

Interpretación geodinámica del metamorfismo de ultra-alta presión en las peridotitas de Ronda.

Geodynamic interpretation of the ultra-high pressure metamorphism in the Ronda peridotites.

J. M. Tubía, J. Cuevas y J. J. Esteban

Dpto. de Geodinámica, Facultad de Ciencias, Universidad del País Vasco, a. p. 644, Bilbao 48080.

ABSTRACT

We report the occurrence of several minerals representative of high to ultra-high pressure metamorphism in the Sierra Bermeja massif of the Ronda peridotites (Betic Cordilleras, southern Spain). Some of them, like graphite pseudomorphs after diamonds and corundum in garnet pyroxenites were already known; others, like garnet blebs in orthopyroxene porphyroclasts and inclusions in garnet of coesite pseudomorphs or of clinopyroxene and acicular rutile in three sets at 120° , are described here. These minerals attest for a nearly adiabatic decompression path starting from asthenospheric levels within the diamond stability field. We propose that this event of mantle exhumation took place in a continental rift setting related to the lateral motion between the African and Iberian plates during Mesozoic times.

Key words: Ronda peridotites, Ultra-high pressure, coesite, Mesozoic exhumation.

Geogaceta, 34 (2003), 47-50
ISSN:0213683X

Introducción

El reconocimiento de coesita en rocas metamórficas corticales del macizo alpino de Dora Maira (Chopin, 1984) y en la Región Gneissica Occidental de Noruega (Smith, 1984), ha demostrado que la corteza continental es capaz de subducir hasta niveles litosféricos profundos durante los procesos de colisión continental. Tras esas primeras detecciones se ha identificado coesita (Wang y Liou, 1991; Caby, 1994) e incluso minerales cuya formación requiere presiones aún mayores, como el diamante (Sobolev y Shatsky, 1990; Xu *et al.*, 1992), en rocas corticales de nuevas áreas. Esta proliferación de hallazgos de coesita en rocas corticales ha contribuido a difundir el término *metamorfismo de ultra-alta presión*, generalizándose su uso para referirse a procesos metamórficos que requieren presiones superiores a 2800 MPa, la presión mínima para formar coesita a temperaturas de unos 700°C (Coleman y Wang, 1995).

En esta comunicación sobre las peridotitas de Ronda, describimos las características petrográficas de muestras de piroxenitas y peridotitas que contienen minerales indicativos de ultra-alta presión, y de otros de menores presiones asociados a la exhumación de estos macizos ultramáficos. Varios de esos minerales ya

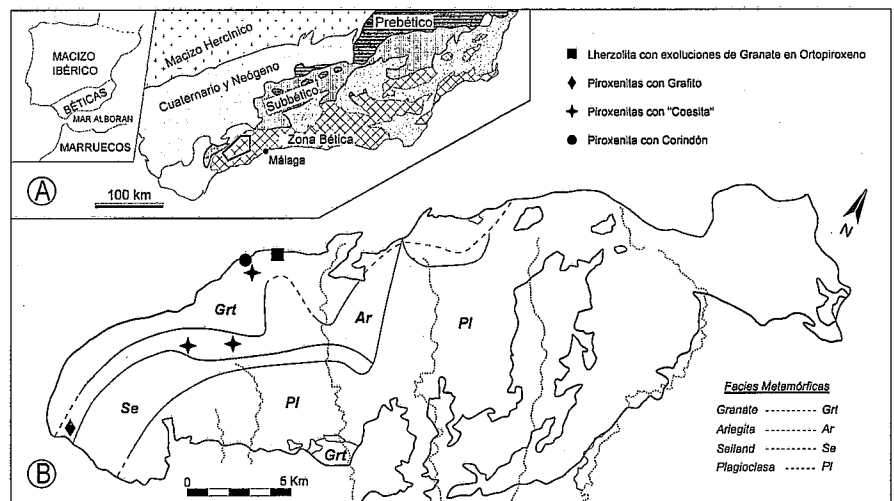


Fig. 1.- A: Mapa esquemático de las Cordilleras Béticas. El recuadro dibujado al oeste de Málaga señala la localización del macizo de peridotitas de Sierra Bermeja. B: Zonación petrográfica del Macizo de Sierra Bermeja, según Obata (1980), en el que se muestra la procedencia de las muestras con evidencias de metamorfismo de alta o ultra-alta presión.

