

# Caracterización geoquímica y encuadre geodinámico de las anfibolitas y eclogitas del manto de Ojén, Complejo Alpujárride, Cordilleras Béticas

*Geochemistry and geodynamic frame of the Ojen Nappe's eclogites and amphibolites, Alpujarride Complex, Betic Cordilleras*

José Julián Esteban, Julia Cuevas y José M<sup>º</sup> Tubía

Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco, apartado 644, 48080 Bilbao, Spain. jj.esteban@ehu.es; julia.cuevas@ehu.es; jm.tubia@ehu.es

## ABSTRACT

*Amphibolite bodies with eclogite relics are found interlayered between the Ojen nappe's crustal rocks, below the Ronda peridotites of the Betic Cordilleras (southern Spain). We present a geochemical study of such amphibolites and retrogressed eclogites, from which it is possible to deduce a gabbroic origin for their protoliths. We propose that their intrusion in the continental crust took place in a rift setting of Jurassic to Lower Cretaceous age. The recognition of this rifting event in the Alpujarride Complex places an additional constraint for Mesozoic reconstructions of the Western Mediterranean.*

**Key words:** Eclogite, amphibolite, geochemistry, Ronda peridotites, Betic Cordilleras

*Geogaceta*, 46 (2009), 19-22  
ISSN: 0213683X

## Introducción y contexto regional

A partir de la localización de los promontorios de serpentinitas en la transición entre la corteza continental y oceánica del margen occidental de Galicia (Boillot *et al.*, 1980) se ha avanzado de manera notoria en el conocimiento de los procesos que se producen en la corteza continental y que anteceden a la generación de la nueva corteza oceánica. En general, se observa que la denudación del manto litosférico produce un significativo adelgazamiento de la corteza continental y una intrusión generalizada de sills gabbroicos (Boillot *et al.*, 1987; Reston *et al.*, 1995). El problema reside en que estas evidencias sobre antiguos márgenes continentales, que son vitales para las reconstrucciones paleotectónicas, se pierden a medida que progresa la deformación en los orógenos de colisión. En este trabajo se analiza la geoquímica de las eclogitas (Tubía y Gil Ibarguchi, 1991) y anfibolitas intercaladas entre diferentes niveles del manto de Ojén (Cordilleras Béticas), con el objetivo de determinar la naturaleza de sus protolitos. Aunque las firmas geoquímicas de los protolitos básicos suelen modificarse por los procesos acaecidos durante la subducción o bien durante su posterior emplazamiento en

niveles superiores de la corteza, en ocasiones, estas rocas conservan características geoquímicas primarias, que proporcionan una información primordial sobre su origen.

