

REORGANIZACIÓN DE LAS ZONAS INTERNAS DEL TERCIO OCCIDENTAL DE LAS CORDILLERAS BÉTICAS: CRITERIOS E IMPLICACIONES TECTÓNICAS

F. Navarro-Vilá¹, J. Cuevas², J.J. Esteban³ y J. M. Tubía^{4*}

¹Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, Plaza de la Merced s/n, 37008 Salamanca. navarro@usal.es

²Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco, Apdo. 644, 48080 Bilbao. julia.cuevas@ehu.es

³Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco, Apdo. 644, 48080 Bilbao. jj.esteban@ehu.es

^{4*}(correspondencia) Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco, Apdo. 644, 48080 Bilbao. jm.tubia@ehu.es

Resumen: Clásicamente, en las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas se han distinguido tres complejos principales: Nevado-Filábride, Alpujarride y Maláguide, en orden ascendente. Una revisión de las publicaciones recientes muestra que esa diferenciación se ha basado en criterios inadecuados. En este trabajo proponemos que la separación de los complejos debe hacerse en función de su colocación, a techo o muro, de las zonas de sutura litosféricas. La aplicación de este criterio modifica la organización clásica del tercio occidental de las Zonas Internas. En ese sector, la sutura litosférica identificada al norte de los macizos peridotíticos de Sierra Alpujata y Sierra de Mijas separa dos conjuntos, el formado por el manto de Los Reales más el Maláguide, en el bloque superior, del grupo de unidades alpujarrides infrayacentes a las peridotitas, en el bloque inferior. El conjunto situado a techo de la sutura estaba ligado al borde africano durante un proceso de rifting mesozoico. Los materiales del conjunto infrayacente, situados en una posición más septentrional, sufrieron un proceso de subducción posterior y ambos se han suturado hace menos de 22 Ma.

Palabras clave: Cordilleras Béticas, Zonas Internas, sutura litosférica, «*rifting*» mesozoico, subducción.

Abstract: In this work, we discuss the main tectonic division of the western part of the Internal Zones of the Betic Cordilleras. Classically, the Internal Zones have been differentiated in three main complexes: the Nevado-Filabride, Alpujarride and Malaguide, in ascending order. A review of recent publications about this subject shows that the distinction of these groups has been based upon inappropriate criteria and the results of its application have not been questioned yet. We consider that for a major tectonic division to be valid, the boundaries of the main complexes have to be located along lithospheric suture zones. The Internal Zones of the Betic Cordilleras preserve two suture zones, one in the Nevado-Filabride Complex and another in the so-called Western Alpujarrides. This second suture zone is defined by the Ronda peridotites in association with the eclogites of the underlying Ojen nappe. The application of this new approach changes the classical division in the Internal Zones. In the Western Alpujarride, the tectonic suture separates two domains: 1) the Los Reales nappe (including the Ronda peridotite massifs) and the Malaguide Complex in the hangingwall and 2) the materials that form underlying alpujarride units as Ojen, Guadaiza, and Yunquera in the footwall rock. This new division is supported by other geological evidence, as the intrusion in the Los Reales nappe and the Malaguide Complex of a dolerite dyke swarm about 25 Ma ago, which does not exist in the infra-suture nappes.

Geological and palaeomagnetic data allow to relate the supra-suture block to the African border during a Mesozoic rifting event related to the opening of the Neotethys and the lower block to a more septentrional domain, that was subducted during the Miocene.

Key words: Betic Cordilleras, Internal Zones, suture, Mesozoic rifting, subduction.

Navarro-Vilá, F., Cuevas, J., Esteban, J.J. y Tubía, J.M. (2007). Reorganización de las zonas internas del tercio occidental de las Cordilleras Béticas: criterios e implicaciones tectónicas. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 20 (3-4): 201-210.

Los dos grandes grupos de unidades tectónicas de la Cordillera Bética, las Zonas Externas y las Zonas Internas, comparten una misma orientación de los afloramientos ENE (Fig. 1), pero difieren en sus materiales, grado de deformación y evolución tectónica. Las Zonas Externas están constituidas

mayoritariamente por materiales mesozoicos y terciarios, mientras que las Zonas Internas están formadas esencialmente por rocas metamórficas con edades del Trías medio/superior y paleozoicas. Las Zonas Externas, Prebético y Subbético, componen un cinturón de pliegues y cabalgamientos formado a

expensas de las cuencas mesozoicas y terciarias, instaladas en el paleomargen sudibérico. Actualmente, la Cordillera Bética se interpreta como un orógeno de colisión dislocado por colapso extensional, considerándose que el acortamiento de las Zonas Externas acomodó gran parte de la extensión de las Zonas Internas. Tanto la colisión como el colapso extensional evolucionaron en el continuado régimen de convergencia que se instauró durante el Cretácico entre Iberia y África y que aún se mantiene vigente (*e.g.*, Dewey *et al.*, 1973).

El número de trabajos publicados desde los años ochenta sobre la estructura, metamorfismo y geocronología de las Zonas Internas es cuantioso, pero el conocimiento de su evolución tectónica sigue presentando importantes lagunas. La complejidad de la tectónica de las Zonas Internas de la cordillera es innegable pero, en nuestra opinión, el hecho de que el problema aún no se haya resuelto se debe, en gran parte, a que los criterios que se aplicaron para diferenciar los tres complejos principales que componen las Zonas Internas (Nevado-Filábride, Alpujárride y Maláguide, en orden ascendente; Fig. 1) estaban basados en el escaso conocimiento que entonces se tenía del metamorfismo. De hecho, el criterio que se utilizó reflejaba la consideración, imperante en los años sesenta, de que el grado del metamorfismo alpino difiere en cada complejo, siendo mesozonal en el Nevado-Filábride, epizonal en el Alpujárride y con el Maláguide prácticamente carente de metamorfismo (Egeler y Simon, 1969). Sin embargo, el hallazgo de rocas con carfolita rica en Mg en unidades de los

Alpujárrides inferiores del sur de Sierra Nevada (Goffé *et al.*, 1989; Azañón y Goffé, 1997) y de eclogitas en el manto de Ojén, unidad alpujárride del Oeste de Málaga (Tubía y Gil Ibarguchi, 1991; Tubía *et al.*, 1997), ha invalidado la consideración de que el metamorfismo de alta presión era exclusivo del Complejo Nevado-Filábride. Por lo que concierne al Complejo Maláguide, en su base, correspondiente a la Formación Morales definida por Mon (1969, 1971), se han reconocido esquistos de grano fino con granate y/o andalucita (Tubía y Navarro-Vilá, 1984; Tubía, 1985; Soto, 1986; Cuevas *et al.*, 2001). Hoy día se admite, por lo tanto, que la diferenciación de los complejos internos béticos se basó en criterios inadecuados, pero sin embargo no se ha entrado en cuestionar las agrupaciones derivadas de su aplicación, que deberán ser revisadas.