Fig. 1.- A: Simplified geological map of the Betic Cordilleras: The insert to the West of Malaga shows the location of the Sierra Bermeja massif. B: Petrographic zoning of the Sierra Bermeja massif (Obata, 1980), showing the location of the samples with evidences of high or ultra-high pressure conditions.

habían sido reconocidos previamente, caso del grafito pseudomorfo de diamante (Davies *et al.*, 1993) o del corindón (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 1996; Tubía y Cuevas, 1998; Sánchez-Rodríguez y Gebauer, 2000; Morishita *et al.*, 2001) contenidos en piroxenitas; otros, como

las exfoluciones de granate en porfiroclastos de ortopiroxeno, las inclusiones en granates de agujas de rutilo con marcadas orientaciones preferentes o los agregados de cuarzo procedentes de la desestabilización de coesita, también presentes como inclusiones en granates, se

describen por primera vez en este trabajo. Por último, se discute el posible significado geodinámico y la evolución temporal del proceso de exhumación de las peridotitas de Ronda desde las condiciones iniciales de ultra-alta presión.

Las peridotitas de Ronda: marco geológico y características generales

Las peridotitas de Ronda afloran al oeste de Málaga (Fig. 1), y se integran en el Complejo Alpujárride de las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas. Forman una lámina alóctona, de uno a dos kilómetros de espesor, situada en la base del Manto de los Reales, que es la unidad alóctona más elevada del Complejo Alpujárride en este sector. Las peridotitas de Ronda están entre los macizos de lherzolitas orogénicas más estudiados, debido a que se trata de los mayores afloramientos del mundo de ese tipo de peridotitas y a que sólo en ellas se han encontrado las tres facies metamórficas de O'Hara (1967) para las rocas ultramáficas, agrupadas en un único macizo (Fig. 1B).

Las peridotitas de Ronda están compuestas mayoritariamente por lherzolitas, con harzburgitas, dunitas y capas máficas en menor proporción. Obata (1980) estableció para el macizo de Sierra Bermeja una zonación petrográfica en cuatro zonas, que de techo a muro son: 1) la facies de las lherzolitas con granate, 2) la subfacies ariegita de las lherzolitas con espinela, 3) subfacies seiland de las lherzolitas con espinela y 4) la facies de lherzolitas con plagioclasa (Fig. 1). Esa zonación petrográfica, que con alguna modificación, sigue vigente en la actualidad, denota una secuencia litológica con presiones decrecientes de techo a muro.

Evidencias del metamorfismo de ultra-alta presión

Todas las muestras descritas en este trabajo proceden del macizo de Sierra Bermeja (Fig. 1). Sólo una muestra, la que contiene porfiroclastos de ortopiroxeno con exoluciones de granate, es de peridotitas; el resto son capas de piroxenitas concordantes con la foliación de las peridotitas.

La primera prueba irrefutable de que las peridotitas de Ronda han alcanzado presiones ultra-altas se debe a Davies *et al.* (1993), y corresponde a la presencia de grafito, procedente de la desestabilización de diamante, en capas de piroxenitas del macizo de Sierra Bermeja. Rocas se-

mejantes se habían descrito previamente el macizo ultramáfico de Beni Bousera (Slodkevich, 1983; Pearson *et al.*, 1989), equivalente rifeño de las peridotitas de Ronda. Los trabajos citados proporcionan datos petrográficos, cristalográficos y geoquímicos detallados del grafito. La característica más llamativa de la muestra de piroxenita con granate y grafito es la abundancia de cristales de grafito que conservan formas de octaedro (Fig. 2A), hábito cristalográfico que no es propio del grafito, sino del diamante de alta temperatura. El grafito encierra numerosas inclusiones de clinopiroxeno (Fig. 2B), y ocasionalmente, de plagioclasa.

Las muestras con pseudomorfo de coesita corresponden a capas de websteritas con granate, con espesores variables entre 30 centímetros y 1 metro. Estas capas tienen un bandeo composicional fino, con bandas ricas en plagioclasa alternantes con otras ricas en piroxeno. El bandeo composicional está realizado por la presencia de cintas policristalinas de cuarzo de alta temperatura, con textura en damero. Estas rocas tienen porfiroclastos de granate de hasta 1 centímetro de diámetro. Todos los posibles pseudomorfos de coesita que hemos observado están incluidos en los porfiroclastos de granate. Generan fracturas radiales en el granate y aparecen como agregados de cuarzo con textura en empalizada; esta textura, formada por granos de cuarzo con forma de bastones dispuestos radialmente en torno a un núcleo de mayores dimensiones (Fig. 2C), es exclusiva de cristales de coesita desestabilizados durante la descompresión de las rocas metamórficas de ultra-alta presión (Smith y Lappin, 1989; Schmädicke, 1991; Michard *et al.*, 1995). Las inclusiones estudiadas presentan un color de luminiscencia azul en la microsonda electrónica, lo que es característico de la coesita (Smith y Lappin, 1991; Chopin y Sobolev, 1995); sin embargo, los análisis efectuados en la microsonda Raman indican que se trata de cuarzo (Chopin, comunicación personal).

