

Tesis de Posgrado

Contribución al estudio de los mármoles

Rouquette, Augusto

1912

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Química de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en digital.bl.fcen.uba.ar. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in digital.bl.fcen.uba.ar. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:

Rouquette, Augusto. (1912). Contribución al estudio de los mármoles. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0081_Rouquette.pdf

Cita tipo Chicago:

Rouquette, Augusto. "Contribución al estudio de los mármoles". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1912.
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0081_Rouquette.pdf

CONTRIBUCIÓN al ESTUDIO de los MÁRMOLES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

CONTRIBUCIÓN al ESTUDIO de los MÁRMOLES

— — —

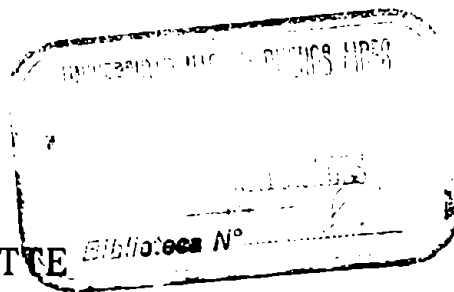
TESIS

PRESENTADA Á LA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS
Y NATURALES

PARA OPTAR AL TÍTULO DE DOCTOR EN QUÍMICA

POR

AUGUSTO ROUQUETTE



= — =

"LA CIENCIA MEDICA" — SUPLENAL "LAS CIENCIAS"

Córdoba 280 — — — — — TAIQUANO 473

Casa Editora, Importadora é Imprenta

DE A. GUIDI BUFFARINI

BUENOS AIRES

PADRINO DE TESIS :

Académico Dr. ATANASIO QUIROGA

A LA MEMORIA DE MIS PADRES

Señores Consejeros :

Señores Profesores :

Tengo el honor de presentaros este modesto trabajo, con el anhelo de merecer vuestra aprobación por mi estudio sobre los mármoles.

Si los resultados obtenidos no revisten la importancia que hubiese deseado, espero que reconoceréis mi buena voluntad para presentaros un estudio digno de la enseñanza recibida en esta Facultad.

Fiel á las ideas manifestadas en otras circunstancias, he creído que el tema requería mucha más amplitud que la que se relaciona á un simple análisis de muestras argentinas y extranjeras. Era necesario estudiar el origen del mármol, discutir las hipótesis conocidas y prudentemente emitir opiniones.

Para conocer un individuo vegetal ó animal, es necesario partir del protoplasma, estudiar la formación de tejidos, de órganos, para poder llegar á su conocimiento exacto.

De la misma manera he procedido con el mármol. He partido del magma mineral y he observado su diferenciación, paso á paso, investigando así el proceso seguido por la naturaleza, basándome en las síntesis ya efectuadas en los laboratorios.

El estudio completo de los mármoles no ha sido aún escrito ; solo fragmentos aislados se encuentran en obras diversas, químicas, geologías y siempre en relación con la índole de la obra. Se podría comparar á las hojas dispersas de un libro que nadie ha reunido. He tratado de reunir las ; de establecer las relaciones que existen entre las causas y los efectos, basándome en las leyes según las cuales todo se transforma.

Me he esforzado pues en hacer un *trabajo orgánico* con materiales heterogéneos, teniendo siempre presente la frase de E. Caustier : la verdadera ciencia debe tener por objeto no únicamente el conocimiento de los hechos y de los experimentos, sino la inteligencia de las relaciones que los unen.

Manifiesto mi profundo agradecimiento al doctor Atanasio Quiroga por el honor que me dispensa en acompañarme en este acto y á los señores profesores de esta Facultad por la alta enseñanza que he recibido de ellos.

Augusto Rouquette.

«On fait la science avec les faits, comme une maison avec des pierres ; mais une accumulation de faits n'est plus une vraie science, qu'un tas de pierres n'est une maison... ».

H. Poincaré.

«Tout ceci nous montre une fois de plus que la vraie science doit avoir pour objet non pas uniquement la connaissance des faits et des expériences, mais aussi l'intelligence des rapports qui les unissent... ».

E. Caustier.

CAPITULO I

CONSIDERACIONES SOBRE EL ORIGEN DE LOS MINERALES

Los minerales por yuxtaposición forman las rocas que constituyen la parte fundamental de la corteza terrestre. Rocas y minerales se llaman vulgarmente piedras.

Antes que la Química penetrara en el laboratorio de la naturaleza era difícil explicar el origen de los minerales ; las incrustaciones calcáreas y ferruginosas habían inducido á grandes espíritus, como Demócrito, á creer en el alma vegetativa.

El hecho de haberse encontrado útiles sepultados en las canteras de mármol de Paros, hicieron afirmar á Aristóteles que las piedras crecían. Más tarde, algunos arqueólogos sostenían esa teoría basándose en el *Forum* de Roma y en los templos de

Egipto y de Asiria, enterrados á varios metros en el suelo.

En los tiempos modernos, Tournefort y Linneo admitían el crecimiento de las piedras ; es conocido el famoso axioma del ilustre sueco : *Lapides crescunt*.

También ciertos espíritus establecían una relación entre los metales y los cuerpos celestes del sistema solar : era la vieja doctrina caldea. Según el principio de las semejanzas, el oro correspondía al sol, la plata á la luna, el hierro á Marte, el cobre á Venus, el plomo á Saturno y el estaño á Júpiter. En 1505 apareció en Alemania un libro, el *Bergbuchlein*, con figuras, donde se ven los planetas engendrando efluvios metalíferos que penetran en el interior de la tierra. « En la biblioteca del Escorial se conservaba un documento debido á Jehudah Mosca, médico de Alfonso el Sabio, que consistía en un lapidario compuesto de 360 piedras, distribuídas entre los 12 signos del zodíaco, según la influencia que creían ejercía cada constelación sobre las 30 piedras colocadas en cada una de ellas. Este lapidario resumía realmente los conocimientos mineralógicos del pueblo caldeo ».

Los alquimistas en general admitían la existencia de jugos, flores y semillas minerales, y á esa « alma vegetativa » de Demócrito, le atribuían in-

fluencias favorables ó malélicas, creencias que existen aún en ciertas poblaciones primitivas. A esa idea simbólica, Bernardo Palissy la representó con líneas más definidas: «Todas las materias minerales que llaman cuerpos muertos fueron también creadas como las vegetativas y trabajan á producir semillas para engendrar otras. El cristal no es tan muerto que no le sea dado separarse de las aguas y formarse en ellas por ángulos y puntos de diamantes. Así es que las materias minerales no son tan inertes que no puedan engendrar y producir de grado en grado cosas más excelentes».

El pensamiento de Bernardo Palissy contiene en germen el secreto de la cristalización, que individualiza á los minerales dándoles formas propias y constantes, como también reconoce el agua como agente mineralizador.

Admite también la vida en las piedras, vida que la naturaleza no ha difundido solamente en los animales y vegetales. En efecto, reina en la materia toda una actividad, ruidosa ó silenciosa, que origina su evolución, produciendo seres que ocupan los diferentes escalones de la naturaleza.

Semejante á las células vegetales y animales, el mineral presenta principios de organización; así el bismuto fundido, vertido sobre una mesa de mármol pulido, forma surcos en la superficie y aparecen

células que, yuxtapuestas, forman un tejido metálico. Luego la célula sería la base de toda organización primordial ; un cristal es un edificio celular.

Las mallas microscópicas son invisibles ; pero en la mica podemos separar capas delgadas, que á su vez podrían sub-dividirse, como se hace también con los tejidos vivos. Si en una solución de alumbre caliente, observamos la cristalización, veremos que las partículas se mueven hasta formar el cristal, con manifestaciones de calor y electricidad ; rompiendo una esquina, cicatriza sus heridas si se vuelve á sumergir en la solución primitiva ó bien en otra solución saturada. En el reposo, se puede estudiar sus defectos físicos. En un líquido pobre, se adelgaza, se muere y vuelve al estado difuso ; en una solución tóxica, se envenena.

Curie expresó ideas originales sobre la organización de los cristales y emitió su teoría sobre la piezoelectricidad ó piro-electricidad.

Según la teoría de Laplace, la Tierra es una porción destacada de una nebulosa primitiva, que se individualizó en el inmenso espacio ; el azoe y el oxígeno formaron la atmósfera ; el hidrógeno y el oxígeno el agua, mientras la masa central quedaba fluída. En ese mar de fuego, se formó la primera corteza por enfriamiento. Nacieron entonces los primeros sólidos, de origen ígneo.

Al enfriarse la superficie del globo, se condensó el vapor de agua de la atmósfera y se formaron los mares; lluvias y evaporaciones se sucedían interminables entre la atmósfera cargada de ácido carbónico y los mares salados. Grandiosos fenómenos físicos y químicos, síntesis y descomposiciones gigantes tuvieron lugar entre la corteza aún incandescente y el agua condensada. Nacieron entonces los primeros minerales de origen sedimentario.

La naturaleza desde entonces ha ido superponiendo los sedimentos, como las hojas de un libro, donde el hombre estudia la historia de la formación de la tierra. Pero el problema de la formación de los minerales se complica por la influencia recíproca de las rocas ígneas y de las sedimentarias; por la presión y la temperatura, que hacen pasar las combinaciones del estado amorfo al cristalizado, con sus variedades alotrópicas. Y como dice de Lapparent: «esa corteza es como el producto, entre la cristalización directa, el metamorfismo y la sedimentación mecánica».

—

Mucho tiempo se había negado la posibilidad de la síntesis mineralógica; porque considerando los medios de que dispone la naturaleza, del tiempo indefinido, de masas y de fuerzas enormes, no se ad-

mitía que en un crisol se pudiera obtener semejantes resultados. Se comparaba la síntesis mineralógica á la síntesis protoplasmática ; poco faltaba para creer en la fuerza vital y repetir por lo tanto la palabra de Linneo : *Lapides crescunt*.

Leibnitz dice en su Protogea : « Hará una obra importante el que comparará cuidadosamente los productos extraídos del seno de la tierra con los productos de los laboratorios, pues entonces brillarán á nuestros ojos las relaciones sorprendentes que existen entre los productos de la naturaleza y los del arte. Bien que el autor inacabable de las cosas tenga en su poder medios diversos de efectuar lo que quiere, se complace, sin embargo, en la constancia en medio de la variedad de sus obras, y ya es un gran paso hacia el conocimiento de las cosas que de haber encontrado solamente un medio de producirlas. La naturaleza no es sino un arte más grande . . . ».

Debemos considerar los alquimistas como los precursores de las síntesis mineralógicas ; trataron de reproducir los procedimientos que la naturaleza había empleado para engendrar los minerales en las rocas. Crearon la idea. Sus crisoles fueron geodas artificiales, en las cuales quisieron reproducir los depósitos que la naturaleza había formado en las geodas naturales. La transmutación de los metales,

su génesis, constituyó uno de los grandes problemas que trataron de resolver. Su solución quedó en las retortas de la Edad Media y de esas cenizas apagadas por el tiempo se desprendió mucho más tarde una chispa brillante, la síntesis del mármol por Hall.

¡Berthier y Ebelmen fueron los primeros investigadores de la síntesis mineralógica, que resolvía en parte el problema de la génesis de los minerales. Desde 1850, esos estudios han ido progresando; por etapas sucesivas, se han obtenido hechos positivos, basados en experimentos de laboratorio, los cuales han permitido hacer justas deducciones.

La afirmación del sabio Zirkel de que la naturaleza trabajaba en otras condiciones que el químico en el laboratorio y que engendraba asociaciones minerales esencialmente diferentes, quedó también destruída. En efecto, en Bourbonne-les-Bains, limpiando un pozo antiguo, se encontraron en barro negrozco, numerosas monedas de bronce, de plata y de oro, atacadas, disueltas por las aguas termales; de ellas, se habían formado más de 24 minerales idénticos á los naturales de los yacimientos metalíferos (1). También en Plombières, desde la época romana, las aguas han formado en el subsuelo sili-

(1) *Les Régions invisibles du Globe*. A. Daubrée.

catos del grupo de los zeolitos, del ópalo y de la calcedonia.

Luego los experimentos de Sénarmont que obtuvo minerales artificiales, demostraron la posibilidad de la síntesis de laboratorio, y la formación contemporánea de esos minerales confirmó y completó esa demostración. La afirmación interrogativa de Saussure : *¿las leyes generales del mundo físico no actúan en nuestros laboratorios de la misma manera que en los subterráneos de las montañas?* dirigió las investigaciones en el verdadero camino.

FORMACIÓN DE LOS MINERALES

La síntesis de los minerales presenta tres facetas en su evolución : 1º la *observación*, donde se consideran las formas, las propiedades físicas, la estructura del mineral natural ; 2º el *análisis*, donde aparece la Química, con la determinación de los elementos y la explicación del isomorfismo, y la Física con el estudio de las propiedades ópticas ; 3º la *síntesis*, con lo cual se reproduce el mineral natural.

Para que haya síntesis es necesario que el individuo artificial pertenezca al mismo sistema cristalino ; que presente los mismos parámetros cristalográficos y maclas análogas ; que los mismos detalles de estructura sean relevados en el examen microscópico y que presente la misma tendencia de asociación. Esas condiciones satisfechas es probable que el investigador habrá seguido un método semejante al de la naturaleza. Pero no se debe olvidar el pensamiento de Sénarmont : « Es necesario que cada una de las condiciones de la operación artificial sea compatible con todas las circunstancias en donde la operación natural ha dejado trazos característicos ».

Para la observación, el análisis y la síntesis, la Química es el auxiliar esencial del mineralogista ; sin ella, no es posible conocer bien los caracteres más importantes del mineral y mucho menos su génesis. Todas sus propiedades dependen de su constitución química. Lo dice de Sénarmont, con su autoridad indiscutible y que uno debe siempre citar : « Es á la química mineralógica que la Geología debe el útil control de sus conceptos racionales. Los minerales cristalizados tienen, en efecto, un origen todo químico y es el experimento químico que debe servir de apoyo á la Geología, si quiere

avanzar en el estudio de las rocas, de los cuales están constituidas ».

—

La formación de los minerales dividió á los geólogos en dos grupos, los partidarios de la vía ígnea y los de la vía acuosa. La causa de la síntesis era pues, el fuego ó el agua. Discusión filosófica heredada de los griegos, explotada por los alquimistas : « Cuando habrás examinado todo por los efectos del fuego, decía Bernardo Palissy, encontrarás que digo la verdad al afirmar que el principio y origen de todas las cosas naturales es el agua ».

Como argumento en pro de cada hipótesis, se podría presentar la formación de la leucita en las erupciones volcánicas ; del feldespató, en los altos hornos, ó bien la formación de cloruros en soluciones acuosas.

Pero muchas rocas presentan caracteres mixtos ; ¿adquirieron ese carácter en el momento de su formación ó bien uno fué consecutivo del otro ?...

Ese estudio constituye el metamorfismo.

Cuando una roca eruptiva atraviesa las capas estratificadas produce modificaciones variadas ; su acción es más ó menos enérgica.

A veces, no es sino una modificación molecular, como el calcáreo que se ha puesto sacaroide, cons-

tituyendo el mármol estatuario. Se puede admitir tres causas principales :

1º *Hidrotermales*, como las rocas graníticas y las porfídicas, con serpentinas y anfíbolita.

2º *Igneas*, como las traquistas, la obsidiana, la piedra pómez y el basalto.

3º *Acuosas* ó rocas neptónicas ó de sedimento ; se presentan en estratos y generalmente con fósiles. Se dividen en : a) *Normales*, como la caliza, el yeso ; *metamórficas*, que se parecen á rocas cristalinas por el estado de agregación y á las neptónicas por la disposición de los elementos, como el gneiss, las pizarras, los mármoles sacaroides, las dolomias.

Pero el experimento ha demostrado que un mineral puede tener más de un medio de generación y que un magma homogéneo puede engendrar diferentes minerales cristalizados.

El origen de formación puede reconocerse por ciertos caracteres. Por el estudio micrográfico, las inclusiones vítreas denuncian el origen ígneo, mientras que las acuosas responden á la acción del agua.

Los laboratorios actuales poseen aparatos que permiten obtener altas temperaturas y fuertes presio-

nes ; las altas temperaturas, por la combinación, por ejemplo, del horno Leclers y Forquignon con la trompa Damoiseau ; y las presiones, en tubos cerrados, que Friedel y Sarasin han revestido interiormente de platino. Daubrée ha podido conseguir temperaturas de 350° á 500°, pero á partir de esa temperatura los tubos en acero ó de fundición pierden su resistencia y estallan.

Las modificaciones moleculares pueden efectuarse sin reacciones químicas ; algunos cuerpos se transforman al estado sólido tomando una estructura distinta del origen. Se observa en el hierro.

El célebre experimento de Hall sobre la reproducción del mármol debe considerarse como una síntesis efectuada por reacciones químicas. El carbonato de calcio no fundió, sino se disoció conforme á la ley de Debray :

« La disociación de un cuerpo sólido que se descompone en vaso cerrado dando un sólido y un gas es limitada por la presión del gas puesto en libertad ». Se puede por lo tanto admitir que parte del CO_2 puesto en libertad vuelve á combinarse con la cal para formar un compuesto cristalino, mientras que una cantidad de gas equivalente se desprende de la combinación para mantener una tensión constante.

Otros minerales se forman sintéticamente por fusión solamente ; la cristalización depende de la rapidez del enfriamiento. Con una lente, á veces, puede seguirse el proceso de la formación de los cristales. En la masa en fusión los elementos cristalinos se mueven, se encuentran, constituyen *globulitos*, que originan las arborizaciones, llamadas *cristalitos*. Gradualmente adquieren superficies poliédricas y constituyen los *microlitos*.

Este proceso puede observarse en la producción artificial de la leucita, por vía de fusión ígnea. Pero es necesario que la mezcla constituyente se mantenga al estado viscoso, ó bien esté á una temperatura inferior á la fusión durante 24 horas. Entonces al sacarse el crisol se observan las arborizaciones cristalinas. La presencia de un disolvente aumenta la movilidad de los elementos cristalinos ; así se puede explicar la transformación del carbón en grafito, en la fundición del hierro. En otros casos, la fusión va acompañada de reacciones químicas ; Hautefeuille reprodujo la ortosa, la albita, la tridimita, la leucita, por ese procedimiento.

La volatilización nos presenta también numerosos casos de cristalización, como el yodo, el azufre, la blenda, etc. Pero también los vapores, los gases, al reaccionar sobre cuerpos sólidos originan minerales cristalizados. Son conocidos los célebres expe-

rimentos de Gay-Lussac y de Margottet: el primero obtuvo hierro oligista por la acción del vapor de agua sobre el Fe^2Cl^6 , y el segundo el sulfuro y el seleniuro de plata por la acción del vapor de azufre ó de selenio sobre plata metálica en presencia de ázoe.

Pero el modo más interesante quizás, es la obtención de un mineral por medio de un gas ó vapor que intervienen solo como agentes de combinación ó de descomposición, y que quedan intactos después de la operación. La obtención del corindón por Sainte-Claire Deville puso en evidencia ese método ingenioso, lo que permitió decir que «es el rol que conviene al CO^2 en la formación de los calcáreos por disolución y en la reproducción de los carbonatos metálicos obtenidos por de Senarmont».

En la naturaleza, numerosos minerales como el gipso, los cloruros alcalinos, se han formado por evaporación ó volatilización de cuerpos disueltos en el agua, á la presión ordinaria; pero se puede admitir que los minerales considerados como insolubles, se han formado por medio de altas presiones. De Sénarmont por este método obtuvo el cuarzo, la tridimita y la ortosa.

El experimento de Gernez demuestra que existe otra manera de representar el origen del cuarzo: la formación de cristales en solución sobresatura-

da. En ciertas rocas porfíricas se han hecho interesantes observaciones : se presenta el cuarzo en cristales antiguos, bipiramidales, y en su derredor el microscopio denuncia la existencia de cristales posteriores, pero orientados como el núcleo central. Se puede admitir entonces que una nueva cristalización se ha efectuado bajo la influencia del anterior.

Las variaciones de temperatura tienden á la cristalización de los cuerpos llamados amorfos. Admito, ampliando la opinión de F. Fouqué, que no son sino polvos cristalinos, cristalitos y microlitos microscócos, que experimentos pacientes pueden llevar á mayores dimensiones cristalinas (1).

En nuestros laboratorios, obtenemos cristales gigantes de alumbre, de sulfatos de cobre y de zinc, colocando un cristal formado en una solución saturada de esas substancias ; el cristal grande se nutre, atrae á los microlitos y los incorpora á su masa. Dice Fouqué : « el fenómeno se reduce al desarrollo de un grueso cristal que parece devorar á los pequeños ».

(1) Dice Ch. Maurain... nada impide suponer, si se admite que esas partículas cristalinas están constituidas por la aglomeración regular de un gran número de moléculas, que en ciertos casos ó en ciertos puntos las moléculas líquidas han sido aprisionadas demasiado pronto por la solidificación para formar esas aglomeraciones, de suerte que la materia sólida esté entonces en un estado que no tiene nada de común con el estado cristalino... »

Importantes síntesis se han obtenido, haciendo variar la temperatura entre 0° y 100°; citaremos la cristalización de la senarmonita por H. Sainte-Claire Deville.

Para terminar la exposición de los métodos sintéticos, indicaremos el experimento de Gustavo Rose, sobre obtención de la calcita y de la aragonita por descomposición del bicarbonato de calcio en disolución acuosa á diferentes temperaturas; él, de Becquerel y de Frémy, basándose sobre la difusión y la dialisis. Macé hacía comunicar dos disoluciones por medio de fibras de amianto, obteniéndose así cristalizadas, la anglesita, la cerusita y la calcita.

