

Anomalías gravimétricas de la cuenca de Guadix-Baza (Cordillera Bética, España)

C. Sanz de Galdeano⁽¹⁾, J. Delgado⁽²⁾, J. Galindo-Zaldívar⁽³⁾, C. Marín-Lechado⁽⁴⁾, P. Alfaro⁽²⁾, F.J. García Tortosa⁽⁵⁾, A.C. López-Garrido⁽¹⁾ y A.J. Gil⁽⁶⁾

(1) Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra. CSIC-Univ. Granada. Facultad de Ciencias. 18071 Granada.
E-mail: csanz@ugr.es y aclopez@ugr.es

(2) Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. Ap. 99, 03080 Alicante.
E-mail: jose.delgado@ua.es y pedro.alfaro@ua.es.

(3) Dpto. de Geodinámica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, 18071 Granada.
E-mail: jgalindo@ugr.es

(4) Instituto Geológico y Minero de España. Oficina de Proyectos de Granada, C/. Alcázar del Genil, 4, 18006 Granada.
E-mail: c.marin@igme.es

(5) Dpto. de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Jaén.

(6) Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. E.P.S. Univ. Jaén.
E-mail: ajgil@ujaen.es

RESUMEN

Se han realizado los mapas gravimétricos de anomalías de Bouguer, regional y residual en la cuenca de Guadix-Baza (Cordillera Bética, sur de España) a partir de 3.648 nuevas estaciones de medida. El mapa de anomalías residuales pretende ayudar a establecer las estructuras de la parte superior de la corteza y muestra claramente la existencia de varios depocentros importantes, en particular el del sector de Baza, controlados por fallas NNO-SSE en sus bordes orientales y occidentales, mientras que la zona de falla de Cádiz-Alicante los limita por el norte. Las facies sedimentarias y el espesor del relleno de la cuenca son congruentes con la posición de los depocentros: en el sector de Baza abundan en mayor proporción las facies lacustres que en los sectores de Guadix y Freila-Gorafe. La existencia de los depocentros está claramente determinada por la extensión ENE que afecta a la Cordillera.

Palabras clave: anomalías de Bouguer y residual, Cordillera Bética, cuenca neógena, depocentros, falla, gravimetría

Gravimetric anomalies of the Guadix-Baza basin (Betic Cordillera, Spain)

ABSTRACT

Gravimetric anomaly maps (Bouguer and residual) of the Guadix-Baza basin (Betic Cordillera, southern Spain) have been accomplished from the acquisition of 3648 new measurements. The residual anomaly map aims to evidence the features of the shallow crustal structures and clearly show the existence of several important depocentres (particularly that of the Baza sector) controlled by NNO-SSE faults in their eastern and western borders, while the northern borders are limited by the Cadiz-Alicante fault zone (s). The sedimentary facies and the thickness of the filling of the basin are consistent with the position of the depocentres: in the Baza area lacustrine facies are more abundant than in the depocentres of Guadix and Freila-Gorafe. The formation of the depocentres is clearly connected with the ENE extension affecting the whole cordillera.

Key words: Betic Cordillera, Bouguer and residual anomalies, depocentres, faults, gravimetry, Neogene Basin

Introducción

Las observaciones geológicas en la cuenca de Guadix-Baza muestran exclusivamente su estructura superficial, pues la red hidrográfica solo se ha

encajado fuertemente en algunos puntos. Por ello, la determinación de la estructura profunda debe realizarse a partir de datos geofísicos. Sin embargo, los perfiles de sísmica de reflexión convencional existentes en la cuenca apenas proporcionan infor-

mación, salvo uno de ellos, lo que se debe a que en la cuenca abundan formaciones detríticas de tamaño arena o superior poco consolidadas que absorben la energía y no permiten mostrar bien reflectores del basamento, sobre todo en la subcuenca de Guadix. Los perfiles ESCIBETICAS de sísmica de reflexión profunda atraviesan la cuenca pero fueron diseñados para estudiar las estructuras corticales profundas y no informan ni del relleno, ni de las características de la discordancia basal, ni del basamento situado directamente bajo ella. Este basamento (sobre todo en la parte sur, de la Zona Interna) está formado generalmente por rocas de una densidad netamente superior a las del relleno, por lo que el estudio gravimétrico de la cuenca resulta útil para establecer su geometría. Hasta ahora tan solo existían datos gravimétricos muy generales, en mapas de anomalía a escala 1:1.000.000 (tanto anomalía de Aire Libre como anomalía de Bouguer). Así Mezcuca *et al.* (1996) muestran que ambos tipos de mapas señalan dos sectores con anomalías negativas, en particular el de Baza-Benamaurel, donde se alcanzan mínimos muy marcados.

A partir de nuevas medidas gravimétricas (3.648 en total) se ha realizado un mapa gravimétrico residual de la cuenca de Guadix-Baza que define adecuadamente su geometría: posición del basamento y, por tanto, potencia del relleno, localización y forma de los depocentros y situación, en su caso confirmación, de fallas, pliegues y diapiros. El objetivo de este artículo es mostrar los rasgos más interesantes del mapa gravimétrico obtenido y a la vez contribuir a la interpretación geológica de la estructura de la cuenca de Guadix-Baza mediante la modelización de algunas de las anomalías más importantes.

Encuadre geológico

La cuenca de Guadix-Baza se sitúa sobre el contacto entre las zonas Interna y Externa de la Cordillera Bética (Fig. 1 A y B) que constituyen su basamento. La Zona Interna está formada por cuatro complejos: el Nevado-Filábride, que aflora sobre todo en las sierras de las que toma el nombre, y el Alpujarride, situado sobre el anterior y que aflora en las sierras de Baza y de las Estancias, entre otros lugares. Ambos complejos están formados por rocas metamórficas, entre las que predominan esquistos, filitas y mármoles. Encima, se sitúan los complejos Maláguide y la Dorsal, que está generalmente ligada al Maláguide, ambos formados por materiales sedimentarios y que afloran en el borde occidental de la cuenca, además de en el Jabalcón, cerca de Zújar, generalmente atri-

buido a la Dorsal. La Zona Externa (Fig. 1), que comprende los dominios Subbético y Prebético, aflora en la parte norte. En la cuenca de Guadix-Baza el Prebético aflora tan solo al norte de Pozo Alcón – Huéscar. Hay que destacar la existencia del olistostroma subbético, formado esencialmente por sedimentos de origen triásico, pero en los que se engloban otros más modernos del Mesozoico y Terciario. Este olistostroma, constituido por enormes masas desorganizadas, se formó a partir del Mioceno inferior y se vertió hacia la cuenca del Guadalquivir (Roldán García y García Cortés, 1988; Pérez-López y Sanz de Galdeano, 1994).

