

4.- GEOFÍSICA

La adquisición e interpretación de datos geofísicos ha sido de especial importancia en este proyecto. En la región existen numerosos datos geofísicos previos de carácter regional que permiten interpretar la estructura y posición de la corteza continental en la región de estudio. Estos datos geofísicos previos se pueden contrastar y complementar con los nuevos datos adquiridos e interpretados.

En este sentido se ha adquirido en el marco del Proyecto nuevos datos geofísicos (campañas gravimétricas y magnetotelúricas) y se han reinterpretado numerosos perfiles sísmicos de la región.

4.1.- INFORMACIÓN GEOFÍSICA PREVIA

En la Cordillera Bética existen numerosos datos geofísicos de carácter regional que permiten interpretar la estructura y posición de la corteza continental en la región. Estos datos geofísicos se pueden contrastar y complementar con los nuevos datos adquiridos e interpretados en el proyecto de investigación que se presenta.

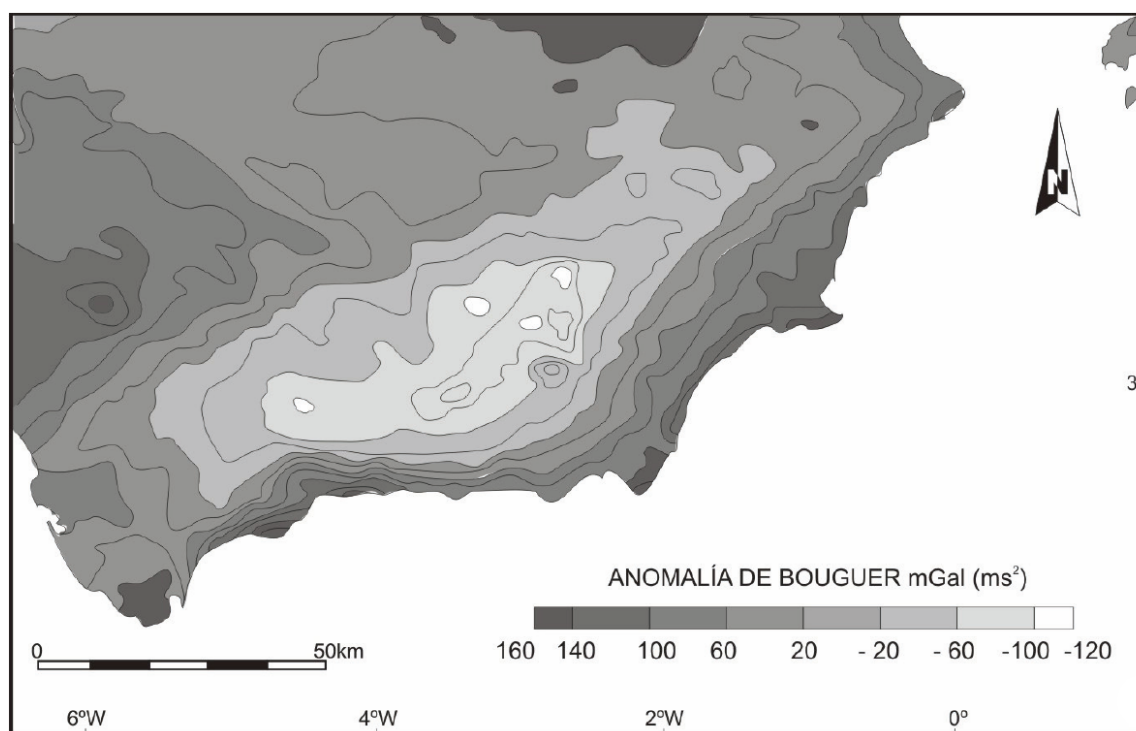


Figura 4-1.- Mapa de anomalías de Bouguer de la Cordillera Bética (I.G.N. 1976)

4.1.1.- GRAVIMETRÍA

El I.G.N. (1976) adquirió datos gravimétricos en tierra, a partir de los cuales se realizaron los mapas de anomalía de aire libre y Bouguer a escala 1:1.000.000 (Figura 4-1). Los mínimos gravimétricos que se observan en la parte meridional de la Península Ibérica están relacionados con el engrosamiento cortical provocado por la orogenia alpina, como es el caso del mínimo asociado a las Zonas Internas Béticas.

