

Aspectos tectónicos del estudio gravimétrico de la Cuenca de Málaga

J.M. Insua Arévalo, F. Martín González, R. Capote y J.J. Martínez-Díaz

Departamento de Geodinámica. Universidad Complutense de Madrid. C/ José Antonio Novais, s/n. Madrid 28040. insuarev@geo.ucm.es

ABSTRACT

This work shows the results of a gravimetric survey carried out in the Malaga Basin (sited on the Internal Zone of the Western Betic Chain, southern Spain). Three anomalies maps are exposed and interpreted, focusing on neotectonic aspects. In order to avoid the influence of peridotitic bodies which outcrop in the studied area, and the southward thinning of the crust, a regional anomaly map has been processed and subtracted to the Bouguer anomaly. So, a residual anomaly map has been reached, where neotectonic interpretation has been done. The main tectonic feature evidenced by gravimetric data is the Albornoque Fault. It represents the southern boundary of the Malaga Basin with a noticeable vertical component, according to its high gradient. By other hand, the fold of Sierra de Cartama is marked by a maximum axis. This axis continues westward giving a duplicated depocenter of the basin. It is interpreted as a reverse fault, related in depth with the folding of Sierra de Cartama, and which affects the basement of the basin. According with the current stress field in the zone (NNW-SSE), the proposed structures imply the existence of a compressive neotectonic activity, where the Albornoque fault is interpreted as a high angle reverse fault of a reverse fault

Key words: gravimetry, neotectonic, Malaga Basin, Betic Chain, peridotite

INTRODUCCIÓN

La Cuenca de Málaga es una cuenca miocena situada en las Zonas Internas de las Béticas Occidentales por la que actualmente discurre el río Guadalhorce en su último tramo con dirección E-O. La Hoya de Málaga ha sido considerada una cuenca controlada por fallas de salto en dirección tanto en su borde Norte como en el borde Sur (Sanz de Galdeano, 1983; Sanz de Galdeano y López Garrido, 1991). De igual manera se describe el borde norte de la Sierra de Cártama, una sierra formada por materiales pertenecientes al complejo Alpujárride que se eleva en el centro de la cuenca. Estas fallas de dirección E-O a N70E posteriormente han sido cortadas por fallas normales NO-SE o NE-SO, o incluso han cambiado su dinámica convirtiéndose en fallas con importante salto en la vertical (López Garrido y Sanz de Galdeano, 1999) en un marco general de levantamiento isostático de las Béticas. No obstante, las observaciones realizadas por Capote et al. (2002) en la Sierra de Cártama aportan evidencias que apoyan un plegamiento activo que eleva dicha sierra bajo un régimen de carácter compresivo que concuerda con la dirección de máximo esfuerzo horizontal actual según la dirección NNO-SSE. El objetivo de este trabajo se centra en la descripción e interpretación de los resultados de un estu-

dio gravimétrico llevado a cabo en la cuenca de Málaga y sus bordes, y sus implicaciones acerca de la evolución tectónica reciente de la zona.

MORFOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA DE MÁLAGA

La cuenca tiene una morfología alargada según una dirección E-O y ocupa una extensión de aproximadamente 250 km. Los límites Norte (Montes de Málaga) y Sur (Sierra de Mijas) de la cuenca han sido descritos como fallas (Sanz de Galdeano, 1983; Sanz de Galdeano y López Garrido, 1991). El sustrato de la cuenca, tal y como se desprende de la cartografía geológica de la zona (Figura 1), está formado por materiales pertenecientes a los complejos Alpujárride y Maláguide, que además son los materiales que componen los relieves circundantes. La secuencia sedimentaria de los materiales que han ido depositándose en la cuenca ha sido descrita por diversos autores (Chamón y Quinquer, 1976; Estévez González y Chamón, 1978), encontrándose sedimentos de edades desde el Oligoceno-Aquitaniense hasta la actualidad, aunque es a partir del Tortonense cuando los depósitos se pueden considerar pertenecientes a la cuenca tal y como hoy en día la conocemos (López-Garrido y Sanz de Galdeano, 1999).