Numerosos granates de la piroxenita con grafito y de las muestras con pseudomorfo de coesita contienen inclusiones de clinopiroxeno y de agujas de rutilo orientadas a 120°. Las inclusiones de clinopiroxeno son escasas y de talla milimétrica, mientras que las agujas de rutilo son abundantes pero raramente llegan a alcanzar longitudes de 300 micras (Fig. 2D). La formación de semejantes inclusiones se atribuye habi-

tualmente a mecanismos de desmezcla durante la etapa de enfriamiento de las rocas metamórficas, en condiciones de alta o ultra-alta presión (Griffin *et al.*, 1971). Las exoluciones de clinopiroxeno requieren granates precursores con exceso de sílice, lo que implica un origen de ultra-alta presión (Moore y Gurney, 1985). Aunque no se han detectado granates de composición hipersilícica en las peridotitas de Ronda, sí han sido descritos granates con núcleos sódicos y con exceso de sílice en el macizo de Beni Bousera (Pearson *et al.*, 1989).

El corindón procede de piroxenitas miloníticas. Los granos de corindón contribuyen a definir la foliación milonítica y muestran subgranos producidos por deslizamiento intracristalino (Fig. 2E). Generalmente están rodeados por dos coronas, de espinela la más interna y de plagioclasa la externa (Fig. 2E), formadas en condiciones de presiones sucesivamente decrecientes.

En las peridotitas, el único indicio del metamorfismo de alta presión que hemos observado procede de una lherzolita milonítica del borde noroeste del macizo, adyacente a las capas de piroxenitas con granate y corindón (Fig. 1). La mayoría de los porfiroclastos de ortopiroxeno de esa muestra están estirados, y definen la lineación de estiramiento asociada a la etapa de milonitización. Existen otros porfiroclastos de ortopiroxeno, con forma globular y diámetros entre 3 y 7 mm, que engloban diminutas burbujas (*blebs*) de granate dispersas a lo largo de los planos del cleavage mineral (100) del piroxeno (Fig. 2F); además, la zona de borde de esos porfiroclastos presenta un halo de recristalización con neoblastos de piroxeno y racimos de granates de tamaño de grano fino. Estos tipos de granate se producen por desmezcla a partir de piroxenos ricos en aluminio, y pueden originarse en respuesta a un descenso de presión y/o un incremento de temperatura. Esta interpretación concuerda con la existencia de porfiroclastos de ortopiroxeno zonados, con contenidos en Al₂O₃ del 6,2 % en el núcleo y de sólo 2 % en los bordes (Obata, 1980). Según este autor, la composición del núcleo reflejaría la composición primaria del ortopiroxeno, equilibrada para presiones de 2000 MPa a 2500 MPa, y la de los bordes la de un episodio posterior de recristalización bajo presiones de 1200 MPa a 1500 MPa.

