\ (Al_2)_5 \\ R'' \\ R'_2 \end{matrix} \right| O_{41}$ + Spinela $\left\{ \begin{matrix} (Al_2)_2 \\ R'' \end{matrix} \right| O_7$ + Borato de aluminio $\left\{ \begin{matrix} Bo_2 \\ Al_2 \end{matrix} \right| O_6$ = Turmalina—4º Tipo $\left\{ \begin{matrix} Si_{12} \\ (Al_2)_8 \\ R''_2 \\ R'_2 \end{matrix} \right| O_5 + Bo_2\,O_3$

Por medio de substituciones semejantes se pueden obtener otros cuatro tipos de Turmalina.

La teoría de Bombicci puede servir para dar una explicación de la alteración de los minerales y la formación de los pseudomorfos, como puede verse en los siguientes ejemplos:

Piróxeno + Sílice + Piróxeno = Steatita

$$\left.\begin{matrix} Si \\ R'' \end{matrix}\right| O_3 \;+\; Si\,O_2 \;+\; \left.\begin{matrix} Si \\ R'' \end{matrix}\right| O_3 \;=\; \left.\begin{matrix} Si_3 \\ R''_2 \end{matrix}\right| O_8$$

Epidoto + Sílice = Scapolita

$$\left.\begin{matrix} Si_4 \\ (Al_2)_2 \\ Ca_3 \end{matrix}\right| O_{17} \;+\; 2\,Si\,O_2 \;=\; \left.\begin{matrix} Si_6 \\ (Al_2)_2 \\ Ca_3 \end{matrix}\right| O_{21}$$

Anfíbol + Andalucita + Peridoto calcáreo = Epidoto

$$\left.\begin{matrix} Si \\ R'' \end{matrix}\right| O_3 \;+\; 2\;\left.\begin{matrix} Si \\ Al_2 \end{matrix}\right| O_5 \;+\; \left.\begin{matrix} Si \\ Ca_2 \end{matrix}\right| O_4 \;=\; \left.\begin{matrix} Si_4 \\ (Al_2)_2 \\ R''_3 \end{matrix}\right| O_{17}$$

De todos los ejemplos que pueden citarse el más ilustrativo es el que corresponde al granate.

Andalucita + Serpentina = Granate

$$\left.\begin{matrix} Si \\ Al_2 \end{matrix}\right| O_5 \;+\; \left.\begin{matrix} Si_2 \\ Mg_3 \end{matrix}\right| O_4 \;=\; \left.\begin{matrix} Si_3 \\ Al_2 \\ Mg_3 \end{matrix}\right| O_{12}$$

Peridoto + Andalucita + Piróxeno = Granate

$$\left.\begin{matrix} Si \\ R''_2 \end{matrix}\right| O_4 \;+\; \left.\begin{matrix} Si \\ Al_2 \end{matrix}\right| O_5 \;+\; \left.\begin{matrix} Si \\ R'' \end{matrix}\right| O_3 \;+\; \left.\begin{matrix} Si_3 \\ Al_2 \\ R''_3 \end{matrix}\right| O_{12}$$

Piróxeno + Alúmina = Granate

$$3\;\left.\begin{matrix} Si \\ R'' \end{matrix}\right| O_3 \;+\; Al_2\,O_3 \;=\; \left.\begin{matrix} Si_3 \\ Al_2 \\ R''_3 \end{matrix}\right| O_{12}$$

Gehlenita + Sílice = Granate

$$\left.\begin{matrix} Si_2 \\ Al_2 \\ R''_3 \end{matrix}\right| O_{10} \;+\; Si\,O_2 \;=\; \left.\begin{matrix} Si_3 \\ Al_2 \\ R''_3 \end{matrix}\right| O_{12}$$

El autor de la teoría expuesta ha hecho, apoyándose en ella, una clasificación de los silicatos, la que, en sus rasgos generales está de acuerdo con los grupos generalmente admitidos y que más se aproximan a lo que pudiera llamarse familias naturales, si éstas fueran posibles en el reino mineral. Esta clasificación es la siguiente:

CLASIFICACION DE LOS SILICATOS NATURALES SEGUN LA TEORIA DE LA ASOCIACION POLIGENICA

- Silicatos
  - Peridotos
    - Piróxenos
      - Enstatitas
      - Apofilitas
      - Piróxenos
      - Anfíboles
      - Spodumenos
      - Axinitas
    - Serpentinas
      - Talcos
      - Steatitas
  - Andalucitas
    - Cloritas y Micas
      - Ripidolitas
      - Delessitas
      - Meroxenos
      - Margaritas
    - Granates
      - Granates
      - Werneritas
      - Allanitas
      - Epidotos
    - Feldespatos y Ceolitas
      - Con radicales principalmente divalentes.
      - Con radicales principalmente monovalentes.

Este sistema, que llama la atención por su sencillez y que además es bastante fecundo, pues explica satisfactoriamente la construcción de los tipos más complicados como las Turmalinas y el Topacio, que han sido un verdadero escollo, no ha sido, sin embargo, adoptado generalmente porque, en la realidad, nada hay que justifique la individualidad de los tipos fundamentales, sobre todo en las especies complejas; considerar, por ejemplo, un feldespato como un cuerpo compuesto de moléculas integrantes, piroxénicas unas y andalucíticas otras, es hacer una hipótesis, muy ingeniosa sin duda, pero que no está suficientemente comprobada.

A nuestro juicio, como teoría explicativa, la hipótesis de Bombicci equivale a la que, respecto a los feldespatos, formuló Tschermak. Lo que hay de verdad en todo esto es que con frecuencia se exige de las *teorías* mucho más de lo que pueden dar. Si las teorías tuvieran la fuerza de convicción de la observación directa de la naturaleza o de los raciocinios matemáticos, dejarían de ser *teorías* para elevarse a la categoría de *teoremas*.

El doctor Ettore Ricci admite dos tipos de silicatos: los ortosilicatos y los metasilicatos, que corresponden a los tipos peridótico y piroxénico de Bombicci.

El ácido ortosilícico da origen a los primeros:

$H_4\,Si\,O_4$	Acido ortosilícico
$Zn_2\,Si\,O_4$	Willemita
$Zz\,Si\,O_4$	Zircón.

El ácido metasilícico da origen a los segundos:

$H_2\,Si\,O_3$	Acido metasilícico
$Ca\,Si\,O_3$	Wollastonita
$Mg\,Si\,O_3$	Enstatita
$Mn\,Si\,O_3$	Rhodonita

Los ortosilicatos obedecen, en cuanto a su composición, a la fórmula general siguiente:

$$M''_2\,Si\,O_4 \qquad \text{O bien} \qquad M^{IV}\,Si\,O_4$$

Siendo M el elemento metálico. Los metasilicatos tienen por fórmula $M''\,Si\,O_3$.