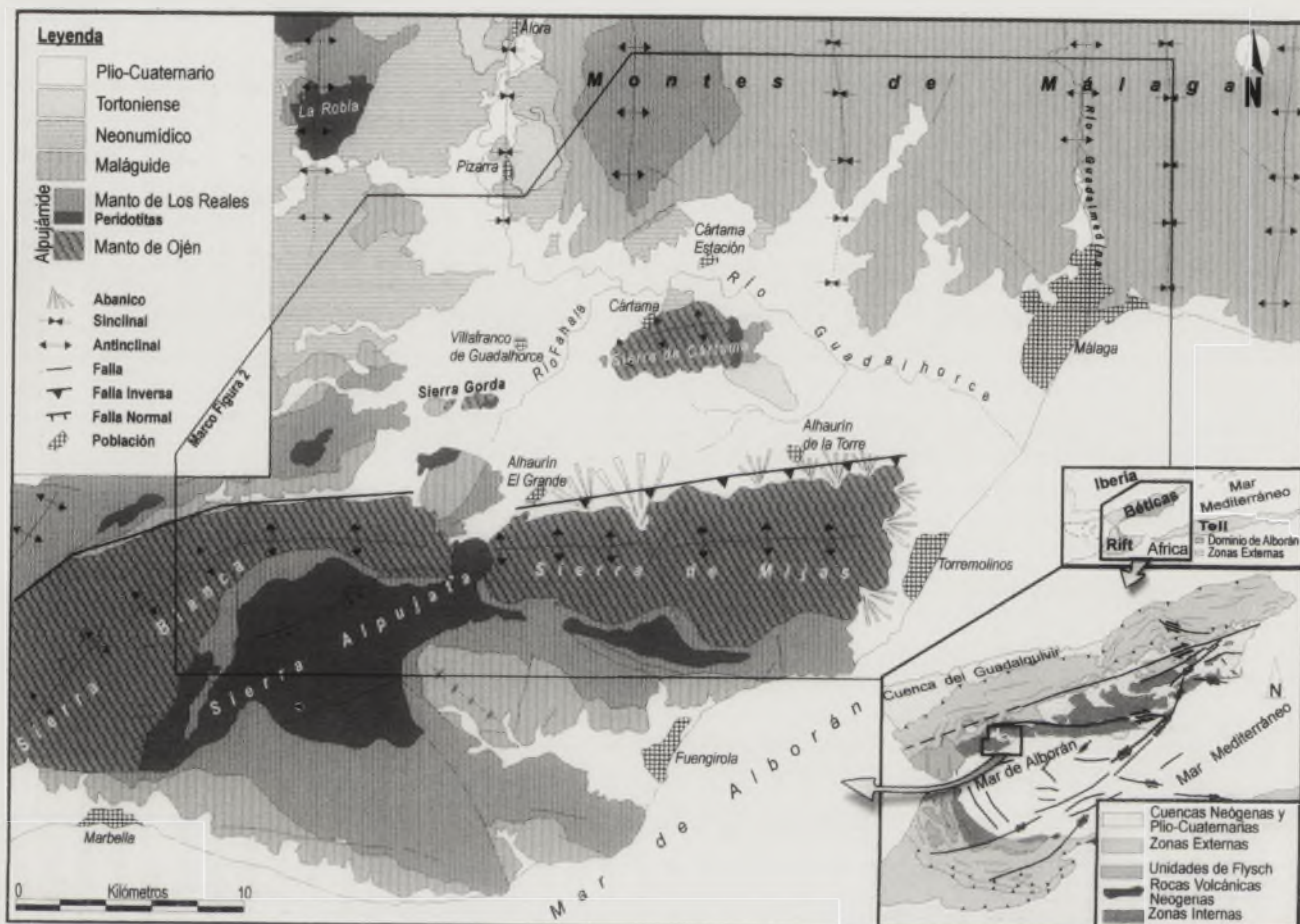


Figura 1. Esquema geológico de la Cuenca de Málaga y su entorno. (Se incluye marco de los mapas de la figura 2).