En otros orógenos es práctica común recurrir a las zonas de sutura litosférica para delimitar sus principales dominios tectónicos. Así ocurre en cadenas alpinas como los Alpes (O'Brien, 2001; Pleuger *et al.*, 2005) e Himalayas (Ernst, 2001; O'Brien, 2001) o en otras más antiguas. En este trabajo planteamos que la distinción de unidades tectónicas mayores en las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas también ha de basarse primordialmente en la colocación de las unidades a muro o techo de las zonas de sutura litosférica, preservadas en las Zonas Internas. La aplicación de este criterio necesariamente produce cambios en la organización clásica de las Zonas Internas, cambios que afectan esencialmente a los complejos Alpujárride y Maláguide del tercio occidental de la cadena. En los apartados siguientes discutimos las principales

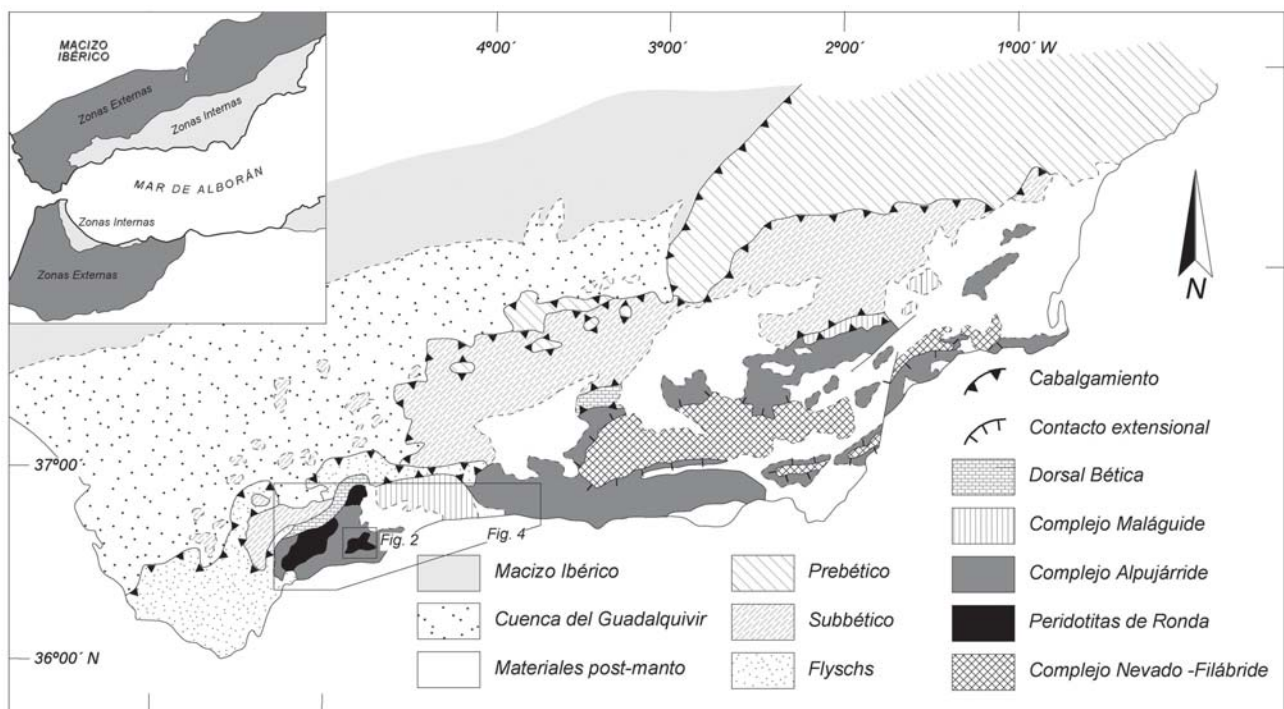


Figura 1.- Esquema simplificado de los principales conjuntos que se han diferenciado clásicamente en las Zonas Internas y Externas de las Cordilleras Béticas. En el encuadre superior izquierdo se muestra la localización geográfica de las Cordilleras Béticas y el Rif, alrededor del Mar de Alborán.

implicaciones tectónicas derivadas de dicha reorganización en la provincia de Málaga.

En este trabajo abundan las citas de publicaciones en las que colaboró Víctor García-Dueñas. El modelo de evolución geodinámica que en ellas se postula no es coincidente con el que nosotros defendemos; Víctor lo habría discutido y la polémica, como otras veces, nos habría enriquecido. Lamentablemente, para la geología, pero más para los amigos, él ya no está.

Suturas en las Zonas Internas

Una sutura tectónica es una zona de cizalla compleja que marca el límite entre dos bloques corticales que inicialmente estaban muy separados, situados a menudo en diferentes placas. Se considera, además, que entre los dos bloques corticales existió litosfera oceánica (Neuendorf *et al.*, 2005). Debido a que la litosfera oceánica suele consumirse en las zonas de subducción, las suturas se establecen frecuentemente a partir de la localización de eclogitas que testimonien la existencia de antiguos procesos de subducción (Ernst, 2001; O'Brian, 2001). Las zonas de paleo-subducción detectadas en los cinturones orogénicos pueden ser de tipo oceánico o continental, dependiendo de si conservan o no jirones de sucesiones ofiolíticas procedentes de litosfera oceánica antigua. Estas dos categorías de subducciones corresponden, respectivamente, a las subducciones de tipo B y de tipo A (Maruyama *et al.*, 1996) o a las de tipo Pacífico y Alpino de Ernst (2001). Estos dos tipos de subducción representan en muchos casos etapas sucesivas del mismo proceso de convergencia de placas, ya que la subducción oceánica puede acabar siendo reemplazada por colisión continental, como ocurre en el cinturón alpino-himalayo (*e.g.*, O'Brien, 2001).

Considerando lo anterior, las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas contienen dos sectores cuyas características son propias de suturas: uno en el Complejo Nevado-Filábride y otro en el Alpujarride. El primero de ellos, ampliamente representado en Sierra Nevada y en la Sierra de Los Filabres, está integrado por varias unidades nevado-filábrides superiores que incorporan eclogitas, esquistos azules y serpentinitas. Las eclogitas del manto de Ojén, junto con las peridotitas de Ronda superpuestas a ellas, delimitan otro sector de sutura litosférica al Oeste de Málaga (Fig. 2). El significado de las rocas básicas y ultrabásicas nevado-filábrides es objeto de discusión, pues para algunos autores representan una secuencia ofiolítica desmembrada, originada a partir de litosfera oceánica de edad mesozoica (Puga *et al.*, 1995; Puga *et al.*, 1999), mientras que para otros procederían de rocas magmáticas básicas que intruyeron en una corteza continental adelgazada (Gómez Pugnare y Franz, 1988; Gómez Pugnare y Muñoz, 1991). En cualquier caso, los protolitos de las eclogitas nevado-filábrides (Hebeda *et al.*, 1980; Puga *et al.*, 1989), al igual que los de las eclogitas del manto de Ojén (Sánchez-Rodríguez

y Gebauer, 2000) son gabros de edades jurásicas que se han relacionado con el magmatismo mesozoico de la etapa de «*rifting*» continental, ligada a la apertura del Neotethys y del Atlántico Sur. La posición estructural de la sutura nevado-filábride es imprecisa debido a que la dispersión de eclogitas y serpentinitas en varias unidades tectónicas refleja repeticiones, relacionadas con cabalgamientos tardí a post-metamórficos (García-Dueñas *et al.*, 1988) o con la tectónica extensional posterior (González Casado *et al.*, 1995); en cambio, la zona de sutura alpujarride está claramente definida, ya que la separación entre el manto de Ojén y las peridotitas de Ronda es un contacto neto, que conserva todas las características estructurales, cinemáticas y metamórficas propias de un cabalgamiento dúctil (Tubía y Cuevas, 1986; Tubía *et al.*, 1997).