La cuenca de Guadix-Baza tiene una geometría compleja e irregular (Fig. 1B). Su relleno sedimentario comenzó en el Mioceno superior (incluso parte del mismo puede ser considerado previo a la formación de la cuenca) y se prolongó en el Plioceno y Pleistoceno (Vera, 1970; Guerra-Merchán, 1990; Viseras, 1991). La secuencia estratigráfica se inició con sedimentos marinos, calcarenitas, de edad Tortonense, sobre las que se situaron margas del Tortonense-Messiniense. Sin embargo, son los materiales plio-cuaternarios los que afloran en la mayor parte de la cuenca. Corresponden a una sucesión fundamentalmente fluvial (subcuenca de Guadix) que hacia el este pasa a depósitos lacustres (subcuenca de Baza) (Gibert, 2006). Localmente también existen depósitos lacustres, menos abundantes, en la subcuenca de Guadix, en el área de Gorafe-Huélago. La cuenca de Guadix-Baza fue endorreica hasta la captura durante el Pleistoceno superior (Calvache y Viseras, 1997) de su red fluvial por parte del Guadiana Menor, afluente del Guadalquivir. Esto determinó el encajamiento de la red fluvial (todavía activo) que destruye progresivamente el glacis formado en el Pleistoceno superior.

Un rasgo importante a tener en cuenta es el hecho de que el espesor de la corteza de la Cordillera Bética es máximo precisamente bajo la parte central de la cuenca de Guadix-Baza (Suriñach y Udías, 1976) y no bajo Sierra Nevada como cabía esperar.

Metodología

La adquisición de los nuevos datos gravimétricos se ha realizado en recorridos a lo largo de perfiles (Fig. 2), con una distancia entre puntos de unos 250 m. El área es muy extensa y las comunicaciones desiguales por lo que el mallado realizado no es homogéneo. Se ha preferido que los perfiles corten a las estructuras conocidas o probables y que aporten la máxima información posible del relleno neógeno y cuaternario de la cuenca.

Las medidas gravimétricas se han realizado con dos gravímetros de marcas Worden y Sodin, ambos con compensación de temperatura, y con una precisión máxima de 0,01 mGal. Las medidas se realizaron en ciclos de menos de 3 horas respecto a estaciones de

referencia locales. El posicionamiento de los puntos de medida de los perfiles se determinó mediante GPS, marca Garmin, que puede tener un error horizontal de varios metros y altímetro barométrico con precisión de 0,5 m, mientras que las estaciones de referencia

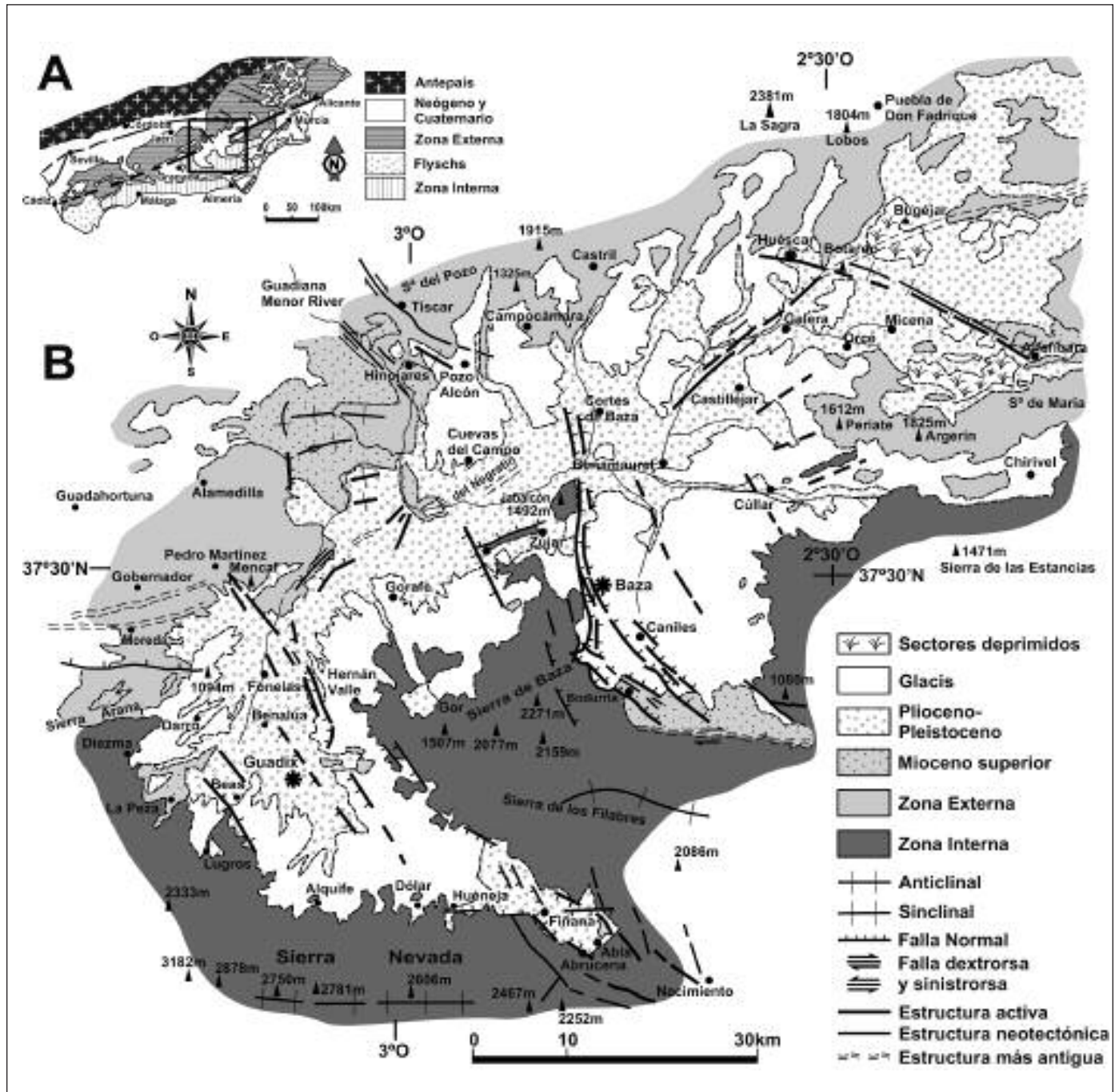


Figura 1. A. Situación de la cuenca de Guadix-Baza en la Cordillera Bética. B. Esquema geológico simplificado de la cuenca
 Figure 1. A. Situation of Guadix-Baza basin in the Betic Cordillera. B. Simplified geologic map of the basin

