

Nivelación de alta precisión a lo largo de la costa entre La Marina y Torrevieja (Alicante) para controlar movimientos tectónicos verticales

J. Giménez¹, M. J. Borque², A. Gil², P. Alfaro³, A. Estévez³ y E. Suriñach⁴

1 Servei d'Estudis i Planificació, D.G. Recursos Hídrics, Conselleria de Medi Ambient, Govern de les Illes Balears. Gran Vía Asima, 4, 1º derecha. jgimenez@dgrehid.caib.es

2 Dpto. Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Universidad de Jaén.

3 Dpto. Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente, Universidad de Alicante.

4 Dpto. Geodinàmica i Geofísica, Universitat de Barcelona.

ABSTRACT

The low seismic activity of the Guardamar-Torrevieja zone can be associated with NW-SE dextral faults together with E-W reverse blind faults. To monitor the vertical displacement of those active faults, a high precision levelling profile along 30 km was set up and levelled in 1997. This profile went parallel to an ancient high precision levelling line included in the Spanish first order levelling network measured by the Instituto Geográfico Nacional (IGN) in two different campaign (1934 and 1976). In 2003, the 1997 line was relevelled; and 10 new bench marks were set up to increase the bench mark density and also to restore some of the 1997 ones that have been destroyed. The 1976-2003 RVM (recent vertical movements) indicate that the vertical movements are very small, nearly equal to the error bars. Only a 0.2 mm/year rise of the Guardamar city, and a 0.15 mm/year subsidence of the southern part of the profile (Punta Prima) respect to Torrevieja town can be mentioned. These movements could be respectively related to the Bajo Segura and the San Miguel de Salinas faults.

Key words: Active Tectonics, Bajo Segura, vertical movements, levelling.

INTRODUCCIÓN

El sector meridional de la provincia de Alicante es uno de los que ha registrado mayor actividad sísmica de la Península Ibérica durante el periodo histórico e instrumental. Aunque la actividad sísmica del periodo instrumental se ha caracterizado por terremotos de pequeña magnitud, en el registro histórico hay constancia de la ocurrencia de terremotos de elevada intensidad. El terremoto más destructivo, que alcanzó una intensidad X (escala MSK), se produjo en el sector de Torrevieja en el año 1829. Además, se tiene constancia de otros eventos de intensidad mayor que VII (Orihuela 1013, I=VIII; Orihuela 1482, I=IX y 1484 I=VIII; Guardamar 1523, I=VIII; Orihuela 1673, I=VIII; y Jacarilla 1919, dos eventos de I=VIII) (Giner *et al.*, 2001). Esta sismicidad está asociada a fallas dextrorsas NW-SE (fallas de Guardamar, Torrevieja y San Miguel de Salinas), y a la falla inversa ciega del Bajo Segura, de dirección ENE-WSW. Con el propósito de cuantificar los movimientos verticales ocurridos en el siglo XX en el sector oriental de la Península Ibérica, se realizó una comparación de datos históricos de la red de nivelación española de primer orden (Giménez *et al.*, 2000, Giménez, 2001). Una de las líneas comparadas, medida por el Institu-

to Geográfico Nacional (IGN) en dos campañas diferentes (1934 y 1976), discurre a lo largo de la costa oriental de la Península. Desafortunadamente, en el segmento comprendido entre La Marina y el Sur de Torrevieja (sector del presente estudio) sólo había un clavo de nivelación común en las dos campañas del IGN. Dado que este sector de la costa presenta un gran interés porque la línea de nivelación atraviesa las principales fallas activas de la región, en el año 1997 se colocan 30 nuevas señales y se realiza una renivelación para poder obtener información sobre los movimientos verticales de la zona. La comparación de los resultados obtenidos con los del año 1976 permitió construir un perfil de movimientos verticales recientes (MVR) con siete señales repetidas que mostró que los desplazamientos verticales eran de baja magnitud (Giménez, 2000). En el presente estudio se presentan dos nuevos perfiles de MVR obtenidos al comparar las campañas de 1976 y 1997 con una nueva nivelación llevada a cabo en el año 2003.