La naturaleza simultáneamente ha empleado todos esos procedimientos indicados y otros más no puestos aún en evidencia por las investigaciones; una especie puede formarse por diversos modos.

Numerosos minerales de las rocas ácidas y metamórficas no han podido obtenerse sintéticamente por no disponer en los laboratorios de las altas temperaturas y presiones necesarias, porque á partir de 400° á 500° los tubos empleados de acero ó fundición, como se ha dicho ya, pierden toda resistencia.

CAPITULO II

CALCÁREOS

El calcáreo es un carbonato de calcio ; es una de las sales constituyentes de la corteza terrestre, entrando según Cordier, en la proporción de 1 %. Se encuentra en todos los terrenos arcáicos ó sedentarios. Constituye la parte principal de ciertas montañas y es componente del esqueleto animal. Su historia está ligada á la de nuestro globo y sus propiedades han permitido plantear y resolver en parte problemas importantes, como el dimorfismo y la síntesis de los minerales. Tan pronto nos representa una síntesis primordial, como restos que fueron de seres organizados en los cuales el geólogo estudia la historia de la vida : el calcáreo es por excelencia

el mineral que representa la transformación continua é indefinida de la materia.

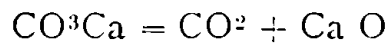
El estudio de su formación es uno de los capítulos más interesantes del globo terrestre. El carácter geognóstico, admitido por Beudant, permite conocer la posición de los carbonatos y las causas probables de su origen. Luego esta parte de mi estudio no es *propiamente geológico, sino químico geognóstico*; consiste en estudiar su formación y sus causas. De esta manera se puede saber que la aragonita va asociada con ciertas especies de minerales ferruginosos y que los jaspes y *mármoles*, por ejemplo, se hallan generalmente en el terreno paleozóico.

—

Los orígenes de los calcáreos han dado lugar á muchas hipótesis y á varios sistemas; propondré la siguiente clasificación: 1º *Origen sintético*; 2º *origen por reacciones químicas*; 3º *origen fisiológico*.

1º *Origen sintético* — En el terreno arcáico, el calcáreo se encuentra en el gneiss. Muchos granitos contienen *calcita*, que llena los intersticios de los demás minerales, ó bien forma en su masa pequeños

depósitos. Esa síntesis natural debe considerarse primordial, contemporánea de la roca envolvente, como lo admite Rosenbüsch. La objeción que se presentaba de la descomposición del calcáreo por el calor en anhídrido carbónico y cal,



puede considerarse destruida por el experimento de Hall, cuando obtuvo mármol calentando tiza en vaso cerrado y calentado á 860°, se descompondrá hasta *sociación de un cuerpo sólido que se descompone dando un sólido y un gas, es limitada por la presión del gas puesto en libertad*. El mármol, en vaso cerrado y calentado á 860° se descompondrá hasta que la tensión del anhídrido carbónico haya alcanzado á 85 mm. Por otra parte, si en el mismo vaso se pone anhídrido carbónico y cal, en las condiciones anteriores, se producirá una combinación de carbonato de calcio.



Estos experimentos de laboratorio están regidos por la siguiente ley de Sainte-Claire Deville, sobre la disociación :

A una temperatura dada cualquiera, el estado de un sistema es el mismo, ya se parta del cuerpo

compuesto, ya de los productos de su descomposición.

Y como lo dice Daubrée (1), es necesario tener en cuenta la presión en los fenómenos geológicos. En efecto, cuando se solidificó la primera corteza, el agua de los mares estaba al estado de vapor en la atmósfera primitiva, cuya presión por ese motivo era 250 á 300 veces lo que es hoy. Se comprende fácilmente lo que podía ser el poder de cristalización y el de degradación en ese primer océano, tan rico en principios activos y con una temperatura vecina de la ebullición. Los minerales de la corteza, mantenidos como en suspensión al estado de pasta no podían escapar á los fenómenos de *concentración molecular*, que se manifiesta en todas las masas de cierta movilidad (2).

Así debieron formarse calcáreos cristalizados, la *aragonita*, la *calcita*, que se encuentran enclavadas en las rocas graníticas.

Encontramos la prueba de esa formación en casi todos los terrenos arcáicos. En el gneiss del *lorenzano*, en el Canadá, se encuentran calcáreos cristalinos, mezclados con serpentina, grafito, apatita; en ellos, Mac-Mullen descubrió una estructura orgá-

(1) *Études synthétiques de Géologie expérimentale*. A. Daubrée

(2) De Lapparent.

nica, á la cual se le dió el nombre de *eoazon canadense*, pero que según Möbius no sería sino un accidente mineralógico.

En el gneiss de las islas de San Pedro y Miquelon, el calcáreo se encuentra en nódulos y venas. En Francia, en diversos puntos de la altiplanicie central, se encuentran yacimientos de calcáreos sacaroides micáceos ó cipolinos, que insensiblemente por vénulas micaceas pasan á gneiss esquitoso ; respecto á esa particularidad dice de Lapparent : « ...lejos de considerar el calcáreo como una formación de filón, no puede negarse en ver en él á una roca contemporánea del gneiss envolvente ».

El *cipolino* se observa también en el gneiss de los Vosges, á Chipal, cerca de Fraize ; es granulento ó sub-laminar y es atravesado por filetes de serpentina ; en Labourd (Bajos Pirineos) se encuentran calcáreos sacaroides, los cuales fueron señalados como primitivos por Charpentier. El cipolino de Louhoussa, cerca d'Hasparren, contiene una mica verde esmeralda y pajuelas de grafito ; pertenece á un conjunto de piróxenos y de anfíboles, subordinados al gneiss.

El cipolino de Baviera se encuentra en semejantes condiciones geológicas, con mica, serpentina y grafito ; en él se encontraron las apariencias designadas con el nombre de *eoazon bavaricum*.

En el gneiss d'Auerbach, sobre la Bergstrass (Hessa), hay un cipolino muy conocido con el nombre de *mármol* de Auerbach ; tiene la forma de lentes alargados. El calcáreo cristalino de Griesbach (Sajonia), situado en el gneiss rojo, presenta también la particularidad señalada en la altiplanicie central de Francia ; insensiblemente el calcáreo pasa al gneiss, lo que hace afirmar á Kalkonsky que las dos rocas son contemporáneas.

En el gneiss de Bohemia, se encuentra un cipolino serpentinoso, en el cual se observó la apariencia denominada *eozone bohemicus* ; en los Alpes, á la base del Simplon, el gneiss granitoide contiene calcáreo cristalino formado por siete bancos, por lo menos de 20 á 50 metros cada uno ; algunos de ellos están formados por dolomias, otros por sacaroides ó por cipolinos.

En el gneiss siempre se encuentran calcáreos cristalinos, blancos ó azulados, en España y en Argelia.

2º *Origen por reacciones químicas* — En los terrenos sedimentarios, las condiciones de presión y de temperatura siendo distintas, la formación del calcáreo debe obedecer á otras causas.

Rossi admite la formación por precipitación. Cordier y Leymerie son más afirmativos ; creen que el calcáreo se ha formado, desde los tiempos primitivos.

vos por la reacción del cloruro de calcio sobre el bicarbonato de sodio, que puede representarse por la siguiente reacción :



El calcáreo sedimentario en parte puede provenir de esa precipitación, puesto que las aguas de mar abundan en cloruros de calcio y de magnesio, y las aguas minerales y las emanaciones volcánicas en carbonatos alcalinos. Esa reacción se efectúa en el laboratorio ; luego es natural admitir que la naturaleza ha obrado de esa manera en los grandes períodos geológicos.

Brehm emite otra hipótesis : ¿no podría también ser hija esta substancia de la descomposición de los feldespatos que forman parte de los granitos primitivos por el procedimiento análogo al que vemos hoy y que dió por resultado la formación de las pizarras y de las calizas cristalinas en ellas intercaladas ?

En efecto, la ortosa por la acción del anhídrido carbónico se descompone dando un carbonato de potasio, sílice y arcilla ; se puede admitir también que la labradorita ($\text{Si}^3\text{O}^{10}\text{Al}^2(\text{Ca}, \text{Na}^2)$) por la

misma acción, se descompone originando un calcáreo (1).

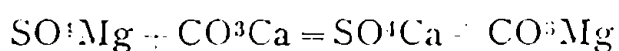
3º *Origen fisiológico* — En el mar existen individuos microscópicos que efectúan en sus tejidos una síntesis que llamaremos *fisiológica*; fijan el calcio bajo la forma de carbonato.

Se calcula en cinco millones de kilómetros cúbicos las sales disueltas que los ríos llevan al mar, entre las cuales los carbonatos de calcio y de magnesio forman casi la mitad. John Murray aprecia en 900 millones de toneladas la cantidad de sales de calcio que las aguas llevan al mar; á esa cantidad hay que agregar los residuos calcáreos que provienen de organismos muertos, foraminíferos, moluscos, pólipos destruídos por las olas ó por algas perforantes, que diseminan el carbonato de calcio bajo una forma impalpable y susceptible de transformarse.

El agua de mar contiene treinta veces más anhídrido carbónico que el agua dulce, gas que provoca la disolución del carbonato de calcio. Además en

(1) Se podría también aceptar lo que dice de Lapparent, con respecto á ciertas rocas; admite que ciertos calcáreos resultan de separaciones moleculares que se operan con el tiempo en las partes heterogéneas aún blandas, y debido á las cuales los elementos de igual naturaleza se concentran en ciertas partes determinadas. Pero siempre los calcáreos más blancos, como el mármol, dejan en el análisis un residuo arcilloso rojizo.

los mares tropicales, donde los rayos solares producen una elevada temperatura, el sulfato de magnesio, que abunda en el agua, reacciona sobre el carbonato de calcio, más fácilmente si es aragonita, como sucede con los residuos coralíferos, produciendo sulfato de calcio y dolomita :



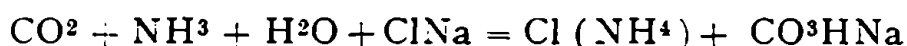
El carbonato de magnesio obtenido con el exceso de carbonato de calcio forma la dolomita.

En nuestros laboratorios se efectúa esa reacción á partir de 60° y en presencia de disoluciones salinas ; reacción que presenta semejanza á la que debe de efectuarse en el agua salina del mar. El sulfato de calcio disuelto en las aguas del mar puede tener otro origen ; ciertas algas reducen los sulfatos, formándose H²S, que por oxidación se convierte en SO⁴H². Este á su vez se transforma en SO⁴Ca. Veamos como este último puede transformarse para ser asimilable. Murray é Irvine han constatado la presencia del amoniaco, bajo la forma de sales en el agua del mar. Ahora bien, se sabe que las materias azoadas se descomponen fácilmente en las aguas tropicales, en razón de la actividad vital que reina en ellas y que el ácido carbónico reacciona sobre el cloruro de sodio disuelto, bajo la influen-

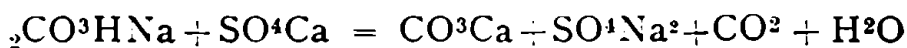
cia de los cuerpos en putrefacción, dando ácido clorhídrico libre. Ochenius admite esa intervención.

Los estudios anteriores permiten admitir la existencia de sales amoniacales en el mar. Lapparent dice : « es probablemente el carbonato de amonio que tiene el rol principal en la asimilación del calcio ».

Respetando la gran autoridad científica de Lapparent emitiré una hipótesis : El procedimiento llamado Solvay para la obtención del carbonato de calcio, que se emplea en la industria, puede representar en el estómago del animal la primera faz de asimilación :



La segunda faz puede representarse, de acuerdo con Ochsenius por la reacción del CO_3HNa sobre el SO_4Ca en el estómago del animal :



Para la última faz, seguiremos á Steinmann. La albúmina reacciona sobre el carbonato de calcio en disolución, precipita corpúsculos redondeados (calco - esferitas de Hanting), ó bien concreciones parecidas á los cocolitos de los barros cretáceos, ó á las envolturas de las globigerinas ;

la albúmina hecha insoluble en los ácidos y alcalis envuelve á esos glóbulos calcáreos haciéndolos difícilmente atacables.

Esos edificios calcáreos formados por esos seres microscópicos que habitan los mares, son elementos preciosos de la consolidación de la corteza terrestre ; constituyen precipitaciones de los calcáreos llevados al mar ó formados en él, que sin esa transformación cambiarían su naturaleza química, influyendo sobre su fauna y su flora.

Además esas formaciones coralíferas nos presentan un caso interesante : la vida y la muerte en perpétuo contacto. A la base del edificio los cuerpos muertos aglutinados por sus secreciones calcáreas, y al vértice nuevos individuos que se reproducen siguiendo su evolución natural. Es un mundo vivo sobre un cementerio, según la expresión de un autor.

Esos individuos que tan importante papel desempeñan en la transformación de los carbonatos, son animales como los *Pólipos*, los *Hidrarios* y los *Briozoarios* ; y son vegetales como las *Nulíporas* y las *Coralinas*.

Dice Edmond Perrier : « Un arrecife de corales representa las flores animadas del mar... Mucho tiempo se consideraba sus construcciones como piedras vegetativas que crecían en el fondo del mar,

igual que los árboles de Diana ó de Saturno crecen en soluciones apropiadas.

Linneo consideraba el coral como una piedra viviente ; Marsigli como un vegetal, cuando vió flores blancas, á 8 pétalos formar estrellas sobre el pie purpúreo de coral ; pero fué Peysonnel que los consideró como animales semejantes á anémonas de mar ».

La piedra *medio viviente* de Linneo es calcáreo en formación, agrupación de cristales de calcita y aragonita, que crece siempre en superficie hasta formar la masa calcárea del arrecife. El obrero es un pólipo.

El pólipo posee una cavidad dividida en compartimentos, donde las secreciones forman un aparato calcáreo .Innumerables pólipos se asocian reunidos por un tejido común. Poco á poco se forma un edificio empezando por la parte inferior que sirve de base sólida á la formación, tanto más que numerosas especies se fijan en ellas, aumentando su solidez. Entre todos los pólipos, son las *madréporas* las que se desarrollan más rápidamente ; en 1857, Whiple observó en la carena de un buque naufragado hacía 64 años, una rama de *madréporas* de 5 metros de largo, lo que corresponde á un crecimiento anual de 0^m,08.

Como su dureza es superior á la de la calcita y su densidad se eleva á 2,9, Clifton Sorby cree que ese calcáreo está formado por aragonita.

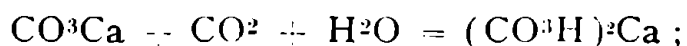
Su composición normal es de :

CO ³ Ca	95 á 98 %
PO ⁴ H ³	0,28 á 0,84 %
H ² O, substancias diversas.	1,64 á 3,79 %

Los *Hidrarios* se diferencian de los Pólipos por carecer de tabiques internos ; los calcáreos están formados de aragonita con un poco de fosfato de calcio. Los *Briozoarios* que se diferencian por su cavidad estomacal forman incrustaciones delgadas, mezcla, según Sorby, de calcita y de aragonita.

Las *Nulíporas* son algas que se incrustan en los corales, á la manera de los líquenes en los troncos de los árboles muertos que se ven en los bosques ; las *Coralinas* segregan menos calcáreo que las anteriores, pero en ambas predomina la *calcita*. En el último caso se puede admitir la absorción de los carbonatos insolubles por la acción de ciertas diastatas que los convierten en solubles. Al efecto, se puede recordar el experimento clásico en botánica. Sobre una mesa de mármol, se siembran unas semillas que se recubren de arena ; después de algún tiempo, se observa que las raíces han formado pequeños surcos en los cuales se han incrustado.

En los mares geológicos, el calcáreo así aglomerado por esos organismos era continuamente atacado por el CO_2 , que saturaba mares y atmósfera y que lo disolvía :



por precipitación formaba enormes masas de calcáreo, que por efecto de las revoluciones internas, del calor y de la presión se transformaron en montañas de mármol, como las de Grecia y de Italia.

Los yacimientos calcáreos tienen pues íntima relación con las condiciones físicas y biológicas del globo ; su constitución y sus propiedades están subordinadas en ellas. Consideraría este estudio incompleto si no tratara de investigar los diversos factores de esa formación.

Los depósitos en general son cristalinos en los yacimientos *paleozóicos* y pueden considerarse como de transición entre la corteza primitiva y las capas sedimentarias normales. El sistema contiene calcáreos que no presentan trazos especiales de metamorfismo y en los cuales no se ha hallado hasta ahora ningún índice de fósiles. Pero «el estado actual de las rocas no nos puede representar la composición de su masa».

En el *Sistema cambriano*, los calcáreos se hallan en contacto con esquistos. En Saint-Thurial, Bretaña (Francia), el calcáreo es silíceo ó magnésico, á veces sacaroide; y en Saint-León (Allier) los esquistos están recubiertos por una capa de mármol de más de 10 kilómetros de longitud. En el Rouergue, los calcáreos son cristalinos ó granuloso, y á veces se presentan negruzcos y parecidos al carbón. En los Highlands lands de Escocia, el calcáreo se presenta impuro entre bancos esquistosos, y en Noruega, sobre esquistos negros, se encuentra el calcáreo de Birnd.

Aparece la vida orgánica en el *Sistema Silúrico*. Los calcáreos se presentan con restos de fósiles y generalmente cuando se encuentran elementos cristalinos en los sedimentos, se puede atribuir su origen, sea á una roca eruptiva, sea al metamorfismo mecánico producido por dislocaciones del terreno.

El calcáreo, en Escocia, contiene fósiles, Maclurea, Lituides, Nautilus, Archoecyathus; en Suecia, á Andrarum, hay una capa de unos 6 metros de esquistos con calcáreos; estos son fétidos en Noruega, con fósiles á Olenoellus Kjerulfi, Paradoxides, Olenus, y forman un banco como de 80 metros cerca de Christiania.

En Francia, en el valle de la Laize, entre esquistos arcillosos rojizos, se encuentran dos bancos de

calcáreos, negros en el banco superior y formado el otro por mármoles rosados, rojizos y grisáceos. Como en ellos, no se observa vestigios de fósiles, puede suponerse que esos *mármoles se han formado por síntesis ó por reacciones químicas*.

En Asturias, á la Vega, una capa de esquisto de 50 á 100 metros, con 20 á 60 metros de calcáreo, contiene Paradoxides, con Conocephalites, Trochocystitis y Lingula.

En los pisos superiores del sistema, se encuentran calcáreos metamórficos. En Inglaterra, el calcáreo fosilífero de Woolhope forma depósitos lenticulares en el esquisto ; y en Wenlock sobre el esquisto existe un calcáreo sub-cristalino de 30 metros de espesor, con pólipos y crinoides.

Actividad orgánica En el sistema devoniano aparecen hidrocorales como Stromatopora, Pachystroma, etc., que con los Pólipos construyen importantes masas calcáreas. Dupont ha querido establecer el origen coralífero de los mármoles devonianos. El mármol Sainte-Anne sería formado por una mezcla de Stromatoporas alargados, con Favositas, Alveolitas, Cyathophyllum ; los arrecifes se presentarían en bandas ó en islotes, « generalmente revestidos de calcáreo azul á crinoides y ofreciendo en el centro un núcleo coralífero, mientras que serían rodea-

dos de esquistos groseros con calcáreo noduloso fosilífero ».

De Lapparent refuta esa afirmación : « Sin negar la parte considerable que los organismos han tenido en la construcción de los calcáreos devonianos, pensamos que no es posible establecer entre esos calcáreos y los arrecifes coralíferos, una asimilación completa. Los moluscos de testo espeso, tan característicos en los arrecifes modernos, faltan en el devoniano, donde por el contrario abundan los braquiópodos, lo que deja suponer otra manera de ser de la actividad fisiológica ».

En el piso inferior del sistema, se encuentra el calcáreo rojo á Mnienian y en el blanco á Konieprus ; este último contiene braquiópodos coralioides y masas madreporicas, además de muchos trilobitas. En el esquisto, el calcáreo forma masas de dimensiones variables, desde nódulos hasta colinas .Su fauna es caracterizada por *Athyris undata*, *Rynchonella livónica*, *Spirifer loevicosta*, etc. Así se encuentra en la rada de Brest y en Néhon y Boubigny (Francia).

También en el esquisto del devoniano medio, el calcáreo aparece bajo la forma de nódulos, de lentes, de masas, como á Trélon, á Nismes, á Couvin (Bélgica) ; este último calcáreo es azulado y su dureza y compacidad le dan el aspecto del mármol. Los fósiles que se encuentran son *Phacops lati-*

fons, *Spirifer speciosus*, *Calceola sandalina*, etc. El piso givetano presenta *calcáreos mármoles*, como los de Glageon-fleuri y Sainte-Anne de Trélon y el *mármol negro* de Marchisonies de Boussois. El *mármol* de Sainte-Anne de Givet contiene pólipos y el *mármol* Charlemagne, gastrópodos.

En Bohemia, el calcáreo es rojo y en placas, como el de Mniemian y con crinoides ; por su estratificación se diferencia del calcáreo á Konieprus, que es reciforme. Contiene trilobitas y braquiópodos. En Polonia, el *mármol* de Debnik, cerca de Cracovia, contiene *Pentamerus galeatus*. En Francia, los calcáreos explotados en Angers, contienen los géneros *Calymene*, *Proetus*, etc., con *calceola sandalina* ; en el calcáreo de Erbray, el horizonte inferior es azul, con *Bronteus Gervillei*, *Cryphoeus pectinatus*, etc. ; el otro horizonte es blanco y cristalino, con *Harpes venulosus*.