En la Cuenca del Guadalquivir se observan anomalías negativas que alcanzan los -90 mGals, relacionados con la presencia de sedimentos neógenos depositados en las cuencas

y otros materiales de muy baja densidad (yesos triásicos y las unidades de los Flysch). Los valores de anomalía de Bouguer vuelven a aumentar progresivamente hacia los relieves del Macizo Ibérico, debido a la disminución del relleno sedimentario de la Cuenca del Guadalquivir y a espesores normales de corteza continental en este Macizo (30-35 km).

4.1.2.- MAGNETOMETRÍA

El mapa de anomalías aeromagnéticas del sur de la Península Ibérica del I.G.N. (Ardizzone et al., 1989), muestra las principales anomalías de intensidad del campo magnético total (Figura 4-2). Se observa una banda de anomalías de orientación ONO-ENE en el Macizo Ibérico, que se interpreta como cuerpos de corteza inferior cabalgantes sobre la corteza superior (Aller, 1996). Otra interpretación es la presencia de rocas ígneas básicas en la zona de Ossa Morena. Esta banda de anomalías se prolonga con la misma dirección bajo la Cordillera Bética, confirmando la existencia de un basamento varisco bajo estas.

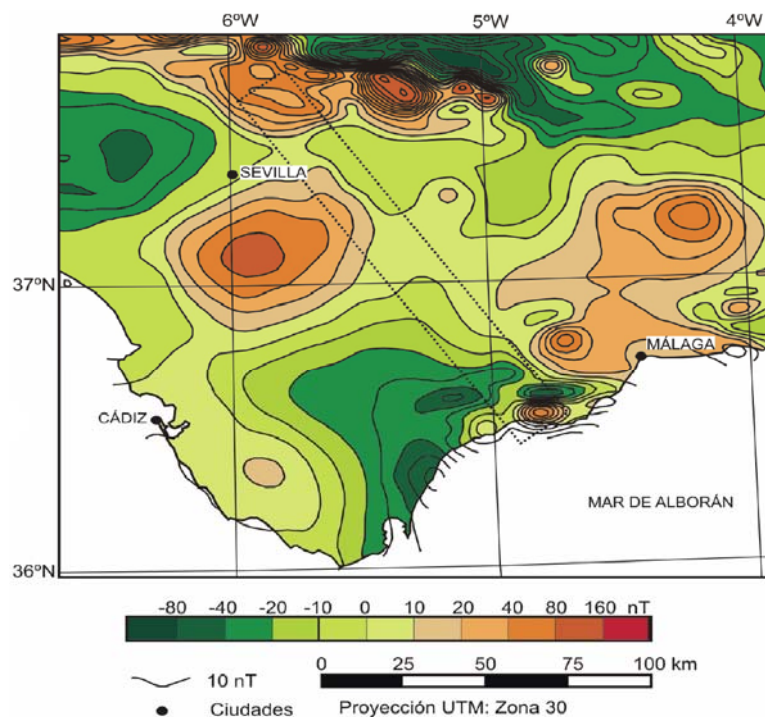


Figura 4-2.- Mapa de anomalía aeromagnética de la región estudiada. Se indica la posición de la transversal Marbella-Sevilla (Ardizzone et al., 1989)

4.1.3.- SÍSMICA

Existen también estudios de sismica regional en la región que permiten establecer un modelo cortical de la Cordillera a gran escala. La sismica de refracción profunda (Banda, 1979; Banda y Ansorge, 1980; y Medialdea et al 1986), sugiere un modelo de corteza de 30 km de espesor en la zona occidental, que alcanza los 37 km hacia las zonas centrales de la cadena y el Arco de Gibraltar y desciende hasta los 22-25 km cerca de la línea de costa. Las campañas de sismica de reflexión profunda denominados ESCI-BÉTICAS (García-Dueñas et al, 1994; Galindo-Zaldívar et al, 1997; Martínez-Martínez et al, 1997), indican que la corteza está formada por un nivel superior transparente de aproximadamente 15-20 km de profundidad y un nivel inferior con abundantes reflectores internos en cuya base se encuentra la Moho. La Moho y los reflectores de la corteza inferior son prácticamente planos en los perfiles y no se observan diferencias apreciables en su profundidad que se puedan

relacionar con los relieves observados en superficie que podrían estar relacionados con despegues a nivel cortical.