Un aspecto discutible es si los dos sectores considerados, que están separados más de un centenar de kilómetros (Fig. 1), son distintos afloramientos de una misma zona de sutura o si se trata de dos suturas diferentes. Esta cuestión surge como consecuencia de que varios autores, siguiendo la posible correlación propuesta por Egeler y Simon (1969) entre su zona de estudio en la parte oriental de la cadena y el sector occidental de la misma, han considerado que el manto de Ojén podría ser una unidad del Complejo Nevado-Filábride (Lundeen, 1978; Vissers *et al.*, 1995); en tal caso, sólo habría una zona de sutura. Sin embargo, los estudios estructurales, cartográficos y petrológicos realizados en los sectores central y occidental de las Zonas Internas (Aldaya *et al.*, 1979; Tubía *et al.*, 1992; Azañón *et al.*, 1994) prueban sin dificultad que la zona de sutura entre el manto de Ojén y los macizos de peridotitas de Ronda ocupa una posición estructural superior a la localizada en el Nevado-Filábride. En los apartados siguientes se discute la reorganización que es preciso efectuar en el tercio occidental de las Zonas Internas al interpretar como sutura litosférica la zona de cizalla entre el manto de Ojén y las peridotitas de Ronda.

La sutura entre los mantos de Ojén y Los Reales

La sutura entre los mantos de Ojén y Los Reales puede estudiarse a partir de los afloramientos de migmatitas y gneisses localizados al Norte de los macizos peridotíticos de Sierra Alpujata (Fig. 2) y de la Sierra de Mijas. Sus características más destacadas son las siguientes:

- 1) Se trata de un contacto tectónico cuyo buzamiento varía entre 45° y 70° al sur. El contacto superpone peridotitas del manto subcontinental sobre materiales metamórficos propios de una corteza continental, correspondiente a la sucesión de gneisses, anfibolitas, esquistos y mármoles del manto de Ojén (Tubía, 1985; Tubía y Cuevas, 1986). Intercaladas entre las anfibolitas se conservan capas de eclogitas de hasta 3 metros de espesor (Tubía y Gil Ibarquchi, 1991).

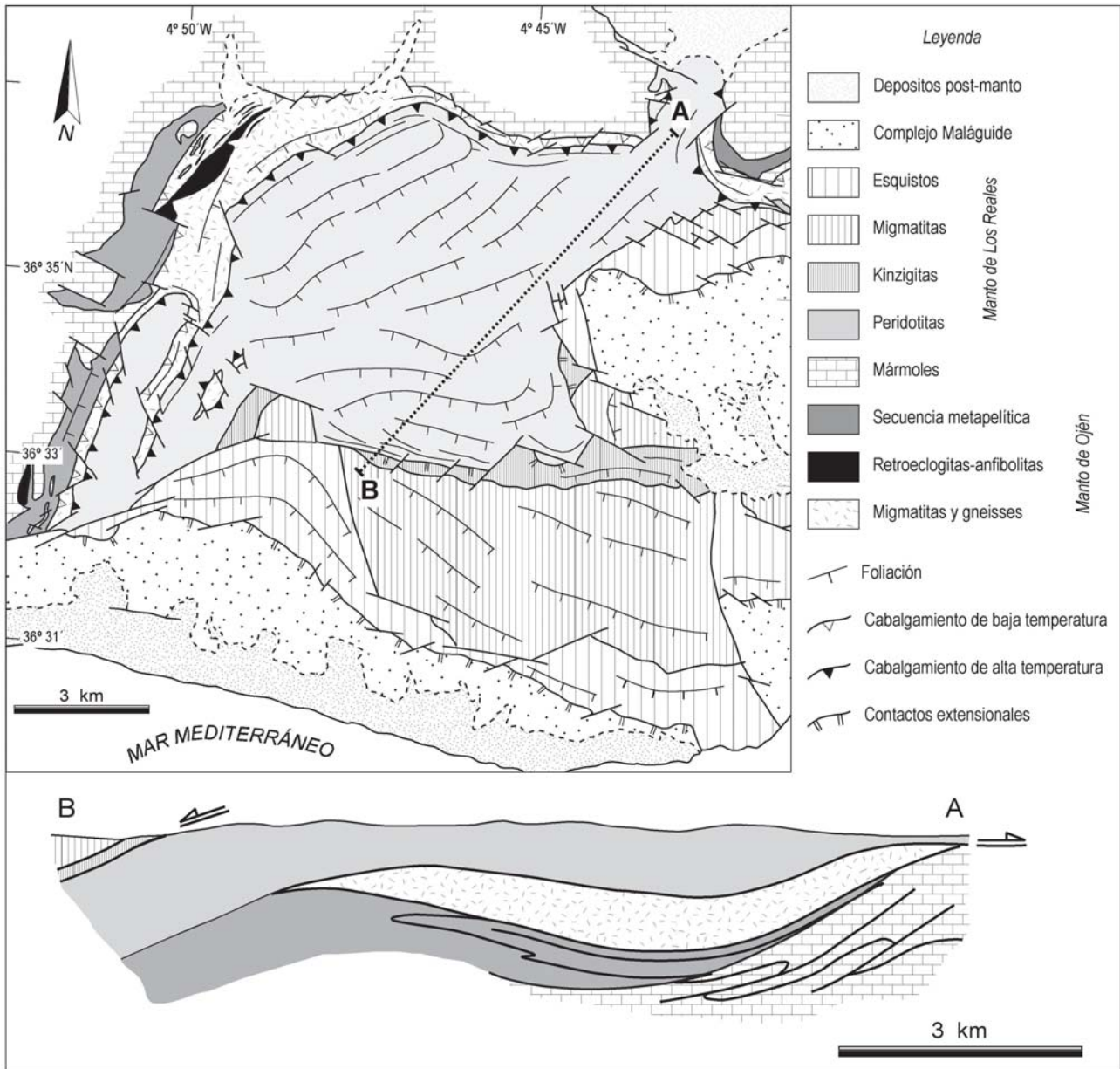


Figura 2.- Mapa estructural de la sutura entre los mantos de Ojén y Los Reales, al norte del macizo de peridotitas de Sierra Alpujata (localización en figura 1). En el esquema se han representado las principales litologías que afloran en el sector y las trayectorias de la foliación. El corte AB muestra las relaciones estructurales entre los conjuntos localizados por encima y por debajo de la sutura.

- 2) Las características estructurales del contacto indican que se trata de una zona de cizalla dúctil heterogénea con una potencia superior a los 400 metros, de los cuales unos 100 m corresponden a las peridotitas del bloque de techo y supera los 300 metros de espesor en las rocas del bloque de muro (Tubía y Cuevas, 1987; Tubía *et al.*, 1997).
- 3) La intensidad de la deformación aumenta hacia el contacto entre las migmatitas y gneisses con las peridotitas. Esta característica se puede reconocer por el desarrollo de rocas miloníticas y la consiguiente disminución del tamaño de grano de las rocas hacia el contacto entre los mantos de Ojén y Los Reales. Estos procesos llevan asociados el desarrollo de una foliación milonítica muy penetrativa y de una lineación

mineral de estiramiento (Tubía, 1985; Tubía y Cuevas, 1986, 1987; Tubía *et al.*, 1997).