Un calcáreo á pólipos se encuentra en Cabrières (Montaña negra), con *Phacops Potieri*, etc. ; y sobre él, hay un calcáreo cristalino, con *Harpes escoti*, *Phacops Munieri*, etc., recubiertos por *mármoles griotas*. En China, en la América del Norte, el calcáreo se encuentra con pólipos y braquiópodos.

Es notable en el devoniano superior, la disposición caprichosa y lenticular del calcáreo, en el esquisto, donde forma á veces masas de 500 á 600

metros. El calcáreo de Fresne es un caso típico ; es azul, ó bien manchado de rojo y de verde, como se observa en el rojo de Flandes, en los mármoles de Rance y de Fromelennes. Contienen *Bronteus flabellifer*, *Cryphoeus arachnoïdes*, etc.

Dupont les atribuye el origen coralífero del calcáreo de Givet ; según él, están constituídos por verdaderos arrecifes, con *Stromatopora* ; y los calcáreos rojos por alveolitas suborbiculares, con *Acervularia* y *Stromatactis*.

Cerca de Dolhain, existe un *mármol rojo* á cri-noides, con unos 50 metros de espesor ; parece subordinado hacia la base con psammitas, en las cuales se han encontrado restos de Peces, *Dipterus marginalis*, etc.

Los *mármoles griotas* de Cabrières y de Caunes descansan sobre un calcáreo á *Cardiola retrostia-ta* y *Paradoceras curvispina* y en la parte más inferior el calcáreo es á *goniatitas ferruginosas*, *Gephyroceras intumescon*, etc. Esos *mármoles*, manchados de rojo vivo, espesos de unos 60 metros, se caracterizan por *climencias*, especialmente *Clymenia loevigata* ; también se encuentran *goniatitis sub-sulcatus*, etc.

Los *mármoles griotas* existen también en las Corbières y en Campan, con *clymenia undulata*, etc., como también en Barcelona.

Al terminar el devoniano reina una era de calma ; los organismos constructores se desarrollan, foraminíferos, crinoides, corales, edifican poderosas capas calcáreas, donde se encuentran braquiópodos. Es el sistema carbonífero.

En Inglaterra, una poderosa capa de *calcáreo mármreo* descansa sobre grés rojo ; en Dinant, el calcáreo se ha transformado en *mármol*, en el cual se encuentra por primera vez el *Prod. giganteus*.

El *mármol*, de diversos colores, se encuentra en Francia. El de Haut-Banc, muy explotado, es rojizo y violeta, como los *mármoles* llamados *Henriette* y *Carolina*. Tiene un espesor de unos 150 metros. Contiene *Productus Cora* y pólipos del género *Lithostrotion*. El mármol Napoleón es grisáceo ó rosado, forma una capa de 25 á 30 metros ; se encuentra en él *Terebratula elongata*, etc.

El *mármol gris*, de vetas rojas, llamado de Joinville, contiene á veces *silex*, como el mármol negro de Hardinghen ; contiene *Prod. giganteus* y á causa de los tallos de encrinas aparece sub-cristalino. El calcáreo marino de Sablé (Sarthe), Changé y Bourgon (Mayenne), es casi siempre compacto y de un hermoso color negro ; en la base presenta phtanitas ; en el medio, bancos oolíticos y arriba bancos espáticos explotados como mármoles. Abundan en él *Prod. giganteus*.

En los Pirineos, el calcáreo á *Prod. giganteus*, descansa sobre esquistos arcillosos ; es generalmente negro. Es blanco, en los alrededores de Argelés ; contiene *Martiniana glabra*. También se encuentran *griotas* con *Prolecanites Henslowi* ; y es el amplexus coralloides que domina en el *mármol* de Laruns.

En el *sistema permiano*, el pico Chitichun, en el Himalaya, es formado de calcáreo blanco, casi cristalino, que alterna con calcáreos arenosos ó terrosos, donde se encuentran lentes de calcáreo rojo á crinoides.

El calcáreo de Sicilia es á *Belerophon*, *Fusulinas* y *Cefalópodos*.



El *grupo mesozóico* comprende los sedimentos que se han formado desde la purificación de la atmósfera, hasta la nueva aparición de la actividad interna en Europa. En los mares reina tranquilidad. Las formaciones calcáreas marinas se desarrollan. Declinan los Braquiópodos, predominan los Lamelibranquios y especialmente los Cefalópodos.

El *Sistema triásico*, en Alemania, presenta el *muschelkalk* ó calcáreo de conchas marinas, que descansa sobre grés y soporta un piso de formación lagunar. En la base, el calcáreo contiene muchos fragmentos espatizados de encrinas ; más arriba

abundan las ceratidas. En los Vosges, se presenta un calcáreo compacto, siempre homogéneo, de color grisáceo, cuyo origen puede atribuirse á un barro calcáreo.

El *trias medio* nos presenta el calcáreo de la Marmolata que contiene muchas especies del muschelkalk alemán; el calcáreo de Esino, sobre el lago de Como. En esos calcáreos se reconocen algas calcáreas, Gyroporella y Sphoerocodium «que los han engendrado».

Según Miss Ogilvie, las dolomias del Schlern (Tirolo), tan notables por su tinte blanco rosado, por sus contornos tan pintorescos, serían originados por grandes praderas de algas donde abundaban los gastrópodos herbívoros. Es probable, pues, que la dolomia proviene de la transformación del calcáreo por infiltraciones magnésicas.

En la Maurienne (Francia) la masa calcárea presenta dos pisos. El inferior es compuesto de mármoles filitosos á sericita, clorita, cloritoide y dolomias; el superior es de calcáreos blancos ó grises con encrinas. El metamorfismo habrá transformado en el Valais, masas de calcáreos, en las dolomias sacaroides de Binnenthal.

El muschelkalk se ha transformado en cipolinos en el valle de la Neva (Italia); más arriba viene un calcáreo cristalino, que contiene Diplopora annu-

lata y *Naticella sublimata*. En los Apeninos de la Liguria, aparecen los Grezzoni, ó sean calcáreos dolomíticos y mármoles á *Gyroporella*, *Encrinus granulosus*, *Rhizocorallium* y *Retgia Trigonella*. Los mismos grezzoni se vuelven á encontrar, magnésicos, bituminosos, pardos y compactos á su base, debajo de los mármoles estatuarios de los Alpes apuanes.

M. Novarese ha encontrado un calcáreo negro entre esquistos violetas y conglomerados en la Maremne toscana. En Calabria, existen también mármoles y grezzoni.

[En el trias superior, hay calcáreos marnosos y mármoles de conchas marinas, en la cima del Schlern, Alpes orientales ; como fósil abunda el *Perna aviculoformis*. Arriba se presentan grandes masas de dolomias, intercaladas con calcáreos laminares, que son reemplazados, en Hallstatt, por calcáreos de todos los colores, predominando sin embargo, el color claro, entre los cuales hay verdaderos mármoles. Los *Rhacophyllitas*, *Didymitas*, *Haloritas*, *Trapitas*, son los *Ammonoideos* característicos.

Zaccagna atribuye al trias los mármoles estatuarios de Carrara, con cipolinos y esquistos que los recubren.

Llegamos al *Sistema jurásico*. Los sedimentos de esa edad demuestran una gran invasión marina que

se ha producido con gran tranquilidad. Los fenómenos de erosión son menos importantes ; los sedimentos detríticos dejan el lugar á los calcáreos que provienen directamente ó indirectamente de la actividad orgánica. De Lapparent admite 3 divisiones : 1º liásica, de sedimentos detríticos ; 2º medio jurásico, en el cual se presenta el facies calcáreo ; 3º suprajurásico que abunda en calcáreos. Entonces Europa era un archipiélago de corales y no se depositaba sino calcáreos.

El *piso retiano*, « el primer episodio de los tiempos jurásicos », contiene calcáreos negruzcos á braquiópodos, *Terebratula piriformis*, *Rhynchonella fisscostata* ; el calcáreo se presenta uniforme como se observa en él de Dachstein. El mar rético avanza hacia el norte. En Osterhorn los calcáreos son á *Lithodendron*, con numerosos braquiópodos, como el *Terebratula gregaria*. En Lons-le-Saulnier (Francia) hay calcáreos litográficos á bivalvas ; en los Pirineos, son á *Avicula contorta*, la cual abunda en los calcáreos del Ariège.

Al rético, atribuyen algunos geólogos (1) los mármoles estatuarios de Carrara. Zaccagna los considera triásicos, como se ha dicho, y según su opinión el rético estaría formado por : a) calcáreo dolomí-

(1) De Stefani, *Le pieghe della Alpi Apuane*.

tico con mármol portor ; *b*) calcáreo gris dolomítico á *Avicula contorta*, y *Bactryllium striolatum* ; *c*) calcáreo dolomítico brechoide y cavernoso.

En el rético, M. Lotti coloca las masas calcáreas grisáceas dolomíticas de Massa marítima.

Arriba del retiano, en el lias blanco de los ingleses, se encuentra en Penarth, esquistos grises, con bancos de calcáreo duro, á *Nodiola mínima*. En su base, se halla el *mármol de Cothan* tan conocido por el nombre de *mármol á paisajes*, á causa de los dibujos originados por las dendritas de manganeso. El calcáreo á insectos, donde abundan restos de insectos neurópteros, se encuentra en el Gloucestershire mezclados con fauna de agua dulce, *Cyclas*, *Cypris* y con flora de Helechos y de Cicadáceas.

En la Borgoña, el calcáreo inferior es la *lumachela* ; la superior es un calcáreo amarillento, marnoso, llamado por los franceses *foie de veau*. Los fósiles que más abundan son, la ostrea irregularis, cardinias, Schlot. Angulata, etc. El calcáreo abunda y es muy variado en la región de los Causse ; cerca de Mende, hay el calcáreo *capucino*, notable por su mineralización (baritina, galena), calcáreo amarillento sucio con *Plicatula intusstriata*. En otros, se hallan encrinas y cardinias ; en el valle del Ródano, sobre marnas blancas ú ocrosas y grés, se encuentra un calcáreo compacto, de grano fino, casi blanco ;

después un calcáreo sub-cristalino explotado bajo el nombre de *choin-bâtard*. El fósil más importante es también *Plicatula intusstriata*. En el alto Garona existe el calcáreo de Saint-Béat que continúa con el llamado de Vicdessos. La dolomia domina en ese piso, en España, como en el Algarve, provincia de Logroño. En Italia, la serie liásica está representada por calcáreos rojos á *Arietitas*, como se ven en el por calcáreos rojos á *Arietites*, como se ven en el Monte Pisano. Los calcáreos de Taormina, Sicilia, son grises, rojos, con mármoles y brechas ; contienen *Harpoc. Algorianum* y *Spiriferina rostrata*.

En el período medio jurásico, la actividad coralífera se manifiesta de más en más ; construcciones coralígenas forman masas considerables. Las rocas oolíticas indican la presencia de los arrecifes.

La grande oolíta ha sido transformada en *mármol*, en Kaiserstuhl (Brisgau), por la acción volcánica ; su espesor es de un centenar de metros al sud de Colmar y de 150 metros, cerca de Belfort. El calcáreo de Besançon es anacarado debido á grandes ostras de reflejos anacarados ; y entre Toul y el Alto-Marna, el calcáreo es sacaroide, de oolítos redondos, blancos, recubiertos por calcáreos de pasta fina, blanca y esquitosa. En Bath (Inglaterra), la gran oolíta suministra una piedra de color amarillo ó crema, con numerosos pólipos.

Los calcáreos siguen predominando ; marnas arenosas, después calcáreos azules, oolítos ferruginosos, donde se encuentran encrinas, pólipos, etc. Especies coralígenas han construído arrecifes de más de 20 metros, en los cuales se encuentra *Cidariscucumífera* y en los intervalos son calcáreos hechos de equínidos y de moluscos. En Dom-le-Mesnil, cerca de Sedan, se explota una piedra calcárea, amarillenta, á veces oolítica, que contiene opp, subradiata, ostrea ampulla, etc. El calcáreo de Caen es notable por sus caracteres. Es blanco, puro, fácil á trabajar y se endurece al aire. La Torre de Londres y la catedral de Cantorbery, y muchos monumentos de Normandia han sido construídos con él. Descansa sobre un banco azul de arcilla, la cual reposa sobre oolita blanca. En esa capa se ha encontrado *acanthothyris spinosa* y restos de grandes saurios.

En Normandia, un calcáreo á Briozoarios, se encuentra sobre la oolita miliaria, y cerca de Poitiers, los calcáreos son blancos, compactos ó bien oolita blanca que suministra la piedra muy reputada de Chauvigny. En el valle del Loire, el calcáreo d'Aprémont y de Charly, á Morph, polymorphum, suministra también una piedra de hermoso grano, empleado en escultura ; como también son apreciados los calcáreos oolíticos blanquecinos, poco fosilíferos, que se encuentran en el Yonne. En la Côte-D'or, la

gran oolita está formada por un calcáreo blanco grisáceo, compacto, de pasta fina ; se explotan canteras en Ravières y en Comblanchies, de las cuales se extraen piedras que se prestan al labrado.

En los Causses, en la base del Cathoniano, hay calcáreos marnosos, después dolómíticos que provienen de la dolomización de los calcáreos coralianos ; en ellos se han formado canyons, y de ese calcáreo provienen las pintorescas rocas de Montpellier-le-Vieux. En el Aveyron, el calcáreo es generalmente marnoso.

La abundancia de lytoceras caracteriza la oolita en Italia, como se observa en el Apenino ; en San Vigilio, es recubierta por calcáreos, lumachelas, donde abunda Posidonia Alpina ; en Sette Comuni, ese calcáreo á posidonias es sacaroide y de un color blanco rosado. En los Alpes venecianos, en los Montes Lessini, el calcáreo se presenta como un mármol, con numerosos pólipos.

El mar invade las regiones boreales de Europa y de Asia, en el *período supra-jurásico*. En la provincia mediterránea las formaciones coralígenas contienen calcáreos marmóreos y esquistos que necesitan una alta temperatura.

Calcáreos marmóreos y esquistos rojos caracterizan el primer piso del período, en Italia, observándolos en Erbezzo, en los Alpes meridionales ;

contiene *Polt. transversarium*. El calcáreo se presenta en nódulos rojos, bien estratificados, con *Aspid. OEgir* y *Peltoc. transversarium*, en los Cárpatos ; también calcáreos rojos existen en Bouron, con *Aptychus* y *Belemnitas*.

En los pisos más superiores, se encuentra la oolita d'Osmington, Inglaterra, de unos 17 metros de espesor, con *Aspidoc. perarmatum*, *Chemnitzia heddingtonensis*, e tc., recubierto por un calcáreo marino y otro grueso. El calcáreo marino está casi formado de pólipos, de conchas y de ursinos. Son pues pequeños arrecifes formados por corales. En Francia, en el país de Bray, se encuentran unas capas de arcillas azules y de lumachelas, á veces arenáceas, otras calcáreas y bastante compactas para ser explotadas como mármol, como el de Hericourt. Los calcáreos coralíferos están bien representados en el Mosa, donde tienen un espesor de 120 á 150 metros. Son arrecifes, en medio de masas calcáreas blancas sedosas, como el calcáreo á pólipos de Saint Mihiel ; se explotan piedras en Euville y Lérrouville, cuya textura presenta facetas de clivaje espático. Contienen *Cidaris florigemma* y *Terebratula Maltonensis*.

En el valle del Cher existe una masa poderosa de calcáreos litográficos ; á Bourges, el calcáreo coralífero es cretáceo, como en la piedra blanca del

mismo lugar, es llena de pólipos, como en Sancerre, donde está explotado. Contienen *Rhynchonella corallini*, *Terabratula cincta*, etc. Pero tanto en Bourges, como en Sancerre, ese calcáreo cretáceo es recubierto por calcáreos compactos á *Ostrea pulligera* y *Dicera eximium*.

La base de la capa de los calcáreos oolíticos, de grano fino, de naturaleza coralífera, con pólipos, que se encuentran cerca de Dôle, son calcáreos marmóreos. El calcáreo de Valfin, en el Jura, es blanco, de unos 50 metros de espesor; representa formaciones coralígenas, características del facies oolítico.

El piso superior del período jurásico es llamado portlandiano. Los depósitos calcáreos, sobre la vertiente mediterránea, son más ó menos compactos; se distinguen por el carácter de sus cefalópodos y por la presencia de un tipo particular de los Braquiópodos, el de los terebratulas perforados.

La *Portland - Stone*, en Inglaterra, es notable por su grano fino y por su resistencia á las acciones atmosféricas; ha servido para construir Saint-Paul, de Londres. Las capas de Purbeck tienen un espesor, según M. Judd, de 124 metros; en la parte superior, se encuentra el *mármol de Purbeck*, formado por residuos de un gastrópodo de agua dulce, *Paludina fluviorum*. Ese mármol ha sido

muy empleado en el tiempo donde florecía la arquitectura gótica.

En Francia, los calcáreos del Barrois, son litográficos, á la base, con *Per. rotundus*, después un calcáreo á lumachelas rojizas, á *Steph. Irices*. Las formaciones calcáreas son coralíferas en la región rodadiana. En la ribera de la Ysère, al Bec de l'Échaillon, se explota una masa calcárea compacta, con *Neríneas* y *Terebratula moravica*, etc. ; algunas partes son tiernas, de un blanco mate, llenas de pólipos. El calcáreo es compacto, á veces ruiniforme ú oolítico, pasando á dolomia, en el facies coralífero, de los Bajos Cevenas ; su masa alcanza á 300 metros. Ha originado el famoso paisaje de Garrigues. En él se encuentran *Neríneas*, *Rynchonella Astieri*, *Cidaris* y abundantes pólipos.

Los calcáreos ruiniformes, con *Opp. tenuilobata*, constituyen murallas verticales, con aristas estrechas y bien cortadas, como se observa en las montañas de Gigondas ; más arriba los calcáreos se presentan violáceos y rosados con *Aptychus*.

En la región sub-alpina, las formaciones coralígenas vuelven á aparecer al acercarse á los Alpes, bajo la forma de brechas ; más cerca de los núcleos cristalinos, más importancia tienen las formaciones brechoides. El mármol de Chorges y el de Guillestre contienen, según M. Kilian, fósiles de

la zona á opp. lithographioe. Esos mármoles, dice De Lapparent, generalmente rojos, con belemnitas y Aptychus, son numerosos en rededor de los montes del Delfinado y de la Saboya. A veces se encuentran en el trias y á veces reposan sobre el medio jurásico.

Pero más pronunciado es el facies coralígeno en la Baja Provenza ; se encuentra en el valle de la Stura una lumachella de foraminíferos, de pólipos y de Hidrozoarios, etc. En los Alpes, el calcáreo de Tros es marmóreo, claro, á neríneas y pólipos. El mar debía tener una gran extensión en Suiza, y los Alpes debían formar un archipiélago, rodeado de arrecifes coralígenos, entre los cuales se depositaban las materias calcáreas. El *ammonitico rosso superiore*, de la parte meridional, es un conjunto de calcáreos rojos marmóreos.

En Solenhofen (Baviera) son notables los esquistos litográficos por su grano, fino é igual, y por el grandor y regularidad de las láminas ; en ellos, se encuentra el célebre Archoeopteris, con peces, arañas, crustáceos, cefalópodos, amonitas, etc. Deben provenir de barro impalpable depositado en lugares tranquilos, al abrigo de rocas dolomíticas.

El calcáreo de Stramberg representa una formación de ribera, mientras que el de Klippenkalk es un depósito marino.

En Andalucía los calcáreos son «duros, compactos, marmóreos, brechoides, á veces rojos, á *Phylloc. ptychoicum*, etc. ».

Calcáreos á fósiles titónicos han sido observados por M. M. Burckhardt y Verli sobre las fronteras de Chile y de la Argentina ».

Llegamos al *sistema cretáceo*. La Europa occidental, según las alternativas de la lucha entre el mar y la tierra, las formaciones son marinas ó salinas. Pero en la región alpina siguen las construcciones coralígenas, pero con nueva forma, la de calcáreos á Chamaceos. Es fauna nueva de los arrecifes que precede á otra familia, la de los Rudistas.

En Europa, la tiza fué el sedimento característico de esa nueva época. Se encuentran calcáreos marnosos, oclíticos, grumosos, en el Jura Neufchâtelois ; otras veces, calcáreos blancos, compactos, con *Strombus Sautieri*, y más arriba hay un calcáreo amarillento con *Pygurus rostratus* y *Eudesia Marcousana*. El calcáreo de Neufchâtel empieza con marnas, bancos calcáreos ó dolomíticos, con numerosos briozoarios ; después viene un calcáreo compacto, blanco, rosado, amarillo ; á Valanzin, el calcáreo compacto, con neríneas, es llamado por los franceses «marbre bâ-tard ». A esos calcáreos, les siguen las marnas de Hauterive, con calcáreos amarillos, espáticos, cloritosos.

El convento y las praderas de la Grande-Chartreuse, reposan sobre marnas que contienen amonititas ferruginosas ; en el sud del Hérault, los calcáreos son sacaroides á pólipos.

En el Tirol meridional, en los repliegues de los calcáreos triásicos ó réticos, hay marnas y calcáreos, de color vinoso, con *Phylloc. semisulcatum*, y calcáreos blancos que son seguidos de otros rojizos. Los Alpes lombardos presentan calcáreos mezclados con silix, blanquecinos ó rojizos, llamados majólica. Se encuentran en ellos, *Aptychus Didayi*, etc.

Este piso es representado en la frontera chileno-argentina, por calcáreos esquistosos amonitíferos, según la opinión de Burckhardt y Wehrli.

