

## LOS MARMOLES INTRUSIVOS DEL COMPLEJO OAXAQUEÑO

Fernando Ortega-Gutiérrez \*

## RESUMEN

Se discute el origen del carácter a menudo intrusivo de los mármoles precámbricos del Complejo Oaxaqueño. Tomando en consideración la mineralogía, textura y estructura de dichos mármoles, se concluye que estos fueron movilizados por fusión parcial (anatexis) de calizas impuras a temperaturas del orden de 750° C en la facies de granulita y en zonas de alta presión de vapor de agua.

## ABSTRACT

The origin of the frequently intrusive character of the Precambrian marbles of the Oaxaqueño Complex is discussed. On the basis of the mineralogy, texture and structure of these marbles, it is concluded that they were mobilized by anatexis of impure limestone under the conditions of the granulite facies, at temperatures possibly around 750° C and in areas of high water pressure.

## INTRODUCCION

El Complejo Oaxaqueño (Fries *et al.*, 1962, 1966; Rodríguez-T., 1970), de edad Precámbrico Tardío, contiene entre sus litologías más distintivas rocas carbonatadas de alto grado metamórfico y mineralogía compleja. Estas rocas tradicionalmente se han considerado como mármoles cipolinos formando parte de la secuencia metasedimentaria del Complejo Oaxaqueño (Fries *et al.*, 1962, 1974; Kesler y Heath, 1970. Bloomfield y Ortega-G., 1975). Sin embargo, se han publicado notas (Waitz, 1912, p. 15 y 27) que hicieron ver el carácter localmente intrusivo de los mármoles, al referirse a un gneis granulítico de grafito que se presenta como inclusiones en una "caliza metamórfica" expuesta entre la ciudad de Oaxaca y Ejutla. El presente autor, en 1970, mostró afloramientos semejantes sobre la Carretera Federal 190 cerca del poblado de El Marqués al Dr. Nicholas Rast, quien sugirió por vez primera la naturaleza *carbonatítica* de dichos mármoles. Esta opinión fue criticada en los trabajos de Fries y colaboradores (1974) y de Bloomfield y Ortega-Gutiérrez (1975) basándose en observaciones mineralógicas y parcialmente estructurales (concordancia local de los mármoles entre los gneises) y consideraron indiscutible la naturaleza originalmente sedimentaria de los carbonatos en cuestión.

El autor, después de un estudio más extenso y detallado de estas rocas carbonatadas, llegó a conclusiones que pueden resolver la incógnita del carácter dualista de los mármoles: es decir, de su presencia como rocas metasedimentarias concordantemente incluídas entre gneises y calsilicáticas, así como en forma de diques y masas intrusivas en el seno de esas mismas rocas. Las mencionadas conclusiones y las bases geológicas sobre las que descansan, son el objeto del presente artículo.

## GEOLOGIA

Los mármoles en cuestión forman parte del Complejo Oaxaqueño, pero como pocos estudios se han hecho de estas rocas, su evolución geológica se desconoce aún en términos generales. Kesler y Heath (1970) dieron a conocer una síntesis estructural de una área muy restringida al norponiente de la ciudad de Oaxaca; mientras que Bloomfield y Ortega-Gutiérrez (1975) se ocuparon de la petrología de la misma región aproximadamente. Estos datos solo forman un cuadro muy limitado de la historia geológica de este complejo precámbrico, ya que el autor en estudios recientes ha encontrado que, en contraste con las conclusiones de Kesler y Heath (1970) que expresan una historia estructural relativamente sencilla del complejo, su evolución ciertamente incluye varias etapas de deformación y metamorfismo.

En términos generales, el Complejo Oaxaqueño consiste de una secuencia paragneisica que concordantemente sobreyace a un complejo ortogneisico de composición gabroide-anortositica; ambos fueron deformados y metamorfoseados conjuntamente durante el Precámbrico Tardío (900 - 1100 m. a.). Los mármoles se encuentran siempre incluídos en la secuencia paragneisica; pueden presentarse como capas concordantes, afectadas de intenso boudinage y con espesores variables desde unas cuantas decenas de centímetros hasta varias decenas de metros. Sin embargo, con frecuencia también se les puede observar formando diques y masas intrusivas (Figuras 1 y 2) atravesando la foliación del gneis que los contiene. Muchos de estos cuerpos intrusivos tienen una gran cantidad de xenolitos de diferente composición y de bordes bien definidos (Figura 3). Algunas de estas inclusiones alcanzan varios metros de longitud y su foliación suele presentar orientación

\* Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México 20, D. F.

muy diversa, de tal manera que los hace aparecer efectivamente flotando en las masas calcáreas intrusivas.