CONTEXTO TECTÓNICO ACTUAL

La cuenca del Bajo Segura se sitúa en el sector oriental de la Cordillera Bética, un orógeno alpino resultado de

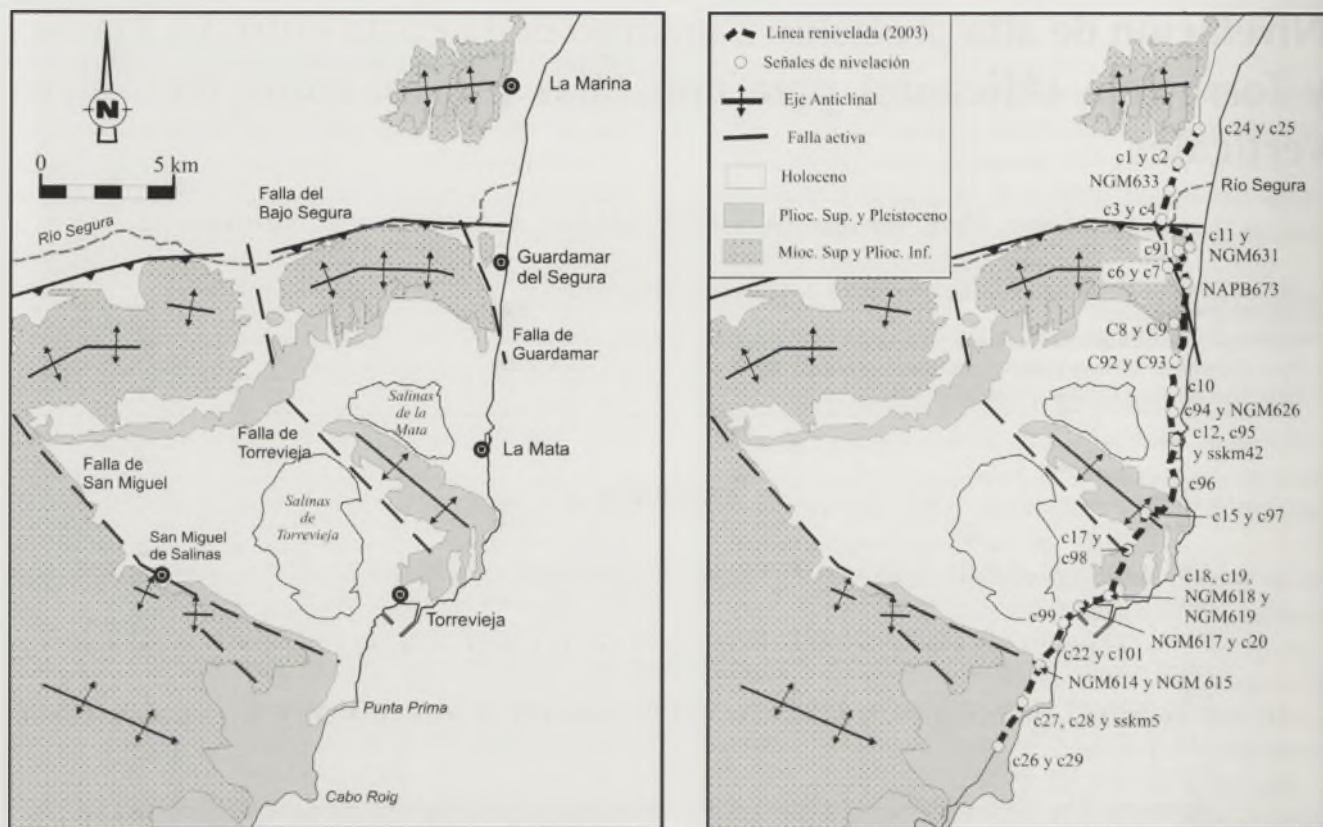


FIGURA 1. Mapa geológico simplificado del área de estudio en el que se han representado las principales estructuras y se ha localizado el perfil de nivelación de la campaña 2003.

la colisión entre las placas Africana y Euroasiática. En la actualidad, ambas placas se aproximan a una velocidad de entre 4 y 5 mm/año. Esta convergencia de placas es responsable de que esta cuenca haya estado sometida, desde el Mioceno Superior hasta la actualidad, a esfuerzos compresivos en la dirección NW-SE (Alfaro, 1995). Estos esfuerzos compresivos han producido pliegues y fallas activas que son responsables durante los últimos millones de años de los movimientos verticales en el área de estudio y, por consiguiente, del relieve actual de la cuenca. El resultado es un relieve concordante en el que los sectores que se están elevando coinciden con anticlinales o con los bloques levantados de fallas, mientras que las zonas topográficamente deprimidas coinciden con sinclinales o con los bloques hundidos de fallas.