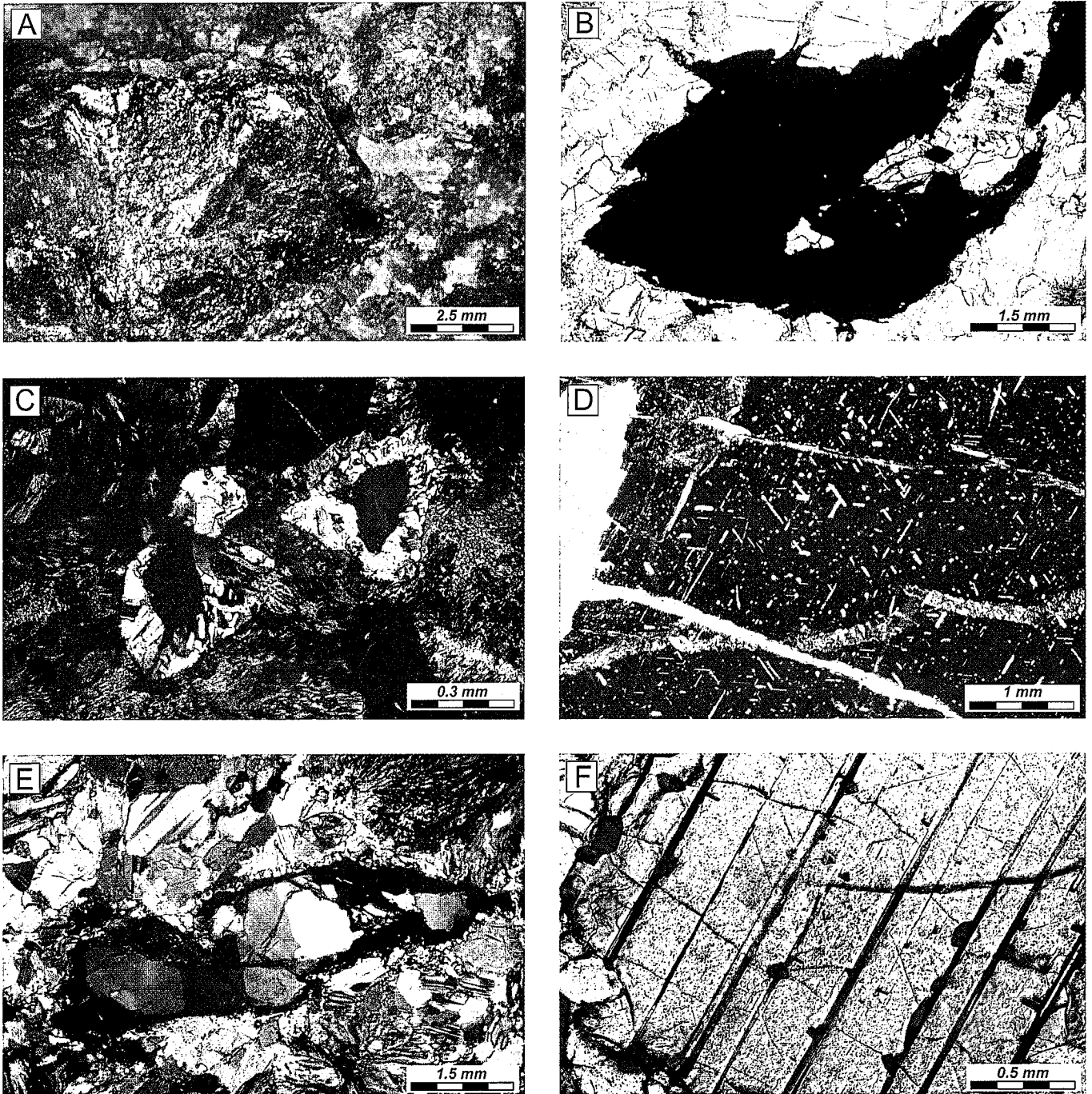


Fig. 2.- Características texturales representativas del metamorfismo de alta o ultra-alta presión: A: Cristal de grafito pseudomorfo de diamante, que aún conserva el hábito octaédrico característico de cristales de diamante de alta temperatura. B: Inclusiones de clinopiroxeno en un cristal de grafito con sección aproximadamente rómbica. C: Agregados de cuarzo con textura en empalizada, correspondientes a pseudomorfos de coesita. D: Granate con inclusiones de clinopiroxeno (en verde, a la izquierda de la fotografía) y de agujas de rutilo en tres sistemas a 120° . E: Cristal de corindón en una piroxenita milonítica con granate. El corindón, situado en el centro de la fotografía, está deformado plásticamente y aparece rodeado por una corona de espinela, englobada a su vez por otra corona más externa de plagioclasa. F: Porfiroclasto de ortopiroxeno, procedente de una peridotita milonítica, con burbujas de granate, originadas por desmezcla a partir de un piroxeno precursor, de naturaleza aluminica.

Fig. 2.- Textural features supporting the existence of high and ultra-high pressure conditions in the Sierra Bermeja massif (Ronda peridotites): A: graphite octahedron pseudomorphic after diamond in a pyroxenite. The octahedral faces point to a high temperature diamond. B: clinopyroxene inclusions showing partial rhombic faces in a graphite crystal. C: quartz aggregates with a palisade texture, pseudomorphic after coesite. D: garnet porphyroblast with inclusions of greenclinopyroxene (upper left) and acicular rutile well-oriented in three sets at 120° . E: corundum in a mylonitic, garnet pyroxenite. The corundum porphyroblast, showing subgrain boundaries produced by intracrystalline slip, is surrounded by spinel and then by plagioclase. F: orthopyroxene porphyroblast, from a mylonitic peridotite, with garnet blebs developed by exsolution from a former Al-rich pyroxene.