4.1.4.- DATOS MAGNETOTELÚRICOS

En los últimos años se han realizado varias campañas de prospección magnetotelúrica en la región oriental de las Béticas (Pous et al, 1999; Martí 2004 y 2006; Pedrera, 2006). Estas campañas permiten sugerir el espesor de la corteza y correlacionar las anomalías resistivas y conductoras con la geología de superficie.

4.1.5.- DATOS DE SISMICIDAD

Por último los datos de sismicidad permiten localizar áreas de deformación reciente. La deformación en las cordilleras Bético-Rifeñas, asociada a la convergencia entre ambas placas, se absorbe mediante esta sismicidad dispersa de magnitud moderada ($m \leq 5.5$), en una banda de aproximadamente 500 km de anchura y en su mayoría someros ($0 < h < 40$ km). La sismicidad aparece muy dispersa por lo que es difícil correlacionar las fallas en superficie con la posición de los terremotos.

Los estudios de tomografía sísmica permiten conocer la estructura de la Tierra a partir de terremotos. Diversos autores (Carbonell et al, 1998; Doñabeitia et al, 1998) han aplicado esta técnica en la Cordillera Bética y Mar de Alborán (Blanco y Spakman, 1993; Serrano et al, 1998; Morales et al, 1999; Blanco y Spakman, 1993). Dichos autores presentan una imagen sísmica de alta resolución de la estructura profunda de la Cordillera Bética y del Mar de Alborán. También identifican la presencia de un cuerpo de alta velocidad de propagación de las ondas sísmicas entre los 200-670 km, además de ser corroborada por la existencia de una sismicidad muy profunda en la zona. Esta anomalía se interpreta como un bloque despegado proveniente de una subducción o bien un manto superior delaminado.

4.2.- INFORMACIÓN GEOFÍSICA NUEVA

4.2.1.- CAMPAÑA DE SONDEOS MAGNETOTELÚRICOS

El método magnetotelúrico (MT) es una técnica geofísica que permite determinar la distribución de la conductividad eléctrica en el subsuelo a partir de la medida simultánea, en la superficie terrestre, de los campos eléctrico (Ei) y magnético (Hj) naturales.

En el marco de este Proyecto se han realizado dos campañas magnetotelúricas con el fin de realizar dos perfiles eléctrico-resistivos en dos transversales de 150 km de longitud cada uno y dirección NO-SE (Marbella-Sevilla y Coín-Écija) y un total de 28 sondeos. Los datos correspondientes a la transversal Marbella-Sevilla, han sido procesados e interpretados, mientras que los de la transversal Coín-Écija se está trabajando en ellos actualmente. El equipo utilizado para la adquisición de datos corresponde al modelo ADU-06 de Metronix. Todo el procesado de los datos magnetotelúricos antes señalado, se ha realizado mediante dos programas distintos: Mapros y Winglink.

En la transversal Marbella-Sevilla se han realizado 19 sondeos magnetotelúricos. De los 19 sondeos sólo han sido procesados 12 debido a que en 7 de ellos la señal artificial era muy elevada respecto a la natural. La posición de las estaciones cubre las diferentes unidades geológicas principales que afloran en la zona. La estación 1, la más meridional, se encuentra situada en materiales de la Dorsal de la Sierra de las Nieves. Las estaciones 2 y 3 están ubicadas en materiales neógenos de la Cuenca de Ronda, mientras que la 4 y la 5 se encuentran situados sobre la Unidad Olistostromática. De la 6 a la 11 están localizadas en distintos puntos de la Cuenca del Guadalquivir, quedando la 12 situada en los primeros relieves del Macizo Ibérico.

La inversión 2D (Figura 4-3) del perfil Marbella-Sevilla se ha realizado utilizando el algoritmo de Mackie et al (1997). La corteza superior muestra una gran heterogeneidad en los valores de resistividad, de acuerdo con la estructura geológica que se observa en superficie. En las partes más superficiales del modelo 2D se observan varios cuerpos conductores en las zonas donde se localizan las cuencas del Guadalquivir y de Ronda. En contraste se observa un gran cuerpo resistivo en los afloramientos de calizas de la Unidad de la Dorsal, en el extremo meridional del perfil. Por otra parte, el basamento varisco está caracterizado por un gran cuerpo resistivo en el extremo norte del perfil, probablemente relacionado con la presencia de granitos. En la parte central y meridional del modelo se observa, sin embargo, un cuerpo conductor profundo que buza hacia el SE entre los sondeos 4 y 6. Otros cuerpos conductores menos marcados se identifican en la parte central y septentrional del perfil a niveles medios y profundos de la corteza.