En relación a las fallas activas, los diversos autores que han estudiado la tectónica activa de la Cuenca del Bajo Segura (Montenat, 1977; Bousquet, 1979; Somoza, 1993; Taboada *et al.*, 1993; Alfaro, 1995) citan como fallas más activas de este sector, la falla del Bajo Segura de dirección ENE-WSW, y varias fallas de dirección NW-SE (fallas de Guardamar, Torrevieja y San Miguel de Salinas). Estas fallas activas tienen la particularidad de que no presentan ruptura en superficie, y se manifiestan por la existencia de varios pliegues activos asociados a ellas. En concreto la falla del Bajo Segura, una falla inversa ciega que buza hacia el Sur, tiene asociados en superficie varios anticlinales asimétricos

que deforman rocas de edad Mioceno Superior a Cuaternario. Estos pliegues son, de Este a Oeste, los anticlinales de Guardamar-El Moncayo, Lomas de la Juliana, Benejúzar y Hurchillo. En ambos lados de los anticlinales se encuentran dos sectores subsidentes. En el sector septentrional se localiza la llanura de inundación del río Segura mientras que en el meridional se sitúan las salinas de La Mata y Torrevieja.

Además de esta falla de dirección ENE-WSW, en la Cuenca también existen varias fallas de dirección NW-SE que funcionan como fallas dextrosas. Las más importantes (fallas de Torrevieja, Guardamar y San Miguel de Salinas) están relacionadas con la falla del Bajo Segura. El desplazamiento relativo de los anticlinales del Bajo Segura invita a pensar que se trata de fallas de transferencia dextrosas.

Pero como se ha comentado anteriormente, en el área de estudio las fallas son ciegas y en superficie sólo se identifican pliegues activos, algunos de los cuales están relacionados con estas fallas. La línea de nivelación atraviesa, de Norte a Sur, los siguientes pliegues: anticlinal de La Marina (Sierra del Molar), sinclinal del Bajo Segura, anticlinal de Guardamar (Sierra del Moncayo), sinclinal de las salinas de La Mata, anticlinal de Cabo Cervera, sinclinal de las salinas de Torrevieja y anticlinorio de Torremendo (anticlinal de Punta Prima, sinclinal de la cala del Bosque y anticlinal de Cabo Roig) (Fig. 1).

Se trata mayoritariamente de pliegues suaves o abiertos con buzamientos menores o iguales a 30°. La longitud de

onda varía entre 6 y 10 km y la dimensión media de los pliegues es de 4 km. Son pliegues de crecimiento ya que en sus flancos se desarrollan abanicos de capas en las unidades sincrónicas al plegamiento, de edad Plioceno-Cuaternaria. Además de deformar a los materiales de edad Plioceno y Cuaternario, también afectan a las playas fósiles tirrenienses (Somoza, 1989).

MOVIMIENTOS TECTÓNICOS VERTICALES A PARTIR DE CRITERIOS GEOLÓGICOS

En la Cuenca del Bajo Segura (Alicante), al igual que en la mayor parte de la Península Ibérica, son muy pocos los datos cuantitativos sobre movimientos verticales recientes. Los escasos valores disponibles en el área de estudio fueron publicados por Somoza (1993). Este autor, a partir de la cota de algunas playas fósiles tirrenienses y de su edad radiométrica, concluye que los movimientos verticales no superan los 0.2 mm/año. Además, deduce que los valores máximos de subsidencia del SE de la Península Ibérica se alcanzan en La Manga del Mar Menor (Murcia) situada al Sur del área de estudio (en relación con el sinclinal del campo de Cartagena), con valores que oscilan entre 0.10 y 0.15 mm/año. Este autor también concluye, a partir de los niveles marinos fósiles, que se está produciendo un basculamiento regional hacia el Sur, con un eje de dirección E-W. Este basculamiento produce las mínimas alturas de las playas fósiles en el Mar Menor y las máximas en el área de Guardamar-La Marina.