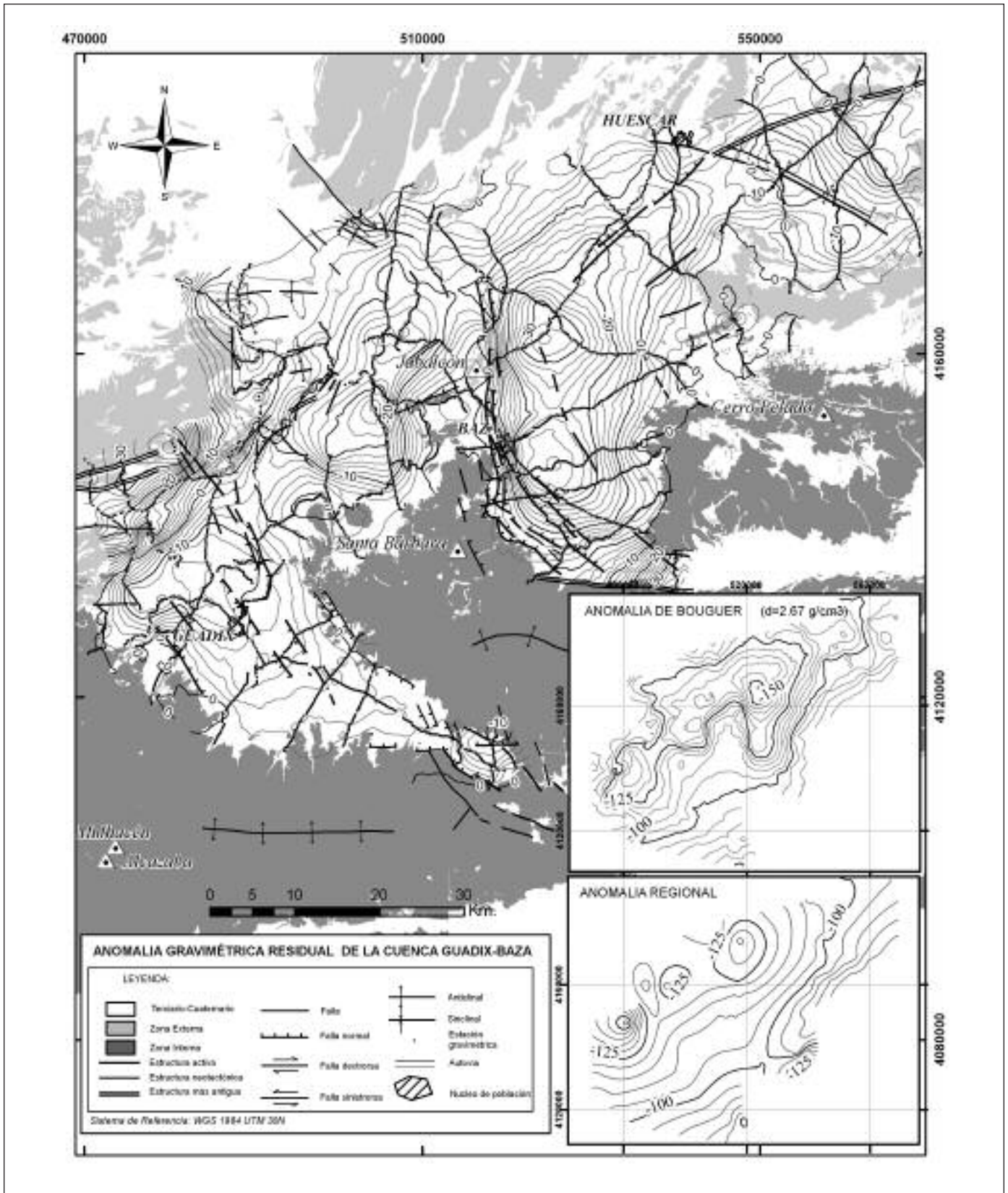


Figura 2. Mapas gravimétricos de la cuenca de Guadix-Baza (mGal). Los puntos marcan la posición de las estaciones de medida
 Figure 2. Gravimetric maps in the Guadix-Baza basin (mGal). The points mark the position of the points of measurement

locales se han situado mediante posicionamiento por GPS estático relativo, a partir de vértices de la red REGENTE, clavos NAP (Nivelación de Alta Precisión), obteniéndose unas coordenadas ED50 con precisión mejor de 5 cm en planimetría y 10 cm en altimetría. Para ello se han utilizado dos modelos (SR399 y SR9500) de Leica Geosystems.

La gravedad absoluta se ha determinado a partir de la base gravimétrica del I.G.N. situada en la antigua estación de ferrocarril de Baza. A partir de las medidas gravimétricas se han realizado las correcciones habituales (Aire Libre, Bouguer y Topográfica). La corrección topográfica, que generalmente se obviaba en trabajos de gravimetría antiguos, se ha realizado a partir del reciente modelo digital de terreno de 10 m x 10 m de pixel disponible en Andalucía y hasta una distancia de 10 km. El objetivo final es determinar la anomalía gravimétrica residual asociada al relleno sedimentario. Si se considera que los relieves más lejanos son de naturaleza y densidad heterogénea y su influencia es de carácter regional, su efecto se elimina mejor junto con la anomalía regional. Además, una mayor distancia sobrepasa la capacidad de cálculo disponible para la corrección topográfica.