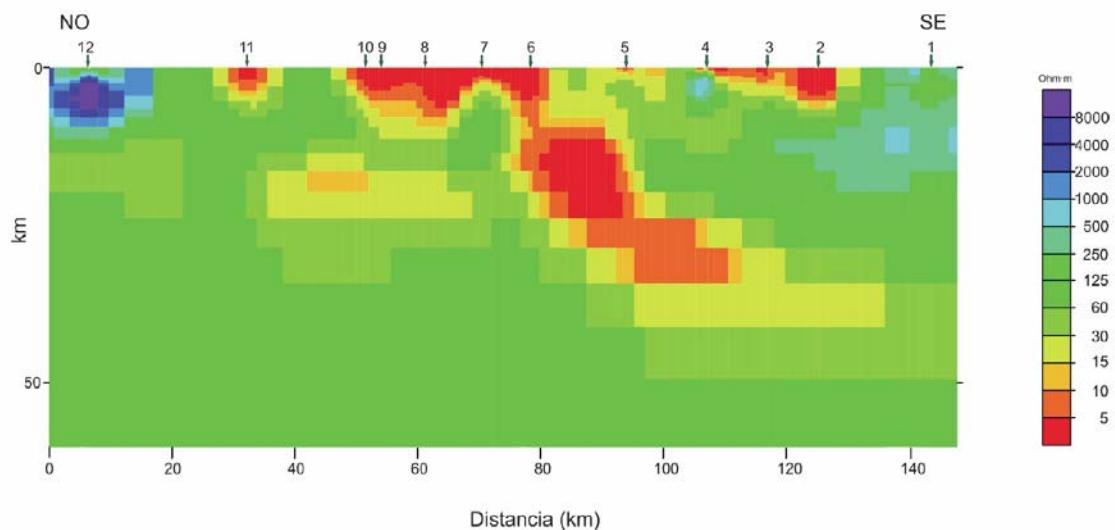


Figura 4-3.- Modelo 2D de resistividades de la transversal Marbella-Sevilla realizado mediante el algoritmo de Mackie et al (1997)

4.2.2.- CAMPAÑA GRAVIMÉTRICA

Las irregularidades en la distribución de la densidad en el subsuelo y en superficie dan lugar a variaciones laterales en la magnitud de la aceleración de la gravedad (g) de un lugar a otro. Las medidas gravimétricas pueden utilizarse, por tanto, para determinar la estructura geológica de una región en función de la distribución y densidad de cada una de las unidades geológicas.

Se han realizado dos perfiles gravimétricos en el marco de este proyecto. El primero de ellos coincide con la transversal Marbella-Sevilla. El segundo perfil gravimétrico está situado en la transversal Coín-Écija, pero llega sólo hasta el sur de Pedrera (sur de Estepa).