Citaremos también en el piso siguiente el calcáreo, con *Costidiscus reticostatus*, en la montaña de Lure, y variedades sacaroídeas en Orgon. En Sorrente, los calcáreos con chamaceos y rudistas, constituyen un masa de unos 300 metros.

La serie *supracretácea* representa una tranquila invasión marina. La sedimentación se regulariza y los sedimentos detríticos son reemplazados por calcáreos de origen orgánico ó químico. La tiza es un cemento formado por partículas calcáreas amorfas ó cristalinas y fragmentos microscópicos de foraminíferos, perteneciendo á los géneros *Textularia*, *Rotalia*, *Globigerina* ; de residuos, semejantes á los que

se encuentran en el barro á globigerina, otros de radiolarios, de moluscos, de briozoarios, de equinodermos, de espículas, de esponjas. Debido á su porosidad, esa roca ha sufrido transformaciones por la acción del agua ; las estructuras organizadas han desaparecido, siendo reemplazadas por calcáreo amorfo ó cristalizado. Se observa que todo lo que era *aragonita* ha desaparecido, «mientras que los foraminíferos y pólipos en *calcita* (*Caryophyllia*, *Parasmilia*, etc.) no han perdido sus adornos los más finos». Por eso que los restos de amonitas son raros, la concha siendo de aragonita, mientras que los *Apthychus* han visto su calcita respetada. Sigue diciendo De Lapparent : «La tiza es esencialmente un depósito debido á la vez directamente é indirectamente, á la actividad de organismos que vivían en aguas tranquilas y calientes, donde la ausencia de agitación es atestiguada por el gran número y la buena conservación de los *Cidaris*. Los arrecifes de pólipos han desaparecido, y por lo tanto, no se encuentran calcáreos construídos ; son los rudistas que dominan y que forman bancos lenticulares. En Italia, el cretáceo superior es casi representado por rudistas ; la *scaglia*, según Munier-Chalmas, no sería sino un barro calcáreo, último producto de trituración de los rudistas.

En la tiza blanca, los amonitas son poco represen-

como piedra molar. Douvillé ha reconocido que los calcáreos rosados y grises de Château-Laudon pertenecen á la misma capas : estos últimos han sido empleados en la construcción del arco de Triunfo de París y de la Basílica de Montmartre. Los fósiles son raros ; citaremos el *Linneo cornea*. También es de origen lacustre, el calcáreo de Beauce, blanquecino, con *silex* y *Limneo Brongniarti*, explotado en Montmorency, como piedra molar ; el superior es gris, negruzco, brechiforme, con *Limneo Larteli*.

Los calcáreos á *Phrygas* han sido llamados *peperitas* ó *tufos basálticos* ; según M. Julián serían originados por lluvias de cenizas caídas en estanques y pantanos, en los cuales se habrían formado miriadas de *Phrygas*. Pero quizás, el calcáreo más interesante de esta serie es el de la región de Issoire ; es compacto, contiene *potamidas* y suministra el *mármol* llamado de *Nonette*.

El calcáreo de Sauson es uno de los más notables de la serie miocena ; se presenta como depósito lacustre, formado por *marnas* coloreadas y *grés* calcáreos y contiene *Unio flabellifer*, *Melania aquitánica*, etc.

Los calcáreos *pliocenos* pueden representarse por el *crag* coralino, en Inglaterra, formado por *marnas* calcáreas, donde abundan los *Briozoarios*, como *Terebratula grandis* ; también se puede mencionar

un calcáreo grosero, que se encuentra en los Alpes marítimos, originado por depósitos litorales y que contienen *Ostrea cochlear*, *Terebratulina caput serpentis*, etc.

Llegamos á los calcáreos formados en la *era moderna*. Es la *época pleistocena*. Aparece el Hombre sobre el globo. La fauna marina es la de nuestros días. El loes es un barro arcilloso, cargado de calcáreo, de color pardo claro ; este último presenta en ciertos puntos concreciones de formas extrañas, llamadas muñecas del loes. Los fósiles que contienen son terrestres, en su mayor parte, como *Helix*, *Pupa*, etc.

En esa época, las fuentes han producido incrustaciones ó tufos de cierta importancia. Citaremos el tufo concrecionado de la Celle, mezclado con marnas rosadas y verdosas ; el tufo de Cannstadt, de Roquevaire, de Montpellier, de Massa marítima, de Tlemcen.

CALIZAS

Los caracteres generales de los calcáreos son los siguientes : : 1º insolubilidad en el agua ; 2º descomposición con efervescencia por la acción de los ácidos ; 3º transformación en cal por el calor ; 4º densidad entre 2 y 3 ; 5º dureza, núm. 3 de la es-

cala de Mohs. Pero esos caracteres son muy variables, lo que ha originado numerosas especies y variedades.

Las clasificaciones propuestas son muy numerosas ; pero subordinándose á la índole de este estudio presentaré la siguiente, que gradualmente considera las calizas desde su estado de pureza hasta las rocas donde existen en relativa proporción :

1° *Caliza cristalizada* : a) *calcita*, b) *aragonita* ;
2° *calizas sacaroideas* ; 3° *calizas compactas* ; 4°
calizas incrustantes ; 5° *creta* ; 6° *caliza basta* ; 7°
calizas silíceas ; 8° *calizas arcillosas* ; 9° *calizas sueltas*.

1° *Caliza cristalizada* — El carbonato de calcio afecta dos formas cristalizadas : 1° *Romboedros*, como la calcita con un ángulo diedro de $105^{\circ}5$; 2° *prisma recto de base rectangular*, como la aragonita, con un ángulo de $116^{\circ}10$. Esa diferencia de cristalización fué la primera anomalía á las leyes de Hauy, entre la composición y la forma cristalina de un mineral ; para no admitirla, supuso la presencia del carbonato de estroncio ; pero Laugier destruyó el argumento demostrando que la aragonita de Gex no contenía ese carbonato.

Era el primer caso conocido de dimorfismo ; desde entonces se admitió la existencia de ciertos cuer-

pos de idéntica composición química que pueden presentar formas cristalinas diferentes incompatibles entre ellas. Para explicarlo Mallard supuso « que las apariencias polimorfos son producidas por combinaciones desiguales entre proporciones diversamente orientadas, de cristales á simetría límite », pero admite también con Le Chatelier, que en ciertos casos el dimorfismo molecular tiene por causa una « transformación intrínseca de la molécula ó poliedro atómico que se efectúa á temperaturas determinadas ».

La transformación mútua de los cristales es una función de la temperatura ; á menos de 300° la aragonita está en equilibrio estable y la calcita en equilibrio inestable ; á más de 300° es el contrario, la aragonita estalla en una multitud de romboedros de calcita. Luego una variedad llevada en su zona de inestabilidad se convierte en la forma estable correspondiente. La velocidad con la cual una variedad pasa á otra, depende de la temperatura. El sistema puede ser regido por la ley de Van T'Hoff :

Toda variación de temperatura provoca en un sistema en equilibrio una transformación que, si se efectuaba espontáneamente produciría un fenómeno térmico opuesto al que dió origen á la transformación. Una elevación de temperatura produce una transformación endotérmica, como el paso de la arago-

nita en calcita ; un descenso produce la transformación exotérmica.

La ley de Van T'Hoff se completa con la de Le Châtelier :

Toda variación de presión provoca en un sistema en equilibrio una transformación que si se efectuaba espontáneamente daría lugar á una variación de presión del mismo signo.

¿Luego estas dos variedades difieren por su calor de constitución. « Cuando se calienta el espato en el aparato de combustión, en medio de carbones incandescentes, se descompone y absorbe calor ; si se reemplaza por aragonita, ésta empieza para pasar al estado espático y desprende calor, después se descompone y absorbe calor : tenía entonces un calor de constitución diferente del que posee el espato (Jamin). »

La *calcita* es carbonato de calcio cristalizado en romboedros ; su peso específico es de 2,70 á 2,73 ; su dureza es 3 ; su ángulo diedro es de 105°5. Es transparente y de lustre vítreo. La variedad más pura es el espato de Islandia, cuya composición química es la siguiente :

CO ²	43.70
CaO	56.15
FeO y MnO	0.15

Posee la propiedad de la doble refracción ; en láminas delgadas se observan hermosos colores de polarización, irisaciones de tintes grises, rosados y azules, parecidos á los fuegos de perlas finas.

Desde Huyghens la física le debe muchos descubrimientos.

Al estado natural se encuentra en los vacuolos de antiguas lavas asociado con zeolitos.

Artificialmente fué obtenida por James Hall, el 31 de marzo de 1811, por vía ígnea ; más tarde Rose y Siemens repitieron el experimento y después de varios fracasos consiguieron el mismo resultado. G. Rose hizo numerosos experimentos por vía húmeda (1837 y 1859) consiguiendo cristales de calcita tan grandes que se podían medir en el goniómetro.

Para la obtención de la calcita, se puede proceder de la manera siguiente :

a) En un vaso muy abierto, se hace evaporar á la temperatura ordinaria, una disolución de bicarbonato de calcio ; en la superficie y en las paredes se depositan lindos cristales, mientras que en el fondo se aglomeran en capa granulosa.

b) Evaporando lentamente la disolución en un vaso de cuello angosto, por ejemplo un frasco de Erlemeyer, se obtienen cristales grandes de calcita, en los cuales se observan las caras del romboedro primitivo.

c) Evaporando la disolución, con temperatura suave, la superficie del líquido se recubre de cristales de aragonita y de calcita en el fondo del vaso.

d) Mezclando una solución de Ca Cl^2 con otra de carbonato alcalino se obtiene un precipitado granuloso en el cual aparecen poco á poco cristales de calcita.

e) La masa fundida de Ca Cl^2 y de $\text{CO}^3 \text{Na}^2$, tratada con agua, da un residuo granuloso que con el tiempo se transforma en calcita.

f) Descomponiendo por el $\text{CO}^3 \text{Na}^2$ una disolución en caliente de $\text{Cl}^2 \text{Ca}$ se obtiene calcita, siendo más rápida la formación operando á la ebullición.

g) Becquerel ha obtenido calcita haciendo actuar lentamente una solución diluída de $\text{CO}^3 \text{H Na}$ sobre un pedazo de gipso ; al cabo de un tiempo, se presenta cubierto de cristales de calcita.

h) Se llega al mismo resultado haciendo reaccionar una solución diluída de silicato de potasio, en presencia del ácido carbónico, sobre el gipso también ; se opera en un frasco imperfectamente tapado. Después de varios meses, el gipso se recubre de cristales de calcita.

i) Hautefeuille y Margottet han obtenido calcita haciendo circular una disolución saturada de bicarbonato de calcio en unos tubos largos calentados

suavemente en algunos puntos en los cuales se depositaban los cristales.

La *aragonita* es carbonato de calcio cristalizado en prismas rectos de base rectangular ; su peso específico es 2.93 á 2.94 ; su dureza es 3.5 á 4 ; su ángulo diedro es de $116^{\circ}.16$. El lustre es vítreo, incoloro ó bien rojizo, teñido á veces de verde ó de azul. Posee doble refracción y en láminas delgadas los colores de polarización son análogos á los de la calcita.

Calentada á la llama la aragonita decrepita y se descompone en cristales de calcita ; por fusión se transforma en mármol.

La aragonita no forma grandes masas ; se encuentra en los yacimientos de hierro, en los tufos calcáreos, bajo la forma bacilar ó fibrosa, granular coraliforme y estalagtiliforme ; en los yacimientos gipsosos, donde el gipso se transforma en aragonita, como en Zechstein. La obtención de la aragonita se produce, como ya se ha dicho, por una evaporación rápida en caliente. Max Bauer ha constatado que la presencia del CO^3Ba , en una solución de CO^3Ca , precipitaba aragonita en frío.

—

Las *calizas sacaroideas* son compuestas por granos muy finos que le dan el aspecto de azúcar ; son

cristales de calcita. Generalmente tienen un color blanco puro. Los mármoles de Carrara y de Paros corresponden á estas calizas.

Las *calizas compactas* tienen un grano más ó menos fino, apretado, sin indicios de cristalización, tales como los llamados *mármoles de color*. A veces la caliza es densa, homogénea, de grano fino y poroso que deja penetrar la tinta, como la piedra litográfica.

Las *calizas incrustantes* provienen del CO_3Ca disuelto en agua cargada de ácido carbónico; por filtración, las gotas de agua pierden CO_2 y dejan el CO_3Ca .

Reciben también el nombre de *toba caliza* y *travertino*. Forman las estalagmitas y las estalagmitas de las cavernas, que pueden considerarse como calcita concrecionada, de las cuales proviene el *alabastro calizo*, de aspecto cristalino, translúcido y que presenta fajas concéntricas y onduladas; el alabastro recibe el nombre de oriental cuando éstas son blancas, mate ó de color de miel. Esas petrificaciones son notables en San Filippo (Toscana); en Saint-Allyre, cerca de Clermont-Ferrand; en la gruta de Antiparos (Grecia).

A veces el bicarbonato de calcio se fija alrededor de un grano de arena, de un cuerpo orgánico, de una burbuja de aire, formándose un núcleo que va

engrosando por capas sucesivas. Si los granos son muy pequeños forman *oolitas*; si son grandes *pisolitas*. Virlet d'Aoust dice, en una memoria publicada en 1857, ante la sociedad geológica de Francia, haber presenciado la formación de la caliza oolítica, en el lago de Texcoco (México); al rededor de los huevos de la *corixa femorata*, insecto hemíptero, se fijaban capas de caliza. Los célebres confites de Tivoli, cerca de Roma, son pisolitas, formados por el río Teverone.

Cuando la caliza es pulverizada se llama *creta*. A veces se halla mezclada con arena, arcilla y fragmentos de fósiles, que el microscopio denuncia como foraminíferos. Se emplea para limpiar metales, para escribir en pizarras, etc.

La *caliza basta* es un conglomerado de restos de fósiles reunidos por una especie de cemento calizo. Su aspecto es poroso; es blando cuando sale de la cantera, pero después se endurece convirtiéndose en piedra de construcción. Con ella están contruídos los edificios de París.

A veces la caliza se deja penetrar por la sílice, adquiriendo un aspecto mate. Se llama *caliza silícea*; es tan dura que puede dar chispas en el eslabón. Las calizas lacustres, como las de Bric, pertenecen á esa especie. Cuando la caliza contiene más de la mitad de su masa de arcilla, recibe el nombre de

marga ; siendo notable esa proporción es empleada la caliza arcillosa para fabricar cal hidráulica y tierra romana.

Las *calizas sueltas* reciben diferentes nombres : 1º *Falun* cuando es una mezcla de arenas calizas con restos de fósiles, sueltos ó aglutinados por un cemento calizo ó silíceo. Se puede considerar como aluvión de la época terciaria ; es empleado como abono por las materias orgánicas y el fosfato de calcio que contiene. Abunda en la región de Tours y de Burdeos. 2º *Crag* que es muy parecido al anterior, diferenciándose por tener el grano más fino y ser más rico en fosfato. Se encuentra en Norwich y Suffolk (Inglaterra). 3º *Tanga* se llama si es una masa de madreporas y conchas diversas, sueltas ó aglomeradas. En Bretaña y Vendée, se emplea para abonar las tierras.

Citaremos también el *trez* ó arena calcárea marina ; el *merl* ó calcáreo del litoral. El *strutmarginel* es un calcáreo fibroso, concrecionado, á veces satinado, ordinariamente dispuesto en series de estratos. Existe en Gorarp (Suecia), en Gottingen (Hanover) y en Quedlinburg (Prusia).

CAPITULO III

M Á R M O L E S

Los mármoles son piedras calcáreas susceptibles de pulimento, de varios colores, negros, amarillos, verdes y grises, asociados de diferentes maneras ; presentan el aspecto de puntos, de venas, de manchas, de ruinas y de paisajes. De esta disposición resultan hermosas apariencias.

Esos colores dependen de la difusión en la masa del calcáreo, de óxidos de hierro, de manganeso, de algún silicato de hierro, de materias bituminosas y de fósiles incluidos. « El tinte rojo y amarillo se debe á la hematita y á la limonita ; en otros casos, como por ejemplo, en los mármoles grises, el color puede depender de la presencia de sulfuros ».

Generalmente el mármol está formado de calcita, pero en algunos casos se observa aragonita. « Ob-

servado en el microscopio, el mármol se ve como un agregado de gránulos de calcita que presentan la conocida geminación polisintética que los hace aparecer como formados por una serie de bandos diversamente orientados ». La uniformidad de estructura cristalina favorece esencialmente el pulimento del mármol.

El mármol no es nunca un carbonato de calcio purísimo ; casi siempre van mezclados otros carbonatos isomorfos que influyen relativamente sobre su coloración. Según un autor el tinte azulado que presentan en algunos puntos, los mármoles estatuarios de Carrara y de Parós serían debidos á la presencia de manganeso. Un análisis del mármol de Carrara, hecho por Koppel, dió el siguiente resultado :

CO ³ Ca	98.765
CO ³ Mg	0.900
Si O ²	0.006
Fe ² O ³	0.4083
Mn ² O ³	0.156
Al ² O ³	0.090
Si O ²	0.156
P ² O ⁵	0.090

En ciertas regiones, como en el Altissimo (Italia), el mármol se encuentra no en bancos estratificados,

sino diseminado en montones, en otras capas calcáreas, afectando la forma de verdaderos filones. « Se ven planos de separación debido á infiltraciones talcosas ó á depósitos ferruginosos, que los obreros de las canteras llaman *madrinacchie* (madres manchadas).

El vulgo llama *mármoles* á toda piedra pulida que presenta hermosos efectos de colores.

El *jaspe*, rojo y amarillo, por el óxido férrico anhidro é hidratado ; verde, por la clorita ; negro, por una substancia carbonosa, como en la *pedra de Libia*, siempre presenta colores vivos y variados. Esa piedra era muy apreciada para las construcciones en la antigüedad.

El *granito*, es de color variable, según la proporción de cuarzo, de mica y de feldespato ; el más común es de tinte gris, manchado por puntos de mica negra. La variedad *rosa* es la que suele emplearse como piedra de adorno y hasta para la estatuaria, por pulirse fácilmente y presentar un aspecto agradable. Pero el más lindo granito es el *rojo* que se encuentra en la región superior del Nilo. Es el tipo de la verdadera sienita : cristales translúcidos y algo anacarados de feldespato rosado, de cuarzo diáfano y de agujas de anfíbol verde. El granito *negro* compuesto de particulitas de feldespato, de mica negra ó de anfíbol, tiene un tinte uniforme. Con él los

egipcios construyeron estatuas. Algunas variedades presentan manchas blancas y negras, de hermoso aspecto. El granito gris, á pesar de su grano delicado que le permita adquirir el pulimento, no es empleado debido á su color, sino en las construcciones.

La *serpentina*, por su hermoso color verde ha sido empleada para la construcción de altares, como en la catedral de Granada ó en la iglesia de las Salesas de Madrid. La variedad *común* se caracteriza por manchas sobre fondo verde, que la ha hecho comparar á la piel de una serpiente.

El *pórfido rojo antiguo* debe considerarse como la piedra preferida para la construcción de sus monumentos que perpetúan sus grandezas. Los Romanos lo emplearon especialmente desde Claudio, pero en la época de la invasión de los bárbaros se perdió el secreto de tallarlo y de pulirlo; secreto que encontró en el siglo XIV, bajo los primeros Medicis, el florentino Peruzzi. Los monumentos más célebres construídos son los sepulcros de Santa Helena y de Constancia, la fuente de la rotonda del Musco de escultura del Vaticano, la urna cineraria de Agrippa que contiene los restos de León XII, en San Juan de Latrán. La variedad *roja* se encuentra en Egipto, en los Vosges y en el Loira (Francia); el rojo pasa á veces al violeta que presenta

aún más rico aspecto. Los *verdes* se encuentran en los Vosges, en los Pirineos, en Córcega. En los *negros*, hay cristales blancos ó rosados, que salpican la pasta negra, presentando un lindo aspecto que los hacían muy apreciables de los romanos.

El alabastro y el basalto eran también empleados en los tiempos de los Faraones para construir estatuas y obeliscos.



El conocimiento de la formación del mármol natural es un problema difícil de resolver ; su solución está subordinada al estudio filosófico del globo terrestre. Todas las hipótesis emitidas, después de severas observaciones, calor, presión, disociación del agua, precipitación y reacciones químicas, pueden admitirse porque encontramos para ello argumentos favorables, tanto en la naturaleza como en el laboratorio. Esas observaciones, apoyadas sobre la inducción y el raciocinio, han permitido establecer y discutir teorías y emitir generalizaciones.

Es posible y se admite que una especie mineral, el mármol por ejemplo, en sus diversos yacimientos se haya formado por circunstancias muy diferentes, porque la naturaleza ha empleado métodos diversos para llegar al mismo resultado. Pero los experimentos de laboratorio han permitido establecer límites,

de más en más estrechos en los cuales se ha reducido el campo de las hipótesis. En efecto, la inducción puede considerarse como una observación activa, según la feliz expresión de John Herschell; cuando la observación se detiene impotente, la experimentación toma el fenómeno, produce su variación y lo dirige en el sentido necesario hasta hacerla penetrar en la intimidad de la cuestión. El célebre experimento de Hall sobre la síntesis del mármol puede servir de modelo al respecto, en cuanto se refiere á observación y experimentación.

Cuando los silicatos formaron una película sólida al mar de fuego primitivo, los vapores atmosféricos se condensaron en lluvias torrenciales, las surcaron, la disgregaron, la disolvieron y los cuerpos precipitados de las disoluciones acuosas, merced á variadas temperaturas, llenaron las hendiduras, las grietas enormes, de mármol, de fosforita, de sal gema y de innumerables minerales.