El mapa de anomalías de Bouguer (Fig. 2) se ha elaborado por interpolación (mediante *kriging*) de las medidas efectuadas, y se ha calculado la anomalía interpolada en puntos cada 500 m. Este tamaño de malla es una solución de compromiso que logra suavizar generalmente las zonas entre perfiles y permite mantener el detalle a lo largo de los mismos, en el que el espaciado entre puntos es del orden de 250 m.

La anomalía residual se ha calculado como la diferencia entre los mapas de Bouguer y de anomalía regional. La anomalía regional se ha determinado a partir de los valores de anomalía de Bouguer correspondientes a aquellos puntos donde aflora el basamento, que se ha interpolado también cada 500 m, ya que este trabajo pretende determinar la anomalía residual correspondiente al relleno sedimentario. Este procedimiento ha permitido obtener valores más precisos que otros métodos habituales de suavización de anomalías.

Dado que la densidad media de los macizos rocosos suele ser diferente de la obtenida en muestras de roca y que, en la región, los relieves no son lo suficientemente escarpados para poder aplicar el método de Nettleton (1939) en todas las litologías, se ha asignado a cada cuerpo la densidad media de las litologías predominantes indicadas por Telford *et al.* (1990). Éstas han sido modificadas ligeramente durante la realización de los modelos para conseguir el mejor ajuste posible entre anomalías calculadas y observadas. En función de esto, se tomó una densidad

de referencia de 2,67 g/cm³ y una diferencia de densidad entre el relleno y el basamento de 0,35 g/cm³.

Los mapas gravimétricos de la cuenca de Guadix-Baza

Aunque para la interpretación geológica de las estructuras superficiales el mapa fundamental es el de anomalías residuales, se van a comentar brevemente los dos mapas previos de anomalía de Bouguer y regional obtenidos.

El mapa de anomalías de Bouguer: en este mapa (Fig. 2, parte derecha central) los rasgos "locales", relativamente poco profundos, se marcan en parte, si bien se les superponen los rasgos asociados a las estructuras corticales. Se observan tres sectores en los que existen anomalías negativas, siendo la más importante la situada al E, en la subcuenca de Baza, con valores inferiores a los -150 mGal. Estos valores contrastan con los también negativos, pero mucho más moderados (en torno a -125 mGal), correspondientes a sectores elevados en los que aflora el basamento, tal como es la Sierra de Baza.

El mapa de anomalía regional: en este mapa (Fig. 2, esquina inferior derecha), con menor influencia de los rasgos superficiales, se observan valores negativos importantes que disminuyen progresivamente desde las sierras Nevada y de los Filabres hacia el NO, con la excepción del sector donde se inicia el corredor del Almanzora. El sector con mayores valores de anomalías negativas prácticamente coincide con la posición de la mayor profundidad de la Moho en la Cordillera (Suriñach y Udías, 1976), tal como se indicó con anterioridad. Además, este mapa de anomalías refleja el paso desde rocas de basamento más densas correspondientes a materiales metamórficos de la Zona Interna a rocas de basamento sedimentarias de la Zona Externa, menos densas y que contribuyen también a una disminución de la anomalía hacia el NO.

El mapa de anomalías residuales: este mapa (Fig. 2) es el que define mejor la posición del basamento y el relleno sedimentario. Los depocentros antes citados se definen más claramente (Figs. 3 y 4).

Depocentro de Guadix: su límite meridional, al norte de Sierra Nevada, es gradual, pero no así sus otros bordes. Al NE y al SO el gradiente de anomalía gravimétrica es mayor, lo que sucede especialmente en la terminación norte del depocentro, en el que existe una variación muy acusada de la gravedad.

Depocentro de Freila-Gorafe o del sur del Negratín: es de menor tamaño pero de parecidas características al de Guadix. Hacia el sur, el paso a la Sierra de Baza

es relativamente gradual, mientras el gradiente de anomalías existente en los bordes oriental, sobre todo, y occidental es mucho más acusado. Sin embargo, en el borde norte no existe el elevado gradiente de anomalía residual que se observaba en el anterior depocentro, si bien su límite se puede marcar sin problema. Este depocentro se prolonga hacia el NE, al sur de Cuevas del Campo, donde hay otro mínimo gravimétrico.

Al norte de este depocentro se encuentra el área ocupada en buena parte por sedimentos del Mioceno superior y del olistostroma subbético subyacente. Desde ahí se pasa sin límites netos a la cuenca del Guadalquivir.

Depocentro de Baza: es el mayor de la cuenca de Guadix-Baza y ocupa gran parte de la subcuenca de Baza. Su límite occidental es muy neto y coincide con la falla de Baza (Alfaro *et al.*, 2006 y 2008; García-Tortosa *et al.*, 2008) mientras que el límite norte no es tan neto, pero se sigue marcando la línea NE-SO que forma el mismo borde de los sectores de Guadix y Freila-Gorafe. Su borde sur también muestra un fuerte gradiente gravimétrico mientras que el oriental es más progresivo. Todos ellos determinan un verdadero "agujero" relleno por un espesor de sedimentos muy notable.

Además de los anteriores, se distingue en este mapa un depocentro al norte de Venta Micena (Alfahuara-Botardo): este depocentro está rodeado por relieves del Subbético. Es menos marcado que los anteriores, tiene dirección ONO-ESE y muestra una progresiva subida del basamento hacia el NE. El límite NO también viene marcado por la misma alineación señalada para los anteriores depocentros.

Finalmente, hay que reseñar la existencia de un pequeño pero bien marcado depocentro situado entre las localidades de Fiñana y Abla, en el sector de unión entre las sierras de los Filabres y Sierra Nevada.