- 4) La cinemática de la zona del contacto puede ser aún reconstruida a partir del estudio estructural de la zona de cizalla dúctil desarrollada en el contacto basal entre los macizos peridotíticos de Sierra Alpujata y Sierra de Mijas (Tubía *et al.*, 1997). Sobre la foliación, con buzamiento actual hacia el sur y paralela al contacto cartográfico, se observa una lineación mineral de estiramiento, con una orientación media de N70° E, con abundantes criterios cinemáticos que indican un movimiento del bloque de techo ascendente y hacia el ENE (en la posición actual cartográfica).
- 5) El contacto se originó en condiciones de alta temperatura. En las peridotitas del bloque de

techo se desarrollaron rocas miloníticas, a temperaturas superiores a 800 °C (Tubía y Cuevas, 1986). En el bloque de muro la formación de texturas en damero y la activación de deslizamientos intracristalinos de dirección [c] en el cuarzo, también demuestra que las milonitas del manto de Ojén se formaron en condiciones de elevadas temperaturas (Mainprice *et al.*, 1986).

Por estas características la zona de cizalla dúctil entre los mantos de Ojén y Los Reales ha sido descrita como un cabalgamiento, asociado al emplazamiento en caliente de las peridotitas de Ronda (Tubía y Cuevas, 1986, 1987). Considerando además la presencia de eclogitas, dicho cabalgamiento se ha relacionado con un proceso de subducción de tipo A (Tubía *et al.*, 1997).

Las interpretaciones de otros autores sobre la naturaleza del contacto entre los mantos de Ojén y Los Reales y sobre el significado de las eclogitas del manto de Ojén difieren de las expuestas previamente. El contacto de superposición del manto de Los Reales sobre el de Ojén ha sido interpretado: 1) como una zona de cizalla equiparable con la zona de cizalla Bermeja-Jubrique (Sánchez-Gómez *et al.*, 2002), situada en el techo de los macizos de peridotitas y que es de naturaleza extensional (Balanyá *et al.*, 1993, 1997; Tubía *et al.*, 1993; Argles *et al.*, 1999) y 2) como una zona de cizalla extensional de bajo ángulo que corta a la zona de cizalla Bermeja-Jubrique (Platt *et al.*, 2003). Según estos últimos autores el emplazamiento del manto litosférico sobre la corteza continental se habría producido durante un proceso de exhumación extensional como el representado en la figura 3. Durante una primera etapa extensional (D_1) se formaría la zona de cizalla Bermeja-Jubrique (Fig. 3A), que posteriormente sería cortada por un nuevo «detachment» extensional (D_2), equivalente al contacto Los Reales-Ojén, dando lugar así a la imbricación de las peridotitas entre materiales corticales (Fig. 3B). A pesar de que ese modelo extensional sirve para explicar

geoméricamente la imbricación del manto en la corteza continental, no es válido para este caso, pues requiere que los materiales situados a muro y a techo de las peridotitas sean los mismos: las kinzigitas y sucesión de materiales del manto de Los Reales (Fig. 3B). En cambio, como muestra el corte geológico de la figura 2, por debajo de las peridotitas del macizo de Sierra Alpujata, está el manto de Ojén, cuya secuencia litológica es distinta de la del manto de Los Reales suprayacente (Navarro-Vilá y Tubía, 1983).

Con respecto a las eclogitas del manto de Ojén, Sánchez-Gómez *et al.* (2002) consideran que no tienen relación directa con el emplazamiento de las peridotitas de Ronda, sino con un evento metamórfico de alta presión previo que habría dado lugar a la formación de las kinzigitas o granulitas de composición metapelítica situadas sobre las peridotitas de Ronda. Esta interpretación colisiona con los resultados de las dataciones radiométricas de las eclogitas y de las kinzigitas. En las eclogitas del manto de Ojén, las dataciones U/Pb sobre circones mediante el método SHRIMP, han proporcionado edades de $19 \pm 1,7$ Ma para el metamorfismo y edades jurásicas, de 183 ± 3 Ma, para los protolitos ígneos de las eclogitas (Sánchez-Rodríguez y Gebauer, 2000). En cambio para las kinzigitas que recubren a las peridotitas de los macizos de Sierra Alpujata y Sierra de Carratraca, las edades obtenidas por el mismo método son de 313 ± 5 Ma para el metamorfismo de alta presión (Sánchez-Rodríguez, 1998). También en las kinzigitas que recubren a las peridotitas en Beni Bousera, homólogas de las de Ronda en Marruecos, los resultados obtenidos en monacitas blindadas por granates indican una edad hercínica de 284 ± 27 Ma para el metamorfismo de alta presión (Montel *et al.*, 2000).

Un modelo tectónico que se ajuste a los datos, estructurales y geocronológicos, disponibles actualmente en el sector occidental de las Zonas Internas, debe por tanto considerar el que ambos conjuntos de rocas de alta presión/alta temperatura no

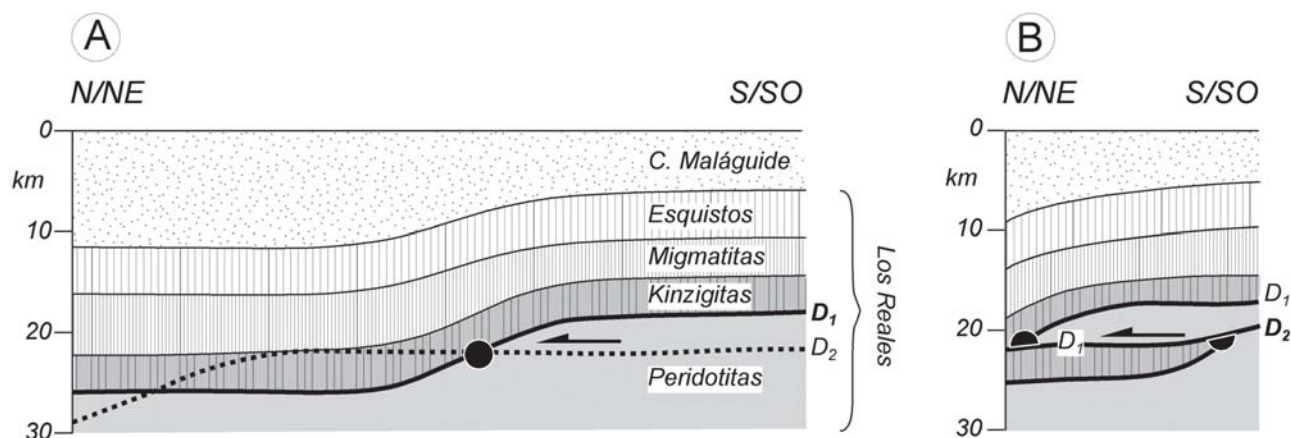


Figura 3.- Esquema modificado, propuesto por Platt *et al.* (2003) para explicar el emplazamiento extensional de las peridotitas de Ronda. **A)** Como se puede observar, a partir de este esquema la activación sucesiva de dos zonas de cizalla extensional D_1 y D_2 , produce la imbricación de las rocas ultramáficas entre materiales corticales. **B)** El modelo requiere que los materiales situados a techo y a muro de las peridotitas sean los mismos (kinzigitas del manto de Los Reales). Sin embargo, como se menciona en el texto, ni la secuencia litológica, ni las edades obtenidas apoyan dicha propuesta.

tuvieran un origen relacionado y que el emplazamiento de las peridotitas de Ronda requiere una etapa de convergencia litosférica.