El genio de Descartes lo había presentido antes de las observaciones de los geólogos del siglo XVIII, y antes de los depósitos calcáreos que sirven de comprobación como los de la célebre fuente de Saint-Allyre, en Clermont-Ferrand, que recuerdan de una manera perfecta la cristalización del mármol estatuario.

A. Daubrée atribuye la formación de minerales

á la acción mineralizadora de las aguas. Estas penetran en la corteza, no solamente en las grietas, pero también en las rocas menos porosas, como el granito, y bien lo sabían los romanos que hacían penetrar líquidos en los ónixes para avivar sus colores.

Cargadas de CO_2 , las aguas desempeñan un gran papel en la formación de los minerales ; y el CO_2 abunda en la naturaleza, sale de los volcanes apagados, de las rocas volcánicas, de las dislocaciones del terreno, como en la ribera izquierda del Weser ; á veces, se encuentra aprisionado en la tierra. En 1855, cerca de Brussac, en Francia, al cavar un pozo y al llegar á 200 metros de profundidad, se produjo una violenta explosión de gas CO_2 .

Las aguas filtran á través de la corteza terrestres, cargadas de CO_2 , de sales diversas ; se ponen en contacto con rocas que han conservado su calor primitivo ; circulan en paraclases que permiten su descenso. Se calientan en las profundidades y vuelven á la superficie por otras paraclases ascendentes, que con las anteriores forman especies de sifones naturales, por efecto de una presión hidrostática, variando en su ascensión, en temperatura y presión. El calcáreo disuelto por el gas precipita para formar yacimientos ; á veces, forma una roca verda-

dera, como el *travertino* ó piedra de Tivoli, tan útil en Roma para las construcciones.

Igual origen tienen las *estalagmitas* y *estalagmitas* de nuestras grutas. La forma de pisolitas que afectan se parece á los pequeños esferoides de cal carbonatada que se depositan en las fuentes termales de Carlsbad.

Dice Daubrée: «...¿no puede decirse que todos los minerales han sido producidos en rocas incompletamente enfriadas, por la reacción química de aguas calientes ó tibias, que se infiltran fácilmente, merced á una textura eminentemente permeable y cuyos zoolitos, verdaderos parásitos, trazan seguramente los antiguos itinerarios?», y el sabio geólogo apoya su aserción en el ópalo translúcido é incoloro, como gotas de rocío, en la calcedonia, en la cristianita, encontrados en los tejidos de ladrillos de origen romano y formados por el agua, lentamente, incesantemente, sin necesidad de temperatura elevada; en la substitución del carbonato de calco por el cuarzo, en las conchas y pólipos de los terrenos sedimentarios que han conservado sus formas primitivas; en las dendritas, de apariencia de musgos, notables en la ágatas arborizadas, que son producidas por el agua que sube en hendiduras delgadas, por capilaridad, depositando óxido de manganeso.

El acción del agua es notable en los mármoles venados. La masa amorfa, por influencia de acciones mecánicas presenta hendiduras que se cruzan en todos sentidos, en las cuales las aguas dejan precipitar el CO_3Ca purificado por la cristalización, que tenían en disolución. El aspecto elegante que presentan es debido pues á venitas de CO_3Ca cristalizado en una masa amorfa. Se observan con abundancia en las regiones dislocadas de los Alpes.

En las rocas eruptivas las aguas han formado en los zoolitos, cristales límpidos de espato de Islandia, al cual la Física debe los descubrimientos de la doble refracción y de la polarización.

Según Daubrée, el agua es uno de los factores esenciales del metamorfismo. Las partes sedimentarias en contacto con las rocas eruptivas presentan á veces efectos menos enérgicos que las partes lejanas, y atendiendo á la poca conductibilidad de las rocas, el calor no es el factor principal. El agua está en todos los poros y bien lo demuestra la clorita. A esa afirmación, Daubrée quiso dar una sanción experimental. Puso agua en un tubo de vidrio, cerrado á la lámpara, el cual colocó en otro de hierro cerrado á la fragua; en el espacio anular puso agua para equilibrar la presión del vapor interior. El aparato se colocó en una espesa capa de arena y debajo de la bóveda de una fábrica de

gas. El agua reaccionó sobre el vidrio y lo transformó en una masa blanca y opaca, parecida á porcelana, en la cual se observaban cristales de cuarzo artificial, aislados ó en geodas, incoloros, límpidos, tanto como el cristal de roca de los Alpes ; de piroxeno, en cristales verdes, brillantes y transparentes. Tales experimentos son peligrosos ; se producen explosiones de gran violencia, los tubos se rompen y los fragmentos son proyectados en el aire con el ruido parecido al de un cañón.

El agua sobrecalentada posee pues una energía extraordinaria, forma y destruye combinaciones ; y en la corteza terrestre donde el calor y las presiones son extraordinariamente elevadas, los resultados de su acción modifican continuamente las rocas. Las vénulas de cuarzo en los cuarzitos, los filones de donde se extraen las célebres esmeraldas verdes del Perú, asociadas con cuarzo cristalizado y calcita, deben considerarse de origen acuoso. Y la naturaleza, como lo dice Daubenton, posee todos los medios y todas las circunstancias que se relacionan al tiempo y al espacio.

Algunas rocas de origen sedimentario presentan algunos caracteres de las rocas eruptivas ; conservan la forma estratificada pero presentan silicatos anhi-

dros y cristalinos que no contendrían si no hubieran sufrido ciertos cambios. Esas rocas llámanse metamórficas. Ese doble carácter de eruptiva y de sedimentaria fué explicado por Hutton, el célebre jefe de la Escuela escocesa ; lo consideraba producido por la transformación de las rocas por medio del calor. La presencia del calcáreo en esos terrenos hacía presentar la objeción que el carbonato hubiera perdido su CO_2 reduciéndose á cal cáustica. Su eminente discípulo James Hall quiso destruir la objeción y dar á la nueva teoría una base experimental. En 1790, hizo su célebre experimento calentando tiza en un vaso cerrado ; la tiza se ablandaba sin descomponerse, sufriendo una transformación molecular y convirtiéndose en mármol. El experimento fué repetido y en varios aparatos ; pero á pesar de su aparente sencillez se necesitaron tres años para realizarlo satisfactoriamente.

Como consecuencia apareció otro factor del metamorfismo, la presión. Las moléculas, por las fuerzas atractivas, adquieren una gran cohesión ; los cuerpos pulverulentos sometidos á grandes presiones se ponen compactos ; á 6000 atmósferas, el sulfuro de plomo pulverizado cristaliza, el sulfuro de zinc adquiere una estructura *sacaroidea* y el sulfuro de arsénico presenta una hermosa forma cristalina.

Según Spring, á esa presión la turba se convierte

en hulla. Las causas del metamorfismo son complejas ; pero en ellas se reconocen tres factores esenciales : el calor, la presión, el agua.

Las transformaciones metamórficas se han producido á una temperatura más elevada que la que reina actualmente en la superficie del globo. El calor propio de la corteza terrestre, la superposición de estratos, han podido recalentar las capas profundas, posteriormente á su depósito ; además las acciones mecánicas originan un calor más inmediato y más general.

Las rocas eruptivas al atravesar las capas sedimentales han creado también centros locales de metamorfismo. Las transformaciones varían según su constitución química ; si es granito, la zona modificada se extiende de centenares de metros hasta tres kilómetros. La tiza del noroeste de Irlanda se ha transformado en la vecindad de grandes filones de basalto pero no va más allá de tres metros.

La naturaleza de las modificaciones es variada hasta el infinito. A veces produce un nuevo arreglo molecular, como en el calcáreo que se convierte en sacaroide y que constituye el mármol *estatuario* ; otras veces convierte el grés en cuarzito ; la lignita, en hulla, en antracita, en grafito. También produce nuevas combinaciones : en los esquistos arcillosos, la estaurótida, la mica ; en los calcáreos, el granate,

el anfíbol, la serpentina, el talco, los zeolitos. En la región de los Vosges, el esquisto arcilloso se ha convertido en pórfiros verdes con feldespato triclinico y anfíbol.

Sin embargo el calor y la presión no pueden explicar los caracteres metamórficos de ciertas rocas sedimentarias, en cuya vecindad no se descubre ninguna roca eruptiva. El proceso de cristalización á la cual los cuerpos tienen tendencia enérgica, pueden resultar también de un trabajo interno, exotérmico, como el que se produce en nuestros laboratorios cuando la masa vítrea y amorfa del As^2O^3 se convierte lentamente, pero progresivamente en una masa porcelánica y cristalizada. Los mármoles argentinos de Córdoba, reputados como metamórficos, pueden citarse al respecto. Dice Bodenbender que falta la roca eruptiva de contacto.

A. Daubrée admite las acciones hidrotermales como agente auxiliar del metamorfismo, especialmente en los casos donde el calor no ha tenido influencia. Cita la presencia del granate, del piroxeno, del feldespato, del albita, en calcáreos sedimentarios que á veces se han poco modificado. La presencia del grafito en calcáreos, los cuales reaccionan á alta temperatura, conduce M. Bischof á iguales conclusiones que Daubrée.

En Kaiserstuhl, en el gran ducado de Baden, una masa de calcáreo arrancado por el basalto presenta una estructura lamelosa. Antes que la dislocación del terreno la descubriera estaba sometida á las acciones de las aguas calientes que impregnaban el basalto, bajo presión, puesto que se encontraba á cierta profundidad. El calcáreo, rico en minerales, de la Somma y del Latium, se ha transformado en las capas profundas ; pero cuando la dislocación, los agentes de transformación se escaparon y cesaron los fenómenos de cristalización y de combinación.

Daubrée atribuye al agua el papel de gran agente mineralizador, como ya se ha dicho, y sus célebres experimentos confirman sus inducciones ; pero en el caso de Kaiserstuhl se podía discutir la acción exclusiva del agua. El foco de calor producido por el basalto puede haber producido los mismos efectos que en el calcáreo de Irlanda, que ya hemos citado.

Es indudable, que el agua tiene un papel esencial en el metamorfismo ; se encuentra en todas las rocas, como agua de constitución ó absorbida por los poros, porque los cuerpos que nos parecen más compactos dejan penetrar el líquido por capilaridad. El caso puede observarse en la coloración artificial de la ágata. El experimento del vapor de agua so-

bre el vidrio demuestra que una pequeña cantidad de agua puede producir efectos físicos y químicos sorprendentes ; y en las profundidades de la corteza puede alcanzar á centenares de atmósferas de presión, con una elevada temperatura y originar transformaciones imposibles de imaginar por su energía y su magnitud.

Daubrée resume en tres acciones el papel del agua en las rocas eruptivas :

1º Llegando combinada á las rocas produce su estado de blandura, en concurrencia con el calor.

2º Desprendiéndose de esas rocas, á medida que se consolidan, atraviesa y metamorfosea las rocas vecinas.

3º Escapándose á veces hasta la superficie del suelo, al estado de vapor ó bajo la forma de fuentes termales, es un agente poderoso de modificación de las rocas.

Esa discusión crítica sobre la formación de los minerales nos permite ir de lo general al particular, ó sea de todas las especies al *mármol*. La solución

del problema es ardua porque la naturaleza llega al mismo fin por diversos procedimientos.

Según este estudio y considerando su carácter geológico, el mármol puede dividirse en: 1º *mármol sintético ó arcaico*, como el cipolino de Lahoussa ó el mármol de Auerbach ; se encuentra en el gneis ; 2º *mármol metamórfico ó sedentario*, que proviene de los calcáreos formados por reacciones químicas ó por la actividad orgánica, bajo la influencia del metamorfismo, como el mármol de Carrara y las lumauquelas.

Las variedades de mármol son infinitas, por su constitución química, por la asociación de colores y la riqueza de tintes y la complejidad de su estructura. Las clasificaciones propuestas hasta ahora pueden considerarse empíricas porque se basan solamente sobre su situación geográfica, ó sobre su utilidad en las artes y las construcciones, ó sobre sus correlaciones petrográficas.

Para establecer el orden de mi estudio y poder conservar la armonía en todas sus partes, he agrupado los mármoles basándome en la *morfología interna y en la constitución química*, tanto como pueda permitirlo la complejidad de su composición.

CLASIFICACIÓN DE LOS MÁRMOL	1. Mármol simples..	a) mármol estatuario	Blanco claro Blanco común Blanco azul.
		b) mármol de ornamentación	
	2. Brechas	a) Brechas propiamente dichas	
		b) Brocatelas	
		c) mármol tuberculoso	
		d) mármol pudinga.	
		a) rojos	
		b) amarillos	
		c) negros	
		d) ruiformes	
3. Mármol compuestos	e) cipolinos		
	f) verde antiguo		
	g) mármoles espáticos.		
4. Lumaquelas.....			

CAPITULO IV

1º MARMOLES SIMPLES — Son mármoles blancos constituídos por carbonato de calcio más ó menos puros. Se llaman sacaroides por el aspecto de azúcar que á veces presentan. Es el tipo más perfecto y es empleado en el arte estatuario.

De ellos, Quenstedt ha dado una hermosa comparación : « *el mármol es á la cal carbonatada lo que la nieve es al hielo* ».

Los mármoles simples más célebres son los de *Paros*, de grano grueso, y de *Carrara*, de grano más fino.

Los *mármoles de Grecia* fueron célebres. Los de *Paros* se extendían en casi toda la isla del mismo nombre ; actualmente se consideran agotadas las canteras. Son lamellosos, blancos y translúcidos.

Los del *Monte Pentelés* situado en el norte de Atenas, fueron empleados para el Partenón y la Acropola, cuyas esculturas constituyen el más alto

exponente del genio estatuario antiguo. Eran reputados por la suavidad de su tono anaranjado y verdoso.

Los grandes artistas griegos abandonaron el hieratismo de los orientales y la característica rigidez de las obras de arte esculpidas en piedra, de tono mate y de superficie áspera. Soñaron con representar la elegancia de las líneas, la expresión en el gesto y el sentimiento en la actitud. Quisieron dar á la materia, movimiento, calor, vida. En el mármol citaremos : las *Bacantes*, las tres *Musas*, la blandura, el fino pulimento que necesitan el desnudo y la morbidez de las carnes. El *Torso* del *Belvedere*, en mármol pentílico, esculpido por Apolonio, fué admirado por Miguel Angel y Rafael ; es un admirable y prodigioso estudio de anatomía.

Con mármol pentílico, Fidias y el arquitecto Ictinos, hicieron esas maravillas del Partenón, hoy dispersas en los museos, principalmente en el Británico, en el Louvre y en el Vaticano. Con el mismo mármol citaremos : las *Bacantes*, las tres *Musas*, las imágenes de los *doce dioses* esculpidos de relieve sobre la base de un trípode, el río *Tiber* con alegoría, la estatua de la *Tragedia* que es una imitación del arte griego del tiempo de Adriano.

Con mármol de Parós, citaremos : la *Diana* de Versailles, admirable por la elegancia de sus líneas.

y la gallardía de sus formas, y la *Diana* de Gabies, notable por la belleza de la ejecución; el *vaso de Sosibios* que representa un sacrificio báquico en figuras de relieve; el *Mercurio del Belvedere*, llamado también *Antinoo* y el admirable grupo de *Laoconte*, llamado el « Milagro del Arte » por Miguel Angel.

Las islas de Naxos, Tenos, Lesbos, Chio, etc., poseían mármoles apreciables. Un bajo relieve de mármol de Tasos que se conserva representa imágenes de dioses, de las Gracias y de las Ninfas. La célebre *Venus de Milo*, una de las joyas del Louvre, es de mármol coralítico de la época de Praxiteles.

El viajero que visita á Grecia, delante de los edificios mutilados, las ruinas, los bloques de mármol esculpidos dispersos, después de meditar sobre la fragilidad de los imperios, no podrá menos que admirar á la Naturaleza, que como ha dicho un autor, ha querido reunir en un rincón, debajo de un cielo maravilloso, grandes hombres, grandes artistas y la más hermosa materia que pueda transmitir á la posteridad la gloria de unos y el genio de otros.

—

Italia fué la heredera directa del arte griego, porque su suelo ofrecía un mármol tan hermoso como el de Paros.

Es el país del mármol. Del norte al sud de la península, los Alpes, los Apeninos, la cadena litoral, encierran todas las variedades. Lo emplearon con profusión y lo demuestra la frase atribuída á Augusto: « He hallado una Roma de arcilla ; yo dejaré una Roma de mármol ».

Actualmente los mármoles de *Carrara* son los más renombrados, por su grano fino, por su transparencia que imita en algo la de la carne.

El nombre de la ciudad, *civitas carrarioe*, indica desde ya que antiguamente se explotaban sus canteras ; hasta el carro etrusco que figuraba en su escudo recordaba á los habitantes de la antigua Luna (1). Los Romanos volvieron á explotar las canteras abandonadas cuando empezaron á agotarse los mármoles pentílico y de Paros. En efecto, sobre un bloque de mármol adherente á la montaña, se encontró un bajo relieve representando los tres dioses protectores de los caminos, Júpiter, Hercules y Mercurio ; y en la *Colonnata*, un altar votivo había sido esculpido por orden de Villicus, decurio de los esclavos sometidos al trabajo de las canteras. Con ese mármol se construyeron después arcos y columnas, símbolos de las victorias y de la grandeza del imperio. Más tarde Pisa vuelve á extraer mármol

(1) Les Pierres, L. Simonin.

para sus monumentos, especialmente en el siglo de León X y en el de Luis XIV.

Las montañas que avicinan la ciudad de Carrara presenta anfractuosidades en donde se encuentran las canteras ; las principales llámanse *Ravaccione*, *Fantiscritti* y *Colonnata*.

Las canteras de Ravaccione dan un mármol estatuario homogéneo, cristalino y puro ; remontando el valle se encuentra Polvaccio, donde los Romanos extrajeron el mármol del Panteón, de la columna Trajana y del arco de triunfo de Tito. De esas canteras salió también el mármol que Miguel Angel empleó para las tumbas de Julián y de Lorenzo de Médicis. Las últimas explotaciones de Ravaccione se encuentran en un paisaje árido, sin vegetación, presentando nada más que calcáreos desnudos, canteras donde se extrae mármol claro, ó venado pasando al azul. En el pie de la montaña se ven aserraderos y « frulloni », para cortar y pulir los bloques. La ciudad de Serravezza está situada en la Toscana, en el confluente de la Serra y de la Vezza ; siguiendo el curso de esos ríos, se ven numerosas canteras en los flancos de las montañas, con sus bloques, residuos, que de lejos aparecen al viajero como un vasto osario. En el valle, los aserraderos y los « frulloni » cortan el mármol y lo pulen, accionadas por ruedas hidráulicas. El horizonte es limitado por al-

tas montañas y el valle es raramente visitado del sol. Algunas encinas, castaños, constituyen toda vegetación. El puerto de embarque de esos mármoles es *Forte de Marmi*.

Remontando el río *Veza*, el mármol presenta todos los colores, desde el blanco claro hasta el azul común (*bianco chiaro, bardiglio fiorito*). Insensiblemente el mármol simple pasa á compuesto.

Todos estos mármoles provienen de la gran invasión marina del sistema jurásico, donde en el medio y supra jurásico los calcáreos se depositan, reemplazando á los sedimentos detríticos, y que provienen directamente ó indirectamente de la actividad orgánica. M. Zaccagna los atribuye al sistema triásico. Como no encierran ningún fósil, ninguna petrificación, la duda queda existente. Si el origen ha sido animal, se concibe que los fósiles han sido deformados, triturados, sin dejar rastros. A esa opinión ha llegado M. Edward Hull después de sus estudios sobre los calcáreos de Cork que contienen fósiles deformados.

Los fósiles deformados, triturados, disueltos, han formado esas montañas calcáreas que por disolución y metamorfismo han tomado la forma cristalina.

El mármol del *Allissimo*, monte de 1.800 metros, en *Serravezza*, es apreciadísimo como estatuario: el grano es homogéneo, cristalino, cerrado, de

quebradura sacaroide. El color es de un blanco mate y cuando pulido, el color es parecido al de la cera virgen. Se deja trabajar fácilmente y el cincel destaca partículas regulares. En la cima del monte, se ven hermosos filones de mármol estatuario; éste se encuentra diseminado en montones limitados en medio de otros calcáreos y no en capas extractificadas. Infiltraciones talcosas ó ferruginosas los separan formando una ganga llamada *madri-machie*. De todos lados, montañas abruptas, precipicios, picos como la Pania y la Corchia que se levantan sobre el horizonte como inmensos panes de azúcar. Aquí se puede observar los efectos del metamorfismo. Las montañas, los valles, con sus precipicios, el suelo desgarrado en mil sentidos, atestiguan la violencia de los agentes ígneos, en las grandes revoluciones geológicas. Las arcillas han sido transformadas en esquistos micáceos ó talcosos, en esteasquistos y en pizarras; se han abierto grietas en las cuales han sido inyectados galena argentífera, sobre gris y muchos otros minerales, ¿y esos agentes ó granitos, pórfiros y serpentinas y otras rocas ígneas, por el calor y la presión, no habrán convertido en mármol, esos inmensos depósitos de calcáreos, acumulado en un estuario del mar jurásico? De esas alturas, se precipitan los bloques de mármol en el vacío; el descenso de esos monolitos, que á veces son bancos en-

teros, destacados de su lecho de cantera, es impresionante. Con la velocidad adquirida, la masa que presenta á veces como 30 metros cúbicos, tritura árboles y bloques calcáreos que encuentra, explotando á veces en pedazos, al llegar en las plataformas horizontales, que se han hecho de distancia en distancia para amortiguar la caída. Se oyen ruidos sordos que repercuten en el valle y se ve desprenderse un polvo ténue parecido al humo de una explosión.