Interpretación

Área situada al sur y este del depocentro de Guadix: entre Sierra Nevada y los Filabres existe una estructura *grosso modo* sinforme limitada por los antiformes de ambas sierras. Al norte de Sierra Nevada hay fallas E-O importantes, pero que no muestran rasgos de haber sido activas en períodos recientes. En el borde sudoccidental de los Filabres hay fallas NO-SE, de tipo normal fundamentalmente, pero en conjunto la estructura dominante es el progresivo hundimiento del Alpujarride y el Nevado-Filábride hacia el área de Guadix. El relleno sedimentario existente es bastante reducido (Figs. 2, 3 y 4). Tan solo el pequeño depocen-

tro situado entre Abla y Fiñana indica la existencia de fallas que muestran actividad reciente. De hecho, el contacto entre el relleno y el Nevado-Filábride en Abla es neto, y consecuencia de una falla reciente que hunde el bloque en el que se localiza el depocentro. En él existen sedimentos cuya edad comprende desde el Mioceno superior a la actualidad y algunas fallas muestran saltos que afectan a sedimentos recientes. El depocentro de Guadix: está claramente controlado por fallas NNO-SSE en sus bordes oriental y occidental. Algunas de esas fallas muestran desplazamientos de sedimentos muy recientes y una de ellas parece ser la responsable de la salida de aguas termales en Graena, al oeste de Guadix. En el borde oriental, la falla de la Solana del Zamborino, que va del este de Fonelas al este de Guadix, desplaza en varios escalones al glacis de la cuenca de Guadix-Baza. Es decir, el hundimiento del depocentro (Fig. 3, Perfil 6) parece continuar en la actualidad.

El borde norte de este depocentro está netamente marcado, aunque dividido en dos escalones. El primero de ellos, el más meridional, está en la exacta continuación del contacto entre la Zona Externa (el Subbético) y la Interna (la Dorsal y el Maláguide) que pasa por Darro y que ahí, en Sierra Arana, corresponde a una gran falla de desgarre, dextrorsa. El segundo corresponde a un contacto brusco con los relieves subbéticos del área de Moreda y Mencal (montaña al este de Pedro Martínez) (Fig. 3, Perfil 1). Este escalón se sitúa en la prolongación de fallas, aproximadamente N70°E, de salto en dirección, visibles más al oeste (Soria, 1993). Son las fallas que según Sanz de Galdeano (1983) corresponden al accidente o falla(s) de Cádiz-Alicante, que hacia el este se llamó primero falla de Crevillente (Foucault, 1974). En no pocos puntos se desdobra en diversas superficies paralelas y constituye una amplia zona de falla.

El depocentro de Freila-Gorafe y el sector situado al norte: el mapa de anomalías residuales indica que el borde oriental del depocentro de Freila-Gorafe está controlado por una falla NNO-SSE, prácticamente paralela a la que determina el borde occidental del depocentro de Baza, pero con buzamiento en sentido contrario. Esta falla no se había identificado sobre el terreno aunque podía sospecharse su existencia debido a la terminación abrupta de la falla ENE-OSO que llega hasta Freila (Fig. 3, Perfil 2). De hecho, la Zona Interna aflora bastante hacia el norte en el sector de Freila-Zújar, pero se hunde al este y al oeste bajo los sedimentos plio-cuaternarios.

En el borde oeste posiblemente haya otra falla (Fig. 4, Perfil 6), pero parece menos importante, de manera que este depocentro de Freila-Gorafe en cierto modo se prolonga al oeste (Fig. 3), hacia el de Guadix. De

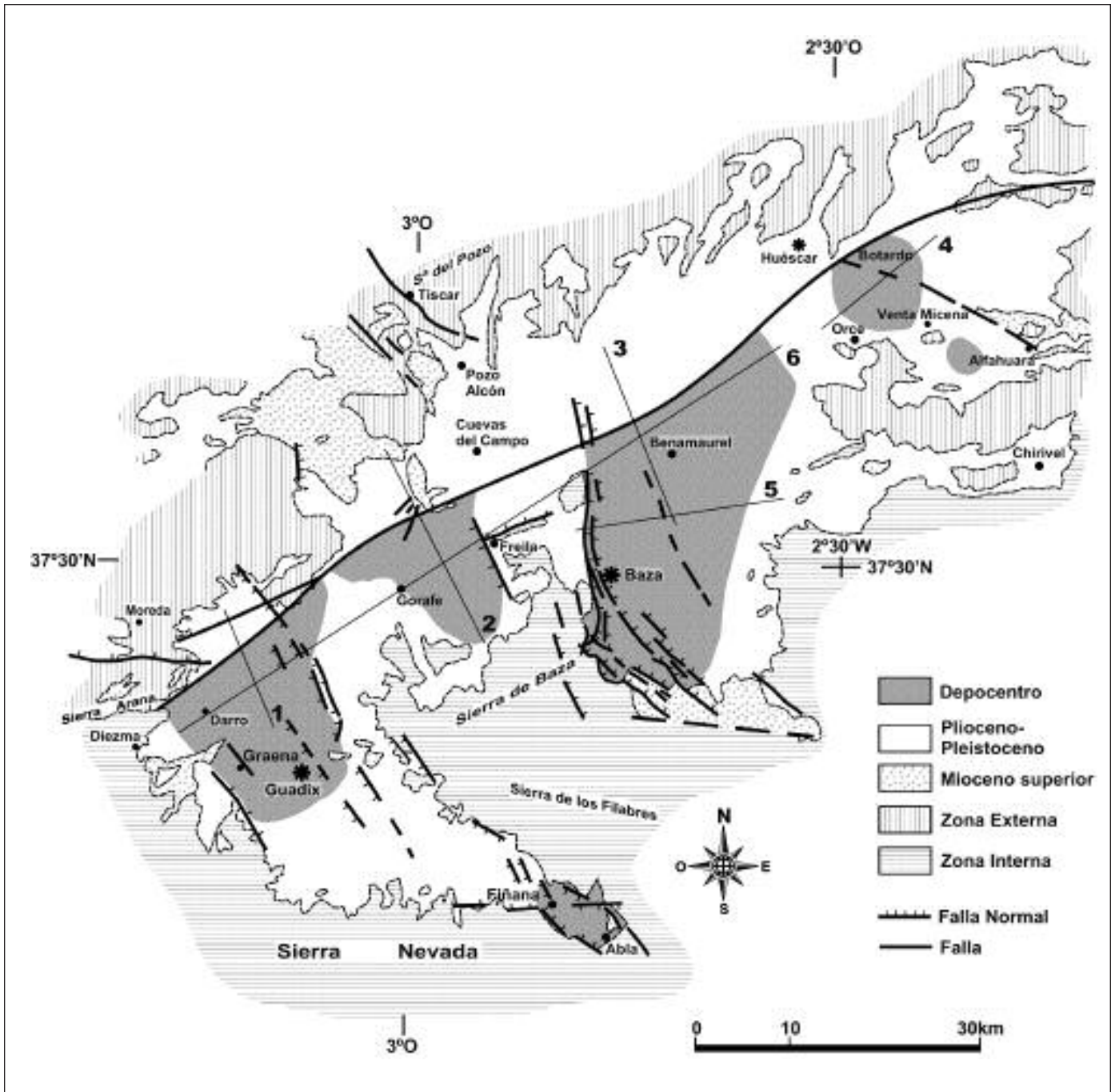


Figura 3. Interpretación de los principales rasgos gravimétricos de la cuenca de Guadix-Baza. Se localizan los perfiles de la figura 4
 Figure 3. Interpretation of the main gravimetric features in the Guadix-Baza basin. The positions of the profiles of Fig. 4 are indicated