Si usamos otro marcador más antiguo como el techo de las calcarenitas del Plioceno, tenemos el inconveniente de

la poca precisión de la edad de su depósito y del inicio del plegamiento. Sin embargo, esta limitación es compensada por el amplio intervalo de tiempo considerado (varios millones de años). En el extremo Norte del área de estudio, en relación con la falla del Bajo Segura, es donde se tiene constancia de un mayor desplazamiento vertical de este marcador pliocénico. En un sondeo realizado en el sinclinal del Bajo Segura (bloque de muro de la falla) se ha cortado el techo de las areniscas del Plioceno a 150 m de profundidad. En el anticlinal contiguo de Guardamar (bloque de techo de la falla), el techo está erosionado en la parte más alta de la Sierra del Moncayo; en el vértice de La Atalaya (127 m) afloran parte de estas areniscas por lo que, teniendo en cuenta que su potencia es de aproximadamente 50 m, el techo debió estar próximo a los 150 m. Por tanto, este marcador ha sufrido un desplazamiento vertical de aproximadamente 300 m con posterioridad a su depósito. La edad de estas areniscas se sitúa en la parte alta del Plioceno inferior (Soria *et al.*, 1996). Por tanto, este desnivel de 300 m ha ocurrido, como máximo, en los últimos tres millones de años por lo que se deduce una tasa vertical mínima de 0.1 mm/año que podría ser mayor si el plegamiento fuese más reciente.

NIVELACIÓN DE ALTA PRECISIÓN (CÁMPAÑA 2003)

En diciembre de 2002 y enero de 2003, se niveló el perfil que discurre entre La Marina y Cabo Roig (Sur de Torrevieja) utilizando un nivel Leica DNA03 y miras invar codificadas. En esta ocasión se decidió añadir 10 nuevos clavos para densificar la línea en los lugares más intere-

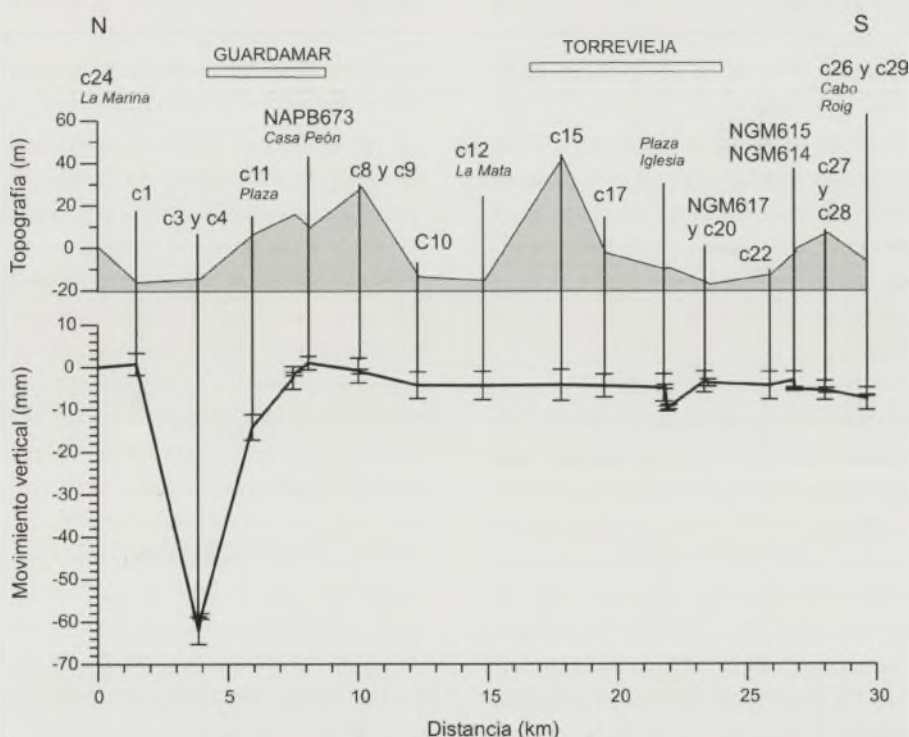


FIGURA 2. Movimientos verticales recientes entre La Marina y Punta Prima, resultado de la comparación de los desniveles obtenidos en los años 1997 y 2003. Los movimientos están referidos al origen (La Marina) y las barras de error representan 2 desviaciones estándares.