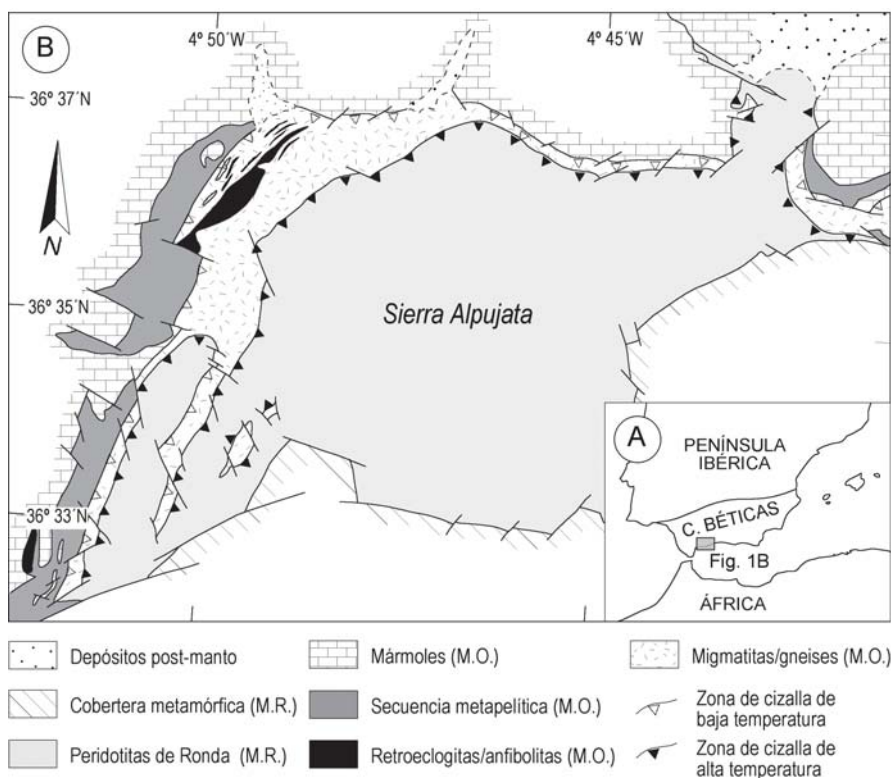
Las metabasitas estudiadas se encuentran dentro de la secuencia metamórfica del manto de Ojén (Tubía, 1985), con los afloramientos más extensos localizados al NO del macizo de Sierra Alpujata (Fig. 1), en el sector occidental de las Cordilleras Béticas. En esta zona, el manto de Ojén se encuentra situado estructuralmente por debajo de las peridotitas del manto de Los Reales y en posición invertida. El manto de Ojén está compuesto por una secuencia de migmatitas y gneises en la base, sobre las que se dispone una secuencia metapelítica formada por cuarcitas y esquistos, que culmina con una serie de mármoles de grano grueso de edad triásica (Tubía, 1985; Tubía *et al.*, 1997), edad confirmada por los datos geocronológicos obtenidos por el método U-Pb SHRIMP en circones de las migmatitas intercaladas entre los mármoles (Sánchez-Rodríguez, 1998).

Las metabasitas, principalmente anfibolitas y eclogitas, forman masas o cuerpos tabulares de longitud variable (0,1-5 km) dispuestos paralelamente a la foliación regional de la zona. Aparecen

intercaladas principalmente entre las migmatitas y gneises del manto de Ojén y, en ocasiones, cortan el bandeo de los mármoles (Fig. 1). Esta característica confirma el carácter intrusivo de los protolitos de las anfibolitas, así como su aparición en diferentes niveles de la secuencia litológica. Las bandas de anfibolitas se encuentran boudinadas y conservan bloques de eclogitas parcialmente retrometamorfizadas dispuestas paralelamente a la foliación. Las retroeclogitas son rocas de grano fino formadas principalmente por granate, plagioclasa y onfacita, con cantidades menores de cuarzo, rutilo, apatito e ilmenita. Las anfibolitas, a su vez, están formadas por anfíbol de composición variable (ferro-pargasita a magnesio-hornblenda), plagioclasa, diópsido e ilmenita. Presentan texturas variadas: gneísicas y "flaser" de grano grueso y texturas de grano fino en bandas alternantes que exhiben una buena foliación (para una descripción petrográfica más detallada véase Tubía, 1985; Tubía y Gil Ibarguchi, 1991 ó Tubía *et al.*, 1997).

## Geoquímica de roca total

Se han analizado siete muestras de anfibolitas y dos de retroeclogitas del manto de Ojén. Los análisis han sido



**Fig. 1.- Simplified geological location of the Ojen Nappe's eclogites and amphibolites. M.O.: Ojen Nappe. M.R.: Los Reales Nappe.**

efectuados en el *Service d'Analyse de Roches et Mineraux* de la Universidad de Nancy (Francia), mediante técnicas de ICP-AES (*Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry*) e ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*).