hecho, durante el Plio-cuaternario se han formado facies lacustres (de Gorafe y Huélago; Vera, 1970; Peña, 1975 y 1985; Viseras, 1991) que pasan de un depocentro a otro e indican la continuidad a lo largo de ese período de tiempo de la subsidencia y del

depósito, en excelente concordancia con los rasgos gravimétricos de anomalía residual.

En el norte de este depocentro de Freila-Gorafe se encuentra un afloramiento de materiales del Trías que forma un notorio diapiro (López Garrido y Vera, 1974;

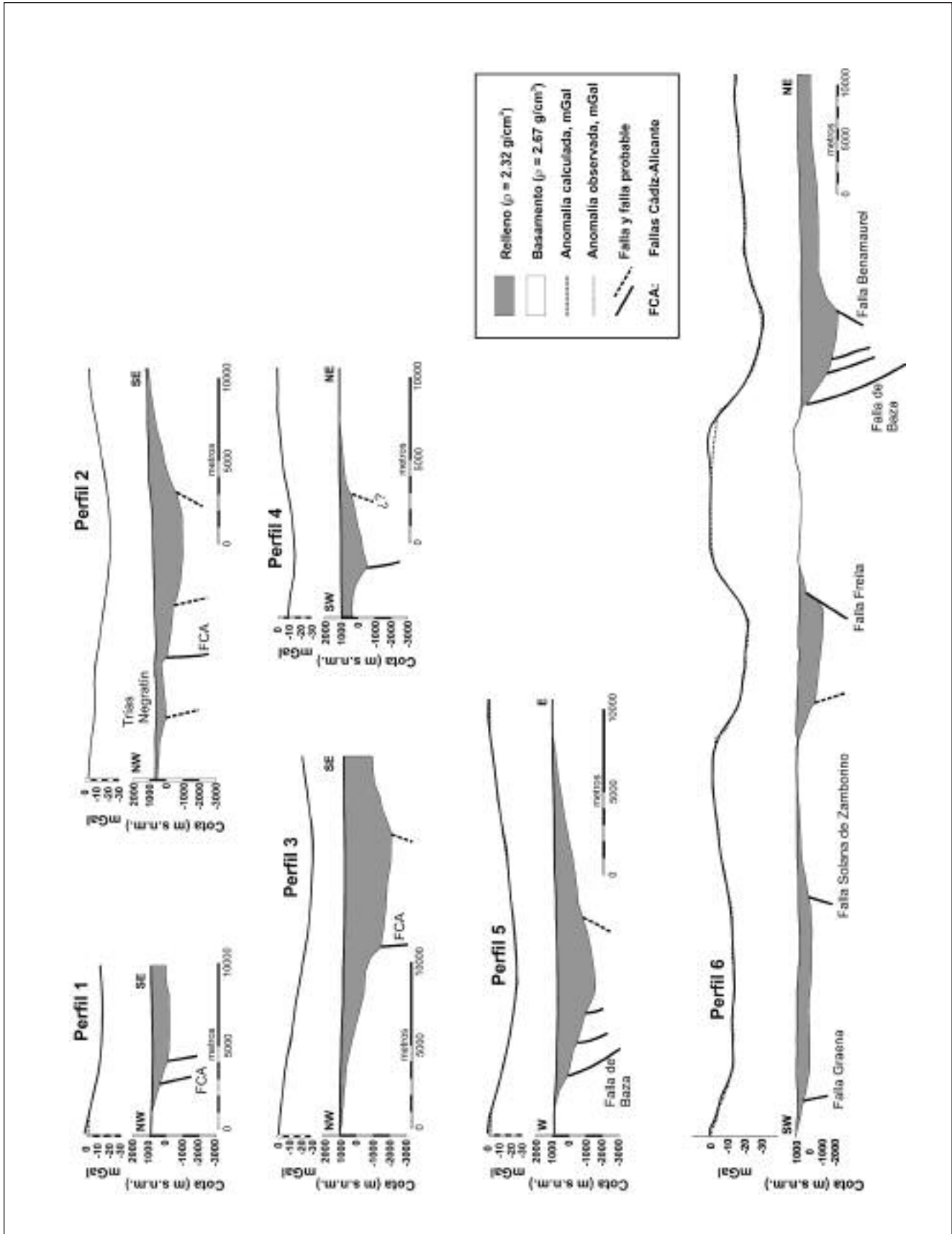


Figura 4. Perfiles de la cuenca de Guadix-Baza obtenidos a partir de los datos gravimétricos de la anomalía residual. Su posición se muestra en la figura 3
 Figure 4. Profiles in the Guadix-Baza basin obtained from the gravimetric data of the residual anomaly. Their position is indicated in figure 3

Estévez *et al.*, 1978). Allí las rocas triásicas de facies Keuper, totalmente desorganizadas, continúan hacia el norte, a lo largo del Guadiana Menor, donde aflora el olistostroma subbético. Cabe preguntarse si el sector de mayor anomalía residual negativa, cercano a Freila, está relleno en buena parte de ese conjunto triásico diapírico. Igualmente, este borde norte se encuentra en la prolongación del borde equivalente del depocentro de Guadix, es decir, coincide con la zona de falla de Cádiz-Alicante (Fig. 4, Perfil 2). En este caso, esta falla se sitúa en el contacto entre la Zona Interna y la Externa, lo que generalmente no ocurre, ya que suele situarse dentro de la parte meridional del Subbético.