A pesar de las dificultades de explotación que presenta el terreno, las canteras están en plena actividad. En la montaña del Altísimo, las canteras de Falcovaja, de la Polla, de la Vincarella, suministraron el mármol para la catedral de San Isaac, de San Petersburgo ; se encuentra todavía la *cava de Buonarotti*, cantera donde el gran Miguel Angel extrajo mármol, para complacer á León X y hacer competencia á Carrara y que era destinado para las tumbas de Julio II y de los Medicis, que no se concluyeron por la muerte de León X. Más tarde, Cosme I de Medicis exigió que se empleasen mármoles de Seravezza para las obras de arte de Florencia, con exclusión de los de Carrara.

Para la estatua del Dante, erigida en la misma ciudad, se extrajo de la Polla un bloque de mármol que pesaba 80.000 kg.

Siguiendo el curso de la Versiglia, formada por la Serra y la Vezza, se llega al puerto de embarque de los mármoles ; en el valle, á la izquierda se hallan mármoles, y á la derecha, esquistos de formas desgarradas y extrañas, parecidos á viejos castillos en ruinas.

Massa está rodeada de montañas, Monte Sagro, Monte Brugiano, Tambura, Penna-di-Sumbra, que son paralelas á la costa ; de los contrafuertes de esos Alpes litorales se extraen mármoles blancos y venados. El Frígido, el río que baja de las montañas, corre entre orillas de calcáreos, arrastra bloques y luego más tranquilo atraviesa la llanura y se pierde en el mar. Las canteras de *Campiglia*, en la Maremma toscana, han sido explotados por los Etruscos y por los Romanos ; el mármol estatuario es quizás más bello que el de Carrara ó de Serravezza, porque recuerda el mármol de Paros, por su textura lamelosa, por la translucidez de sus bordes y por la flexibilidad que tienen las caras.

En resumen, todas las canteras están en un vasto contrafuerte de los Alpes apuanos que corren paralelamente al mar. El mármol estatuario reúne las siguientes propiedades «estructura cristalina sacaroidea, homogeneidad, flexibilidad bajo los golpes del cincel ; blancura absoluta y con ligera tendencia al lácteo, al ebúrneo, ó al color de la carne, más bien

que al azul, sensible transparencia ; inalterabilidad casi completa á la acción de los agentes atmosféricos. Peso específico medio = 2.5 á 2.6 ». La estructura es sacaroidca en los mármoles de Carrara y otros yacimientos de los Alpes Apuanos ; es lamelar, como en el de Paros y en los de Grechetto y de Compigliese, en Toscana ; es céreo, en ciertos mármoles inferiores, como en los de San Giuliano, cerca de Pisa.

El mármol de Crestola tiene la propiedad de emitir sonido metálico, cuando se le pega un martillazo, propiedad que ha hecho llamar mármol *campanino*.

En el de Bettogli, la flexibilidad se pone de manifiesto, apoyando oblicuamente tablas y varillas marmóreas en las paredes ; dejándolas, con el tiempo se las ven incurvarse.

Variedades --- A la derecha del río Vezza se encuentran numerosas canteras donde se explota el mármol blanco ordinario, empleado para la ornamentación. El color recorre todas las gamas, porque la naturaleza no hace divisiones, desde el *blanco claro* hasta el azul común ó *florido*, *biancho chiaro*, *bianco ordinario*, *bardiglio comune*, *bardiglio fiorito*. En esos mármoles, las materias bituminosas están diseminadas en manchas oscuras ó de una manera uniforme ; y en los mármoles floridos, en filamentos reticulares que le dan un lindo aspecto. Se

puede atribuir su origen al depósito de substancias vegetales, mezcladas á los calcáreos; de las difusiones é infiltraciones, dependen las variedades de colores y de dibujos.

En el *bardiglio común*, el color es céreo y uniforme; en el *bardiglio azulado*, el color varía del tinte azulado al azul cargado; en el *bardiglio fiorito*, el pulido da al mármol un bellissimo aspecto, con sus ondulaciones, sus paisajes elegantes que varían según la disposición de la tabla. La estructura va del sacaroide al céreo y algunos son campaninos. Los yacimientos más conocidos se encuentran en Serravezza (Capella, Costa, etc.), en Massa (Forno, etc.), en Carrara, (Misceglia, Zampone, Piastrone, etc.), y en Stazzema, donde en Luchera y Molina se encuentran las más ricas variedades.

A ese tipo de mármol pueden referirse el *gris de Verona*, el *gris de Asturias*, los *cenicientos* de Castilla, Mancio, Extremadura y de Bayreuth.

Una variedad, de color *pardo*, dendrítica, de Vossingen, es notable por su campo gris obscuro que pasa al pardo y en el cual se observan fósiles de crinoides. También se puede incluir en el grupo de los *bardigli*, el mármol de Namur, en Bélgica.

Todos esos mármoles empléanse para construir chimeneas, pilones de fuente y todo lo que se relaciona á la ornamentación.

En los Pirineos, el *mármol de Saint-Béat* goza de una fama merecida ; los Romanos lo explotaban para la decoración de sus palacios y termas ; de las canteras de Campany de Sarrancolin, Francisco I, Enrique IV, Luis XIV, decoraron los palacios del Louvre, de Versailles, del Trianón y de Fontainebleau.

Los mármoles de Africa hacían competencia á los de Grecia, durante el tiempo de los Romanos ; en *Simittus* había canteras de mármol amarillo y rosado, conocido actualmente con *mármol de Chemton*, que gozaban de gran fama un siglo antes de Jesucristo. En las investigaciones arqueológicas que se han efectuado, en las ciudades desaparecidas debajo de las arenas, se han hallado pórticos y columnas que presentan los caracteres de dichas canteras. Cerca de Philippeville (Argelia), los *mármoles de Filfila* son de una rara belleza.

2º BRECHAS — Las brechas son á los mármoles lo que el pórfido es al granito. En efecto, el pórfido es granito ó sea, cuarzo, feldespato y mica, diseminados en una masa feldespática que desempeña el papel de cemento.

Las *brechas* son fragmentos angulosos de carbonato de calcio unidos entre sí por un cemento calcáreo ; son llamadas *brocatelas*, cuando los fragmentos son pequeños.

Quizás la más apreciada es la de *Rondone*, conocida en las artes y en el comercio con el nombre de *Serravezza* ; recibe un hermoso pulimento y presenta una infinidad de tonos, dominando el rojo, el blanco, restos de rocas eruptivas verdosas, soldados por un cemento ferruginoso de color amarillo ó rojizo. Todos esos elementos, de distinta época, de distinto origen, fueron arrastrados por los grandes ríos, por los torrentes antediluvianos, de infinita potencia, siendo triturados, pulverizados y llevados en un medio acuoso de relativa tranquilidad ; ora en un lago, en un estuario, ora en los bordes de un golfo de los mares prehistóricos. Han precipitado en ese medio salino, y la arcilla con los óxidos de hierro y de manganeso han formado un cemento que ha aglutinado todas sus partes. La hematita y la limonita, con sus numerosas variedades, dan los colores del pardo al rojo sangre ; y la manganita y demás combinaciones del manganeso suministran el color gris hasta el pardo oscuro. Por lo tanto la formación del mármol brecha puede compararse relativamente á la fabricación moderna de un cemento.

De todas las brechas, quizás la más notable es la variedad llamada por su color, *flor de durazno* ; en Toscana, recibe el nombre de *mischio*, por la mezcla de los elementos que la constituye, ó bien *africana*, por su semejanza á una brecha que los Ro-

manos explotaban en Africa y que empleaban en la construcción de columnas.

Citaremos también: la *brecha de Génova*, oscura, roja y verde; las *coralinas*, de cemento rojo, como la de Tivoli que es policrómica; la de *San Gregorio*, cuyos fragmentos blanquecinos son fosilíferos y la *carnina* (variedad dicha de Mandorlato de Castro Bergamo), con fragmentos rosados, ó pálido blanco, ó encarnado rosado, que se encuentra también en Toboso de la Mancha (Andalucía); la brecha *ombrata* tiene fragmentos calcáreos nummulíticos sobre cemento rojo.

En la Edad Media y en el Renacimiento, el mármol brecha fué muy apreciado; las iglesias de Italia lo elegían para construir sus altares, sus frontones y sus columnas, por la variedad de sus tonos y la hermosura de sus dibujos. Versailles, el Louvre, lo emplearon para construir columnas, escaleras y balaustradas. Pero es en Florencia quizás donde se puede observar los más artísticos trabajos hechos con brecha. Tablas marmóreas se han cortado en partes simétricas y se han unido con armonía de tintes y de dibujos, como si fueran láminas de ébano; son notables al respecto los dos obeliscos de la plaza Santa María. Desgraciadamente los colores no pueden conservarse cuando la brecha está expuesta al exterior; el aire, los agentes atmosféri-

cos la degradan, haciéndole perder su hermoso aspecto.

Ese aspecto tan singular de los dibujos que representan ruinas y paisajes había llamado la atención de los estudiosos de la Edad Media. En uno de esos libros, que nos han sido transmitidos, interesantes por la candidez del concepto, por la sinceridad del pensamiento constituido por una mezcla de supersticiones y de rudimentos científicos, el « *Mundus subterraneus* » del Padre Kircher, se puede observar un aspecto de brecha, bajo la forma de una ciudad, con sus campaniles, sus torrecillas, etcétera.

Como variedades de los mármoles brechas en cuanto al aspecto y magnitud de los fragmentos, citaremos:

a) Las *brocatelas*, de fragmentos pequeños y angulosos, como las de Tortosa, de color rojo anaranjado y amarillo; de Besagio, rojo claro jaspeado; de San Jorge (Veronese), rojo manchado; de Arzo (Tecino), rojo venado y jaspeado brechiforme. Los mármoles grises y amarillos jaspeados encarnados, con manchas negras, rojas, grises, etc., y los de Baden podrían incluirse en ese mismo grupo.

b) El *mármol tuberculoso* se compone de fragmentos nodulosos, en forma de tubérculos, reunidos por el cemento calizo.

c) El *mármol pudinga* es formado por fragmentos redondeados, en forma de guijarros.

3º MARMOLES COMPUESTOS — En las brechas, el cemento es calcáreo ; en los mármoles compuestos lo que llamamos cemento, está formado de sustancias de diferente naturaleza química, que por sus distintas propiedades presentan infinidad de colores y por su disposición, variados dibujos, puntos, rayas, venas, bandas, islotes, que dan al mármol pulido hermosísimos aspectos.

Esa infinita variedad de colores y de dibujos originan lógicamente infinidad de variedades de mármoles. Entre los más importantes ó los más conocidos indicaremos los siguientes :

a) *Mármoles rojos* — El *rojo antiguo* ó alabándico puede tomarse como tipo. Tiene una estructura muy fina ; su color es de un rojo de hígado con tendencia al purpúreo. La presencia de las pizarras, diseminadas en manchas, en puntos, en líneas reticulares, ondulosas, muy delgadas, le dan un hermoso aspecto por sus dibujos y colores. Los Romanos lo apreciaban mucho. Los Faunos de los museos del Capitolio y del Vaticano pertenecen á ese mármol.

El *rojo de Verona* (ó de S. Ambrogio in val Policella) es un mármol ammonitífero, de color rojo vivo, con tonos al rojo cobre, al sanguíneo, al encarnado claro.

El *rojo de Siena* (ó de la Guaraldesca), el *rojo de Monsummano*, el *rojo de la Corchia* (Alpes Apuanas), el *rojo Caldana* (Campilla marítima), el *rojo de Velino*, presentan bellas tintas, calientes, vivas, con manchas más ó menos claras; el *rojo de Assisi* (Perugia) presenta una tinta más pálida, rojo obscura con manchas encarnadas; los *rojos de Ardesio* tienen venas y manchas color ceniza. En Francia, son muy apreciados los *mármoles griotas*, de Cabrières, de Cannes, de Corbières, de Campan. En España, los mármoles rojos se encuentran en Segovia, en Málaga; su tinta tira al vermellon, salpicado con manchas amarillas y rojo oscuras. Son también notables los mármoles rojo venados de Vizcaya y de Valencia.

El *encarnado de Trapani*, es de tinta encarnada, lívida, uniforme; el *encarnado de Riesi*, es pálido, con venas y manchas, de color obscuro, encarnado, blanco.

Como se ve, entre el rojo antiguo y los rojos ammonitíferos citados, se encuentran mármoles con todas las tintas del rojo. Además, citaremos unos mármoles del mismo tipo, pero de estructura microcrista-

lino, *rojos de Porta Santa*, blancos lívidos ó rosa pálido, jaspeados en su conjunto ; venas de color pardo obscuro, blanco espático, brechiforme ; el *rosa de Rosaro* (Veronese) posee venas y fajas blanquecinas irregulares ; de fajas blancas es también el *rojo de Amelia* y venado el *rojo de Spoleto*.

b) *Mármoles amarillos* -- Se puede tomar como tipo el *amarillo antiguo*, líbico ó numídico. El color no es uniforme, porque el amarillo presenta variadas gradaciones, amarillo miel,, amarillo canario, anaranjado, leonado, etc. Líneas y venas obscuras ó azuladas dibujan redes que hacen pasar el mármol al brocatela de Siena, donde las redes violetas forman hermosos areolos.

El *amarillo de Siena* tiene una estructura granulosa ó ceroide ; adquiere un hermoso pulido. Es abundante en Montarrenti, Spannocchia, Gallena, Reniere, en la montaña senesa.

El *amarillo de Verona* ó de San Jorge tiene un color amarillo dorado ; y á pesar que sus tonos sean menos vivos y brillantes que el anterior es muy empleado en las iglesias del norte y centro de Italia.

El *amarillo D'Albirone* (Veronese) presenta manchas grises, azuladas, sobre campo amarillo ; el *amarillo de Nembro* (Bergamo) es amarillo obscuro ; el *amarillo de Pore* (Bassano en Vicentino) es de as-

pecto concrecionado y el amarillo presenta fajas y venas entrelazadas ; el *amarillo de Vulture* (Foggia) comprende muchas variedades alabastrinas, con dendritas ruiniformes, que le dan un aspecto policrómico ; el *amarillo tigrado* (Corinzio) es un mármol antiguo, llamado tigrado por las manchas que resaltan sobre un campo más claro.

En España, esos mármoles se encuentran en sus diferentes variedades en Castilla, Aragón, La Mancha, Cataluña, Asturias y León.

c) *Mármoles negros* - El mármol *negro antiguo*, muy apreciado de los Romanos, procedía según se admite de Aix-la-Chapelle. Es de estructura compacta y de grano muy fino. El color negro, morado, á veces es surcado por venas capilares blancas. Su aspecto es hermoso cuando pulido. Los mármoles *negros* de Bélgica (Dinant) son muy empleados, como también los llamados *negro de España* (Asturias y Córdoba) ; el *negro de Bayreuth*, el *negro tabacchino listato*, antiguo, notable por sus zonas paralelas negras ; el *negro africano*, parecido al anterior ; el *negro de S. Gallo* (Sicilia). El *Grand* y *Petit deuil*, de Francia, que se caracteriza por la presencia de fragmentos blancos, diseminados en confusión, sobre campo negro (Ariège, Aude, Bas-

ses-Pyrénées). Sin embargo, en el «pequeño antiguo» la distribución es casi uniforme.

El *occhiadino de Valcamónica* (Brescia) presenta manchas blancas sobre fondo negro; en el *blanco y negro de Varenna* (Como), venas largas, blancas, lácteas, cristalinas, cruzan el campo negro.

En los mármoles negros, incluiremos el célebre mármol *portor* que presenta venas amarillas y doradas sobre un fondo negro, y que pulido presenta un hermoso y extraordinario aspecto.

d) *Mármoles ruiniiformes* — Son mármoles de naturaleza calcárea-arcillosa, que por contracción se formaron en ellos hendiduras en todas direcciones, en las cuales penetraron infiltraciones ferruginosas. Estas por sus diversos tintes dan á la roca un aspecto irregular, representando dibujos de un edificio ó de una ciudad en ruinas. El aspecto es parecido á un mármol brecha. Uno de los más notables es el *ruiniiforme de Florencia*.

e) *Mármoles cipolinos* — Los cipolinos son caliza sacaroide blanca mezclada con pizarra talcosa verde, que presenta venas, zonas blancas y verdes. «Ofrecen un campo blanco ó blanco lívido ó verdoso, con venas y retículos, ondulaciones evaporadas de color verde mar, más ó menos cargados, á los

cuales alguna vez, se añaden líneas, rojizos y amarillo obscuro». En Italia, se encuentran cipolinos, asociados con otras lindas especies, aptos para recibir hermoso pulimento y presentar un aspecto agradable.

El arte italiano lo ha empleado mucho en las construcciones de los santuarios y de las iglesias. El pórtico de San Pedro, las decoraciones del nuevo brazo del Vaticano, las bases de los grandes pilares del santuario de la Madona de S. Lucca, cerca de Bolonia, las famosas columnas del templo de Giove, en Pozzuolo, han empleado el mármol cipolino que se manifiesta por sus hermosos colores verde-marino.

Recordaremos que en el terreno arcáico, hemos mencionado varios cipolinos : de la altiplanicie central, de los Vosges, de Louhoussa, de Baviera, del Simplón, de España (Robledo de Chablela, en Castilla).

ÿ) *Verde antiguo* — Este nombre de mármoles verdes pertenece al mármol mezclado con serpentina. A este grupo corresponden el *verde Egipto*, el *verde Campan*, cuyo tipo más notable es una calcita color de rosa y el *oliva sanguíneo*. El verde antiguo formado de mármol sacaroidea con fragmentos irregulares de serpentina se explotaba en Tesalia.

g) *Mármoles espáticos — Alabastrós calcáreos.*

Se originan por concreción semejante á las estalagmitas. Aunque fibrosas, su espesor permite referirse á formas prismáticas. Su transparencia es muy grande y su aspecto recuerda á ciertos mosaicos por la disposición de las zonas concéntricas, fajas y rayos divergentes. Dominan los colores amarillo obscuro, amarillo de miel, rojo sangre; son raros el amatista y el verde y muy raro el incoloro. A veces tienen aspecto de ágatas por la gradación de colores y las lindas irizaciones producidas por la unión de los cristales contiguos á los planos de clivaje.

El más renombrado es el *alabastro oriental* ó de *Egipto*, tan conocido de los antiguos. Los mármoles *ónices* de Argelia, cristalinos y concrecionados, son duros, tienen fina estructura y reciben un hermoso pulimento. En Tecall (Méjico) se encontró un alabastro blanco lechoso, amarillento y verde pálido. En Italia, los yacimientos más conocidos son: Mobbello (Acqui), Busca (Cúneo), Garesio (Mondovi), Ameglia (Génova), Lovere, Aviático, Breno en el Bergamasco, Udine (Veneto), San Giuliano (Pisa), Castelnuevo dell'Abate, Tivoli, Civita-Vecchia, en Basilicata, Laguna (Sicilia), Trapani de Palermo.

En este grupo incluiré los mármoles *ónices* de la Toma (San Luis) y de San Rafael (Mendoza).

4º LUMAQUELAS — Cuando el calcáreo está formado en su parte esencial por fragmentos de conchas y otros fósiles, se llama *lumaquela*. La posición de los fósiles en el cemento que los agutina es variada al infinito; y cuando se talla y se pule, resultan dibujos de mil caprichos é irrisaciones amarillas, rojas, de «cuello de pichón», etc. Cuando las conchas fosilíferas han conservado el nácar y su brillo natural, la lumaquela es llamada *noble*.

Las más apreciadas son las de Astrakan con manchas de color amarillo sobre fondo pardo; la opalina, de Carintia notable por los reflejos irisados de diversos colores donde predomina el rojo.

La lumaquela de Narbona presenta manchas blancas sobre fondo negro.

El *mármol negro carbonífero* puede considerarse como una lumaquela, por los cortes de conchas y fósiles que contiene. Su color negro y su olor aromático provienen de las substancias orgánicas y bituminosas que contiene. Los más estimados son los *mármoles del Hainaut*, empleados para fabricar lápidas, mesas, chimeneas, etc.

El *negro antiguo* ó paño mortuorio puede considerarse como lumaquela; á pesar de presentar un color uniforme se observa de cerca la presencia de fósiles.

CAPITULO V

MÁRMOLES ARGENTINOS

En *Córdoba*, «las calizas granulosas (mármoles) están intercaladas en completa concordancia entre el gneiss y las rocas anfibólicas, formando depósitos de un ancho no muy considerable, pero muy extendidos (á veces alcanzando kilómetros), en dirección norte sud y propagados en forma paralela por toda la sierra, excepto en la del Norte (Sierra de San Pedro)» (1). Los bancos, á veces, alcanzan un gran desarrollo, por la desaparición de las rocas interpuestas (Malagueño, Mal Paso).

La pizarra anfibólica ó roca diorítica pizarreña está en contacto con los mármoles, á veces, se observan el gneiss, pero no se ha observado el granito, á pesar que los filones de pegmatita abundan en la

(1) Doctor Guillermo Bodenbender.

sierra. Las rocas interpuestas pertenecen á las pizarras anfibólicas, gneiss y pegmatita; y tanto la mica magnésica y la potásica, el anfíbol y otros minerales están agrupados dentro de las calizas, en zonas, alternando con bancos de caliza pura, todas paralelas á los planos de las rocas de la caja. Las calizas aparecen así muchas veces como estratificadas, lo que, en particular, salta á la vista donde los depósitos afloran. En las partes donde los depósitos están en contacto con gneiss, se encuentran, según A. Stelzner, en Malagueño y la Calera (Río 1º), fragmentos de esta roca, de aspecto de rodados de una zona de granate. No hay que confundir con este fenómeno las formaciones concrecionadas; compuestas de feldespatos, mica, anfíbol dentro de las calizas (Malagueño) (1).