Las muestras analizadas presentan contenidos entre 42,4 y 48,8 % de SiO<sub>2</sub> y entre 1,1 y 3,5 % de álcalis, lo que permite agruparlas como basaltos o picrobasaltos (Fig. 2A) atendiendo a la clasificación de las rocas volcánicas de Le Bas *et al.* (1986). Además, muestran contenidos moderados a altos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13,5-19,8 %) y CaO (9,9-14,6 %), moderados a bajos de MgO (5,0-10,7 %) y muy variables de TiO<sub>2</sub> (1,41-4,10 %) y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,06-1,1), lo que refleja la concentración de apatito, rutilo e ilmenita en zonas localizadas. En el diagrama AFM las muestras se clasifican como rocas de naturaleza toleítica (Irvine y Baragar, 1971; Fig. 2B). Los diagramas de discriminación composicional, basados en la utilización de elementos traza (Winchester y Floyd, 1977; Fig. 2C) las clasifican como rocas subalcalinas con afinidad toleítica. De la misma forma, los débiles valores de las relaciones Th/Yb, Ta/Yb, Nb/Y y Zr/Y descartan un origen a partir de fuentes mantélicas re-

lacionadas con procesos de subducción (Fig. 2D).

Por lo que respecta a los contenidos en tierras raras (REE), normalizados para el chondrito C<sub>1</sub> (Sun y McDonough, 1989), las muestras presentan un grado variable de fraccionación, con concentraciones de REE entre 10 a 100 veces mayores que las del chondrito (Fig. 2E). Tienen patrones planos ó ligeramente enriquecidos en tierras raras ligeras (La<sub>N</sub>/Lu<sub>N</sub> = 1,22-1,86; La<sub>N</sub>/Sm<sub>N</sub> = 0,90-1,32) y anomalías tanto positivas como negativas en Eu. Estas características descartan un ambiente de arco volcánico para la generación de los magmas y establecen su similitud con magmas basálticos, empobrecidos (N-Morb) o enriquecidos (E-Morb), de dorsal oceánica. Las anomalías en Eu denotan la fraccionación de plagioclasa durante la cristalización de los protolitos basálticos.

En los diagramas multielementales normalizados para el manto primitivo (Fig. 2F) de Sun y McDonough (1989), las muestras analizadas presentan valores ligeramente convexos, similares a los descritos por Briand *et al.* (2002) para el magmatismo básico del macizo de Maures (Francia). Las muestras se pueden separar claramente en dos grupos composicionales, basados en sus anomalías en Sr y Ti: metabasitas de tipo A y de