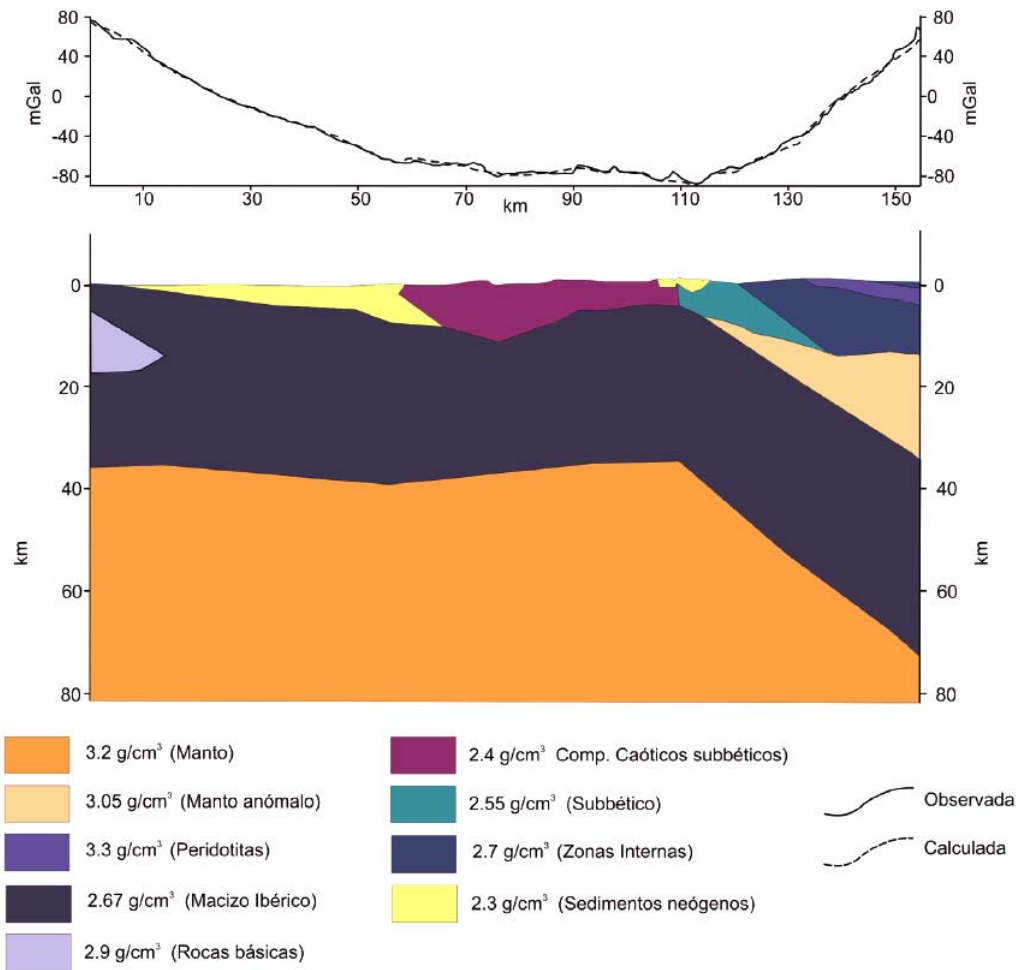


Figura 4-4. Modelo gravimétrico realizado a partir de la anomalía de Bouguer en la transversal Marbella-Sevilla

Para la adquisición de los datos gravimétricos se han utilizado dos gravímetros: un gravímetro Worden modelo Master (precisión 0.01 mGal) y un gravímetro Scintrex Autograv CG-5 (precisión 0.001 mGal). La localización de las estaciones de medida se realizó con GPS con precisión de 5 metros, mientras que la cota se obtuvo mediante un altímetro barométrico con precisión de 0.5 metros y su correlación en distintos vértices geodésicos durante la adquisición de datos. Las anomalías residuales obtenidas se han modelizado mediante el programa GRAVMAG V.1.7. Durante la realización del modelo se han tenido en cuenta los datos geológicos de superficie y los datos geofísicos previos del área.

Los valores de anomalía de Bouguer (Figura 4-4) en el extremo sur de la transversal Marbella-Sevilla, alcanzan los +60 mGals de anomalía positiva, que deben estar relacionados con la presencia de cuerpos de rocas básicas y ultrabásicas cerca de la línea de costa y posiblemente con una reducción del espesor de la corteza.

En las inmediaciones de la Cuenca de Ronda se registran los valores mínimos (-80 mGals) relacionados con el mayor grosor cortical, la presencia de sedimentos neógenos depositados en la Cuenca de Ronda y otros materiales de muy baja densidad en su basamento (yesos y arcillas y unidades de los Flysch).

Los valores de anomalía de Bouguer aumentan progresivamente hasta valores próximos a cero en el sector septentrional de la Cuenca del Guadalquivir, debido a la

disminución del relleno sedimentario de esta Cuenca y a la aproximación a espesores normales de la corteza continental en el Macizo Ibérico (30-32 km) y valores positivos de hasta +60 mGals en el extremo del perfil situado sobre los relieves de Sierra Morena.