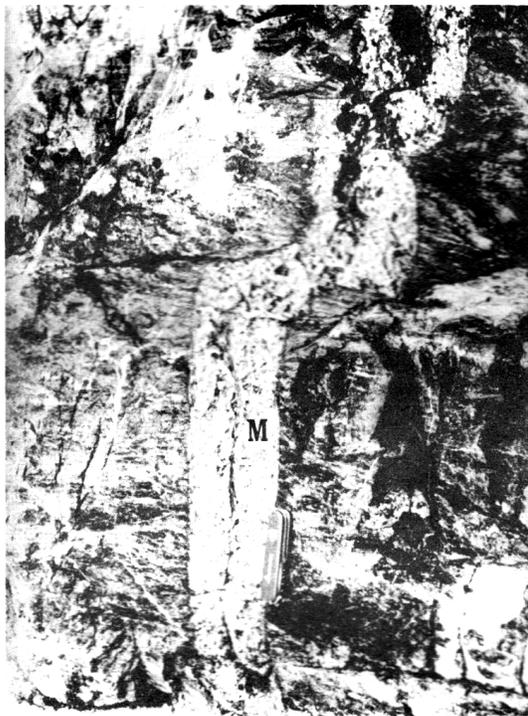


Figura 1.—Dique de mármol (M) cortando la roca gnéssica encajonante. Fotografía ligeramente retocada.



Figura 2.—Pequeña masa intrusiva de mármol (M), mostrando algunos xenolitos (X) semiabsorvidos. Fotografía ligeramente retocada.

Es importante subrayar el hecho de que estos mármoles intrusivos no presentan bandeamiento o foliación, sino que su textura es homogénea y granular. Esta apreciación, desde luego, no incluye a ciertos mármoles que han sido afectados por defor-

mación posterior a su emplazamiento, tal como sucede a lo largo de algunas zonas de cizalleo y cataclasis. Asimismo, es importante destacar el hecho de que los mármoles tampoco presentan señales de flujo plástico alrededor de los numerosos enclaves que contienen. Cabría esperar esta relación estructural si, como lo sugieren Bloomfield y Ortega-Gutiérrez (1975) la condición intrusiva de los mármoles se hubiera debido a movilización estrictamente tectónica durante el plegamiento. Finalmente, es común encontrar a muchos de los xenolitos exhibiendo angostos halos composicionales en su contacto con la masa carbonática; su origen, indudablemente, puede atribuirse a fenómenos de reacción química de los carbonatos movilizados con los silicatos de los xenolitos.



Figura 3.—Xenolito de gneis mostrando bordes bien definidos dentro del mármol movilizado. Fotografía ligeramente retocada.

#### PETROGRAFIA

Bloomfield y Ortega-Gutiérrez (1975) dieron una breve descripción petrográfica de estos mármoles, pero citaron solo la siguiente asociación mineral:

Calcita-serpentina (forsterita) - flogopita - grafito - (granate). Sin embargo, existe una importante variedad de mármoles con asociaciones minerales distintas. Además de los mármoles de forsterita que parecen ser los más abundantes, hasta ahora se han reconocido las siguientes variedades:

- 1.—Mármoles de diopsida.
- 2.—Mármoles de diopsida y flogopita.
- 3.—Mármoles de wollastonita y diopsida.
- 4.—Mármoles de pertita, diopsida y escapolita.

La mayor parte de estos mármoles contienen como accesorios típicos, grafito, sulfuros y esfena. Menos frecuentemente ocurren granate, cuarzo, rutilo y apatita de color azul claro. En algunas localidades, la wollastonita forma cristales de varios centímetros de longitud y se presenta asociada con el cuarzo. La forsterita (serpentinizada) también llega a formar cristales idioblásticos hasta de 5 cm de diámetro. La flogopita y el grafito se presentan como placas hexagonales, de hasta 1 cm de diámetro en

el caso del grafito, y de varios centímetros en el caso de la flogopita; este mineral al microscopio presenta un pleocroísmo que varía de rosa pálido (Z) a amarillo muy pálido (Y); su color en los afloramientos, sin embargo, es café a café oscuro debido al espesor de los cristales. La calcita es en general de tamaño mediano (1 a 5 mm), pero no es raro que alcance varios centímetros de longitud; su color puede ser blanco o ligeramente rosado.