Hacia el norte del embalse del Negratín, el olistostroma subbético y el relleno del Mioceno superior forman un conjunto poco denso que produce un área con anomalías negativas, aunque poco marcadas. Sin embargo su borde oriental es abrupto, tanto en el relieve como en las anomalías. Corresponde a fallas, normales cuando se han visto los desplazamientos, de dirección NNO-SSE a N-S, que han actuado al mismo tiempo que el depósito del relleno plio-cuaternario. Este borde de falla marca el límite del olistostroma en ese sector.

El depocentro de Baza y el de Alfahuara-Botardo: la falla que controla el depocentro de Baza (Fig. 3) ha sido descrita por Alfaro *et al.* (2006; 2008) y García-Tortosa *et al.* (2008). Esta falla ha tenido una enorme y continua subsidencia desde el Mioceno superior, lo que produjo espesores de relleno de varios kilómetros (Fig. 4, Perfiles 3, 5 y 6), a la vez que levantó progresivamente la Sierra de Baza, formada por materiales alpujárrides y situada al oeste. Ha determinado igualmente la existencia de las facies lacustres y las evaporitas de ese depocentro. Es posiblemente, junto al de Pinos Puente en la cuenca de Granada (Rodríguez-Fernández y Sanz de Galdeano, 2006), el depocentro más importante de las cuencas intramontañosas de la Cordillera Bética. El límite norte del depocentro pasa por la línea de Cortes de Baza, Castilléjar, Galera y al este de Huéscar, también en coincidencia con la falla de Cádiz-Alicante. Allí, esta falla se sitúa en el Subbético, mientras que el contacto entre las zonas Interna y Externa se dirige prácticamente hacia el este pasando entre la Sierra de las Estancias (Zona Interna) y la de María (Subbético). En este mismo depocentro, la falla de Benamaurel ha sido detectada por datos gravimétricos; en superficie no se observa.

En el sector de Alfahuara-Botardo, el depocentro, de dirección ONO-ESE, probablemente está en relación con una falla de la misma dirección, que levanta progresivamente el basamento hacia el norte (Fig. 4, Perfil 4). Sin embargo, este depocentro atraviesa la

línea de falla en su parte noroccidental, lo que no tiene una explicación inmediata. Quizás esté en relación con la prolongación de la falla de Cádiz-Alicante que se localiza en Botardo, donde permite salidas diapíricas de materiales del Trías.

Importancia de las fallas presentes en la cuenca de Guadix-Baza

En esta cuenca, la falla de Cádiz-Alicante tiene escasa expresión superficial pues los materiales plio-cuaternarios tan solo se encuentran afectados de forma local, tal como ocurre en Botardo. Esto se debe a que su actividad principal tuvo lugar desde el Burdigaliense (Mioceno inferior) al Mioceno medio, por lo que generalmente el relleno de la cuenca la fosilizó y cubrió. Sin embargo, el mapa de anomalías residuales de la cuenca de Guadix-Baza muestra muy bien su traza de orientación ENE-OSO, que limita los principales depocentros.

Esta falla continúa hacia el este (falla o accidente de Crevillente, Foucault, 1974) y hacia el oeste, donde se encuentra dividida en varias fallas paralelas de desgarre e inversas (Soria, 1993) y llega a la cuenca de Granada. En esta cuenca existen dos depocentros (los de Cubillas y Pinos Puente), cuyos bordes norte corresponden igualmente a un corte brusco (Rodríguez-Fernández y Sanz de Galdeano, 2006). En su conjunto, la zona de falla de Cádiz-Alicante facilitó el desplazamiento de la Zona Interna hacia el oeste, una vez que ésta colisionó con el Subbético. A partir de entonces la parte meridional del Subbético se movió conjuntamente con la Zona Interna. Esta falla supone, por tanto, una gran discontinuidad en la Cordillera.

Las fallas NNO-SSE de la cuenca de Guadix-Baza (y alguna NNE-SSE de mucha menor longitud) tienen fundamentalmente carácter normal en concordancia con la extensión de dirección ESE que afecta a la Cordillera Bética (Galindo-Zaldívar *et al.*, 1993). Las primeras pueden tener también desplazamientos dextrorsos y las segundas sinistrorsos. Estas fallas también se desarrollan en otras áreas, tales como en el borde oriental y parte del central de la cuenca de Granada, donde generalmente hunden el bloque sudoccidental, mientras que la falla de Baza hunde el oriental. Por el contrario, otras fallas de la cuenca de Guadix-Baza, en particular las del sector de Guadix, hunden el bloque occidental. Un rasgo común a estas fallas es que no se prolongan al norte de la falla de Cádiz-Alicante o lo hacen muy poco, por lo que puede constituir una falla de transferencia durante la actividad de las fallas normales NO-SE. Por eso, interpreta-

mos que la falla de Cádiz-Alicante ha jugado un papel muy activo en la cuenca de Guadix-Baza, facilitando el hundimiento de la parte norte de los depocentros. Este hundimiento del bloque meridional de la falla de Cádiz-Alicante pudo combinarse con una cierta traslación horizontal, generalmente dextrorsa, traslación que sin embargo no tuvo a partir del Mioceno superior valores muy importantes.

Finalmente, queremos señalar que la mayoría de las fallas descritas, a excepción de la de Freila y la de Benamaurel se conocían previamente por datos de superficie, aunque algunas de ellas las hemos señalado nosotros por primera vez. Sin embargo, los nuevos datos gravimétricos han permitido conocer mejor su continuidad e importancia, tal como sucede con la falla de Cádiz-Alicante.

Conclusiones

El mapa gravimétrico residual de la cuenca de Guadix-Baza muestra claramente la existencia de varios depocentros importantes, en particular el del sector de Baza, que solo pueden ser caracterizados mediante datos geofísicos. Estos depocentros están controlados por fallas NNO-SSE a NO-SE que facilitan su hundimiento, mientras que por el norte es la zona de fallas de Cádiz-Alicante la que los limita.

La posición de los depocentros es congruente con las facies sedimentarias del relleno de la cuenca: en el sector de Baza abundan las facies lacustres, aunque en los sectores de Guadix y Freila-Gorafe se desarrollaron en menor proporción. Es decir, con el conocimiento de la existencia de los depocentros ahora descritos, se explica el por qué de la distribución de las facies sedimentarias de la cuenca.