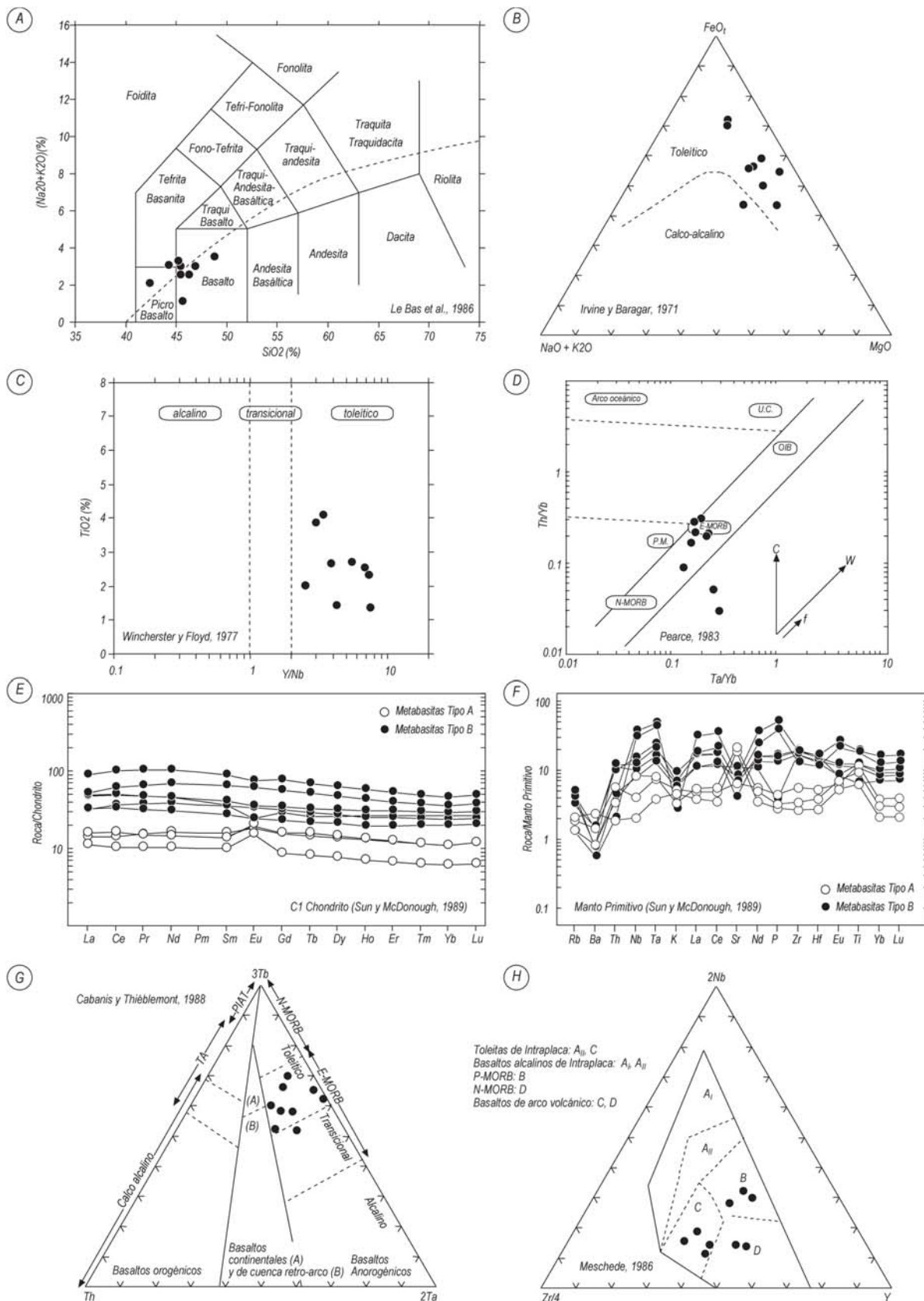
tipo B. Las metabasitas de tipo A presentan anomalías positivas en Sr y Ti, están débilmente fraccionadas (5-10 veces los contenidos del manto primitivo) y muestran siempre anomalías positivas en Eu. Las metabasitas de tipo B, exhiben anomalías negativas en Sr y Ti, están altamente fraccionadas (20-70 veces los contenidos del manto primitivo) y tienen anomalías negativas en Eu. La similitud de los patrones obtenidos con los de los basaltos de tipo N-Morb, y especialmente con los de tipo E-Morb, también descarta un ambiente de arco oceánico como posible fuente de los protolitos de las metabasitas.

La proyección de las muestras en los diferentes diagramas de discriminación tectónica pone de manifiesto que la mayor parte de ellas, en general, quedan representadas fuera de los límites que se han establecido. Sin embargo, en algunos quedan bien definidas. Así, aparecen representadas dentro del campo de los basaltos oceánicos en el diagrama K<sub>2</sub>O-TiO<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de Pearce *et al.* (1975); se incluyen dentro de los basaltos anorogénicos toleíticos con afinidad propia de un manto enriquecido en el diagrama Th-3Tb-2Th (Cabanis y Thiéblemont, 1988; Fig. 2G); se encuentran fuera de los campos de los basaltos alcalinos intraplaca en el diagrama Zr/4-2Nb-Y (Meschede, 1986; Fig. 2H) y se representan dentro de los basaltos de fondo oceánico en el diagrama V-Ti (Shervais, 1982).