Los xenolitos más abundantes son calsilicatas, diopsiditas y gneises de grafito, los primeros son los más comunes y tienen la siguiente composición mineral:

Clinopiroxena - escapolita (meionítica) - antiperita - esfena - (pirrotita) - (apatita) - (feldespato alcalino).

La diopsida y la escapolita forman la mayor parte de la roca en proporción aproximadamente igual; integran un mosaico granoblástico fino (400 micras) donde la diopsida presenta un color verdoso y la esfena es pleocroica en tonos claros de café-rojizo. El feldespato alcalino se presenta en cristales subidioblásticos, pero también ocurre intersticialmente a lo largo de los contactos de la diopsida y la escapolita. Es posible que estos minerales alcalinos sean el producto de una "femitización" a pequeña escala, producida por metasomatismo asociado a la movilización de los mármoles, que pudieron haber tomado álcalis en solución durante el proceso.

#### "CARBONATITAS Y CARBONATITAS"

Las carbonatitas son definidas como rocas ígneas compuestas principalmente de carbonatos (Turner y Verhoogen, 1960, p. 399-400). Las carbonatitas clásicas del África, donde se conocen cientos de intrusiones en forma de diques y pequeños troncos, son demostrablemente magmáticas (Carmichael *et al.*, 1974, p. 518) e invariablemente están asociadas a complejos ígneos ultra-alcalinos que incluyen toda la gama, desde las sienitas hasta las peridotitas alcalinas (kimberlitas), en algunos casos. Estas carbonatitas se caracterizan petrográficamente por su contenido poco usual en cantidad y especies de accesorios. La apatita, así como ciertos minerales de niobio (pirocloro), son especialmente abundantes y característicos. La gran mayoría de estas rocas son de edad mesozoica y se emplazaron en cratones antiguos tectónicamente estables.

Tomando en consideración estos hechos, los mármoles intrusivos del Complejo Oaxaqueño no pueden ser carbonatitas *sensu stricto*, puesto que no presentan ninguna de las características petrográficas, tectónicas o cronológicas mencionadas. Sin embargo, es casi inevitable, si se toman en cuenta los rasgos texturales y estructurales de algunos de los mármoles del Complejo Oaxaqueño, concluir que estas rocas fueron durante cierta época de su historia geológica magmas de composición carbonatada; es decir, carbonatitas en el sentido amplio de la palabra.

Así, de la misma manera que existen "granitos y granitos" (Read, 1948), o sea, formados por diferentes procesos geológicos (diferenciación magmática, anatexis, metasomatismo, etc.) también se puede hablar de "carbonatitas y carbonatitas" y considerar

que ciertas variedades pueden originarse por anatexis parcial o total de carbonatos sedimentarios a niveles profundos en la corteza terrestre, mientras que otras, por diferenciación magmática (Wyllie y Tuttle, 1960, p. 45).

Concretamente, se concluye entonces que los mármoles intrusivos del Complejo Oaxaqueño se formaron por anatexis de calizas impuras durante la culminación del metamorfismo de la orogenia oaxaqueña.

#### DISCUSION

La elevada temperatura de fusión de la calcita (1310 - 1475°C entre 1 - 10 kb; Wyllie y Tuttle, 1960; Yoder, 1973) fue el principal obstáculo que existió entre los petrólogos para considerar seriamente la existencia de magmas de carbonatos en la corteza terrestre. Esta objeción fue eliminada desde los estudios experimentales con el sistema CaO - H<sub>2</sub>O - CO<sub>2</sub> por Wyllie y Tuttle (1960), quienes demostraron la presencia de líquidos de composición carbonatada a temperaturas apenas inferiores a los 700°C y a presiones comunes en la corteza terrestre.