Con las especies que se pueden agrupar en estas dos fórmulas, se pueden constituír dos órdenes bien distintos, de la clase de los silicatos: el orden de los *ortosilicatos* y el de los *metasilicatos*. Pero hay un gran número de especies con fórmulas más complejas y que constituyen familias importantísimas, tales como los granates, micas, feldespatos, epidotos, cloritas, etc. En estas fórmulas hay, sin embargo, un carácter común, que es el siguiente: el hidrógeno del ácido, que es siempre ortosilícico ($H_4\,Si\,O_4$) es substituído en parte por el aluminio, elemento metálico fijo, y en parte por un segundo elemento metálico *variable,* que puede ser monovalente o divalente.

Escojamos dos ejemplos de los más sencillos para hacer notar el mecanismo de las substituciones.

La Albita tiene por fórmula: $Na_2\,Al_2\,Si_6\,O_{12}$ O sea: $2\,(Na\,Al\,Si_3\,O_6)$. Y la Anortita tiene por fórmula $Ca\,Al_2\,Si_2\,O_8$.

Ahora bien: ambas fórmulas, por complicadas que parezcan, pueden ser referidas a la fórmula del ácido ortosilícico $H_4\,Si\,O_4$ si se las representa del modo siguiente:

Albita $Na\,Al\,Si\,O_4 + 2\,Si\,O_2$ Anortita $Ca\,Al_2\,(Si\,O_4)_2$

Así tendremos para la Albita un ortosilicato de aluminio y sodio con exceso de anhídrido silícico, y para la Anortita un ortosilicato de aluminio y calcio.

La última fórmula de la Albita, prescindiendo del exceso de anhídrido silícico, podría suministrar una fórmula general, en la cual pudiera caber la de la Anortita con sólo modificarla en lo relativo al elemento variable. Esta fórmula general, válida para todos los ortosilicatos de aluminio y otro metal, sería:

$$\left.\begin{matrix} M'\,Al\,Si\,O_4 \\ Na\,Al\,Si\,O_4 + 2\,Si\,O_2 \end{matrix}\right\} \text{Albita} \qquad \left.\begin{matrix} M''\,Al_2\,(Si\,O_4)_2 \\ Ca\,Al_2\,(Si\,O_4)_2 \end{matrix}\right\} \text{Anortita}$$

De modo que, en total, habría tres fórmulas generales: (1) $M''_2\,Si\,O_4$ (2) $M''\,Si\,O_3$ (3) $M'\,Al\,Si\,O_4$ en donde la (3) es una derivación de la (1).

Cuando en la fórmula (3) el elemento variable es monovalente, debe expresarse como se hizo para la Albita: $M'\,Al\,Si\,O_4$. Cuando es divalente es necesario considerar dos moléculas de ácido ortosilícico, como en la Anortita $M''\,Al_2(Si\,O_4)_2$.

Este sistema agrupa todos los silicatos en dos fórmulas (1) y (2); de modo que la clase de los silicatos queda dividida en dos órdenes: los ortosilicatos y los metasilicatos, el primero de los cuales queda subdividido, en virtud de la fórmula (3), en dos sub-órdenes: ortosilicatos simples y ortosilicatos aluminosos o dobles. Para este último tipo es preciso notar que el grupo molecular está representado, en la fórmula general, unas veces solo, como en el caso de la Anortita $Ca\,Al_2\,(Si\,O)_2$. Otras veces con un exceso de sílice:

Albita $Na\,Al\,Si\,O_4 + 2\,Si\,O_2$ Ortoclasa $K\,Al\,Si\,O_4 + 2\,Si\,O_2$ Leucita $K\,Al\,Si\,O_4 + Si\,O_2$

O con pequeñas cantidades de cloruros, sulfuros, óxidos, anhídridos, etc.:

Sodalita	$3\,Na\,Al\,Si\,O_4 + Na\,Cl$
Lapislázuli	$Na\,Al\,Si\,O_4 + n\,Ca\,S$
Haüyna	$Na\,Al\,Si\,O_4 + n\,Ca\,SO_4$

O bien con mezclas de ortosilicatos simples o de ácido metasilícico:

Granate grosular	$Ca\,Al_2\,(Si\,O_4)_2 + Ca_2\,Si\,O_4$
Granate almandino	$Fe\,Al_2(Si\,O_4)_2 + Fe_2\,Si\,O_4$
Analcima	$Na\,Al\,Si\,O_4 + H_2\,Si\,O_3$

O con agua de combinación: Kaolín $2\,H\,Al\,Si\,O_4 + H_2\,O$

En muy pocos casos deben representarse en la fórmula, fuera del núcleo principal, pequeñas cantidades de hidratos, metasilicatos, agua, etc. Mesotipo: $2\,Na\,Al\,Si\,O_4 + H_2\,Si\,O_3 + H_2\,O$

Es bien raro el caso de ortosilicatos de un solo metal, de estructura bien sencilla como en los ejemplos citados: Willemita y Zircón; lo ordinario es que tengan mezclas de ortosilicatos de diversos metales:

Olivina $5\,Mg_2\,Si\,O_4 + Fe_2\,Si\,O_4$ O un ortosilicato y un ácido:

Sepiolita $Mg_2\,Si\,O_4 + 2\,H_4\,Si\,O_4$ O un ortosilicato y agua: Calamina $Zn_2\,Si\,O_4 + H_2\,O$

Algunas especies minerales de la clase de los silicatos, principalmente las que constituyen el suborden de los ortosilicatos aluminosos o dobles, pueden representarse por fórmulas racionales relacionadas con los llamados ácidos polisilícicos. Así, por ejemplo, la Albita y la Ortoclasa dan:

Albita $Na_2\,Al_2\,(Si_3\,O_8)_2$ O sea: $Na\,Al\,Si_3\,O_8$ ∴ Ortoclasa: $K_2\,Al_2\,(Si_3\,O_8)_2$ O sea: $K\,Al\,Si_3\,O_8$

Correspondientes a la fórmula del ácido polisilícico $H_4\,Si_3\,O_8$ que, como se sabe, puede considerarse como procedente de tres moléculas del ácido ortosilícico $H_2\,Si\,O_4$ menos cuatro moléculas de agua; $3\,H_4\,Si\,O_4 - 4\,H_2\,O = H_4\,Si_3\,O_8$.