Interpretación

Las condiciones de presión y temperatura propuestas para la formación de las rocas que contienen los minerales descritos son imprecisas. Considerando la naturaleza sódica de los granates incluidos en el grafito, Slodkevich (1983), propuso temperaturas de 1400°C y presiones entre 5000 y 5800 MPa para la formación del diamante de Beni Bousera y de 1190-1350°C y 2100 a 2800 MPa para su grafitización. Davies *et al.* (1993) indican condiciones semejantes para la formación del diamante en las peridotitas de Ronda y ligeramente superiores para la grafitización (1400°C y 3000 MPa). Esas condiciones físicas implican un ascenso adiabático, lo que precisaría una presión superior a 3000 MPa y temperaturas cercanas a 1400°C para la producción de la coesita. Las presiones estimadas para la piroxenita con corindón son todavía menores, T 900°C y P 1500 MPa (Morishita *et al.*, 2001), lo que apunta hacia la etapa de enfriamiento isobárico.

Con respecto a la edad de este primer ascenso de las rocas ultramáficas, consideramos que puede adscribirse al desarrollo de un rift continental transtensivo inducido por el movimiento lateral de Iberia y Africa durante la apertura del Atlántico. Las edades obtenidas por Sánchez-Rodríguez y Gebauer (2000), 130 Ma para la piroxenita con granate y corindón de Sierra Bermeja y de 180 Ma para los protolitos ígneos de las eclogitas del manto de Ojén, subyacente a las peridotitas de Ronda, avalan esta interpretación. El intervalo de 50 millones de años entre esas dos edades puede asociar-

se a un enfriamiento casi isobárico, lo que explicaría que no se hayan conservado ni el diamante ni la coesita. De acuerdo con la evolución que proponemos, las facies de lherzolitas con granate y de lherzolitas con espinela representan un manto litosférico. En cambio las peridotitas con plagioclasa testimoniarían la introducción de manto astenosférico caliente durante el Mioceno, como consecuencia del desprendimiento de la cuña litosférica formada durante la colisión de Africa e Iberia.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos de investigación MCYT 00001.310-13292/2001 y UPV 00001.310-14478/2002. J.J. Esteban se beneficia de una beca predoctoral de Formación de Personal investigador del Gobierno Vasco.

Referencias

- Caby, R. (1994): *Eur. Jour. Mineral.*, 6, 235-244.
- Coleman, R. G. y Wang, X. (1995): In: *Ultrahigh Pressure Metamorphism* (Coleman, R. G. y Wang, X. Eds.), 1-32.
- Chopin, C. (1984): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 86, 107-118.
- Chopin, C. y Sobolev, N.V. (1995): In: *Ultrahigh Pressure Metamorphism* (Coleman, R. G. y Wang, X. Eds.), 96-131.
- Davies, G.R., Nixon, P.H., Pearson, D.G. y Obata, M. (1993): *Geology*, 21, 471-474.
- Griffin, W.L, Jensen, B.B. y Misra, S.N. (1971): *Norsk Geol. Tidsskrift*, 51, 177-185.
- Michard, A., Henry, C. y Chopin, C. (1995): In: *Ultrahigh Pressure Metamorphism* (Coleman, R. G. y Wang, X. Eds.), 132-158.
- Moore, R.O. y Gurney, J.J. (1985): *Nature*, 318, 553-555.
- Morishita, T., Arai, S. y Gervilla, F. (2001): *Lithos*, 57, 143-161.
- Obata, M. (1980): *Jour. Petrol.*, 21, 533-572.
- O'Hara, M.J. (1967): In: *Ultramafic and related rocks* (Wyllie P.J. Ed.), 393-401.
- Pearson, D.G., Davies, G.R., Nixon, P.H. y Milledge, H.G. (1989): *Nature*, 338, 60-62.
- Sánchez-Rodríguez, L., Gebauer, D., Tubía, J.M., Gil Ibarguchi, J.I. y Rubatto, D. (1996): *Geogaceta*, 20, 487-489.
- Sánchez-Rodríguez, L. y Gebauer, D. (2000): *Tectonophysics*, 316, 19-44.
- Schmädicke, E. (1991): *Eur. J. Mineral.*, 3, 231-238.
- Slodkevich, V.V. (1983): *Internat. Geology Rev.*, 25 (5), 497-514.
- Smith, D.C. (1984): *Nature*, 310, 641-644.
- Smith, D.C. y Lappin, M.A. (1989): *Terra Nova*, 1, 47-56.
- Sobolev, N.V. y Shatsky, V.S. (1990): *Nature*, 343, 742-746.
- Tubía, J.M. y Cuevas, J. (1998): *Mem. Com. de Tectónica de la SGE*, 96 p.
- Wang, X. y Liou, J.G. (1991): *Geology*, 19, 933-936.
- Xu, S., Okay, A.I., Ji, S., Sengor, A.M.C., Su, W., Liu, Y. y Jiang, L. (1992): *Science*, 256, 80-82.