El modelo muestra el paso desde la corteza continental estable varisca del Macizo Ibérico hasta la línea de costa, zona ocupada por las medidas gravimétricas adquiridas durante la realización de este trabajo. Hacia el sur y hasta la Cuenca de Ronda, la disminución de los valores de Anomalía de Bouguer confirman el aumento de espesor de rocas poco densas en superficie: rocas neógenas de las cuencas del Guadalquivir y de Ronda y sedimentarias de las Zonas Externas. Además debe de producirse un aumento progresivo del espesor cortical por la carga que suponen las Cordilleras Béticas sobre una corteza varisca de potencia constante, lo que se traduce en un descenso progresivo de la profundidad de la Moho.

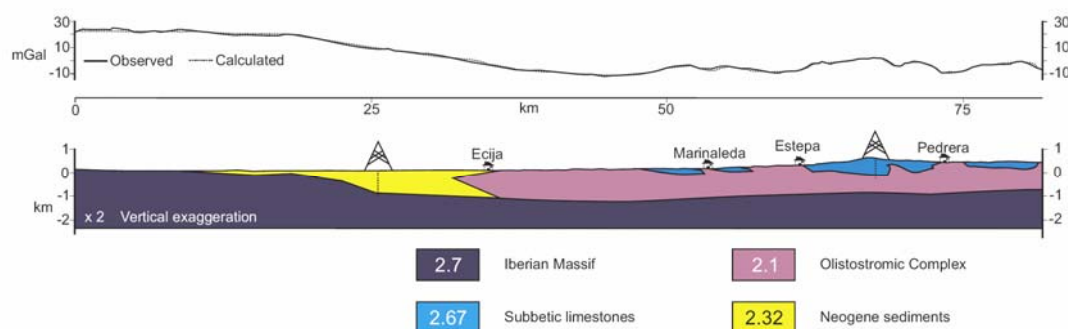


Figura 4-5. Modelo gravimétrico realizado a partir de la anomalía de Bouguer en la transversal Pedrera-Écija

El perfil gravimétrico Pedrera-Écija (Figura 3-5) muestra máximos gravimétricos relativos relacionados con los relieves calizos de la Sierra de Estepa y Yeguas y los afloramientos subbéticos del entorno de Marinaleda. Es interesante observar como estos afloramientos subbéticos mesozoicos no están enraizados y descansan a modo de grandes olistolitos sobre la Unidad Olistostrómica. Este hecho está también corroborado por la existencia de un sondeo en Sierra Estepa que perfora todas las rocas calizas mesozoicas que se disponen sobre la Unidad Olistostrómica.

4.2.3.- INTERPRETACIÓN DE PERFILES SÍSMICOS DE REFLEXIÓN

Se han reinterpretado un total de 66 secciones sísmicas que suponen más de 1800 km de longitud. La interpretación se realiza integrando datos de sondeos profundos de investigación de hidrocarburos (unos 90 km), cartografía geológica y estudios micropaleontológicos.

A partir de estos datos se ha construido un modelo geológico 3D preliminar con el software GOCAD. V.2.5.2. La conversión del dominio de tiempos de los perfiles sísmicos a profundidad se ha realizado con una velocidad media de 2.750 m/s. La mejora del modelo geológico 3D en el futuro debería partir de un modelo de velocidades más elaborado que integre datos de velocidades RMS junto con velocidades obtenida en sondeos.