Tal representación, sin embargo, sólo es posible para unas pocas especies minerales; la mayor parte de los silicatos, simples o dobles, no pueden representarse por fórmulas racionales basadas en la del ácido polisilícico, mientras que sí pueden expresarse fácilmente por las fórmulas generales (1) y (3). Esta última comprende todo el grupo de los feldespatos, que es uno de los más importantes.

Los conceptos anteriores conducen al Doctor Ricci a una clasificación de los silicatos, que es como sigue:

CLASE DE LOS SILICATOS

Orden de los ortosilicatos

Primer sub-orden: Ortosilicatos simples
- Familia del Zircón
- Familia del Peridoto.

Segundo sub-orden: Ortosilicatos aluminosos o dobles.

Grupo de los feldespatos:
- Familia de las Plagioclasas
- Familia de la Ortoclasa

Grupo de los feldespatoides:
- Familia Feldespatoide
- Familia de la Mica

Grupo de las gemas:
- Familia del Granate
- Familia de la Idocrasa
- Familia del Epidoto
- Familia de la Turmalina
- Familia de la Acroita

Grupo de los Ceolitas — Ceolitas

Grupo de las Cloritas — Cloritas

Orden de los metasilicatos

- Familia del Piróxeno
- Familia del Anfíbol
- Familia de la Broncita
- Familia de la Serpentina

Como se ve, este método, que es de un rigor admirable, conduce a los grupos taxonómicos generalmente aceptados.

M. Frank Wigglesworth Clarke, químico del Geogical Survey de los Estados Unidos, deriva también todos los silicatos naturales de los ácidos silícicos, que agrupa de la manera siguiente:

Acido ortosilícico	$H_2\,Si\,O_4$
Acido metasilícico	$H_2\,Si\,O_3$
Acido diortosilícico	$H_6\,Si_2\,O_7$
Acido dimetasilícico	$H_2\,Si_2\,O_5$
Acido trisilícico	$H_4\,Si_3\,O_6$

"Si los silicatos naturales, dice M. Clarke, fueran sencillamente sales normales de los cinco ácidos silícicos, el problema de su constitución no ofrecería dificultades. Pero relativamente pocas de las especies conocidas entran en esta descripción; la mayor parte son sales dobles, y aun las substituciones triples no son raras. Aún más, es preciso interpretar sales ácidas y básicas y en esta última clase, sobre todo, ocurren serias dificultades. Un metasilicato básico, por ejemplo, puede tener la misma composición empírica de un ortosilicato; en consecuencia, sus relaciones, estudiadas aparte, no dan ninguna luz acerca de la clase a que el mineral pertenezca".

Para obviar ésta y otras dificultades clasifica los silicatos en los grupos siguientes:

I.—Ortosilicatos de aluminio, que comprende los siguientes tipos:
Nefelina; Granate-Biotita; Ceolitas normales; Mica-Clorita; Turmalina; Especies varias.
II.—Ortosilicatos de base divalente.
III.—Ortosilicatos de base tetravalente.
IV.—Diortosilicatos.
V.—Meta y dimetasilicatos.

La fórmula general de los ortosilicatos de aluminio es $Al_4(Si\,O_4)_3$ De la cual se obtiene: $Al_3(Si\,O_4)_3\,R'_3$ que es la de los ortosilicatos del tipo *Nefelina,* que comprende principalmente tres especies: la Eucriptita, la Nefelina y la Kaliofilita; pero que, por ciertas consideraciones, puede llegar a comprender otras especies como la Natrolita, la Muscovita, la Paragonita, la Andalucita y el Topacio.

El tipo *Granate-biotita,* tiene por fórmula $Al_2\,(Si\,O_4)_3\,R'_6$ y comprende los importantes grupos de los granates, los epidotos, y otros minerales como la Sodalita, la Hauyna, la Cancrinita, la Idocrasa, la Gehlenita y la Melilita.

Al tratar del tipo *Feldespato-scapolita,* se aceptan los puntos de vista de Tschemark y, por tanto, el grupo comprende los feldespatos, las scapolitas y algunos otros minerales.

El tipo *Ceolitas* normales comprende todas las ceolitas y algunos otros minerales, conforme a ciertas fórmulas típicas: (Siendo $X = Si\,O_4$ o $X = Si_3\,O_8$).

$Al_3\,X_3\,R'_3$	Hidronefelina, Offrevita, Gmelinita, etc.
$Al_6\,X_6\,Ca$	Thomsonita, Stilbita, Chabasita, etc.
$Al_2\,X_3\,R'_6$	Natrolita, Prehnita, Scolecita, etc.
$Al_4\,X_6\,Ca_6$	Mesolita, Toresita.

El tipo de la *Mica-clorita* es el que mejor se ajusta a la fórmula de los ortosilicatos normales. Comprende algunos minerales que pueden incluírse en otros grupos, como la Muscovita y la Biotita y también, aparte de las micas y cloritas bien caracterizadas, algunos minerales como el Kaolín, la Strigovita y la Afrosiderita.

Para hacer las derivaciones del tipo de la Turmalina, se considera el núcleo $Al_5\,(Si\,O_4)_6\,(Bo\,O_3)\,(Bo\,O_2)_2$ en el cual están sin satisfacer 14 unidades de afinidad. Este núcleo da origen a cuatro tipos que son:

I

$$Al\begin{cases} Si\,O_4 \equiv R'_3 \\ Si\,O_4 \equiv Al \\ Si\,O_4 = Al - Bo\,O_2 \end{cases}$$
$$|$$
$$Al - Bo\,O_3 = Na\,H$$
$$|$$
$$Al\begin{cases} Si\,O_4 = Al - Bo\,O_2 \\ Si\,O_4 \equiv Al \\ Si\,O_4 \equiv Al \end{cases}$$

II

$$Al\begin{cases} Si\,O_4 \equiv Mg\,H \\ Si\,O_4 \equiv Mg\,H \\ Si\,O_4 = Al - Bo\,O_2 \end{cases}$$
$$|$$
$$Al - Bo\,O_3 = Na\,H$$
$$|$$
$$Al\begin{cases} Si\,O_4 = Al - Bo\,O_2 \\ Si\,O_4 \equiv Al \\ Si\,O_4 \equiv Al \end{cases}$$

III

$$Al\begin{cases} Si\,O_4 \equiv Mg\,H \\ Si\,O_4 \equiv Mg\,H \\ Si\,O_4 \equiv Al\,Bo\,O_2 \end{cases}$$
$$|$$
$$Al - Bo\,O_3 = Na\,H$$
$$|$$
$$Al\begin{cases} Si\,O_4 = Al - Bo\,O_2 \\ Si\,O_4 \equiv Mg\,H \\ Si\,O_4 \equiv Al \end{cases}$$

IV

$$Al\begin{cases} Si\,O_4 \equiv Mg\,H \\ Si\,O_4 \equiv Mg\,H \\ Si\,O_4 = Al - Bo\,O_2 \end{cases}$$
$$|$$
$$Al - Bo\,O_3 = Na\,H$$
$$|$$
$$Al\begin{cases} Si\,O_4 = Al - Bo\,O_2 \\ Si\,O_4 \equiv Mg\,H \\ Si\,O_4 \equiv Mg\,H \end{cases}$$

Con los cuales pueden obtenerse todas las variedades de esta especie.