**Discusión y conclusiones**

Si bien los protolitos de las retroeclogitas y anfibolitas del manto de Ojén estudiadas en este trabajo han sido fuertemente deformados y metamorizados durante la orogenia alpina, todavía se preservan algunos afloramientos que permiten deducir su carácter intrusivo. Probablemente, proceden de antiguos sills y lacolitos de gabros emplazados en una corteza continental. Esta procedencia también estaría de acuerdo con la presencia ocasional de circón (Sánchez-Rodríguez y Gebauer, 2000), ya que este mineral no suele aparecer en basaltos debido a la rápida cristalización del magma.

A partir de los datos geoquímicos de las metabasitas se puede deducir un origen de sus protolitos a partir de magmas basálticos producidos por la fusión parcial de un manto enriquecido o transicional (E o T-MORB). También se detectan procesos de acumulación magmática, en los que la acumulación de plagioclasa durante la cristalización de



**Fig. 2.- Diagramas de discriminación geoquímica y tectonomagmática para las metabasitas analizadas. A) SiO<sub>2</sub> vs Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub>O. B) Diagrama AFM. C) Y/Nb vs TiO<sub>2</sub>. D) Ta/Yb vs Th/Yb. E) Diagrama de REE normalizado respecto al chondrito. F) Diagrama multielemental normalizado respecto al manto primitivo. G) Th-3Tb-2Ta. H) 2Nb-Zr/4-Y.**

*Fig. 2.- Geochemical and tectonomagmatic discrimination diagrams of the analyzed metabasites. A) SiO<sub>2</sub> vs Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub>O. B) AFM diagram. C) Y/Nb vs TiO<sub>2</sub>. D) Ta/Yb vs Th/Yb. E) Chondrite-normalized REE diagram. F) Primitive mantle-normalized multielementally diagram. G) Th-3Tb-2Ta. H) 2Nb-Zr/4-Y.*

las metabasitas pudo ser responsable de la formación de los dos grupos reconocidos, y procesos muy débiles de contaminación cortical.

La intrusión de los protolitos de las metabasitas se produjo con posterioridad al Trías, ya que los mármoles están atravesados por estas rocas. Los datos geocronológicos obtenidos mediante U-Pb SHRIMP sobre monocircones en estos materiales señalan una edad cercana a 180 Ma para sus protolitos (Sánchez-Rodríguez y Gebauer, 2000), que coincide aproximadamente con la edad de la apertura del océano Ligur (Stampfli *et al.*, 2002) y con el desarrollo del vulcanismo básico en el Subbético a lo largo del paleomargen sur de Iberia. Teniendo en cuenta los argumentos regionales y el hecho de que las metabasitas afloran en una sucesión de afinidad continental, entre gneises, cuarcitas, esquistos y mármoles del manto de Ojén, sugerimos que los protolitos de estas anfibolitas y retroeclogitas intruyeron en un margen pasivo adelgazado, aunque no podemos descartar la posibilidad de que el proceso pudiera haber originado una nueva corteza oceánica.

Las reconstrucciones para el Mediterráneo occidental colocan el dominio Bético en una posición imprecisa entre el borde oriental de un sistema de rifting y fallas transformantes que conectaba el Océano Atlántico y el Neotethys, limitado por las placas de Iberia y África (Biju-Duval *et al.*, 1977; Ziegler, 1988; Dewey *et al.*, 1989; Olivet, 1996; Stampfli *et al.*, 2002). El escenario tectónico más probable para las metabasitas analizadas en este trabajo es que fueran unos restos de los paleomárgenes del océano Ligur o que estuvieran localizados en el sistema rift-transformante que conectó el Océano Atlántico y el Neotethys durante el Jurásico y el Cretácico Inferior.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos de investigación CGL2007-60039BTE del MEC e IT-270-07, para grupos consolidados de investigación del Sistema Universitario Vasco.