En la naturaleza, un período de metamorfismo intenso es suficiente para elevar la temperatura del subsuelo más allá de los 600°C y al alcanzar la facies de granulita, como es el caso en los gneises oaxaqueños, las temperaturas por lo general sobrepasan fácilmente los 700°C (Winkler 1974, p. 260). En estas condiciones, debiera esperarse que en los terrenos granulíticos los carbonatos más a menudo fueron movilizados anatexiticamente. La causa de que generalmente conservan su estado sólido (plástico) es debido a que posiblemente la presión de CO<sub>2</sub> se mantiene alta y/o que la cantidad de agua es insuficiente. De acuerdo con Wyllie y Tuttle (1960, p. 44), si los fluidos metamórficos consisten de agua y CO<sub>2</sub>, la temperatura necesaria para fundir una caliza tendría que superar los 740°C, aún a presiones elevadas. Sin embargo, concluyen que las calizas impuras sí podrían ser parcialmente fundidas durante un metamorfismo regional de alto grado (*op. cit.*, p. 45).

Ahora bien, los gneises oaxaqueños y con ellos los mármoles que contienen, presentan asociaciones minerales de la facies de granulita y, como esta facies debido a las altas temperaturas que prevalecen, o a ciertas condiciones geológicas se desarrolla en un ambiente esencialmente deshidratado, parecería lógico entonces pensar que las condiciones geoquímicas del metamorfismo oaxaqueño fueron desfavorables para la fusión de los carbonatos como se propone. Sin embargo, el hecho de que los mármoles contengan una abundancia de minerales como la flogopita puede implicar la existencia de una presión considerable del agua. Esta presión, junto con las altas temperaturas indicadas por los conjuntos minerales (a menudo con ortopiroxena), causarían la fusión parcial (anatexis) de algunos mármoles originalmente concordantes. La presión de CO<sub>2</sub> pudo haberse mantenido baja debido a la cristalización de la escapolita (meionita), tan abundante en los xenolitos que forman una gran proporción de los mármoles movilizados. La presencia de wollastonita

en algunos mármoles, sugiere que efectivamente la presión del CO<sub>2</sub> fue notablemente baja si tomamos en consideración lo expresado por Winkler (1974, p. 125).

Respecto a la elevada temperatura que prevaleció durante la movilización de los mármoles, se pueden presentar algunas evidencias. Por ejemplo, Waitz (1912, p. 25) dió a conocer un análisis químico de la clinopiroxena de los mármoles de San Pablo, Oaxaca, y fue considerada como una fassaíta. Del análisis de Waitz (Tabla 1), es fácil ver que su composición es muy similar a las fassaítas presentadas por Deer y colaboradores (1963, p. 164), quienes la consideran como un mineral típico del metamorfismo de contacto de altas temperaturas. Pero también se le ha descrito de terrenos de metamorfismo regional, en sus áreas de mayor intensidad metamórfica.

Tabla 1.—Análisis químico de una piroxena de los mármoles oaxaqueños.\*

SiO <sub>2</sub>	52.47%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.95
FeO	0.67
CaO	23.37
MgO	16.21
Alcalis	0.33
	100.00%

\* Datos tomados de Waitz (1912, p. 25).

Por otra parte, y también de acuerdo a lo expuesto por Winkler (1974, p. 127) acerca de la estabilidad de la wollastonita en terrenos de metamorfismo regional, pueden fácilmente visualizarse temperaturas mínimas de 700 — 800°C, durante el metamorfismo de la facies de granulita que afectó al Complejo Oaxaqueño y sus peculiares mármoles.

Garson (1955) describió mármoles movilizados de apariencia similar a los del Complejo Oaxaqueño, pero llegó a la conclusión de que su carácter intrusivo se debió a procesos mecánicos y no térmicos como para este caso se propone. Los mármoles estudiados por Garson (*op. cit.*) en su estructura y mineralogía presentan las siguientes características:

a) Los conjuntos minerales de los mármoles y gneises encajonantes son estables sólo en la facies de anfíbolita. b) Dichos mármoles prácticamente no contienen minerales hidratados. c) Sus carbonatos presentan frecuentes evidencias de deformación cataclástica. d) A veces, sus xenolitos están "indescritiblemente plegados y contorsionados", además de que presentan acumulaciones de laminillas de grafito debido al flujo (plástico?) alrededor de algunos de los xenolitos. e) Finalmente, los mármoles intrusivos irradian de un solo cuerpo de 200 metros de ancho aprisionado en la cresta de un anticlinal.