Acerca de las *especies varias* dice el autor: "Entre los orto y trisilicatos de aluminio, hierro al máximum y otros elementos trivalentes, hay un número considerable que no cabe en los precedentes grupos minerales o que presenta algunas dudas acerca de sus afinidades genéticas. Algunos de esos minerales pueden relacionarse francamente con otras especies, otros son de un carácter muy oscuro, pero todos parecen conformarse con la teoría de la substitución".

Entre estos minerales son de notarse la Staurolita, la Dumortierita, la Alofana y la Cerita.

La fórmula general de los ortosilicatos de base divalente es $R''_2\,Si\,O_4$ y a ese tipo pertenecen la Forsterita, la Fayalita, la Tefroita, la Willemita, la Fenakita, la Monricellita, la Knebelita y otros minerales que se derivan de las fórmulas de estas especies como la Humita, la Clinohumita, la Chondrodita, la Calamina, la Ilvaita, etc. El grupo de la Datolita, que comprende la Euclasa y la Gadolinita, puede también incluírse en este tipo.

El tipo de los ortosilicatos de base tetravalente comprende unos pocos minerales cuyas fórmulas están calcadas en la del Zircón $Zr\,Si\,O_4$ tales como la Titanita o Sfena, la Astrofilita, la Johstrupita, la Rinkita y la Mosandrita.

Los diortosilicatos se derivan del ácido $H_2\,Si_2\,O_7$. Los minerales característicos que corresponden a este tipo son los siguientes:

Barisilita ..... $PB_2\,Si_2\,O_7\,Pb$
Melanotekita ..... $Pb_2\,Si_2\,O_7\,(F'''\,O)_2$
Kentrolita ..... $Pb_2\,Si_2\,O_7\,(M'''\,O)_2$

Pero pueden hacerse derivaciones que conducen a las fórmulas de otros minerales como la Okenita, la Gyrolita, la Apofilita, etc.

Los meta y dimetasilicatos provienen de la fórmula $R'_2\,Si\,O_3$. Este tipo comprende los anfíboles, los piróxenos, la Wollastonita, la Rhodonita, la Jadeita, la Acmita, la Leucita, el Spodumeno, la Pirofilita, la Cianita, etc.

En virtud de lo expuesto, el autor hace una clasificación de los silicatos que reproducimos en seguida, pero sin poner todas las especies sino únicamente las que son características de los grupos.

SILICATOS

1º—*Orto y trisilicatos de bases trivalentes*

A—Sales normales

Pseudobrookita, Eulytita, Agricolita.

B—Primera substitucion

Tipo $R \begin{cases} X \equiv R'_3 \\ X \equiv R''' \\ X \equiv R''' \end{cases}$

Eucriptita, Nefelina, Kaliofilita, Albita, Ortoclasa, Paragonita, Muscovita, Andalucita, Sillimanita, Topacio, Gmelonita.

$$R \begin{cases} X \equiv R''' \\ X \equiv R''' \\ X = R'_2 \end{cases}$$

Tipo doble R''

$$R \begin{cases} X = R'_2 \\ X \equiv R''' \\ X \equiv R''' \end{cases}$$

Anortita, Meionita, Thomsonita, Gismondina, Phillipsita, Levijna, Heulandita, Stilbita, Epistilbita, Chabacia.

C—Segunda substitucion

Tipo $R \begin{cases} X \equiv R'_3 \\ X \equiv R'_3 \\ X \equiv R'_3 \end{cases}$

Natrolita, Canerinita, Prehnita, Biotita, Scolecita, Sodalita, Hauyna, Leucita, Analcima, Grupo del Granate, Grupo del Epidoto.

Tipo doble: $R'''_4\,X_6\,R''_6$
Mesolita, Foresita.

Tipo conjugado: $R'''_2\,X_5\,R''_7$
Idocrasa, Gehlenita, Melilita.

D—Tercera substitucion

Tipo $R \begin{cases} X \equiv R'_3 \\ X \equiv R'_3 \\ X \equiv R'_3 \end{cases}$

E—Sales basicas

Kaolín, Margarita, Strigovita, Aphrosiderita, Grupo de la Lepidolita, Cloritoide, Otrelita.

Flogopita, Manganifilita, Fanjasita, Cerita.

Tipo doble $R'''_2\,X_6\,R'_{16}$ Staurotido, Harstigita.

F—Borosilicatos

Los diferentes grupos de la Turmalina: Axinita.

G—Silicatos complejos

Spodumeno, Jadeita, Acmita.

2º—*Orto y trisilicatos de bases divalentes*

Forsterita, Fayalita, Tephroita, Willemita, Phenakita, Monticellita, Hialosiderita, Chondrodita, Humita, Clinohumita, Calamina, Lievrita, Datolita, Euclasa, Gadolinita, Pirosmalita, Dioptasa, Willarsita, Serpentina, Picrosmina.

3º—*Orto y trisilicatos de bases tetravalentes*

Zircón, Thorita, Auerbachita, Malacón, Eudialita, Astrofilita, Johanstrupita, Sfena.

4º—*Diortosilicatos*

Barisilita, Melanotekita, Kentrolita, Okenita, Apofilita, Jolita, Barilita.

5º—*Metasilicatos*

Talco, Pirofilita, Cianita, Berilo, Leucofana, Wollastonita, Pectolita, Crisocola, Neptunita y los grupos de los anfíboles y piróxenos.

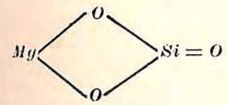
6º—*Dimetasilicatos*

Petalita, Milarita, Mosdenita.