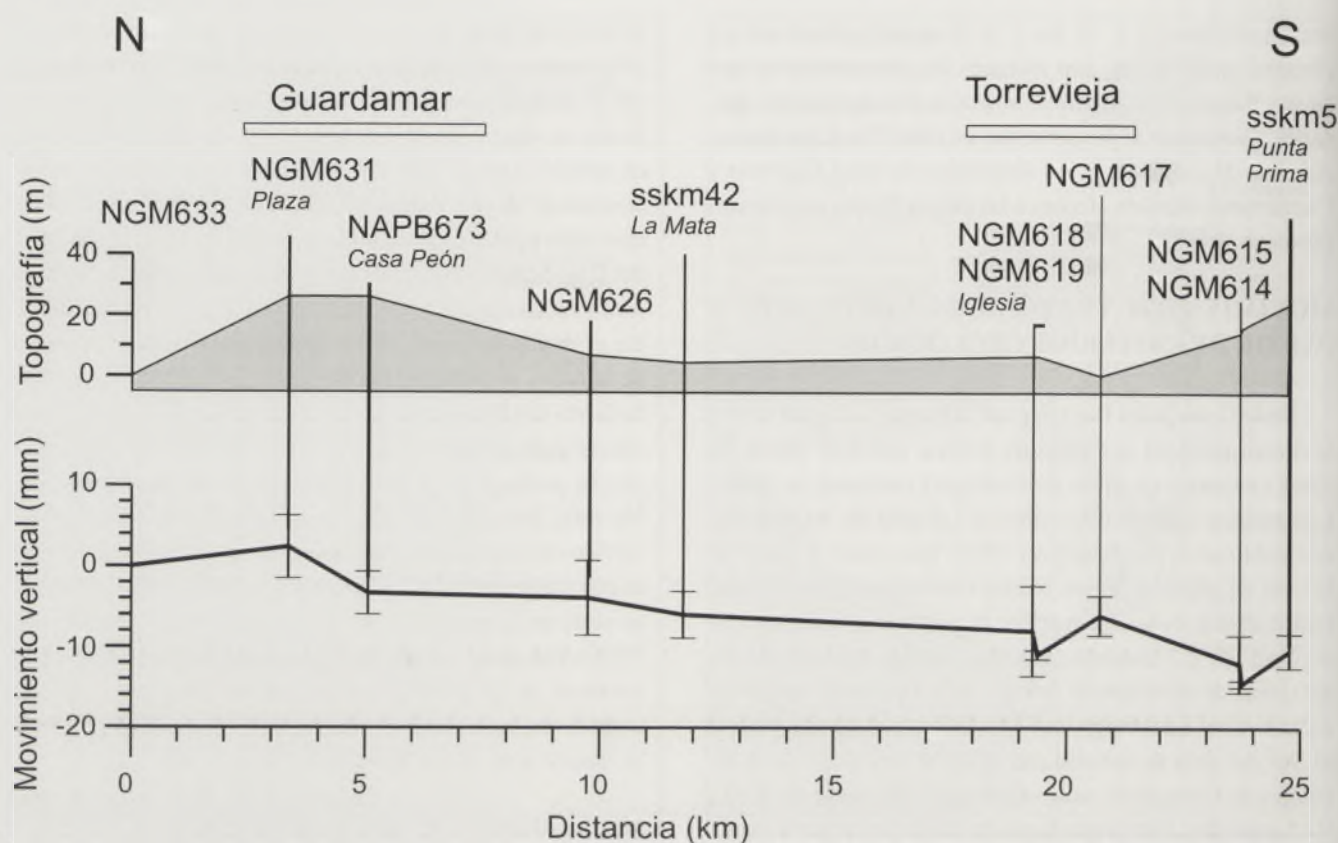


FIGURA 3. Movimientos verticales recientes entre La Marina y Punta Prima, resultado de la comparación de los desniveles obtenidos en los años 1976 y 2003. Los movimientos están referidos al origen (La Marina) y las barras de error representan 2 desviaciones estándares.

santes y en aquellos en los que habían sido destruidos los anteriores. En este trabajo se presentan los resultados de esta última campaña y las comparaciones con los resultados de las campañas de 1976 y 1997. En el perfil de MVR (1997-2003) (Fig. 2), en el que el intervalo es de apenas 6 años, tiene una densidad de señales elevada pero la mayoría de movimientos que muestra son inferiores al error. Cabe destacar que el perfil muestra una subsidencia importante al norte de Guardamar (en el actual valle del río Segura, junto a su desembocadura). Este movimiento, mayor de 5 cm, debe estar relacionado con la compactación reciente de los depósitos aluviales donde se sitúan los clavos de nivelación y no con causas tectónicas.