Reorganización del sector occidental de las Zonas Internas

La localización de una de las suturas mayores de la Cordillera entre los mantos de Ojén y de Los Reales, obliga a una reorganización de las unidades tectónicas del tercio occidental de las Zonas Internas béticas, en función de su posición a techo o a muro de la misma.

Características de la reorganización

La sutura descrita deja al conjunto formado por el manto de Los Reales y el Complejo Maláguide en el bloque de techo y por debajo quedan los mantos alpujarrides de Ojén, Guadaiza y Yunquera, todos ellos aflorantes bajo las peridotitas de Ronda, y sus equivalentes, Herradura y Salobreña (s.l.), en sectores más orientales de la cadena (Fig. 4). Esta diferenciación concuerda con otras evidencias geológicas, como son que:

- 1) en la secuencia litológica de los conjuntos infrayacentes a la sutura existen sucesiones metapelíticas coronadas por rocas carbonatadas, de edad Triásica,
- 2) en los materiales infrayacentes a la sutura, la evolución metamórfica de alta presión es exclusivamente de edad alpina y que,
- 3) las unidades infrayacentes a la sutura carecen de los diques doleríticos, que tan abundantes son en el manto de Los Reales y en el Complejo Maláguide del sector occidental de las Zonas Internas.

La diferenciación de los dos dominios litosféricos de los que proceden el manto de Ojén y el de Los Reales puede retrotraerse, al menos, hasta el Toarciense. Esta afirmación se sustenta en el hecho de que las anfibolitas y eclogitas del manto de Ojén son rocas ortoderivadas (Westerhof, 1975; Tubía *et al.*, 1997), que de acuerdo con la edad SHRIMP U/Pb sobre circones de las eclogitas (Sánchez-Rodríguez y Gebauer, 2000) intruyeron hace 183 ± 3 Ma. Esta edad concuerda con la de la apertura de las numerosas cuencas oceánicas generadas entre el Océano Atlántico y el Neotethys durante la disgregación mesozoica de Pangea. Debido a lo anterior, consideramos que el manto de Ojén procede de un paleomargen continental pasivo ligado a la apertura del Neotethys durante el Mesozoico. El régimen extensional ligado a ese episodio de «*rifting*» se mantuvo al menos hasta el Cretácico inferior, de acuerdo con la edad de 131 ± 3 Ma, obtenida para la cristalización de una piroxenita con corindón en las peridotitas de Ronda (Sánchez-Rodríguez y Gebauer, 2000). La secuencia metamórfica del manto de Los Reales ocuparía el paleomargen continental opuesto. El adelgazamiento del manto de Los Reales y la

exhumación de las peridotitas de Ronda podría haber comenzado durante esta etapa de extensión continental mesozoica.

La relación entre Los Reales y el Maláguide

La consideración del contacto entre los mantos de Ojén y Los Reales como una zona de sutura lleva a reinterpretar el conjunto formado por Los Reales y el Maláguide puesto que ambos quedan colocados por encima de la sutura. Dicho conjunto de materiales tiene continuidad en el Rif, con la denominación de Unidad de Beni Bousera (Kornprobst, 1976) y Ghomáride, respectivamente.

En el oeste de Málaga, la separación entre Los Reales y Maláguide ha sido objeto de controversia desde antiguo. Así, Blumenthal (1927) definió el Bético de Málaga, incluyendo en un conjunto único a todos los materiales que se encuentran por encima de la sutura y que constituyen Los Reales y el Maláguide. La diferenciación del Complejo Maláguide (Durand-Delga, 1968), ha sido prácticamente imposible de aplicar en la región de Málaga, justamente donde su representación cartográfica ocupa la mayor extensión de la cadena y se encuentra la columna litológica más completa (Mäkel, 1985). Desde la definición del Complejo Maláguide, la mayoría de los autores que han trabajado en esta región han destacado la artificialidad de dicha separación respecto a los materiales infrayacentes. Dicha dificultad se fundamenta en dos razones principales: 1) relacionada con la transición litológica y metamórfica entre los conjuntos, sin discontinuidad alguna entre Los Reales/Maláguide y 2) relacionada con la existencia en algunos lugares de un contacto extensional tardío, en condiciones frágiles.

La transición litológica gradual entre Los Reales/Maláguide es manifiesta en Estepona, al norte de Málaga, al sur de la Sierra de Mijas, en Santi Petri y al norte de Carratraca. En esas zonas, los esquistos basales del Maláguide tienen una blastesis de andalucita y granate post-cinemáticos con respecto a una esquistosidad principal hercínica (Tubía *et al.*, 1993). Las edades radiométricas proporcionadas por la blastesis mineral en niveles Ordovícicos de los Ghomárides son de 25 Ma (Chalouan y Michard, 1990). Descendiendo en esta secuencia litológica se pasa gradualmente a los esquistos de Los Reales sin que medie ningún contacto tectónico, cambio litológico o salto metamórfico. La implicación directa de tal transición progresiva es que la mayoría de la secuencia de esquistos y migmatitas del manto de Los Reales tendría edades pre-ordovícicas. Esta interpretación concuerda con el hecho de que donde se aprecia el paso gradual del Maláguide a Los Reales no existen mármoles (de posible edad triásica) coronando la sucesión litológica del manto de Los Reales. Sobre esta cuestión hay que señalar que varios autores (del Olmo Sanz *et al.*, 1980; Balanyá, 1991)