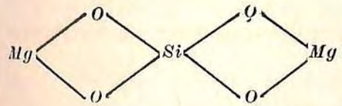
Como se ve, este sistema es muy parecido al de Ricci, en el cual, en último análisis, todas las fórmulas se reducen a las de los ácidos orto y metasilícicos.

El profesor Vernadsky admite la existencia de los dos ácidos ya mencionados —desconocidos en estado de libertad y probablemente inestables— $H_2\,Si\,O_3$ y $H_4\,Si\,O_4$ ácidos teóricos metasilícico y ortosilícico, y hace uso de las fórmulas desarrolladas o de estructura:

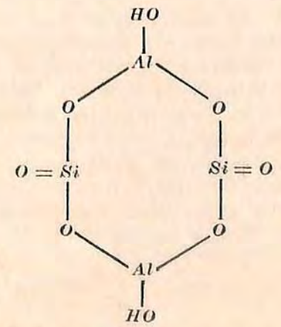
$O = Si = O$ **Cuarzo o anhídrido silícico**



Enstatita o metasilicato



Forsterita u ortosilicato

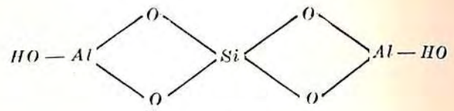


La dificultad está como en los otros sistemas, en los compuestos en que entran la alúmina y la sílice. Estos alumino-silicatos quedan divididos en dos grupos: las arcillas y las Cloritas. El primer grupo comprende todos los minerales de núcleos kaolínico o micáceo de la fórmula cíclica.

Fórmula que se deriva de los ácidos divalentes complejos de la fórmula $Al_2\,Si_2 + N\,O_8 + 2n\,(HO)_2$.

El segundo grupo comprende los minerales en cuya estructura no figura el núcleo kaolinínico, sino que son sales de asociación de los compuestos de ácido cloritoides cíclico.

(Figura a la derecha superior)



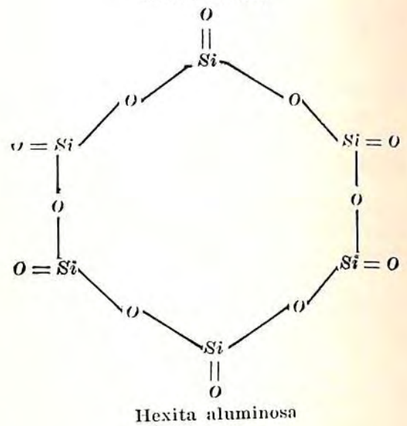
Hexita Silícea

Fundado en estas consideraciones establece las fórmulas estructurales de los silicatos y los clasifica según los ácidos predominantes.

La teoría de W. y D. Asch, muy semejante a la de Verdnasky, se funda en las afinidades entre la alúmina y la sílice de los silicatos aluminosos, que los autores consideran como sales de ácidos complejos. Se establece sin embargo, que existe una cierta relación genética entre todos los alumino-silicatos y, por tanto, no se reconoce diferencia fundamental entre los silicatos de núcleo kaolínico y los alumino-silicatos cloríticos.

Por eliminación de agua en seis moléculas de ácido ortosilícico $Si\,(HO)_4$ o entre seis moléculas del hidrato $Al\,(HO)_3$ se forman dos compuestos teóricos cíclicos.

(Figura a la derecha)



Hexita aluminosa

Con estos elementos de construcción se establecen todas las fórmulas de los silicatos.

Esta teoría no ha sido generalmente adoptada. El Doctor Orcel dice respecto a ella:

"La teoría de los hermanos Asch ha sido muy discutida y prácticamente no se ha utilizado jamás. Es demasiado artificial y aun, en cierto modo, caótica. Se puede, conforme a esta teoría, llegar a dar fórmulas distintas de dos muestras de un mismo mineral cuyos análisis son un poco diferentes. La composición química de los vidrios podría encontrar una interpretación en esta teoría".

"Por otra parte, esta teoría no tiene más objeto que la uniformidad, en la interpretación de los núcleos $Si - Al$ sin tener en cuenta las relaciones existentes entre las bases y los núcleos".

Otros muchos autores se han ocupado en el estudio de los silicatos desde los puntos de vista de la estructura y la clasificación; son de notarse Rammelsberg, Goldschmidt, Branns, Wiik, Simmonds, Jakob, Gossner, Winchell, Orcel, etc. No nos detendremos a exponer estas teorías, porque todas llegan más o menos a unas mismas conclusiones, y las que llevamos estudiadas bastan para dar una idea clara de los esfuerzos que se han hecho para poner en claro tan importante asunto.

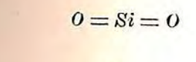
En realidad el fundamento de todos estos sistemas está en las fórmulas de los ácidos y anhídridos silícicos establecidas por Schiff; valiéndonos de ellas podremos derivar cualquier silicato de un ácido o de un anhídrido. Pero como tanto los ácidos como los anhídridos caben en las fórmulas generales (A) y (B) que en realidad son una sola, porque (B) puede derivarse de (A), que, en último análisis, viene de la fórmula $Si\,H_4$ resulta que las fórmulas de todos los silicatos naturales pueden derivarse de ella.

FORMULAS DE LOS SILICATOS NATURALES

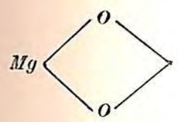
En el capítulo anterior hemos llegado a la conclusión de que la composición de todos los silicatos naturales puede expresarse por fórmulas derivadas del siliciuro de hidrógeno $Si\,H_4$ por medio de substituciones sumamente sencillas. La manera más expresiva de hacer estas substituciones es por medio de los esquemas de las fórmulas desarrolladas, que en cierto modo dan alguna luz sobre la estructura del compuesto. Estas fórmulas son casi todas simétricas, se agrupan alrededor de ciertos tipos y afectan formas, por lo general, muy sencillas.

Se comprende fácilmente que agrupando estos esquemas según sus semejanzas geométricas puede obtenerse una clasificación bastante racional, que justifica la creación de las familias naturales de algunos autores y que en todo caso es muy ilustrativa. Damos en seguida las fórmulas de las especies que caracterizan los tipos mejor definidos; del mismo modo que se han obtenido estas fórmulas, pueden obtenerse todas las de los silicatos aún los de composición más complicada.

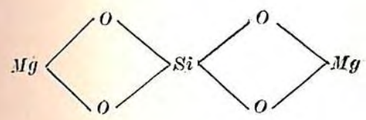
En muchas monografías y tratados de Mineralogía, y aun en textos de estudio, se han adoptado las fórmulas desarrolladas con muchísima ventaja para el lector; su uso tiende a ampliarse más y más cada día, lo cual prueba que estas fórmulas gráficas son más comprensibles que las que se derivan de grupos moleculares, muchos de los cuales son enteramente convencionales.