MAPA DE ANOMALÍAS DE GRAVIMÉTRICAS

Los datos utilizados para la elaboración de los mapas de anomalías gravimétricas proceden de un levantamiento gravimétrico realizado en la cuenca de Málaga en el que se han medido un total de 291 estaciones (Figura 2a) en una superficie de 830 km² con una densidad de una estación por cada 2,85 km². La distribución de las estaciones no es homogénea, siendo la concentración máxima en los bordes de la cuenca y en la Sierra de Cártama. La totalidad de las medidas se han realizado con un gravímetro Lacoste & Romberg, modelo G nº 953, que proporciona una precisión de $\pm 0,01$ mGal. La altimetría y posición geográfica de las estaciones se ha determinado mediante la utilización de altímetro barométrico y GPS respectivamente. En cada estación se han aplicado las correcciones clásicas de este tipo de estudios. Además de las reducciones de aire libre y de Bouguer, la corrección topográfica de cada estación se ha realizado hasta 167 km con los métodos clásicos. Se han obtenido así la anomalía de Bouguer completa para el conjunto de las estaciones, utilizando una densidad de reducción de 2.67 g/cm³ (Figura 2a).

Dado el particular entorno a nivel cortical de adelgazamiento en dirección N-S y la presencia de peridotitas (con densidad elevada) en la zona, se ha realizado un análisis estadístico por regresión polinómica de los datos de anomalía de Bouguer para determinar la tendencia regional. De acuerdo con los mapas de anomalías de Bouguer existente en la zona (Mezcua et al., 1996) y los modelos de corteza propuestos por Torné et al. (1992), se ha estimado como representativo de la tendencia regional de la anomalía de Bouguer aquella expresada por un polinomio de 2º orden (Figura 2b).

Una vez obtenido un mapa de anomalías regionales, se ha sustraído esta tendencia regional a la anomalía de Bouguer, obteniendo un mapa de anomalías residuales (Figura 2c), que se considera representativo de las variaciones de las densidades de los materiales a un nivel más superficial.

PRINCIPALES RASGOS DE LOS MAPAS DE ANOMALÍAS GRAVIMÉTRICAS

La cuenca de Málaga y su entorno presenta una complejidad cortical singular que queda reflejada en la distribución de

la anomalía de Bouguer (Fig. 2a), en la que se puede observar cómo, dentro de una gran variación de valores (desde -36 mGal hasta +78 mGal), los valores positivos se encuentran hacia el sur del área de estudio, con un fuerte gradiente hacia el SSE. Esta zona es la correspondiente a la Sierra de Mijas,

aunque se puede observar cómo el valor de anomalía sigue aumentando una vez pasada la vertiente sur de la sierra. Esta tendencia es el resultado del efecto que produce el adelgazamiento de la corteza junto con la presencia, tanto en afloramiento como en profundidad, de las peridotitas de Ronda, que