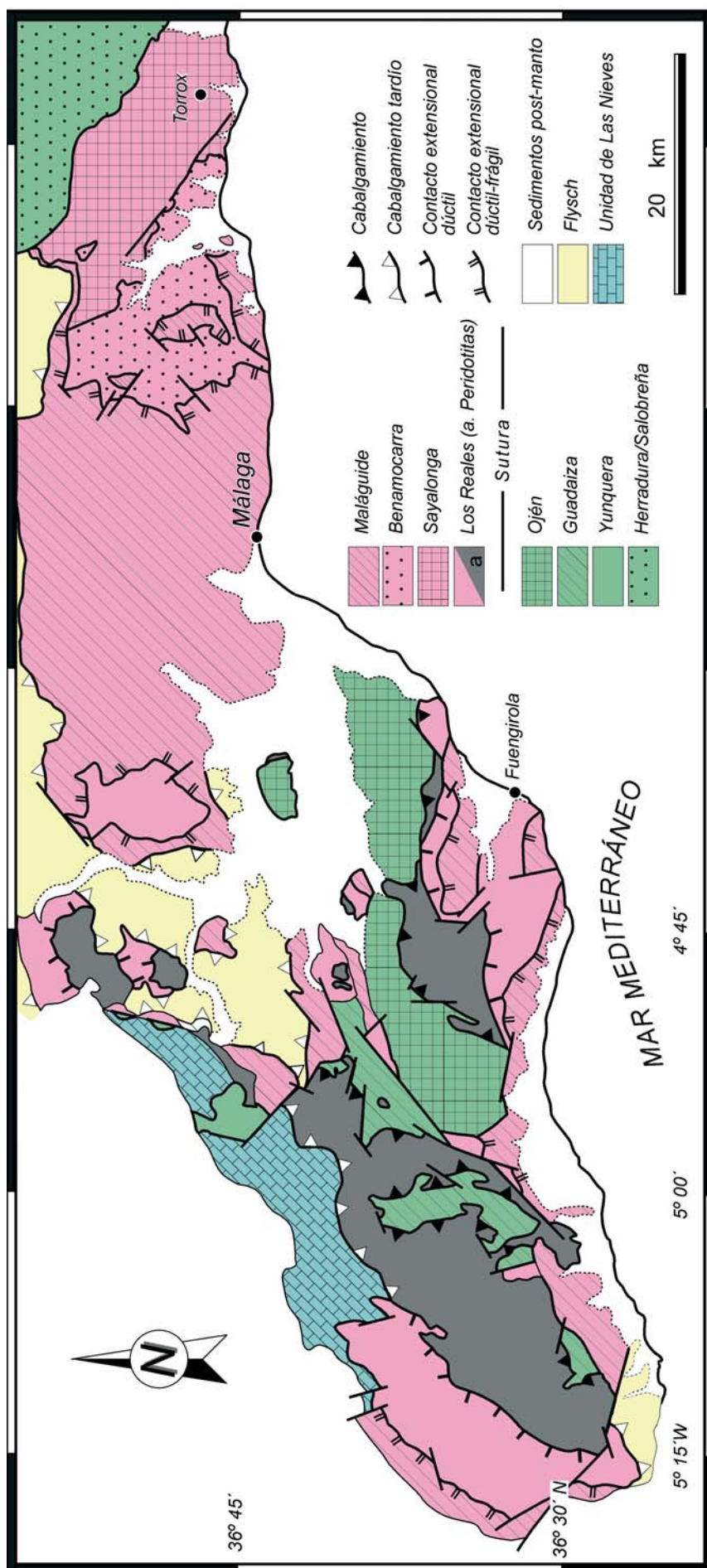


Figura 4.- Cartografía del sector occidental de las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas (localización en figura 1), en la que se muestra la reorganización propuesta en este trabajo. El conjunto situado por encima de la sutura (en rosa) incluye a las peridotitas de Ronda, a la secuencia metamórfica del manto de Los Reales y sus equivalentes más orientales (unidades de Sayalonga y Benamocarra) y a los materiales del Complejo Maláguide. El conjunto inferior (en verde) está integrado por las unidades alpujárrides de Ojén, Guadaiza y Yunquera, más sus equivalentes orientales, Herradura/Salobreña.

indican la existencia de mármoles triásicos intercalados entre las cuarcitas, esquistos y filitas de las imbricaciones de Benarrabá, que correspondería a la unidad tectónica más alta del manto de Los Reales en el sector de Sierra Bermeja. Un ensayo de reconstrucción tectónica de las Zonas Internas tiene que integrar dos observaciones que actualmente son contradictorias: la transición gradual que se observa entre Los Reales y el Maláguide en gran parte del tercio occidental de las Zonas Internas, frente a la observación local de materiales carbonatados triásicos entre el manto de Los Reales y el Maláguide. Otro dato que puede ser de interés para este dilema es la presencia de pseudomorfo de carfolita en filitas de las imbricaciones de Benarrabá (Balanyá *et al.*, 1997). Las condiciones de baja temperatura/alta presión que indicaría dicho mineral difieren de las del metamorfismo de alta temperatura/alta presión de las kinzigitas del manto de Los Reales, por lo que una posibilidad alternativa sería considerar que las imbricaciones de Benarrabá sean equivalentes a los mantos alpujárrides del sector central de las Zonas Internas, situados bajo la sutura, puesto que muestran una evolución metamórfica similar.

La relación entre ambos conjuntos también está apoyada por la intrusión de diques de doleritas, que atraviesan a la secuencia metamórfica de Los Reales y al Maláguide. Los diques se han datado por diversos autores y métodos geocronológicos (Torres-Roldán *et al.*, 1986; Turner *et al.*, 1999; Duggen *et al.*, 2004), y a pesar de dificultades relacionadas con el exceso de argón, las edades que proporcionan están comprendidas entre 30 Ma o, más probablemente, en el intervalo comprendido entre 25-22 Ma, según dichos autores. La presencia de los diques doleríticos atravesando Los Reales y el Maláguide implica que la superposición de estos dos conjuntos es previa a la edad de intrusión de los diques. Por otro lado, la ausencia de doleritas en las unidades tectónicas situadas por debajo de la sutura testimonia que el cabalgamiento del conjunto Maláguide/Los Reales es posterior a la intrusión de los diques. La existencia de contactos extensionales con desarrollo de brechas y que afecta a los diques doleríticos y al conjunto formado por Los Reales y el Maláguide se encuentra descrito en diversos trabajos recogidos en Cuevas *et al.* (2001). La edad de los mismos debe ser, por tanto, posterior a la del emplazamiento de los diques.

Cualquier modelo tectónico, por tanto, también debe considerar que el conjunto Los Reales/Maláguide estaba superpuesto antes de la intrusión de la red de diques doleríticos y que dicho conjunto no podía estar suturado, habida cuenta que no existen intrusiones de doleritas en los materiales infrayacentes a la sutura.

Conclusiones

El entorno tectónico previo a la sutura podría ser equivalente al recogido en el modelo de Tubía *et al.*

(2004), en el cual se puede observar cómo relacionado al proceso extensional de ascenso de peridotitas constituyentes de un manto astenosférico durante el Mioceno, se produjo la intrusión de los diques doleríticos en los materiales corticales del conjunto formado por los esquistos del manto de Los Reales y el Maláguide. El contexto extensional explicaría el adelgazamiento final de las isogradas metamórficas y también la composición de las intrusiones magmáticas. Esta situación debería ser contemporánea con los últimos episodios de subducción registrados en los niveles de rocas básicas ortoderivadas intercaladas en el manto de Ojén, que dieron lugar a las eclogitas.

Con los datos disponibles actualmente es difícil reconstruir el entorno paleogeográfico con detalle. Sin embargo, sí se pueden precisar algunas cuestiones. Por ejemplo, que durante el Jurásico, un episodio de «*rifting*» genera las intrusiones de rocas básicas que constituyen los protolitos de las eclogitas de Ojén en la corteza continental. La etapa de «*rifting*» mesozoico, evoluciona a un proceso de subducción, cuyo inicio no es posible precisar con los datos disponibles, pero que se mantuvo hasta hace unos 20 Ma, edad en la que se produce una rápida exhumación.

Si restituimos los datos de rotaciones paleomagnéticas, de unos 120° en sentido horario obtenidos a partir de los diques de doleritas (Platzman *et al.*, 2000; Calvo *et al.*, 2001) el conjunto Los Reales/Maláguide, tendría una orientación original SO-NE ligada al borde africano y el conjunto situado por debajo debería formar parte de otro bloque, en posición más septentrional.

Esta reorganización implica un cambio importante en la división tectónica clásica de las Zonas Internas del sector occidental de las Cordilleras Béticas y como todo modelo, sin duda es una simplificación de la realidad.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos de investigación CGL2004-00701/BTE y CGL2007-60039/BTE del Ministerio de Educación y Ciencia. Agradecemos la revisión de este trabajo a I. Expósito y, muy especialmente, a J.C. Balanyá.