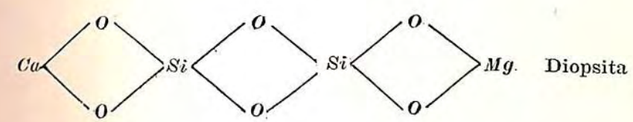
Cuarzo $Si\,O_2$



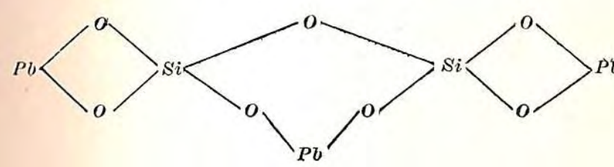
Enstatita $Si\,O_3\,Mg$



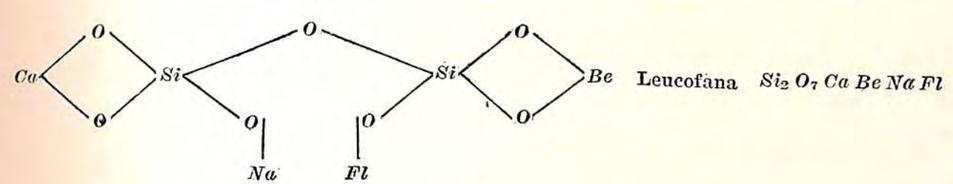
Forsterita $Si\,O_4\,Mg_2$



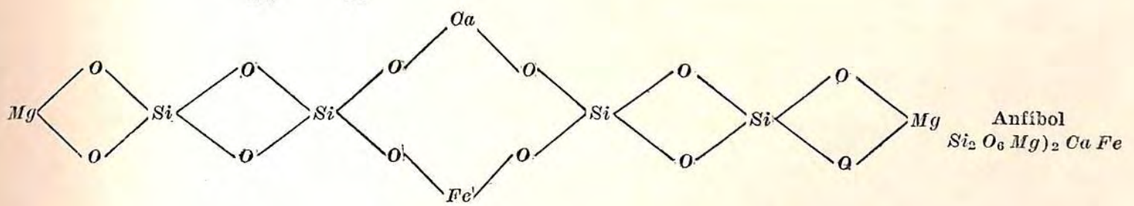
Diopsita $Si\,O_6\,Ca\,Mg$



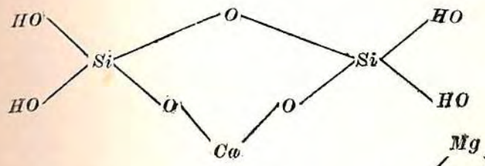
Barisilita $Pb_3\,(Si_2\,O_7)$



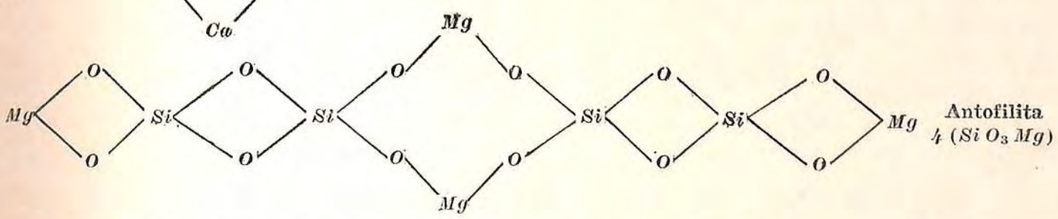
Leucofana $Si_2\,O_7\,Ca\,Be\,Na\,Fl$



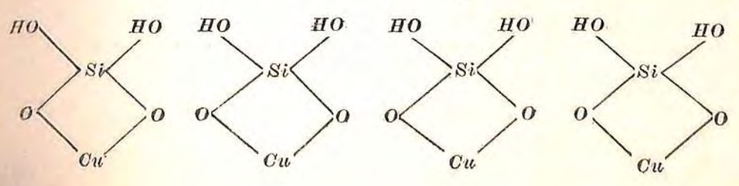
Anfíbol $Si_2\,O_6\,Mg)_2\,Ca\,Fe$



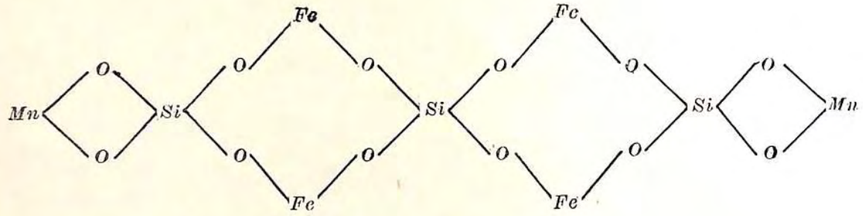
Apofilita (Disclasita, Okenita) $Si_2\,O_5\,Ca\,H_2\,O$