Ninguna de estas características, como se dejó asentado arriba, se presenta en los mármoles oaxaqueños y es, por tanto, poco probable que el modelo de Garson pueda emplearse para explicar la naturaleza intrusiva de los mármoles tratados en el presente artículo.

## CONCLUSIONES

El carácter a la vez intrusivo y concordante de los mármoles del Complejo Oaxaqueño, puede ser explicado satisfactoriamente mediante un modelo anatexítico de sus carbonatos impuros en zonas geológicamente favorables. Estas zonas fueron aquellas donde la presión del agua fue considerable y baja la del bióxido de carbono, en un ambiente metamórfico de la facies de granulita y a temperaturas probablemente superiores a 750° C. La abundancia de flogopita en los mármoles intrusivos, sugiere que la presión del agua fue en efecto considerable mientras que la presencia de wollastonita implica a la vez, una presión baja del CO<sub>2</sub> y una elevada temperatura; por lo tanto el origen anatexítico de estos mármoles, tomando en cuenta además sus características estructurales y texturales, es el más indicado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bloomfield, Keith, y Ortega-Gutiérrez, Fernando, 1975, Notas sobre la petrología del Complejo Oaxaqueño: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 95, p. 23-48.
- Carmichael, I. S. E., Turner, F. J., y Verhoogen, Jean, 1974, *Igneous petrology*: New York, McGraw-Hill, 739 p.
- Deer, W. A., Howie, R. A., y Zussman, James, 1963, *Rock forming minerals*: London, Longmans, v. 2, 377 p.
- Fries, Carl, Jr., Schmitter, Eduardo, Damon, P. E., y Livingston, D. E., 1962, Rocas precámbricas de edad grenvilliana de la parte central de Oaxaca en el sur de México: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 64, p. 45-53.
- Fries, Carl, Jr., Schlaepfer, C. J., y Rincón-Orta, César, 1966, Nuevos datos geocronológicos del Complejo Oaxaqueño: Bol. Soc. Geol. Mexicana, v. 29, p. 59-66.
- Fries, Carl, Jr., Rincón-Orta, César, Silver, L. T., McDowell, F. W., Solorio-Munguía, José, Schmitter-Villada, Eduardo, y Cserna, Zoltan de, 1974 (1975), Nuevas aportaciones a la geocronología de la Faja Tectónica Oaxaqueña: Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros, v. 26, p. 157-182.
- Garson, M. S., 1955, Flow phenomena in a limestone on Changelumi Hill, southern Nvasaland: Geol. Mag. (London), v. 92, p. 155-161.
- Kesler, S. E., y Heath, S. A., 1970, Structural trends in the southernmost North American Precambrian, Oaxaca, Mexico: Geol. Soc. America Bull., v. 81, p. 2471-2476.
- Read, H. H., 1948, Granites and granites: in *Origin of granite*, James Gilluly, ed. Geol. Soc. America, Mem. 28, p. 1-19.
- Rodríguez-Torres, Rafael, 1970, Geología metamórfica del área de Acatlán, Estado de Puebla: México, D. F., Soc. Geol. Mexicana, Libro-guía de la excursión México-Oaxaca, p. 51-54.
- Turner, F. J., y Verhoogen, Jean, 1960, *Igneous and metamorphic petrology*: New York, McGraw-Hill, 602 p.

- Waitz, Paul, 1912, Notas preliminares relativas a un reconocimiento geológico por el curso del Atoyac (Río Verde) de Oaxaca: Inst. Geol. México, Parergones, v. 4, p. 2-32.
- Winkler, H. G. F., 1974, Petrogenesis of metamorphic rocks: Berlin-New York, Springer, 320 p.
- Wyllie, P. J., y Tuttle, O. F., 1960, The system  $\text{CaO-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$  and the origin of carbonatites: Jour. Petrology, v. 1, p. 1-46.
- Yoder, H. S., 1973, Akermanite- $\text{CO}_2$ ; Relationship of mellilite-bearing rocks to kimberlite: Carnegie Inst. Washington, Year Book, v. 72, p. 449-457.