Referencias

- Aldaya, F., García-Dueñas, V. y Navarro-Vilá, F. (1979): Los Mantos Alpujárrides del tercio central de las Cordilleras Béticas. Ensayo de correlación tectónica de los Alpujárrides. *Acta Geológica Hispánica*, 14: 154-166.
- Argles, T.W., Platt, J.P. y Waters, D.J. (1999): Attenuation and excision of a crustal section during extensional exhumation: the Carratraca Massif, Betic Cordillera, Southern Spain. *Journal of the Geological Society, London*, 156: 149-162.
- Azañón, J.M. y Goffé, B. (1997): Ferro- and magnesiocarpholite assemblages as record of high-P, low-T metamorphism in the central Alpujarrides, Betic Cordillera (SE Spain). *European Journal of Mineralogy*, 9: 1035-1051.
- Azañón, J.M., García-Dueñas, V., Martínez-Martínez, J.M. y

- Crespo-Blanc, A. (1994): Alpujarride tectonic sheets in the central Betics and similar eastern allochthonous units (SE Spain). *Comptes Rendues de la Académie des Sciences de Paris*, 318: 667-674.
- Balanyá, J.C. (1991): *Estructura del Dominio de Alborán en la parte norte del Arco de Gibraltar*. Tesis doctoral, Univ. de Granada, 210 p.
- Balanyá, J.C., Azañón, J.M., Sánchez-Gómez, M. y García-Dueñas, V. (1993): Pervasive ductile extension, isothermal decompression and thinning of the Jubrique unit in the Paleogene (Alpujarride Complex, western Betics, Spain). *Comptes Rendues de la Académie des Sciences de Paris*, 316: 1595-1601.
- Balanyá, J.C., García-Dueñas, V. y Azañón, J.M. (1997): Alternating contractional and extensional events in the Alpujarride nappes of the Alboran Domain (Betics, Gibraltar Arc). *Tectonics*, 16: 226-238.
- Blumenthal, M. (1927): Versuch einer tektonischen Gliederung der betischen Cordilleren von Central- und Südwest-Andalusien. *Eclogae Geologiae Helveticae*, 20: 487-532.
- Calvo, M., Cuevas, J. y Tubía, J.M. (2001): Preliminary palaeomagnetic results on Oligocene-early Miocene mafic dykes from southern Spain. *Tectonophysics*, 332: 333-345.
- Chalouan, A. y Michard, A. (1990): The Ghomarides Nappes, Rif Coastal Range, Morocco: A Variscan chip in the Alpine belt. *Tectonics*, 9: 1565-1583.
- Cuevas, J., Navarro-Vilá, F. y Tubía, J.M. (2001): Evolución estructural poliorogénica del Complejo Maláguide (Cordilleras Béticas). *Boletín Geológico y Minero*, 112: 47-58.
- del Olmo Sanz, A., de Pablo Macía, J.G., Aldaya Valverde, F., Campos Fernández, J., Chacón Montero, J., García-Dueñas, V., García Rosell, L., Sanz de Galdeano, C., Orozco Fernández, M. y Torres Roldán, R. (1980): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 1.064 (Cortes de la Frontera)*. IGME, Madrid.
- Dewey, J.F., Pitman, W.C., Ryan, W.B.F. y Bonnin, J. (1973): Plate tectonics and the evolution of the alpine system. *Geological Society of America Bulletin*, 84: 3137-3180.
- Duggen, S., Hoernle, K., van den Bogaard, P. y Harris, Ch. (2004): Magmatic evolution of the Alboran region: The role of subduction in forming the western Mediterranean and causing the Messinian Salinity Crisis. *Earth and Planetary Science Letters*, 218: 91-108.
- Durand-Delga, M. (1968): Coup d'oeil sur les unités Malaguïdes des Cordillères Bétiques (Espagne). *Comptes Rendues de la Académie des Sciences de Paris*, 266: 190-193.
- Egeler, C.G. y Simon, O.J. (1969): Sur la tectonique de la zone bétique. *Verhandelingen der Koninklijke Nederlandse Akademie Van Wetenschappen, AFD. Natuurkunde*, 25, 90 p.
- Ernst, W.G. (2001): Subduction, ultrahigh-pressure metamorphism, and regurgitation of buoyant crustal slices—implications for arcs and continental growth. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 127: 253-275.
- García-Dueñas, V., Martínez-Martínez, J.M., Orozco, M. y Soto, J.I. (1988): Plis-nappes, cisaillements syn- à post-métamorphiques et cisaillements ductiles-fragiles en distension dans les Nevado-Filabres (Cordillères Bétiques, Espagne). *Comptes Rendues de la Académie des Sciences de Paris*, 307: 1389-1395.
- Goffé, B., Michard, A., García-Dueñas, V., González-Lodeiro, F., Monié, P., Campos, J., Galindo-Zaldívar, J., Jabaloy, A., Martínez-Martínez, J.M. y Simancas, F. (1989): First evidence of high-pressure, low temperature metamorphism in the Alpujarride nappes, Betic Cordillera (SE Spain). *European Journal of Mineralogy*, 1:139-142.
- Gómez Pugnaire, M.T. y Franz, G. (1988): Metamorphic evolution of the Palaeozoic series of the Betic Cordilleras (Nevado-Filabride complex, SE Spain) and its relationship with the Alpine orogeny. *Geologische Rundschau*, 77: 619-640.
- Gómez Pugnaire, M.T. y Muñoz, M. (1991) Al-rich xenoliths in the Nevado-Filabride metabasites: evidence for a continental setting of this basic magmatism in the Betic Cordilleras (SE Spain). *European Journal of Mineralogy*, 3: 193-198.
- González Casado, J.M., Casquet, C., Martínez-Martínez, J.M. y García-Dueñas, V. (1995): Retrograde evolution of quartz segregations from the Dos Picos shear zone in the Nevado-Filabride Complex (Betic chains, Spain). Evidence from fluid inclusions and quartz c-axis fabrics. *Geologische Rundschau*, 84: 175-186.
- Hebeda, E.H., Boelrijk, N.A.I.M., Priem, H.N.A., Verdurmen, E.A.Th. y Verschure, R.H. (1980): Excess radiogenic Ar and undisturbed Rb-Sr systems in basic intrusives subjected to alpine metamorphism in southeastern Spain. *Earth and Planetary Science Letters*, 47: 81-90.
- Kornprobst, J. (1976): *Contribution à l'étude pétrographique et structurale de la zone interne du Rif*. Tesis, Universidad de Paris, 376 p.
- Lundeen, M.T. (1978): Emplacement of the Ronda peridotite, Sierra Bermeja, Spain. *Geological Society of America Bulletin*, 89: 172-180.
- Mainprice, D., Bouchez, J.L., Blumenfeld, Ph. y Tubía, J.M. (1986): Dominant c slip in naturally deformed quartz: Implications for dramatic plastic softening at high temperature. *Geology*, 14: 819-822.
- Mäkel, G. (1985): *The geology of the Malaguïde Complex and its bearing on the geodynamic evolution of the Betic-Rif Orogen (Southern Spain and Northern Morocco)*. Tesis, Univ. de Utrech, GUA papers of Geology, 22: 263 p.
- Maruyama, S., Liou, J.G. y Terabayashi, M. (1996): Blueschists and eclogites of the world and their exhumation. *International Geology Review*, 38: 485-594.
- Mon, R. (1969): Rapports entre la nappe de Malaga et les unités alpujarrides à l'Ouest de Malaga (Espagne). *Comptes Rendues de la Académie des Sciences de Paris*, 268: 1008-1011.
- Mon, R. (1971): Estudio geológico del extremo occidental de los Montes de Málaga y de la Sierra de Cártama (Prov. de Málaga). *Boletín Geológico y Minero*, 82: 132-146.
- Montel, J.M., Kornprobst, J. y Vielzeuf, D. (2000): Preservation of old U-Th-Pb ages in shielded monazite: example from the Beni Bousera Hercynian kinzigites (Morocco). *Journal of Metamorphic Geology*, 18: 335-342.
- Navarro-Vilá, F. y Tubía, J.M. (1983): Essai d'une nouvelle différentiation des Nappes Alpujarrides dans le secteur occidental des Cordillères Bétiques (Andalousie, Espagne). *Comptes Rendus de la Academie des Sciences, Paris*, 296: 111-114.
- Neuendorf, K.K.E., Mehl, Jr. J.P. y Jackson, J.A. (2005): *Glossary of Geology*, American Geological Institute, Virginia, 779 p.
- O'Brien, P.J. (2001): Subduction followed by collision: Alpine and Himalayan examples. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 127: 277-291.
- Platt, J.P., Argles, T.W., Carter, A., Kelley, S.P., Whitehouse, M.J. y Lonergan, L. (2003): Exhumation of the Ronda