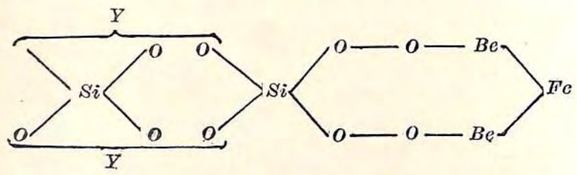
Antofilita $4\,(Si\,O_3\,Mg)$



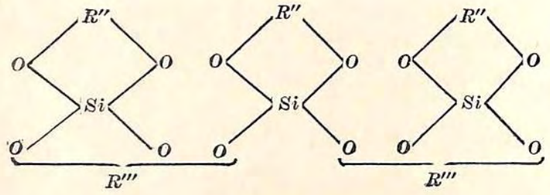
Bioptasa $4\,(Si\,Cu\,H_2\,O_4)$



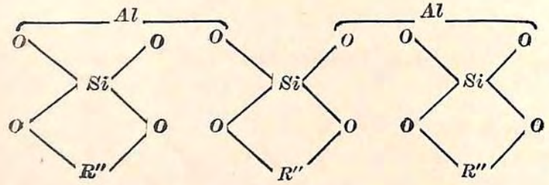
Igelstromita $Si_3\,O_{12}\,Fe_4\,Mn_2$



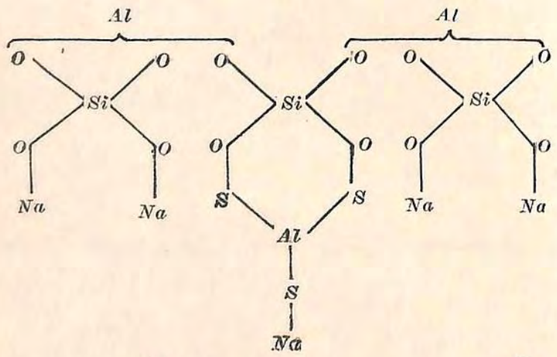
Gadolinita $Be_2\,Fe''\,(Si\,O_4)_2$



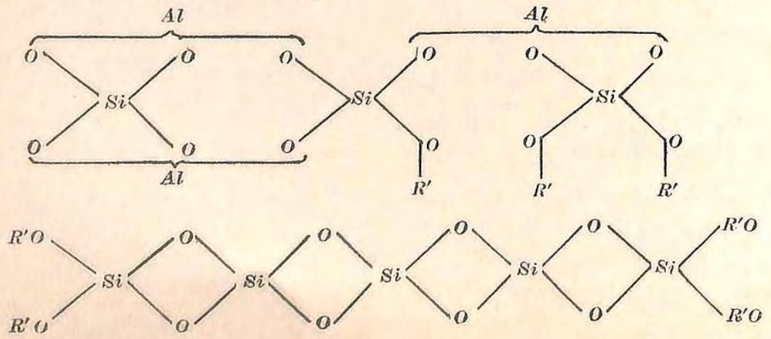
Granate $R''_3\,R'''_2\,Si_3\,O_{12}$



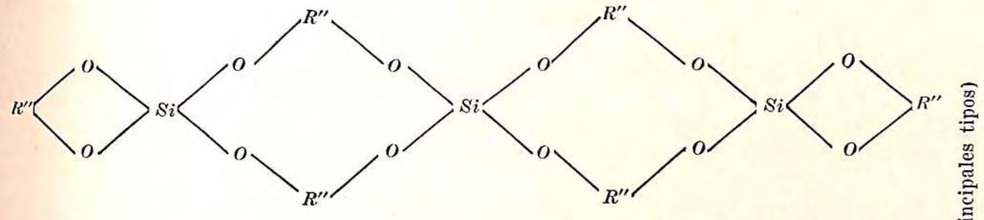
Idocrasa $Si_3\,\dot{R}''_3\,Al_2\,O_{12}$



Lazulita $Al_2\,(Si\,O_4)_3\,Na_4\,(Al\,S_3\,Na)$ (Clarke)

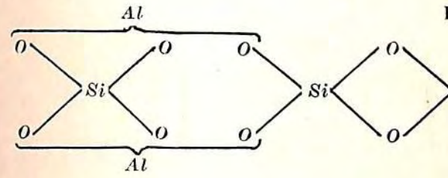


Micas (principales tipos)



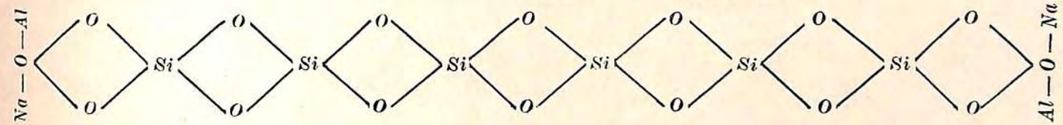
Micas (principales tipos)

FELDESPATOS

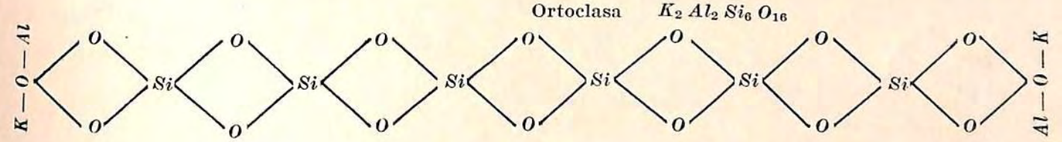


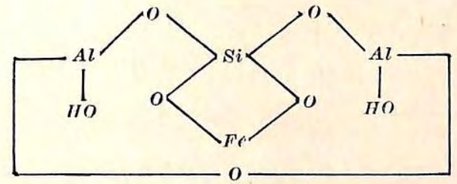
Anortita $Ca\,Al_2\,Si_2\,O_8$

Albita $Na_2\,Al_2\,Si_6\,O_{16}$

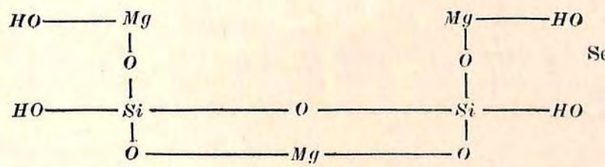


Ortoclasa $K_2\,Al_2\,Si_6\,O_{16}$





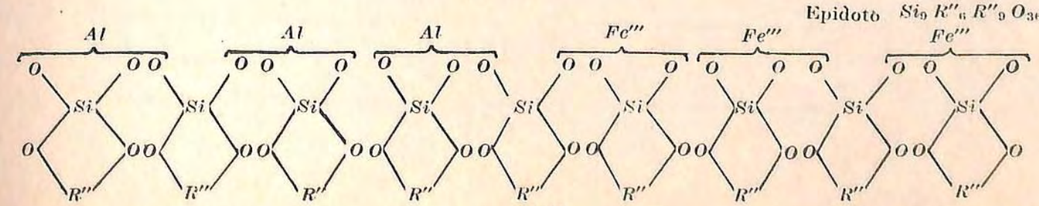
Clorita (Cloritorde) Clarke
$Al\,O_2\,Fe\,(Si\,O_4)\,H\,(Al\,OH)$

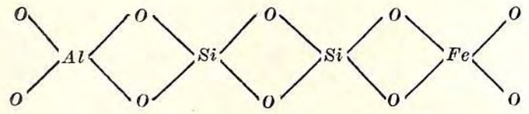


Serpentina (Tschemark)
$Si_2\,O_9\,H_4\,Mg_3$

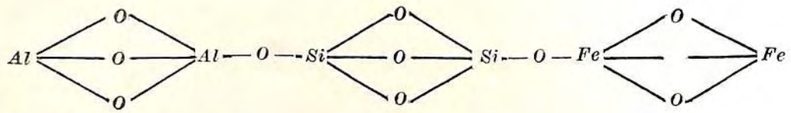
ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS FISICAS Y NATURALES BIBLIOTECA BOGOTA