Por otra parte, el perfil de MVR (1976-2003) (Fig. 3) tiene un intervalo de tiempo considerable (27 años) pero pocas señales repetidas. De la misma manera que en el anterior perfil los movimientos verticales son muy pequeños, casi iguales a los errores de la nivelación. Solamente cabe destacar un levantamiento de 0.2 mm/año del sector de Guardamar del Segura respecto a la zona meridional del núcleo urbano, y una subsidencia de 0.15 mm/año en el extremo meridional del perfil (sector de Punta Prima) en relación con la ciudad de Torrevieja. Estos movimientos podrían estar relacionados con la actividad de la falla del Bajo Segura, en el primer caso, y con el sinclinal situado al Sur de Torrevieja.

Un aspecto relevante, visible en ambos perfiles, es que se aprecia un basculamiento regional hacia el Sur. Este basculamiento, que en el perfil 1976-2003 es de 0.4 mm/km, y en el 1997-2003 es de 0.25 mm/km, debe estar ligado a la elevación del conjunto de anticlinales situados en el sector septentrional (La Marina, Guardamar, Cabo Cervera y Torremendo) respecto a la subsidencia que se está produciendo en el sinclinal del campo de Cartagena, situado inmediatamente al Sur de la zona de estudio.

Por otra parte hay que tener en cuenta que entre 1976 y 2003 la actividad sísmica del área ha sido muy baja, y solamente se tiene constancia de un terremoto de M4.2 ocurrido en el año 1979. Por esta razón, probablemente estas bajas tasas de movimientos estén relacionadas con deformación intersísmica.

CONCLUSIONES

A partir del análisis de los dos perfiles de movimientos verticales recientes (1976-2003 y 1997-2003) se deduce que éstos son muy pequeños, similares a los errores, pero muy parecidos a los que se deducen por criterios geológicos (playas fósiles tirrenienses o desplazamiento vertical del techo de las areniscas del Plioceno).

Se observa que el sector del anticlinal de Guardamar (sierra del Moncayo), relacionado con la falla del Bajo

Segura, sufre una elevación de 0.2 mm/año. También se observa un basculamiento general hacia el Sur de 0.4 mm/km, visible en ambos perfiles. Este basculamiento fue deducido previamente por Somoza (1989) a partir de las playas fósiles tirrenienses.

Esta deformación debe ser intersísmica ya que durante el intervalo de tiempo estudiado no se han producido terremotos notables. Esta tasa es típica de zonas de actividad tectónica baja-moderada.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Acción Especial (BTE2000-3337-E), por la Generalitat Valenciana (GRU-POS03/085 de la OCYT) y por el proyecto BTE2003-01113 del MEC.

REFERENCIAS

- Alfaro, P. (1995): *Neotectónica de la Cuenca del Bajo Segura (Cordillera Bética oriental)*. Tesis doctoral, Univ. Alicante, 211 pp.
- Bousquet, J. C. (1979): Quaternary strike-slip faults in Southeastern Spain. *Tectonophysics*, 52: 277-286.
- Jiménez, J. (2000): Deformaciones verticales recientes en Torrevieja. *Geotemas*, 1(4): 327-330.
- Jiménez, J. (2001): Cuantificación de deformaciones recientes en el este de la Península Ibérica mediante la comparación de datos de precisión. *Acta Geológica Hispánica*, 36(1-2): 21-51.
- Giner, J. J., Molina, S. y Jáuregui, P. J. (2001): *Sismicidad y Riesgo Sísmico en la Comunidad Autónoma Valenciana*. Editorial Club Universitario, 106 p.
- Montenat, C. (1977): *Les bassins néogènes et quaternaires du Levant d'Alicante à Murcie (Cordillères bétiques orientales, Espagne)*. Stratigraphie, paléontologie et evolution dynamique. Doc. Lab. Géol., Univ. Lyon, 69: 1-345.
- Somoza, L. (1993): *Estudio del Cuaternario litoral entre Cabo de Palos y Guardamar (Murcia-Alicante). Las variaciones del nivel del mar en relación con el contexto geodinámico*. Instituto Español de Oceanografía, 12, 237 p.
- Soria, J. M., Alfaro, P., Ruiz-Bustos, A. y Serrano, A. (1996): Organización estratigráfica y biostratigráfica del Plioceno en el borde sur de la cuenca del Bajo Segura (sector de Rojales, Alicante), Cordillera Bética oriental. *Estudios Geológicos*, 52: 137-145.
- Taboada, A., Bousquet, J. C. y Philip, H. (1993): Co-seismic elastic models of folds above blind thrusts in the Betic Cordilleras (Spain) and evaluation of seismic hazard. *Tectonophysics*, 220: 223-241.