- peridotite and its crustal envelope: constraints from thermal modeling of a P-T-time array. *Journal of the Geological Society, London*, 160: 655-676.
- Platzman, E., Platt, J.P., Kelley, S.P. y Allerton, S. (2000): Large clockwise rotations in an extensional allochthon, Alboran Domain (southern Spain). *Journal of the Geological Society, London*, 157: 1187-1197.
- Pleuger, J., Froitzheim, N. y Jansen, E. (2005): Folded continental and oceanic nappes on the southern side of Monte Rosa (western Alps, Italy): Anatomy of a double collision suture. *Tectonics*, 24: TC4013, doi:10.1029/2004TC001737.
- Puga, E., Díaz de Federico, A., Fediukova, E., Bondi, M. y Morten, L. (1989): Petrology, geochemistry and metamorphic evolution of ophiolitic eclogites and related rocks from the Sierra Nevada (Betic Cordilleras, southeastern Spain). *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilunge*, 69: 435-450.
- Puga, E., Díaz de Federico, A. y Demant, A. (1995): The eclogitized pillows of the Betic Ophiolitic Association: relics of the Tethys Ocean floor incorporated in the Alpine Chain after subduction. *Terra Nova*, 7: 31-43.
- Puga, E., Nieto, J.M., Díaz de Federico, A., Bodinier, J.L y Morten, L. (1999): Petrology and metamorphic evolution of ultramafic rocks and dolerite dykes of the Betic Ophiolitic Association (Mulhacén Complex, SE Spain): evidence of eo-Alpine subduction following an ocean-floor metasomatic process. *Lithos*, 49: 23-56.
- Sánchez-Gómez, M., Balanyá, J.C., García-Dueñas, V. y Azañón, J.M. (2002): Intracrustal tectonic evolution of large lithosphere mantle slabs in the western end of the Mediterranean orogen (Gibraltar arc). *Journal of the Virtual Explorer*, 8: 23-34.
- 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): Mesozoic formation of pyroxenites and gabbros in the Ronda area (southern Spain), followed by Early Miocene subduction metamorphism and emplacement into the middle crust: U-Pb sensitive high-resolution ion microprobe dating of zircon. *Tectonophysics*, 316: 19-44.
- Soto, J.I. (1986): *Relaciones estructurales entre Predorsal, Dorsal, Alpujárrides y Maláguides en la Sierra de Alcaparaín (Málaga)*. Tesis de Licenciatura, Univ. de Granada, 85 p.
- Torres-Roldán, R.L., Poli, G. y Peccerillo, A. (1986): An Early Miocene arc-tholeiitic magmatic dike event from the Alboran Sea - Evidence for precollisional subduction and back-arc crustal extension in the westernmost Mediterranean. *Geologische Rundschau*, 75: 219-234.
- 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 Cuevas, J. (1986): High-temperature emplacement of the Los Reales peridotite nappe (Betic Cordillera, Spain). *Journal of Structural Geology*, 8: 473-482.
- Tubía, J.M. y Cuevas, J. (1987): Structures et cinématique liées à la mise en place des péridotites de Ronda (Cordillères Bétiques, Espagne). *Geodinamica Acta*, 1: 59-69.
- Tubía, J.M. y Gil Iburguchi, J.I. (1991): Eclogites of the Ojen nappe: a record of subduction in the Alpujárride complex (Betic Cordilleras, southern Spain). *Journal of the Geological Society, London*, 148: 801-804.
- Tubía, J.M. y Navarro-Vilá, F. (1984): Criterios para la diferenciación entre los esquistos de grado medio del Complejo Maláguide y del Manto de Los Reales al W de Málaga. La posición del contacto de corrimiento. En: *El Borde Mediterráneo Español: Evolución del Orógeno Bético y Geodinámica de las Depresiones Neógenas*. Granada, 33-34.
- Tubía, J.M., Cuevas, J., Navarro-Vilá, F., Alvarez, F., y Aldaya, F. (1992): Tectonic evolution of the Alpujárride complex (Betic Cordillera, South Spain). *Journal of Structural Geology*, 14: 193-203.
- Tubía, J.M., Navarro-Vilá, F. y Cuevas, J. (1993): The Maláguide-Los Reales Nappe: an example of crustal thinning related to the emplacement of the Ronda peridotites (Betic Cordillera). *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 78: 343-354.
- Tubía, J.M., Cuevas, J. y Gil Iburguchi, J.I. (1997): Sequential development of the metamorphic aureole beneath the Ronda peridotites and its bearing on the tectonic evolution of the Betic Cordillera. *Tectonophysics*, 279: 227-252.
- Tubía, J.M., Cuevas, J. y Esteban, J.J. (2004): Tectonic evidence in the Ronda peridotites, Spain, for mantle diapirism related to delamination. *Geology*, 32: 941-944.
- Turner, S.P., Platt, J.P., George, R.M.M., Kelley, S.P., Pearson, D.G. y Nowell, G.M. (1999): Magmatism Associated with Orogenic Collapse of the Betic-Alboran Domain, SE Spain. *Journal of Petrology*, 40: 1011-1036.
- Vissers, R.L.M., Platt, J.P. y van der Wal, D. (1995): Late orogenic extension of the Betic Cordillera and the Alboran Domain: a lithospheric view. *Tectonics*, 14: 786-803.
- Westerhof, A.B. (1975): *Genesis of magnetite ore near Marbella, southern Spain*. Tesis, Univ. de Utrech, GUA Papers of Geology, 1: 1-216.

*Manuscrito recibido el 22 de octubre de 2007
Aceptado el manuscrito revisado el 22 de febrero de 2008*