Epidoto $Si_9\,R''_6\,R''_9\,O_{36}$

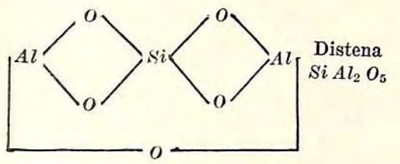




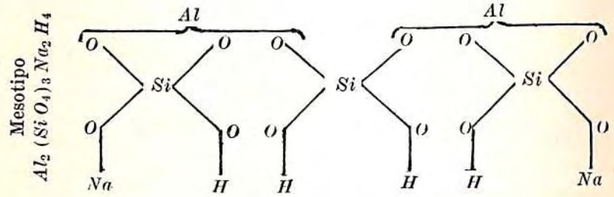
Staurotida (Bombicci) $Si\,Al_2\,O_5 + Si\,Fe''_2\,O_5$



Staurotida (Bombicci)

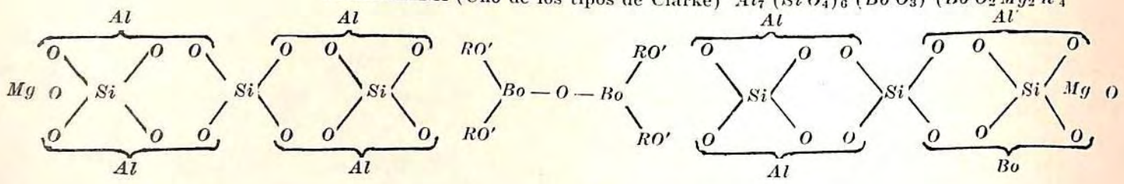


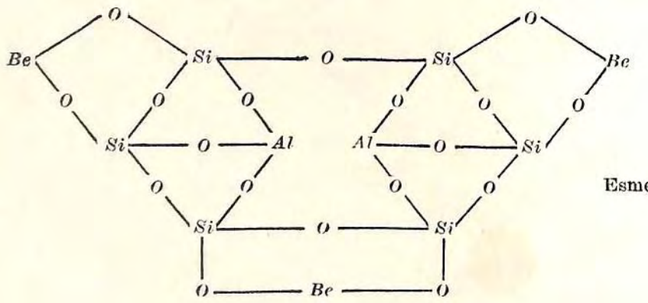
Distena
$Si\,Al_2\,O_5$



Mesotipo
$Al_2\,(Si\,O_4)_3\,Na_2\,H_4$

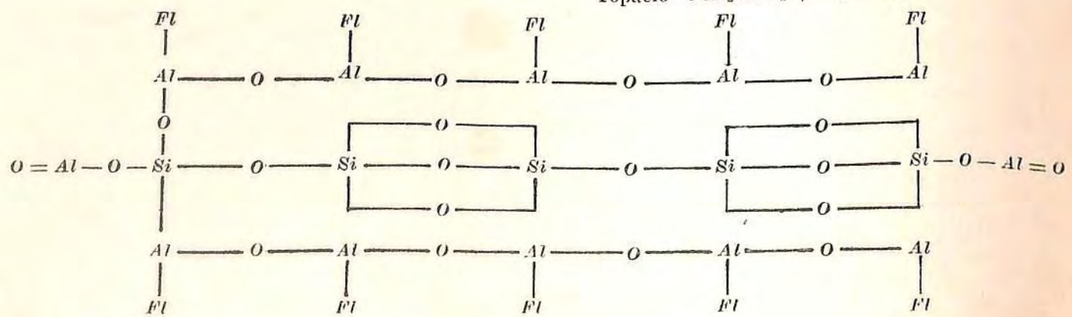
TURMALINA (Uno de los tipos de Clarke) $Al_7\,(Si\,O_4)_6\,(Bo\,O_3)\,(Bo\,O_2\,Mg_2\,R'_4$





Esmeralda $Al_2\,Be_3\,(Si\,O_3)_6$

Topacio $5\,Al_2\,Si\,O_5 + Al_2\,Si\,Fl_{10}$



CONCLUSION

Al fijar la atención en el desarrollo de las fórmulas que representan la composición de los silicatos, puede notarse que algunos de los esquemas forman un conjunto indivisible en tanto que otros parecen compuestos de partes independientes.

Esto da margen a creer que unos de estos minerales son verdaderas combinaciones, cuyo arreglo molecular no puede alterarse, en tanto que otros son simples mezclas de minerales más sencillos.

Esta manera de considerar las cosas, es, en cierto modo, una justificación de la teoría de los compuestos polisintéticos de Bombicci, pues queda de relieve la individualidad de las especies minerales que se asocian para constituír otra de más compleja estructura.

Pero a pesar de esto, nada hay que autorice a creer que las moléculas químicas se asocien de esta o de la otra manera para constituír la especie mineral. Tanto las fórmulas de Schiff, Ricci, Tschermak, Clarke, y Weltzien, como las asociaciones de Bombicci, los núcleos de Vernadsky y los desarrollos que hemos expuesto son en realidad artificiales, pues como dice Artini "fundados en una presupuesta estructura de la molécula química son, en su mayor parte, fantásticos y prematuros". A nuestro juicio, todas estas expresiones convencionales son simbólicas únicamente y en eso estriba su valor, que es, sin duda alguna inmenso, porque facilita la comprensión de los silicatos naturales, en cuanto a su composición química, y sus relaciones de unos con otros.

Acerca de la verdadera construcción del elemento primordial mineralógico o sea de la molécula integrante, no solamente no se ha dicho la última palabra sino que se ha avanzado relativamente poco; talvez los estudios modernos sobre la transmisión de los rayos X por los cristales vengan a arrojar alguna luz en tan difícil problema y nos guarde el futuro extraordinarias sorpresas. Esperemos.

FE DE ERRATAS

PAGINA 450—2º esquema. Dice: $Be_2\,Fe''\,(Si\,O_4)$.
Léase: $Be_2\,Fe''(Si\,O_4)_2\,(Y''\,O)_2$

PAGINA 451—6º esquema. Dice: $Al\,O_2\,Fe\,(Si\,O_4)\,H\,(Al\,OH)$
Léase: $Al\,O_2\,Fe\,(Si\,O_4)\,H\,(Al\,HO)$

PAGINA 452—2º esquema: entre $Fe - Fe$ falta O.

PAGINA 452—4º esquema: (Turmalina). Dice:
$Al_7(Si\,O_4)_6(Bo\,O_3)\,(Bo\,O_2\,Mg_2\,R'_4$
Léase: $Al_7(Si\,O_4)_6(Bo\,O_3)\,(Bo\,O_2)\,Mg_2\,R'_4$