La existencia de los depocentros está claramente conectada con la extensión ENE que afecta a la Cordillera. Además, la falla de Cádiz-Alicante crea una notoria discontinuidad entre la parte N y S de la cuenca de Guadix-Baza y en general en la Cordillera. En esta región puede constituir una falla de transferencia desarrollada durante la traslación hacia el O de su bloque meridional, afectado a su vez por extensión NE-SO.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado a través de la acción especial BTE2001-5230-E (Geometría del basamento de la cuenca de Guadix-Baza. Cordillera Bética) de la SEPCT.DGI, del Ministerio de Ciencia y Tecnología y de los proyectos CGL200401636/BTE, CGL2004-03333/BTE, CGL2006-06001, CSD2006-00041 y el

grupo RNM 217 de la Junta de Andalucía. A. Caballero dibujó las figuras 1, 3 y 4.

Referencias

- Alfaro, P., Sanz de Galdeano, C., Galindo-Zaldívar, J., García-Tortosa, F.J., López-Garrido, A. C., López-Casado, C. y Marín, C. 2006. ¿Qué falla causó el terremoto de Baza de 1531? *Proceedings de la 5ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica*, Sevilla (2006). CD-ROM, ISBN: 84-8320-373-1. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 4 p.
- Alfaro, P., Delgado, J., Sanz de Galdeano, C., Galindo-Zaldívar, J., García-Tortosa, F.J., López-Garrido, A.C., López-Casado, C., Marín, C., Gil, A.J. y Borque, M.J. 2008. The Baza Fault: A major active extensional fault in the central Betic Cordillera (South Spain). *International Journal of Sciences*. DOI 10.1007/s00531-007-0213-z
- Calvache, M.L. y Viseras, C. 1997. Long-term control mechanisms of stream piracy processes in southeast Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22, 93-105.
- Estévez, A., López Garrido, A.C. y Sanz de Galdeano, C. 1978. *Estudio de las deformaciones recientes en el sector del Negatín (Depresión de Guadix Baza)*. En Geodinámica de la Cordillera Bética y mar de Alborán, 165-192.
- Foucault, A. 1974. *Travaux et titres scientifiques et universitaires*. Paris, 36 p.
- Galindo-Zaldívar, J., González-Lodeiro, F. y Jabaloy, A. 1993. Stress and palaeostress in the Betic-Rif cordilleras (Miocene to the present). *Tectonophysics*, 227, 105-126.
- García-Tortosa, F.J., Alfaro, P., Galindo-Zaldívar, J., Gibert, L., López-Garrido, A.C., Sanz de Galdeano, C. y Ureña, M. 2008. A mountain front developed in soft rocks: Geomorphic evidence of the Active Baza Fault (Betic Cordillera, Southern Spain). *Geomorphology*. DOI 10.1016/j.geomorph. 2007. 08. 007.
- Gibert, L. 2006. *Análisis de Facies y Magnetoestratigrafía de la Cuenca de Baza (Cordillera Bética)*. Tesis Universitat Politècnica de Catalunya. Manresa, 262 pp.
- Guerra-Merchán, A. 1990. Sobre la conexión entre la Depresión de Guadix-Baza y el Corredor del Almanzora. (Cordilleras Béticas, Andalucía Oriental). *Geogaceta*, 8, 97-99.
- López-Garrido, A.C. y Vera, J.A. 1974. Diapirismo reciente en la depresión de Guadix-Baza (Sector del Negretín). *Estudios Geológicos*, 30, 611-618.
- Mezcua J., Gil A.J. y Benarroch R. 1996. *Estudio gravimétrico de la Península Ibérica y Baleares*. Instituto Geográfico Nacional, Madrid, 21 p. 2 mapas a escala 1:1000.000.
- Nettleton, L.L. 1939. Determination of density for the reduction of gravimeter observations. *Geophysics*, 4, 176-183.
- Peña, J.A. 1975. Estratigrafía del Plioceno- Pleistoceno del sector occidental de la Depresión de Guadix. *Cuadernos de Geología Universidad de Granada*, 6, 31-54.

- Peña, J.A. 1985. La Depresión de Guadix-Baza. *Estudios Geológicos*, 41, 33-46.
- Pérez-López, A. y Sanz de Galdeano, C. 1994. Tectónica de los materiales triásicos en el sector central de la Zona Subbética (Cordillera Bética). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 7, 141-153.
- Rodríguez-Fernández, J. y Sanz de Galdeano, C. 2006. Late orogenic intramontane basin development: the Granada basin, Betics (southern Spain). *Basin Research*, 18, 85-102.
- Roldán García, F.J. y García Cortés, A. 1988. Implicaciones de materiales triásicos en la Depresión del Guadalquivir (Provincias de Córdoba y Jaén). *II Congr. Geol. Esp. SGE*, Granada, 1, 189-192.
- Sanz de Galdeano, C. 1983. Los accidentes y fracturas principales de las Cordilleras Béticas. *Estudios Geológicos*, 39, 157-165.
- Soria, J.M. 1993. *La sedimentación neógena entre Sierra Arana y el río Guadiana Menor (Cordillera Bética Central). Evolución desde un margen continental hasta una cuenca intramontañosa*. Tesis Univ. Granada, 292 pp.
- Suriñach, E. y Udías, A. 1976. *Determinación de la raíz de Sierra Nevada-Los Filabres a partir de medidas de refracción sísmica y gravimetría*. Reunión sobre la Geodinámica de la Cordillera Bética y mar de Alborán. Publ. Univ. Granada (1978), 25-34.
- Telford, W. M., Geldart, L. P. y Sheriff, R. E. 1990. *Applied Geophysics*. Second Edition. University Press, Cambridge, 770 pp.
- Vera, J.A. 1970. Estudio estratigráfico de la Depresión Guadix-Baza. *Boletín Geológico y Minero*, 81, 429-462.
- Viseras, C. 1991. *Estratigrafía y sedimentología del relleno aluvial de la Cuenca de Guadix (Cordilleras Béticas)*. Tesis Univ. Granada, 344 pp.

Recibido: junio 2007

Aceptado: noviembre 2007