En los depósitos de Malagueño, esos minerales se hallan diseminados en las calizas y á veces agrupados en zonas que alternan con las del mármol puro, que son paralelas al plano de la caja.

Las piritas de cobre y de hierro están asociadas generalmente con el granate y la epidote, y se hallan especialmente «en los puntos de contacto de los mármoles con las rocas dioríticas que los inclu-

(1) Dr. G. Bodenbender.

yen. En Achiras, el cuarzo y la actinolita forman una zona entre la caliza pura y el gneiss ».

El grano de los mármoles es muy variable ; en la zona de contacto, el grano es generalmente grueso y en otros depósitos es en casi toda la masa fino ó grueso.

Dice Bodenbender que la estratificación parece faltar en los bancos de caliza pura. Añade que no ha podido observar que la masa se separe ó se raje con mayor facilidad en una dirección dada. En algunos depósitos (Mal Paso, Calera, etc.) existen grietas, sin que pueda constatarse una dirección determinada en ellas. Sobre sus paredes se hallan muchas veces, cristales de espato de cal y en particular, una grieta ha dado lugar á la formación de una caverna con estalagmitas, en San Antonio (Pozo Verde), la Punilla.

El color es variado, raramente blanco de nieve, más bien amarillento, rosado, rojo parduzco, gris, azulado. El cambio de color se observa en unos mismos depósitos, en zonas paralelas.

El color rosado puede atribuirse al carbonato de manganeso ; los colores, azulado y gris, deben originarse por la presencia de sustancias orgánicas, porque desaparecen por el calor. El carbonato de hierro y la serpentina, con sus productos de descomposición, se encuentran mezclados íntimamente con la

caliza. Las infiltraciones ferruginosas forman en la masa, vetas y vetillas, pardas y rojizas.

A veces, al golpear los mármoles por el martillo, desprenden un olor fétido. La inclusión de los minerales en los mármoles produce numerosas variedades que son explotables en la arquitectura. Algunos resisten al pulimento, otros son atacados por el aire, la humedad y demás agentes atmosféricos; se pueden considerar perjudiciales, el feldespató, el cuarzo y la wolastonita; el anfíbol, la augita y otros, á pesar de los inconvenientes que presentan, producen un hermoso efecto por su disposición lineal en la roca.

La explotación en su mayor parte tiene por objeto la producción de cal; á pesar de las variaciones que existen en los mismos depósitos; no es raro encontrar calcáreos con 99 % de pureza. Las investigaciones geológicas no han permitido aún establecer la relación entre la formación y la constitución química. Bodenbender dice que se puede afirmar que en las sierras no se ha encontrado verdadero mármol dolomítico.

Esta afirmación no puede más admitirse porque el análisis de una muestra de Mal Paso me ha dado 17,82 % en MgO.

Ciertos autores han sostenido que el mármol producido por metamorfosis de contacto se caracteriza por la inclusión de ciertos minerales, como

ser : granate, epídoto, vesubiana, ciertas variedades de anfíbol, augita, mica, feldespato, espinela, etc. ; y que el mármol producido por metamorfosis regional contiene cuarzo y anfíbol. En los mármoles cordobeses se encuentran las dos clases de asociación de minerales, pero predominando los llamados de contacto. A esta observación se opone una seria objeción : falta la roca eruptiva de contacto.

Además los minerales están esparcidos en toda la masa de las calizas y concentrados muchas veces, en zonas paralelas á los planos de la caja. Bodenbender admite que en la primera sedimentación (arcillosa, cuarzosa y calcárea) deben haber estado contenidos todos los elementos para la formación de los minerales accesorios, á lo menos en su mayor parte. Esta suposición encuentra su apoyo considerando que los minerales que forman las pizarras cristalinas, producidas esencialmente por metamorfosis de sustancias arcillosas se encuentran también en los mármoles. La presencia de otros minerales accesorios puede explicarse por la acción de las fuerzas metamórficas sobre la masa arcillosa y calcárea.

La formación calcárea cordobesa, presentada por Bodenbender, se comprueba por las observaciones de numerosos minerales expuestos en el museo de Geología de Buenos Aires.

CALCAREOS DE LA CUMBRE

1º Mármol rosado, con fajas de pizarra cristalina ; 2º, calcáreo cristalino, con gneiss, anfíbol y mica ; 3º, mármol azulado ; 4º, calcáreo cristalino con roca de granate, mica, anfíbol y titanita ; 5º, mármol con sienita é inclusión de titanita ; 6º, mármol con gneiss incluido ; 7º, calcáreo cristalino, con vetas de cuarzo, oligoclase, granate y anfíbol.

CALCAREOS DE LA FALDA

1º Calcáreo cristalino, con mica y drusas de manganeso ; 2º, calcáreo marmóreo con vetas de diorita ; 3º, calcáreo cristalino con ópalo ; 4º, mármol gris verduceo ; 5º, calcáreo en brecha de roca de epidota ; 6º, calcáreo cristalino con pegmatita, roca de granate, wollastonita y periclasa ; 7º, calcáreo cristalino, con wollastonita, periclasa, roca de granata, roca de epidota y aplita ; 8º, calcáreo cristalino blanco ; 9º, mármol y ópalo ; 10º, calcáreo cristalino con mica y anfíbol ; 11º, calcáreo cristalino con inclusión de wollastonita, roca de granata y de periclasa ; 12º, calcáreo con titanita cristalizada ; 13º, espato calcáreo, con roca de granata y cristales, diópsido,

topacio, epídota, espinela ; 14º, calcáreo con vetas de aplita diorítica, anfíbol y oligoclasas.

CALCAREOS DE SAN ANTONIO

1º Calcáreo cristalino con wollastonita, roca de granata y periclasa ; 2º calcáreo cristalino con wollastonita, tremolita verde y periclasa ; 3º calcáreo con roca de epídota y de granata, anfíbol y cuarzo ; 4º calcáreo cristalino, con epídota, anfíbol y mica ; 5º calcáreo de grano grueso ; 6º calcáreo colorado, con roca de epídota, de granata, de pizarra anfibólica ; 7º calcáreo colorado, con roca de epídota ; 8º calcáreo cristalino con pizarra de anfíbol y roca de epídota ; 9º calcáreo cristalino con vetas de aplita ; 10º calcáreo con pegmatita ; 11º calcáreo blanco de granos medios con mica ; 12º espato de cal con epídota, granata y cuarzo.

Los mármoles de Córdoba, empleados en la construcción del Congreso, tenían una *densidad* variable : de 2.68 á 2.81, dando un término medio de 2.75.

La *resistencia* variaba entre 377 kg. á 1450 kg. por cm²., dando un término medio de 700 á 800 kg. por cm².

La *absorción* dió los resultados siguientes :

2652 gr. absorbieron :	}	8 gramos en 7 días.
		14 gramos en 28 días.
		24 gramos en 3 meses.

9687 grs. absorbieron :	}	1 gramo en 7 días.
		2 gr. en 28 días.
		3 gr. en 3 meses.

Varios calcáreos de la *provincia de Buenos Aires* han recibido vulgarmente el nombre de mármoles.

La dolomita de la Sierra Baya es conocida en el país con el nombre de *mármol amarillo*. Es dura y por lo tanto ofrece para trabajarla mayores dificultades que el calcáreo, pero en cambio es inalterable al aire. El ingeniero Eduardo Aguirre atribuye su origen á organismos madreporicos « que han formado un atol ó una barra circular alrededor de un cono elevado en el mar ».

En el Cerro Bayo, el *calcáreo negro* es inferior á la dolomita, la cual es recubierta por arenisca. Aparece á veces en la superficie de algunas colinas, con un espesor variable ; en algunas canteras se calcula en unos cinco metros y cerca de Cerro Bayo alcanza á 20 metros. Ese calcáreo tiene un grano fino, es muy compacto y adquiere un pulido fácilmente, pero es más atacado por la acción atmos-

férica que el colorado y la dolomita. La estratificación se observa bien, y cuando presenta grietas, se observan en ellas cristales de calcita y el color característico de óxidos de hierro. Su densidad aproximativa es 2.69, según E. Aguirre; mis ensayos me han dado 2.67.

El *calcáreo colorado* se halla debajo del negro, del cual se encuentra separado por una capa de arcilla, de unos 3 metros de espesor. Presenta una estratificación pronunciada y se puede separar en hojas de poco espesor. Entonces la superficie aparece rugosa y con granos pisolíticos. Por el pulido que adquiere se puede darle el nombre de mármol. Bajo ese nombre se emplea en miles de toneladas por año en los usos arquitectónicos de Buenos Aires, La Plata y demás ciudades de la provincia de Buenos Aires. Su aspecto es agradable: el óxido férrico le da el color rojo, y la calcita y las dendritas de manganeso, con sus vetas, hacen recordar á incrustaciones de algas.

Se explota en la extremidad N.E.; casi á cielo abierto. Su espesor es de unos 8 metros.

El doctor J. Kyle analizó una muestra de calcáreo negro y otra de calcáreo rojo; el ingeniero E. Aguirre analizó una dolomita, un calcáreo pardo amarillento de la sierra de Balcarce y un calcáreo more-

no, veteados, verdosos, de las canteras frente al Tandil, en el Cordón de Sierras de la Tinta.

	Negro	Rojo	Dolomita	Pardo amarillento	Moreno
Insoluble en HCl dil ...	6.15	17.45	9.40	16.40	17.88
CO ² Ca	93.00	80.75	46.20	72.30	39.41
CO ² Mg	0.35	0.60	31.63	0.15	1.27
Oxido de Hierro.....	0.50	1.20	4.30	4.50	4.41
Agua	---	---	4.52	6.10	6.20
	100.00	100.60	99.05	99.45	99.20

El ingeniero Eduardo Aguirre atribuye el horizonte geológico de esas formaciones al período jurásico. Se basa para eso sobre sus analogías con la dolomita, de la Sierra Villicum y de la Zonda, clasificadas por Stelzer como infrasilúricas.

Las minas de mármol *de San Luis*, se encuentran situadas en el noroeste de la estación La Toma (F. C. P.), como á una distancia de 30 kilómetros. La parte explotada se halla á una altitud aproximativa de 1000 metros, rodeados de cerros, áridos y tristes, de constitución calcárea.

En los pies de las lomas corre el arroyo del Pantano, de aguas claras, impregnadas de carbonatos calcáreos.

La mina explotada ocupa un subterráneo de 10 á 15 metros de profundidad, y de 4 cuadras de E. á O. y 3 de N. á S., aproximadamente.

Hace como 16 años que empezó la explotación que sigue con regularidad. Se fracciona la veta por medio de la dinamita y se levantan los trozos por medio de guinches. Los bloques de 2000 á 7000 kg. son acarreados en chatas hasta La Toma, en caminos carreteros abruptos y difíciles.

El mármol es de un color verde apagado con grandes zonas de un verde vivo y á veces claro; también presenta fajas amarillas y negras. Después de pulido presenta numerosas estrías de color marrón y á veces carmín.

En las primeras excavaciones se encontraron fósiles en las masas calcáreas. Dice Valentín: «...En la roca del macizo de San Luis se encuentra el mármol verde de La Toma, conocido en el comercio con el nombre de «onix» de gran importancia. Se trata de depósitos muy modernos, probablemente formados por aguas termales, cuya existencia en la vecindad del cono volcánico del Morro no tiene nada de raro».

He observado una cavidad calcárea, en forma de geoda, cuyas paredes eran formadas de calcita concrecionada y revestidas interiormente de cristales grandes de calcita, observación que comprobaría el

origen dado por Valentín y que permitiría colocar ese calcáreo entre las calizas incrustantes, en los travertinos.

En resumen lo considero como una variedad de *alabastro calizo*.

Citaremos para terminar todavía á Valentín. En la *Era Arcáica*, dice Stelzner, que el macizo granítico de Córdoba es compuesto de gneiss, de biotita, de cuarzo y de feldespato. Los *mármoles*, de extensión limitada, se presentan en bancos, alternando con gneiss normal y cuarcitas. Del *período silúrico*, Stelzner recogió fósiles en la Quebrada de Juan Pobre, de la Sierra de Zonda, provincia de San Juan, más al norte en la falta este de la Sierra de Villicum, con la quebrada de Talacasto, cerca de las minas de Gualilán, en la quebrada entre los pueblos Jáchal y Gaucho, en el Potrero de los Angulos, provincia de la Rioja. En el museo de Buenos Aires hay muestras de mármol aragonita y de mármol ágata, notable por sus líneas reticuladas, coloreadas, debidos sin duda á difusiones é infiltraciones.

En todos los casos de San Juan se trata de yacimientos idénticos de *calcáreos* y *dolomitas*, que encierra una fauna característica de moluscos y que yacen encima de esquistos arcillosos. En la misma

provincia, el *período devónico*, presenta en los alrededores de Jáchal, esquistos y calcáreos.

En la *Era mesozoica*, el cretáceo inferior se encuentra en Salta. Se trata de un depósito de aguas bajas, que se compone de areniscas y conglomerados en la parte inferior y de calcáreos, dolomitas y oolitas margosas en la parte superior.

El más importante es el cretáceo del sud de Mendoza y en la Gobernación del Neuquen. El cretáceo inferior es de facies marina y se compone de calcáreos (en parte casi mármoles), margas con yeso, con fauna variada de amonitas, etc.

En la *Era cenozoica*, los calcáreos y dolomitas ascienden al este de Humahuaca, como á 5000 metros sobre el nivel del mar.

Al O.N.O de la ciudad de Mendoza se levanta el Cerro de Cal; pertenece á una serie de alturas, compuestas de calcáreos y dolomitas silúricas y características para la región entre el 30° y 33° de latitud sud.

Los bancos gruesos y desnudos de vegetación de estos calcáreos y dolomitas empiezan desde el norte en la quebrada de Jáchal y Guaco; componen las precordilleras de San Juan, las Sierras de Villicum, de Talacasto, la sierra de Gualilán y la sierra Chica de Zonda. Al sud de la ciudad de San Juan

reaparecen cerca de Retamito, en el Cerro Blanco, en los alrededores de las Cañadas.

Del departamento de San Rafael proceden los conocidos mármoles verdes, semejantes á los de La Toma (San Luis) y probablemente del mismo origen.

CAPITULO VI

EXPLOTACIÓN DE LOS MÁRMOLES

SU ANÁLISIS

La explotación del mármol en la antigüedad revistió suma importancia y estaba sujeta á las prescripciones de la ley. Una visita á las canteras de Chemton, en Africa, hace conocer cuales eran los métodos de explotación de los Romanos. Se ven bloques rectangulares, al pie de las canteras, aún después de 15 siglos, y en Filfila también se ven los golpes de pica sobre el mármol. Cuando se trataba de columnas, se les daba la curva y el diámetro requeridos, con excepción de un punto por el cual quedaban adheridas á la roca. Después se destacaba por medio de cuñas. Además bloques y columnas recibían inscripciones que indicaban el nombre del emperador romano, el número de extracción, el año, el nombre del taller y el jefe de los trabajos.

En Carrara, donde están en explotación más de mil canteras, el espectáculo es pintoresco ; á cada momento el aire retumba por las explosiones de dinamita que destacan la roca de su lecho, produciendo nubes de polvo y de pedreguillos. Los bloques arrancados son llevados del flanco de la montaña á las estaciones de carga, y de aquí al puerto de embarque ó á la estación del ferrocarril ó bien en los talleres donde se trabajan. El transporte se efectúa por medio de carros arrastrados por bueyes, procedimiento primitivo que data de los Etruscos. Ese espectáculo hace recordar y comprender á Georges Sand cuando dice : « Yo dejaría todos los palacios del mundo para ver una hermosa cantera de mármol en los Alpes ó en los Apeninos ».

El trabajo de extracción se ha ido modificando con los años. Antes cuando el bloque de mármol era libre por sus caras anterior y superior había que abrir verdaderas trincheras laterales y levantarlo después por medio de cuñas y de palancas. Actualmente todos esos procedimientos rudimentarios han sido reemplazados, en las canteras bien organizadas, por perforadoras á diamante negro, por hilo helicoidal, por polea penetrante, etc.

Los útiles adiamantados son especialmente empleados en el trabajo del mármol semi-duro. M. Félix Fromholt ha construído modelos perfecciona-

dos. A pesar de existir muchos tipos, los constructores guardan cuidadosamente el secreto. De una manera general para engarzar un diamante en una corona perforadora se procede de la manera siguiente: se hace un agujero un poco más grande que el diamante en el cual éste se cala con estaño.

La polea penetrante se compone de «un disco de acero de 0.50 m. de diámetro, en cuya garganta pasa un hilo, helicoidal que resalta un poco de cada lado, lo que le permite cavar en la roca una ranura en la cual la polea se hunde».

Para instalar un hilo helicoidal, se emplea tanto la perforadora como la polea penetrante.

El hilo helicoidal se compone de una cuerda sin fin obtenida por la torsión de 3 hilos de acero y que tiene como un medio centímetro de diámetro. Esta cuerda se arrolla de un lado sobre una polea fija sujeta sobre el árbol de un motor y por otra parte sobre la polea móvil de un vagonete tendedor que resbala sobre un plano inclinado de manera de asegurar una tensión constante al hilo (1). Una vez el bloque de mármol en el taller se somete á la acción de la sierra. Dice el mismo autor: En la sierra circular, la lámina de la sierra tiene 2.20 m. de diámetro y lleva 200 diamantes dispuestos: 40 de

(1) E. Caustier.

campo, 80 sobre las aristas y 80 sobre las caras. La lámina gira con 300 vueltas, avanzando 0.30 m. por minuto en la piedra semi-dura d'Enville y de 0.10 m. en el mármol blanco. Para aserrar bloques gruesos, se emplea la sierra de movimientos, alternativas que con 300 vueltas, avanzando 0.30 m. por minuto en la piedra semi-dura d'Enville y de 0.10 m. en el mármol blanco. Para aserrar bloques gruesos, se emplea la sierra de movimientos, alternativas que fué largo tiempo la única en uso. El procedimiento consiste en usar la piedra por medio de arena que se echa debajo de la lámina de acero de la sierra que va y viene lentamente. También se emplea el hilo helicoidal. El bloque á aserrar está colocado en la máquina que comprende cuatro poleas mantenidas por columnas. Un arenero colocado arriba del bloque suministra la arena necesaria para la sierra. El hilo no sirve de vehículo á la arena y el corte se produce por el rodaje de la arena bajo la influencia del hilo que está animado de un movimiento giratorio ».

Se emplea también el bastidor. A lo largo de éste hay sierras paralelas. Uno de los lados está articulado á un eje que recibe un movimiento de vaivén del motor de la usina. La sierra exige mucho tiempo ; generalmente no penetra sino un centímetro por hora.

« Para trabajar las rocas duras, como el granito, por ejemplo, es preferible emplear glóbulos de acero, es decir, pequeños fragmentos de acero que se introducen á lo largo de la sierra, en vez de granos de arena.

En resumen, en la sierra de la piedra es evidentemente el grano de arena ó el glóbulo de acero que usa la piedra, la sierra no siendo sino un vehículo ».

Una vez obtenido las tablas ó los bloques de mármol en el aserradero, se preparan para los usos á que están destinados, chimeneas, rampas, balaustradas, etcétera, y otros trabajos de ornamentación ó escultóricos.

Como las placas presentan una superficie irregular, para darles el liso conveniente, se puede proceder frotando una tabla con la otra, si son de pequeñas dimensiones ; pero si son grandes, se puede emplear una placa de fundición, provista de discos en su superficie inferior y movida por un eje vertical, en movimiento de rotación, que le comunica un desplazamiento circular. Durante la operación se pone agua y arena.

CARACTERES FÍSICOS DE LOS MARMOLES

I.—DENSIDAD

Para determinar la densidad de un cuerpo es necesario determinar su masa M por medio de la balanza y la masa M' de un igual volumen de agua destilada ; la relación nos da la densidad.

Si el cuerpo es voluminoso, se emplea el método de la balanza hidrostática ; si los fragmentos son pocos voluminosos, es preferible el método del frasco ó picnómetro.

A.—*Método de la balanza hidrostática* El pedazo de mármol se coloca sobre uno de los platillos de la balanza y se hace la tara en el otro platillo. Se saca el mármol, reemplazándolo por pesas conocidas P , que representan el peso del cuerpo por doble pesada ; el mármol por medio de un hilo, se introduce en agua destilada y para restablecer el equilibrio es necesario agregar pesas P' , al platillo, que representan el peso de un igual volumen de agua destilada.

La relación $\frac{P}{P'}$ nos da la densidad.

B.—*Método del frasco* -- El frasco de Regnault, de unos 50 á 60 centímetros cúbicos, tiene un tapón

de vidrio esmerilado cuyo tipo más cómodo tiene un tubo capilar.

Los fragmentos de mármol se colocan sobre el mismo platillo que el frasco, lleno de agua hasta la extremidad del tubo capilar y se hace la tara. Se reemplaza el mármol por pesas conocidas, lo que da su peso P , por doble pesada. Se introduce el mármol en el frasco; las pesas que hay que colocar al lado del frasco para restablecer el equilibrio representan el peso P' , de un igual volumen de agua.

La relación $\frac{P'}{P}$ nos da la densidad.