### Referencias

- Biju-Duval, D., Dercourt, J. y Le Pichon, X. (1977). En: *Internacional Symposium on the structural history of the Mediterranean basins*. Ed. Technip, Paris, 143-164.
- Boillot, G., Grimaud, S., Mauffret, A., Mougénot, D., Kornprobst, J., Mergoïl-Daniel, J. y Torrent, G. (1980). *Earth and Planetary Science Letters*, 48, 23-24.
- Boillot, G., Recq, M. y Scientific Party of the ODP Leg 103 (1987). *Tectonophysics*, 132, 335-342.
- Briand, B., Bouchardon, J.L., Capiez, P. y Piboule, M. (2002). *Geological Magazine*, 139, 291-311.
- Cabanis, B. y Thiéblemont, D. (1988). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 8, 927-935.
- Dewey, J.F., Herman, M.L., Turco, E., Hutton, D.H.W. y Knott, S.D. (1989). En: *Alpine Tectonics* (Coward, M.P., Dietrich, D. y Park, R.G. Eds.). *Geological Society London, Special Publications*, 45, 265-283.
- Irvine, T.N. y Baragar, W.R.A. (1971). *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeis, A. y Zanettin, B. (1986). *Journal of Petrology*, 27, 745-750.
- Meschede, M. (1986). *Chemical Geology*, 56, 207-218.
- Olivet, J.L. (1996). *Bulletin du Centre de Recherche Exploration-Production Elf Aquitaine*, 20, 131-195.
- Pearce, J.A. (1983). En: *Continental Basalts and Mantle Xenoliths* (C.J. Hawkesworth y M.J. Norry, Eds.). Shiva Publishing Limited, 230-249.
- Pearce, T.H., Gorman, B.E. y Birkett, T.C. (1975). *Earth and Planetary Science Letters*, 24, 419-426.
- Reston, T.J., Krawczyck, C.M. y Hoffmann, H.J. (1995). En: *Tectonics of the North Atlantic Region* (R.A. Scrutton, M.S. Stoker, G.B. Shimmiel y A.W. Tudhope, Eds.). *Geological Society London, Special Publications*, 90, 93-109.
- Sánchez-Rodríguez, L. (1998). *Pre-Alpine and Alpine evolution of the Ronda Ultramafic Complex and its country-rocks (Betic chain, southern Spain): U-Pb SHRIMP zircon and fission-track dating*. Tesis Doctoral, ETH Zürich, 170 p.
- Sánchez-Rodríguez, L. y Gebauer, D. (2000). *Tectonophysics*, 316, 19-44.
- Shervais, J.W. (1982). *Earth and Planetary Science Letters*, 59, 101-118.
- Stampfli, G.M., Borel, G.D., Marchant, R. y Mosar, J. (2002). *Journal of Virtual Explorer*, 8, 77-106.
- Sun, S.S. y McDonough, W.F. (1989). En: *Magmatism in the Ocean Basins* (S.S. Sun y W.F. McDonough, Eds.). *Geological Society, London, Special Publications*, 42, 313-345.
- Tubía, J.M. (1985). *Sucesiones metamórficas asociadas a rocas ultramáficas en los alpujárrides occidentales (Cordilleras Béticas, Málaga)*. Tesis Doctoral, Univ. del País Vasco, 263 p.
- Tubía, J.M. y Gil Iburguchi, J.I. (1991). *Journal of the Geological Society, London*, 148, 801-804.
- Tubía, J.M., Cuevas, J. y Gil Iburguchi, J.I. (1997). *Tectonophysics*, 279, 227-252.
- Winchester, J.A. y Floyd, P.A. (1977). *Chemical Geology*, 20, 325-343.
- Ziegler, P.A. (1988). *Evolution of the Arctic-North Atlantic and Western Tethys*. American Association of Petroleum Geologist Memoir 43, 198 p.