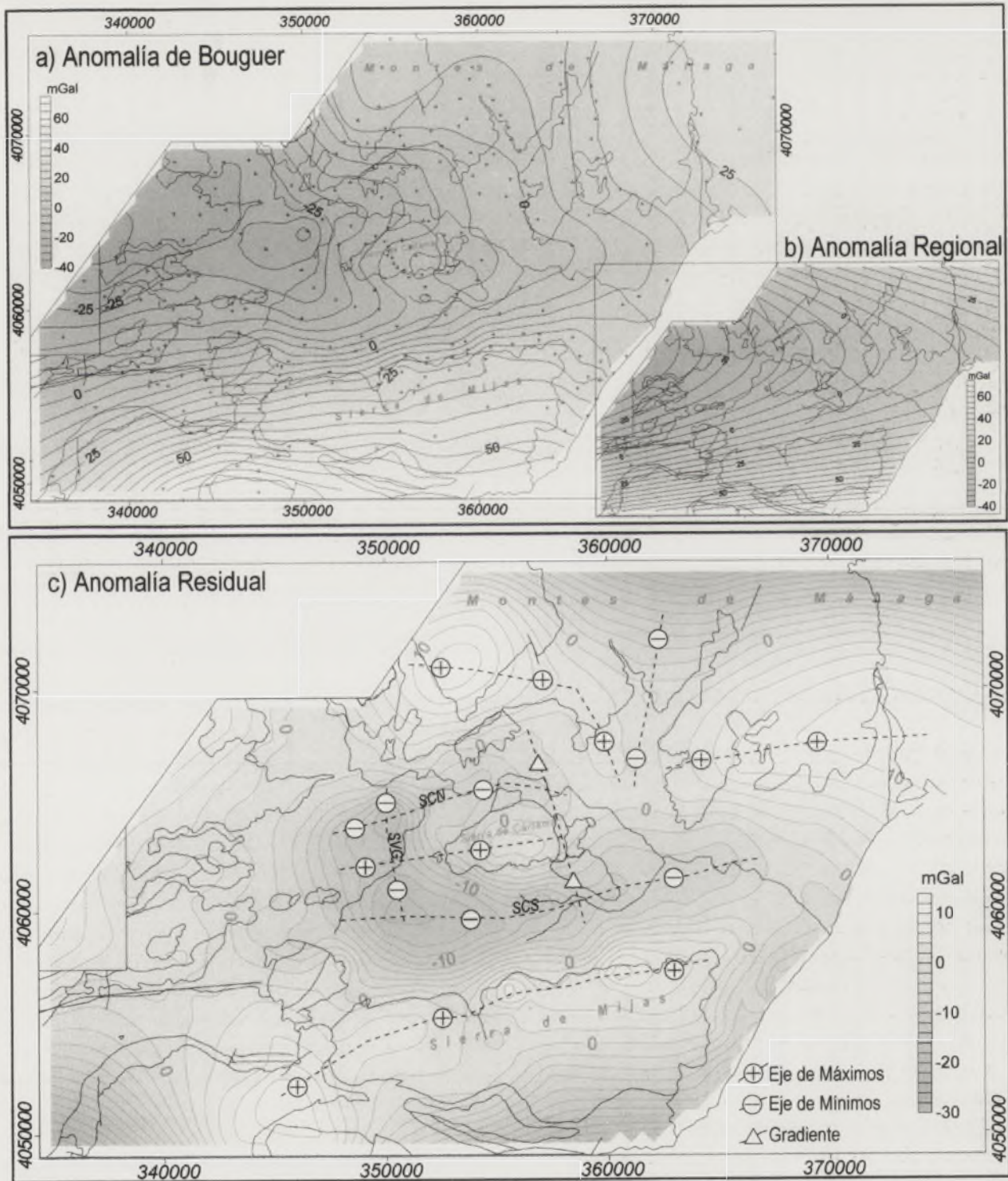


Figura 2. Mapas de anomalía gravimétrica. Como mapa de base se ha utilizado el mapa de contactos geológicos de la figura 1. a) Mapa de anomalía de Bouguer. Las cruces marcan los puntos de medida de gravedad. b) Mapa de anomalía regional (ajuste por polinomio de 2º orden). c) Mapa de anomalía residual (SCN: Subcuenca Norte; SCS: Subcuenca Sur; SVG: Surco de Villafranco de Guadalhorce. Ver explicación en el texto).

según otras campañas gravimétricas de carácter regional, producen un máximo de anomalía más al sur (Torné et al, 1992). En el borde septentrional de la cuenca parece definirse un cambio de tendencia de las isólinas de anomalía de Bouguer hacia el norte, donde aparece un gradiente bastante menos acusado orientado hacia el ENE. Ambos gradientes quedan marcados en el mapa de anomalía regional (Fig. 2b).

La cuenca de Málaga presenta una estructuración principal en dirección N70-80E. En ella se aprecia una notable asimetría en dirección N-S, como queda marcado en el mapa de anomalía residual (Fig. 2c.). Por un lado, la asimetría de la cuenca queda reflejada en la mayor potencia de sedimentos de una subcuenca Sur (SCS) –que queda representada por un eje de valores mínimo de anomalía residual –frente a una potencia menor de sedimentos en una subcuenca Norte (SCN), separadas por la Sierra de Cártama. Por otro lado, el borde sur de la cuenca queda marcado por un importante gradiente entre el eje de valores máximos del relieve de la Sierra de Mijas y el eje de valores mínimos de la SCS. Este gradiente marca la presencia de una falla en dicho borde, con un importante salto en la vertical. Por el contrario en el borde norte el valor de anomalía varía de una manera mucho más suave entre un eje de valores máximos al norte (Montes de Málaga) y el eje de mínimos que define la SCN. Esta asimetría de la cuenca es mucho más clara en su mitad oriental, donde desaparece el surco de la SCN. Esta desaparición ocurre a partir de una línea de dirección NNO-SSE, situada al Este de la Sierra de Cártama, que define también una disminución importante de la profundidad en la SCS, como queda reflejado en los valores de anomalía residual.