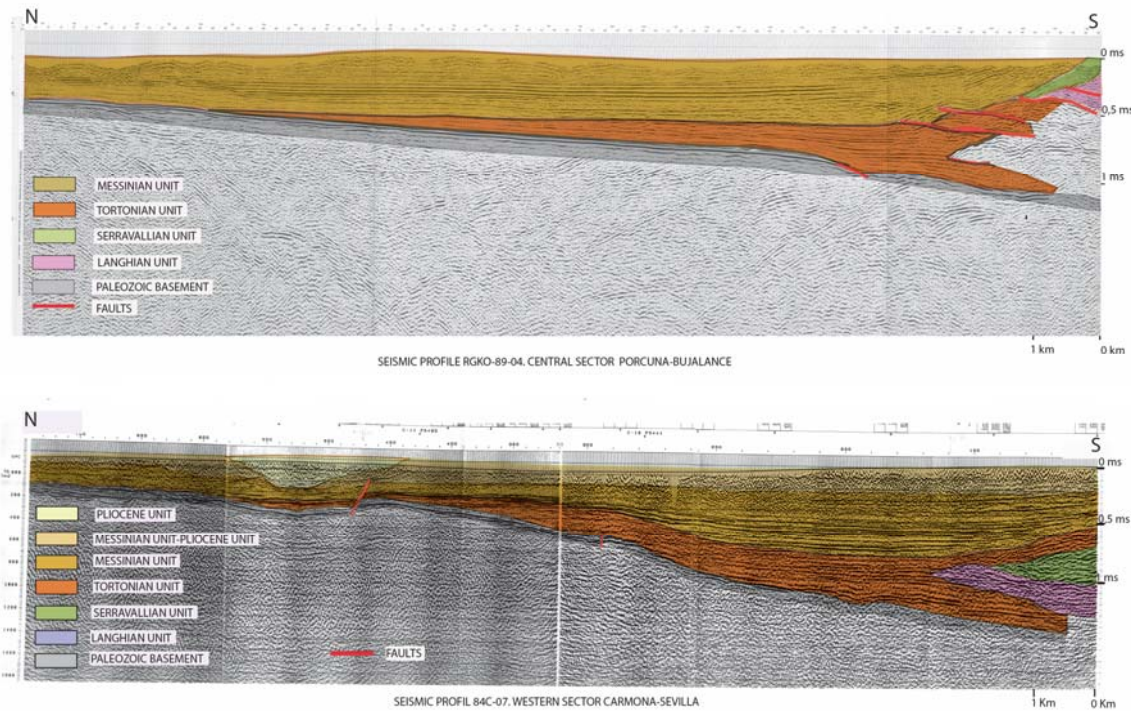


Figura 4-6. Perfiles sísmicos e interpretación de la Cuenca del Guadalquivir

La interpretación de los perfiles sísmicos ha permitido identificar cuatro unidades cronoestratigráficas en la región de estudio del Proyecto (secuencias deposicionales según Mitchum, 1977) de edad neógena (Langhiense superior a Messiniense). Por otra parte, el borde activo de la cuenca está formado por un manto cabalgante (Manto de Carmona, Perconig, 1962-64 y Manto Bético, Roldán y Rodríguez-Fernández, 1991), que incluye la Unidad Olistostrómica y la Unidad de Castro del Río (Figura 4-6. Manto Bético a la derecha de la imagen con las dos unidades indicadas, en morado: U. Olistostrómica, en verde: U. Castro del Río).

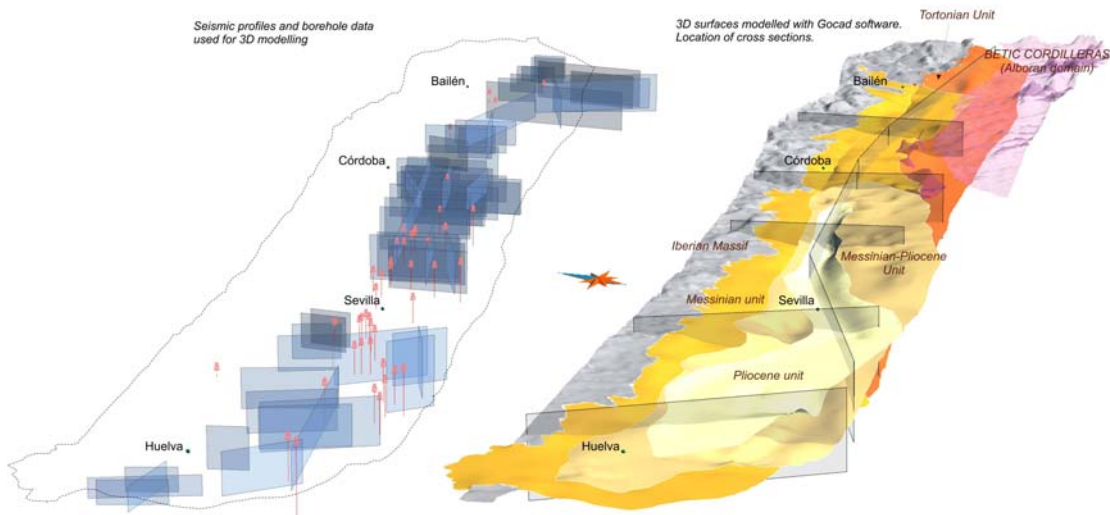


Figura 4-7. Modelo Geológico 3D de la Cuenca del Guadalquivir construido mediante GOCAD

En el frente de las Zonas Externas, sector de Martos, se ha interpretado el perfil sísmico de la figura 4-8.