Si el mármol es rugoso ó bien si se presenta en fragmentos, es necesario llevar el recipiente después de la inmersión, debajo de la máquina neumática, para expulsar los glóbulos de aire que han quedado adheridas.

II.—POROSIDAD

Para determinar la porosidad de un mármol se puede emplear dos procedimientos: *a*) sumergiendo en el agua, el mármol y determinando su aumento de peso; *b*) tratándolo por medio de la tinta de anilina que no debe dejar manchas.

a) En este procedimiento se pesa un trozo de mármol (se puede emplear el trozo empleado en la densidad) sea P su peso; después se sumerge en el agua destilada y se deja durante algún tiempo. Se saca y se pesa; sea P' su nuevo peso.

$P'-P$ representará el peso del agua absorbida. Entonces el coeficiente de absorción se representará por la relación $\frac{P'}{P}$.

III. - RESISTENCIA A LA PRESION

La cohesión de las partículas que constituyen los mármoles es variable; se llama tenacidad ó solidez, la resistencia que presentan á su ruptura. Se determina la carga de aplaste y la carga específica.

PRINCIPALES CARACTERES QUÍMICOS DE LOS MARMOLES

I.—ACCION DEL ACIDO NITRICO

El mismo peso de mármol, empleado en la densidad y absorción, se trata por el ácido nítrico. El tiempo que se necesita para la disolución es variable según la naturaleza del mármol.

Esa acción se podría comprobar por la acción de los ácidos carbónico y sulfúrico.

II.—ACCION DEL ACIDO SULFHIDRICO

En un frasco de solución de ácido sulfhídrico, se introduce un trozo de mármol pulido; se deja algunos días. Después de sacarlo y secarlo se establece una escala de colores.

III.—ACCION DEL AIRE Y DEL AGUA

Los mármoles coloreados por minerales ferruginosos, con el tiempo pueden variar de colores. El resultado forzosamente debe ser el de pacientes y muy largas observaciones.

ANALISIS CUANTITATIVO DEL MARMOL

I.—AGUA HIGROSCOPICA

Se pesan 5 gramos de mármol pulverizado y se colocan durante 2 horas en una estufa entre 100° y 110°; se deja enfriar en el desecador de ácido sulfúrico y se pesa. Se repite la operación hasta encontrar dos pesadas iguales. La diferencia entre 5 gramos y la pesada da el agua higroscópica.

II.—AGUA DE COMBINACION Y MATERIA ORGANICA

El ensayo anterior se calienta hasta el rojo incipiente. Se deja enfriar y se pesa. La diferencia de peso nos dará lo que se busca.

III.—INSOLUBLE EN HCl

2 gramos de mármol perfectamente pulverizado se trata 3 veces con 5 cm³ de HCl ($D = 1,12$), evaporando cada vez á sequedad en baño maría. Se agregan 10 cm³ de agua ; se calienta, se filtra y se lava. El líquido filtrado (L) se reserva. El filtro con lo insoluble se seca, se calcina y se pesa : la diferencia de peso dará lo que se busca.

IV.—HIERRO Y ALUMINIO JUNTOS

El líquido (L) se divide en dos partes (A, B).

La parte (A) se trata por el Cl (NH⁴) y NH³ ; se hierve hasta que apenas se noten los vapores amoniacales, el precipitado se filtra y lava. Como el precipitado podría contener cal, magnesia y óxido salino de manganeso, se redisuelve en HCl y se vuelve á precipitar. Entonces se seca, se calcina, se enfría

y se pesa. El resultado nos dará Fe^2O^3 y Al^2O^3 . El líquido filtrado (L') se reserva.

V.—HIERRO Y ALUMINIO POR SEPARADO

La parte (B) se trata por el Cl (NH^4) y NH^3 ; el precipitado filtrado se lava y se trata con HCl diluído. Se lava el filtro y el líquido filtrado se calienta. Se añade K-OH en exceso para disolver el aluminio. Se filtra; el precipitado se seca, se calcina y se pesa. Tendremos Fe^2O^3 ; y la diferencia nos dará el peso del Al^2O^3 .

VI.—MANGANESO

El líquido (L') se trata por el S (NH^4)²; se filtra y se lava. El líquido de lavaje (L'') se reserva. El precipitado se trata con HCl diluído que lo disuelve; se neutraliza con CO^3Na^2 y se agrega Na (OH) en exceso. El precipitado se calcina y se obtiene Mn^3O^4 .

VII.—CALCIO

El líquido (L'') en caliente, se trata poco á poco con oxalato de amonio en exceso; se deja reposar

12 horas. Se filtra, se lava, se seca, se enfría y se pesa. El precipitado será oxalato de calcio. El líquido filtrado (L''') se reserva. Se calcina el oxalato de calcio y si la calcinación ha sido intensa se le agrega carbonato de amonio.

VIII.—MAGNESIO

El líquido (L''') se trata por el $\text{PO}^4\text{H}(\text{NH}^4)^2$ en solución concentrada ; se calienta suavemente, se añade de NH^3 , se deja reposar 12 horas. Se filtra y se lava con agua amoniacal ; el líquido (L''''') se reserva. El precipitado se seca, se calcina, se enfría y se pesa. Tendremos el magnesio al estado de $\text{P}^2\text{O}^7\text{Mg}^2$.

IX.—POTASIO Y SODIO

El líquido (L''''') se divide en dos partes (A, B).

El líquido (L''''A) se evapora, se calcina al rojo ; se agrega HCl y se evapora á sequedad. Se agrega Pt Cl^4 y se forman cloroplatinatos potásico y sódico. Se añade una mezcla de alcohol y éter ; sobre el filtro queda un precipitado de cloroplatinato potásico, el cual se seca, se calcina convenientemente y se determina.

El líquido filtrado contiene el cloroplatinato sódico ; se descompone calentándolo al rojo ; se disuelve en agua, se filtra, lava, evapora y calienta al rojo, pero á una temperatura inferior á la volatilización del Cl Na . Este se pesa y se determina.

Al estado de perclorato se pueden también dosar.

Una vez vertido el ácido perclórico, se evapora á sequedad en el baño de arena ; el ácido de la sal y el exceso de ácido perclórico se volatilizan ; se calienta hasta que no se desprenden más vapores blancos de $\text{Cl O}^1\text{H}$.

El residuo contiene $\text{Cl O}^1\text{K}$ y $\text{Cl O}^1\text{Na}$; se trata por el alcohol absoluto que disuelve solamente al $\text{Cl O}^1\text{Na}$.

Se lava bien el $\text{Cl O}^1\text{K}$ con alcohol, se evapora á sequedad al baño maría y se pesa. Se determina el peso respectivo del potasio y del sodio.

X.—ANHIDRIDO CARBONICO

Se puede emplear el aparato de Fresenius y Will. Se coloca 1 gr. de mármol en el matraz, SO^1H^2 en uno de los tubos y piedra pómez sulfúrica en el otro. Se pesa el aparato. Se deja vertir el SO^1H^2 ; hay efervescencia, el CO^2 se escapa por la rama de la piedra pómez sulfúrica. Se aspira para expulsar todo

ferencia de peso nos da el peso del CO^2 en el gramo el gas. Se deja enfriar el aparato y se pesa. La di-
de mármol.

XII.—ACIDO SULFURICO

El líquido (L^{III} ,B) se calienta, se agregan algunas gotas de HCl previamente; se añade Cl^2Ba en exceso. Se deja en reposo una hora, se filtra y se lava. El líquido (L^{III} ,C) se reserva. El precipitado de SO^4Ba se seca y se calcina. Se enfría, se humedece con NO^3H ; se calienta, calcina, enfría y pesa.

XII.—ACIDO FOSFORICO

El líquido (L^{III} ,C) se concentra hasta la mitad de su volumen; se agrega la mitad del volumen del líquido de citrato amónico ó sódico, carbonato de amonio y NH^3 ; se hierve y se deja enfriar; se filtra y lava; en el líquido filtrado se dosa el PO^4H^3 . Se le agrega la mezcla magnésiana en poco exceso; se calienta entre 40° y 60° . Se agrega NH^3 y se deja en reposo 12 horas. Se filtra, se seca, se calcina y se pesa. Se tiene $\text{P}^2\text{O}^7\text{Mg}^2$; se determina en este estado el PO^4H^3 .

XIII.—ACIDO CLORHIDRICO

1 gramo de mármol se trata con NO^3H , en vez de HCl ; se neutraliza el líquido con Na (OH) . El HCl se dosa gravimétricamente al estado de Cl Ag ; ó bien empleando $\text{NO}^3\text{AgN}_{10}$ usando como indicador 2 gotas de CrO^4K^2 .

CARACTERES Y ANÁLISIS

DE ALGUNOS

CALCAREOS MARMOLES ARGENTINOS

ANALISIS N° 1

1.- CORDOBA (Mal Paso).

Color : Blanco salpicado de puntos y pequeñas manchas amarillentas.

Densidad : = 2.71.

Absorción :

En 6 días, coeficiente de absorción = 1.008.

En 12 » » » » = 1.011.

Resistencia : Carga de aplaste = 22.995 kg.

» específica = 920 »

Acción del SH² : Ninguna acción aparente.

ANALISIS CUANTITATIVO

Agua higroscópica	%	0.15
Agua de combinación y materia orgánica	»	0.13

Insoluble en HCl ...	»	4.00
Hierro en (Fe^2O^3)	»	0.35
Aluminio en (Al^2O^3)	»	1.10
Manganeso en (Mn^3O^4) ...	»	0.11
Calcio en (Ca O)	»	31.69
Magnesio en (Mg O)	»	17.82
Potasio y sodio en ($\text{K}^2\text{O}, \text{Na}^2\text{O}$).	»	0.09
CO^2	»	44.49
No dosado y pérdidas	»	0.07
		100.00

ANALISIS N° 2

2.—CORDOBA (Las Cumbres).

Color : Blanco.

Densidad : = 2.66.

Absorción :

En 6 días, coeficiente de absorción = 1.011.

En 12 » » » » = 1.017.

Acción del HS² : Ninguna acción aparente.

ANALISIS CUANTITATIVO

Agua higroscópica	%	0.09
Agua de combinación y materia orgánica	»	0.14
Insoluble en HCl	»	2.30
Hierro en (Fe ² O ³)	»	0.33
Aluminio en (Al ² O ³)	»	0.55
Manganeso en (Mn ³ O ⁴)	»	0.14

Calcio en (CaO)	»	53.85
Magnesio en (MgO)	»	0.07
Potasio y sodio en (K ² O,Na ² O)	»	0.12
CO ²	»	42.38
No dosado y pérdidas	»	0.17
		<hr/>
		100.00

ANALISIS N° 3

3.—SAN LUIS (La Toma).

Color : Verdoso, con vetas rojizas sangre y playas amarillentas, veteadas de negro.

Densidad : = 2.55.

Absorción :

En 6 días, coeficiente de absorción = 0.

En 12 » » » » = 1.003.

Resistencia : Carga de aplaste = 22.775 kg.

» específica = 871 »

Acción del SH² : Ennegrecido en las partes veteadas.

ANALISIS CUANTITATIVO

Agua higroscópica	%	0.08
Agua de combinación y materia orgánica	»	0.16

Insoluble en HCl	»	1.05
Hierro en (Fe^2O^3)	»	2.15
Aluminio en (Al^2O^3)	»	3.04
Manganeso en (Mn^2O^4)	»	0.41
Calcio en (Ca O)	»	51.52
Magnesio en (MgO)	»	0.34
Potasio y sodio en ($\text{K}^2\text{O}, \text{Na}^2\text{O}$)	»	0.12
CO^2	»	40.84
No dosado y pérdidas	»	0.29
		<hr/>
		100.00

ANALISIS N° 4

4.—SAN LUIS (La Toma).

Color : Fondo amarillo surcado por líneas oscuras formando figuras irregulares con filetes rojizos.

Densidad : = 2.64.

Absorción :

En 6 días, coeficiente de absorción = 1.007.

En 12 » » » » = 1.013.

Acción del SH² : Ennegrecido.

ANALISIS CUANTITATIVO

Agua higroscópica	%	0.08
Agua de combinación y materia orgánica	»	0.07
Insoluble en HCl ...	»	0.95
Hierro en (Fe ² O ³)	»	2.80
Aluminio en (Al ² O ³)	»	1.20

Manganeso en (Mn^3O^4)	»	0.11
Calcio en (Ca O)	»	50.96
Magnesio en (Mg O)	»	1.66
Potasio y sodio en ($\text{K}^2\text{O}, \text{Na}^2\text{O}$)	»	0.14
CO^2	»	41.86
No dosado y pérdidas	»	0.07
		<hr/>
		100.00

ANALISIS N° 5

5.—MENDOZA (San Rafael).

Color : Aspecto vítreo, translúcido, presentando diferentes zonas, separadas por rayas irregulares, con aspecto de inclusiones.

Densidad : = 2.72.

Absorción :

En 6 días, coeficiente de absorción = 1.009.

En 12 » » » » = 1.011.

Resistencia : Carga de aplaste = 23.670 kg.

» específica = 947 »

Acción del SH² : Ninguna acción aparente.

ANALISIS CUANTITATIVO

Agua higroscópica	%	0.06
Agua de combinación y materia orgánica	»	0.13

Insoluble en HCl	»	1.79
Hierro en (Fe^2O^3)	»	0.12
Aluminio en (Al^2O^3)	»	2.36
Manganeso en (Mn^3O^4)	»	0.57
Calcio en (CaO)	»	53.03
Magnesio en (MgO)	»	0.95
Potasio y sodio en ($\text{K}^2\text{O}, \text{Na}^2\text{O}$)	»	0.12
CO^2	»	41.91
No dosado y pérdidas	»	0.05
		<hr/>
		100.00

ANALISIS N° 6

6.—BUENOS AIRES (Sierra del Agua, Azul).

Color : Negro, surcado á veces por finísimas líneas amarillentas.

Densidad : = 2.67.

Absorción :

En 6 días, coeficiente de absorción = 1.003.

En 12 » » » » = 1.005.

Acción del SH² : Ninguna acción aparente.

ANALISIS CUANTITATIVO

Agua higroscópica	%	0.10
Agua de combinación y materia orgánica	»	0.21
Insoluble en HCl	»	6.30
Hierro en (Fe ² O ³)	»	0.30
Aluminio en (Al ² O ³)	»	0.45

Manganeso en ($Mn^{3}O^{1}$)	»	0.11
Calcio en (CaO)	»	51.24
Magnesio en (MgO)	»	0.35
Potasio y sodio en ($K^{2}O,Na^{2}O$)	»	0.15
CO^{2}	»	40.69
No dosado y pérdidas	»	0.10
		<hr/>
		100.00

ANALISIS N° 7

7.—BUENOS AIRES (Sierra Baya, Azul).

Color : Amarillo, veteadado de líneas oscuras.

Densidad : = 2.50.

Absorción :

En 6 días, coeficiente de absorción = 1.033.

En 12 » » » » = 1.038.

Resistencia : Carga de aplaste = 32.945 kg.

» específica = 1.318 »

Acción del SH² : Ennegrecido.

ANALISIS CUANTITATIVO

Agua higroscópica	%	0.09
Agua de combinación y materia orgánica	»	0.21
Insoluble en HCl	»	2.30
Hierro en (Fe ² O ³)	»	1.84

Aluminio en (Al^2O^3)	4.48
Manganeso en (Mn^2O^1)	Vestigios
Calcio en CaO	% 34.72
Magnesio en (MgO)	» 13.73
Potasio y sodio en (K^2O y Na^2O)	0.10
CO^2	42.38
No dosado y pérdidas	» 0.15
	<hr/>
	100.00

ANALISIS N° 8

8.—BUENOS AIRES (Sierra del Azul).

Color : Chocolate, con manchas amarillentas.

Densidad : = 2.38.

Absorción :

En 6 días, coeficiente de absorción = 1.138.

En 12 » » » » = 1.144.

Acción del SH² : Algo ennegrecido.

ANALISIS CUANTITATIVO

Agua higroscópica	%	0.14
Agua de combinación y materia orgánica	»	0.11
Insoluble en HCl	»	2.15
Hierro en (Fe ² O ³)	»	0.40
Aluminio en (Al ² O ³)	»	0.60
Manganeso en (Mn ³ O ⁴)	»	0.55

Calcio en (CaO)	»	52.78
Magnesio en (MgO)	»	0.73
Potasio y sodio en (K ² O y Na ² O)		Vestigios
C O ²	%	42.25
No dosado y pérdidas	»	0.29
		100.00

ANALISIS N° 9

9.—SALTA.

Color : Blanco, de aspecto vítreo ; veteados con placas irregulares, blanco amarillentas, salpicadas de manchas oscuras sucias.

Densidad : = 2.79.

Absorción :

En 6 días, coeficiente de absorción = 1.005.

En 12 » » » » = 1.009.

Resistencia : Carga de aplaste = 25.755 kg.

» específica = 1.030 »

Acción del SH² : Las vetas se han algo ennegrecido.

ANALISIS CUANTITATIVO

Agua higroscópica	%,	0.13
Agua de combinación y materia orgánica	»	0.17

Insolución en HCl	1.10
Hierro en (Fe^{2+})	0.68
Aluminio en (Al^{3+})	» 2.00
Manganeso en (Mn^{2+})	Vestigios
Calcio en (CaO)	» 53.20
Magnesio en (MgO)	0.34
Potasio y sodio en (K^{2+} y Na^{2+})	0.09
CO_2	» 42.20
No dosado y pérdidas	» 0.09

	100.00

ANALISIS N° 10

10.—SAN JUAN.

Color : Negro chocolate ; manchas oscuras, semejante, á playas surcadas de vetas rojizas y salpicadas de vez en cuando de puntos blancos.

Densidad : = 2.52.

Absorción :

En 6 días, coeficiente de absorción = 1.004.

En 12 » » » » = 1.005.

Acción del SH² : Ninguna acción aparente.

ANALISIS CUANTITATIVO

Agua higroscópica	%	0.11
Agua de combinación y materia orgánica	»	0.12
Insoluble en HCl	»	1.50
Hierro en (Fe ² O ³)	»	0.35

Aluminio en (Al^2O^3)	»	0.94
Manganeso en Mn^3O^4)	»	0.25
Calcio en (CaO)	»	46.37
Magnesio en (MgO)	»	6.49
Potasio y sodio en (K^2O y Na^2O)	»	0.13
CO^2	»	43.57
No dosados y pérdidas	»	0.17
		<hr/>
		100.00

ANALISIS N° 11

11.—SAN JUAN.

Color : Blanco sucio con manchas blanco amarillentas distribuídas en la masa.

Densidad : = 2.58.

Absorción :

En 6 días, coeficiente de absorción = 1.009.

En 12 » » » » = 1.010.

Resistencia : Carga de aplaste = 82.760 kg.

» específica = 3.310 »

Acción del SH² : Ninguna acción aparente.

ANALISIS CUANTITATIVO

Agua higroscópica	%	0.17
Agua de combinación y materia orgánica	»	0.12
Insoluble en HCl	»	3.05

Hierro en (Fe^2O^3)	»	0.35
Aluminio en (Al^2O^3)	»	0.53
Manganeso en (Mn^3O^4)	»	0.12
Calcio en (CaO)	»	53.09
Magnesio en (MgO)	»	0.30
Potasio y sodio en (K^2O y Na^2O)	»	0.10
CO^2	»	42.03
No dosado y pérdidas	»	0.14
		<hr/>
		100.00

CONCLUSIONES GENERALES

I

Puede admitirse la siguiente formación de los calcáreos : 1º *Origen sintético*, formados según las leyes de la disociación ; 2º, *origen químicos*, formados según la hipótesis de Cordier y de Leymerie ; 3º, *origen fisiológico* (actividad orgánica), formados según estas tres fases : *a*) formación del CO^3HNa , según el método Solway ; *b*) formación del CO^3Ca siguiendo á Ochsenius ; *c*) asimilación siguiendo á Steinmann.

II

En el metamorfismo, además de los factores, calor, presión, acciones hidrotermales, debe incluirse un trabajo interno exotérmico.

III

El mármol, según su carácter geológico, puede dividirse en : 1° sintético ó arcáico ; 2° metamórfico ó sedentario.

IV

He agrupado los mármoles, basándome sobre su morfología interna y su constitución química en : 1° *Simples*, cuando están formados por cristales homogéneos de calcita. 2° *Brechas*, cuando son fragmentos de CO_3Ca unidos por un cemento calcáreo. 3° *Compuestos*, cuando el cemento está formado por sustancias heterogéneas. 4° *Lumaquelas*, cuando el CO_3Ca está formado por restos de fósiles reunidos por un cemento calcáreo.

V

Los calcáreos marmóreos de San Luis y de Mendoza deben considerarse como espáticos ; los de Sierra Baya (amarillo) y de Mal Paso, como dolomíticos ; los demás, de Córdoba, de Salta, de San Juan, de Buenos Aires, como compuestos y metamórficos.

VI

Aún no se ha encontrado mármol sacaroide en la República Argentina. Por sus caracteres, el mármol de Córdoba puede considerarse como un excelente material de adorno y de construcción, como también los de Salta, San Juan y Buenos Aires; y los mármoles de San Luis y de Mendoza como preciosos materiales de ornamentación.

A. Rouquette.

Buenos Aires, Noviembre 30 de 1911.

Pase á la comisión examinadora núm. 22 para que se sirva informar sobre la aceptación de la presente tesis.

JUAN F. SARHY

Decano

Pedro J. Coni

Secretario

Los miembros de la comisión examinadora número 22, que suscriben, han examinado la presente tesis y resuelven aceptarla.

Atanasio Quiroga — Francisco P. Lavalle — Miguel Puiggari — José Medina — Pedro T. Vignau.