La Sierra de Cártama, como rasgo particular de la cuenca de Málaga, ocupa una posición media dentro de la cuenca marcando un eje de valores máximos de anomalía residual en dirección N70-80E. Los valores de anomalía residual que muestra la Sierra de Cártama quedan netamente limitados al Este por la línea NNO-SSE descrita anteriormente. Por el Oeste, el eje de valores máximos de anomalía se puede prolongar más allá de la zona de afloramiento de la sierra, hasta interferir con un importante surco sedimentario de dirección N-S, definido por un eje de valores mínimos (Surco Villafranco de Guadalhorce –SVG). Esta interferencia produce una duplicación del depocentro de la cuenca, ya que es en este surco en el que encuentran los valores mínimos de la cuenca, y por tanto el máximo espesor de sedimentos. Hay que destacar la no presencia de un gradiente significativo en el límite norte de la Sierra de Cártama, lo que no apoyaría la teoría de una falla de alto ángulo y desplazamiento significativo en la vertical en dicho límite.

Un rasgo importante a destacar sobre en el mapa de anomalía residual, es la aparición de unos ejes de valores máximos en los Montes de Málaga con una orientación aproximada E-O. La anomalía residual de estos relieves llega a ser más

elevada que la de la Sierra de Mijas, e incluso que los de las peridotitas de Sierra Alpujata. Esto lo atribuimos a la presencia a escasa profundidad de las peridotitas de la base del Manto de los Reales, manto aflorante en el núcleo del antiforme de Santi Petri (Booth-Rea, 2000). Estas peridotitas afloran según el mismo eje E-O pocos kilómetros más hacia el Oeste en La Robla (Fig. 1).

Además, en los Montes de Málaga se puede trazar un eje de valores mínimos en dirección casi N-S que separa los ejes de valores máximos. Este eje de mínimos coincide con la traza de uno de los sinclinales N-S de gran radio descritos entre otros por Estévez y Chamón, (1978). A ambos lados de este sinclinal aparecerían los correspondientes anticlinales, coincidiendo con los máximos de anomalía gravimétrica residual del anticlinal de Santi Petri y el anticlinal del río Guadalmedina. Estos máximos podrían estar relacionados con la cercanía a la superficie de las peridotitas del Manto de los Reales, que en la zona del sinclinal quedaría a más profundidad.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El principal rasgo tectónico de la cuenca de Málaga que se deduce del estudio gravimétrico es una falla de gran salto en la vertical con dirección N70-80E que limita el borde sur de la cuenca con la Sierra de Mijas. Esta falla ha sido descrita por varios autores (Andreo y Sanz de Galdeano, 1994; Sanz de Galdeano et al., 2001) como la continuación de la Falla de Albornoque, descrita inicialmente por Tubía (1988) como falla en dirección tipo dextral en el borde norte de la Sierra Blanca. Sanz de Galdeano et al. (2001) atribuyen un importante salto en la vertical de componente normal de esta falla para explicar el gran espesor de sedimento acumulado en la cuenca. En nuestra opinión este salto en la vertical estaría asociado a una componente inversa de la falla en concordancia con el estado de esfuerzos responsable del plegamiento post-mioceno de la Sierra de Cártama (Capote et al., 2002).

Otro rasgo importante desvelado por la gravimetría es la ubicación de dos depocentros en la cuenca en el eje de mínimos del surco Villafranco de Guadalhorce (SVG). La duplicación aparente de este depocentro se puede atribuir a la existencia de una falla inversa en profundidad que formaría el pliegue de la Sierra de Cártama y que afectaría al basamento de la cuenca.

En cuanto al borde norte de la cuenca de Málaga se puede concluir que las anomalías gravimétricas no evidencian la presencia de fallas de entidad regional en este límite de la cuenca. El cambio de en la dirección de las isólinas de anomalía residual a un lado y otro del límite oriental de la Sierra de Cártama, correspondería probablemente a una falla, quizá de tipo *transfer*, que individualiza dos bloques dentro de la cuenca: el bloque Oeste, en el que se incluye el pliegue de la Sierra de Cártama y los surcos de sedimentos con mayor espesor, y el bloque Este, donde los surcos sedimentarios pierden entidad.