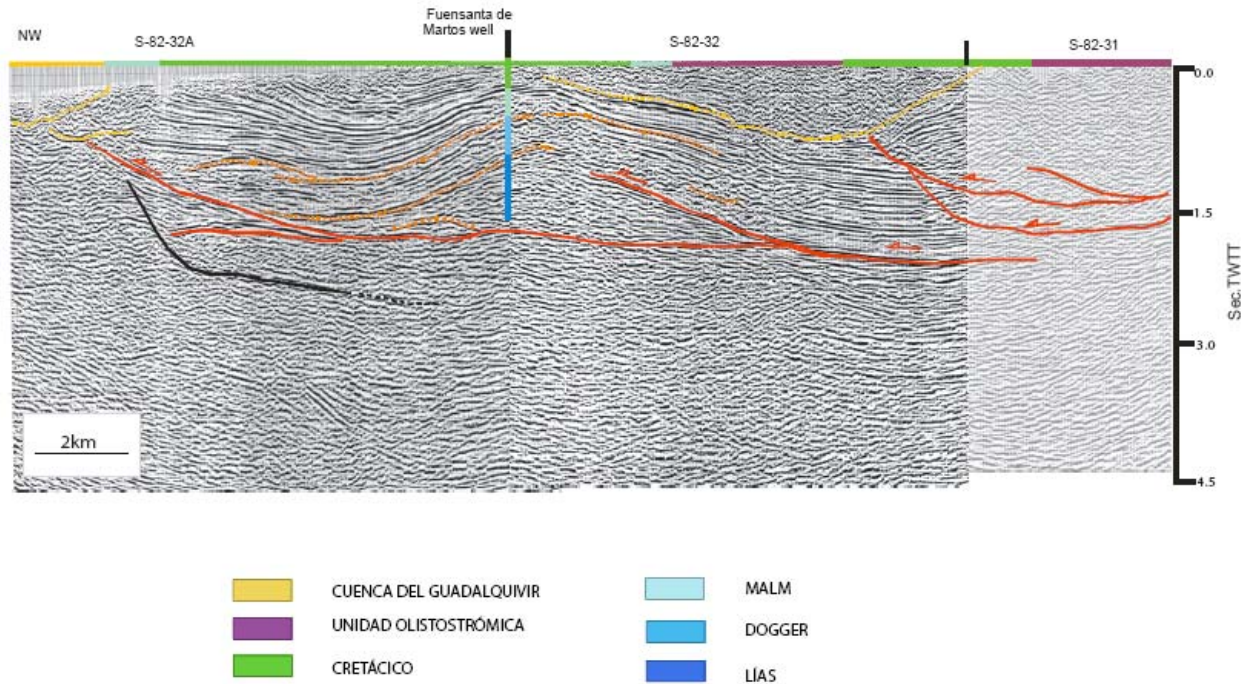


Figura 4-8. Interpretación del perfil sísmico de Martos

La estructura que se ve plegada comporta una serie jurásica y cretácica prácticamente completa, que incorpora en su parte superior sedimentos pertenecientes a la Unidad Olistostrómica. Esta estructura avanza hacia la Cuenca del Guadalquivir, transportando sobre ella, no solo a la Unidad Olistostrómica, sino también a la Unidad de Castro del Río en su parte frontal.

Los principales resultados obtenidos de la interpretación de los perfiles sísmicos y de la construcción del modelo 3D son los siguientes:

- El basamento Ibérico bajo la Cuenca del Guadalquivir muestra una flexura desde su borde norte y buza progresivamente hacia el sur.
- La deformación de las secuencias estratigráficas (unidades Olistostrómica y de Castro del Río), se produce en relación al cabalgamiento del Manto Bético en el borde sur.
- El diacronismo del Manto Bético se debe al avance progresivo en el espacio y tiempo, desde el este hacia el oeste de la Cordillera, con la reactivación de fallas variscas como consecuencia de la Orogenia Alpina.
- La Unidad Olistostrómica puede alcanzar un espesor acumulado por cuñas de acreción del orden de 1000 metros (Figura 4-5). Se sitúa sobre el Zócalo de la Meseta y alberga grandes bloques de series subbéticas y prebéticas, especialmente mayoritarios hacia el este de la Cordillera Bética.