Sobre el mapa de anomalía residual es posible distinguir en los Montes de Málaga, desde el anticlinal de Santi Petri hasta el del río Guadalmedina, la presencia de rocas peridotíticas de alta densidad situadas a escasa profundidad en los anticlinales de pliegues de gran radio con ejes N-S. Estos pliegues podrían estar asociados al tensor de esfuerzos pretortonense de dirección ONO-ESE (Sanz de Galdeano, 1990), que sería probablemente también el responsable del movimiento dextral de la falla de Albornoque. Durante el Tortonense este tensor comenzaría a rotar hasta disponerse según una compresión NNO-SSE en el Mesiniense. Con esta rotación de tensor, la falla de Albornoque empezaría a desarrollar cada vez más su componente inversa, hasta que finalmente el movimiento en dirección quedaría prácticamente bloqueado y pasaría a actuar como una falla inversa de alto ángulo. Bajo estas condiciones de compresión NNO-SSE se desarrollaría la actividad post-miocena del pliegue de la Sierra de Cártama, cuya falla asociada en profundidad podría interpretarse como una falla más moderna que la falla de Albornoque, a la cual se le estaría transfiriendo las tensiones producidas por el bloqueo de la falla principal.

AGRADECIMIENTOS

A David Gómez Ortiz y a Carmen Rey, por su inestimable colaboración para la realización de las campañas gravimétricas y procesado de datos. A Rosa Tejero por sus comentarios realizados sobre la interpretación de los mapas de anomalías gravimétricas.

REFERENCIAS

- Andreo, B. y Sanz de Galdeano, C. (1994): Structure of the Sierra de Mijas (Alpujárride Complex, Betic Cordillera). *Annales Tectonicae*, VIII, 1: 23-35.
- Booth-Rea, G.; Azañón, J. M.; García-Dueñas, V.; Augier, R. y Sánchez-Gómez, M. (2003): A 'core-complex-like structure' formed by superimposed extension, folding and high-angle normal faulting. The Santi Petri dome (western Betics, Spain). *Comptes rendus Geoscience*, 335, 2: 265-274.
- Capote, R.; Insua Arévalo, J. M.; Martínez-Díaz, J. J.; Martín-González, F. y Tsige, M. (2002): La Sierra de Cártama: Pliegue con actividad reciente en las Béticas Occidentales (Hoya de Málaga). *Geogaceta*, 31: 135-138.
- Chamón, C. y Quinquer, R. (1976): *Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja nº 1.052 (Alora)*. IGME, Madrid.
- Estévez González y Chamón, (1978): *Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja nº 1.066 (Coín)*. IGME, Madrid.
- López Garrido, A. C. y Sanz de Galdeano, C. (1999): Neogene sedimentation and tectonic-eustatic control of the Málaga Basin, South Spain. *Journal of Petroleum Geology*, 22 (1): 81-96.
- Mezcuá, J.; Gil, A. y Benaroch R. (1996): *Estudio gravimétrico de la Península Ibérica y Baleares*. IGN, Madrid. 7 pp.
- Sanz de Galdeano, C. (1983). Los accidentes y fracturas principales de las Cordilleras Béticas. *Estudios Geológicos*, 39: 157-165.
- Sanz de Galdeano, C. (1990): Geologic evolution of the Betic Cordilleras in the western Mediterranean, Miocene to the present. *Tectonophysics*, 172: 107-119.
- Sanz de Galdeano, C. y López Garrido, A. C. (1991): Tectonic evolution of the Málaga Basin (Betic Cordillera) Regional Implication. *Geodinamica Acta (Paris)*, 5, 3: 173-186.
- Sanz de Galdeano, C.; Andreo, B. y López Garrido, A. C. (2001): Comment on the paper "Late exhumation stages of the Alpujárride Complex (western Betic Cordilleras, Spain): new thermochronological and structural data on Los Reales and Ojen nappes" by Sosson, Morillon, Bourgois, Féraud, Poupeau, Saint-Marc. *Tectonophysics*, 331: 413-417.
- Torné, M.; Banda, E.; García-Dueñas, V. y Balanyá, J. C. (1992): Mantle-lithosphere bodies in the Alboran crustal domain (Ronda peridotitas, Betic-Rif orogenic belt). *Earth and Planetary Science Letters*, 110: 163-171.
- Tubía, J. M. (1988): Estructura de los Alpujárrides occidentales: Cinemática y condiciones de emplazamiento de la peridotitas de Ronda. Parte IV: Deformaciones de las peridotitas de Sierra Alpujata. *Boletín Geológico y Minero*, XCIX-V: 715-747.