

CUANTIFICACIÓN DE DEFORMACIONES RECIENTES MEDIANTE DATOS DE NIVELACIÓN DE PRECISIÓN EN EL SUDESTE PENINSULAR

Giménez, J. ⁽¹⁾, Goula, X ⁽²⁾, y Suriñach, E. ⁽³⁾

⁽¹⁾ Dept. Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. E-mail : vdctjgg0@clust.uib.es

⁽²⁾ Institut Cartogràfic de Catalunya

⁽³⁾ Dept. Geodinàmica i Geofísica. Universitat de Barcelona

RESUMEN

La comparación de nivelaciones de precisión del Instituto Geográfico Nacional ha permitido cuantificar movimientos verticales recientes en el sudeste español. Algunos movimientos tienen origen tectónico, ya que coinciden con fallas con evidencias neotectónicas que, en su gran mayoría, tienen una sismicidad asociada. Las principales anomalías tectónicas son: salto de 2 mm/año entre Villena y Almansa (fallas ENE-WSW); salto de 0.9 mm/año entre Águilas y Terreros (falla NNE-SSW); hundimiento de la cuenca de Almería de 1.5 mm/año (fallas NW-SE); dos saltos entre Huelma y Moreda (fallas ENE-WSW); y salto de 1 mm/año localizado en la costa de Alborán (fallas NW-SE y NE-SW). La distribución de las anomalías indica que en las zonas béticas externas los movimientos se relacionan con fallas inversas (dirección ENE-WSW), mientras que en las zonas internas se relacionan con fallas normales (direcciones NE-SW o NW-SE). Estos movimientos concuerdan con el tensor de esfuerzos determinado mediante diferentes métodos, que muestra una compresión N-S junto con una extensión E-W.

Palabras clave: Nivelación de precisión, movimientos verticales recientes, neotectónica, béticas orientales, sismicidad.

ABSTRACT

Historical high precision leveling data of the Instituto Geográfico Nacional has been used to quantify recent vertical movements in southeastern Spain. Some movements are related to tectonic activity, thus they coincide with neotectonic faults which, in some cases, has historical seismicity. The main anomalies are: a step of 2 mm/year located between Villena and Almansa (ENE-WSW faults); a step of 0.9 mm/year located between Águilas and Terreros (NNE-SSW fault); a sinking of the Almería basin of 1.5 mm/year (NW-SE faults); two steps between Huelma and Moreda (ENE-WSW faults); and a step of 1 mm/year located at the Alborán coast (NW-SE and NE-SW faults). Distribution of the anomalies reveals that in the external betics vertical movements are related to ENE-WSW inverse faults, and that in the internal zone they are associated with NE-SW and NW-SE normal faults. These movements agree with the present day stress tensor, determined with different methodologies, which indicates a N-S compression together with an E-W extension.

Keywords: High precision leveling, current vertical movements, neotectonic, western betic orogen, seismicity.

Introducción

La cuantificación de movimientos verticales recientes (MVR) mediante la comparación de nivelaciones de precisión es una técnica ampliamente utilizada para la monitorización de fallas activas y para el control de deformaciones asociadas a sismos, ya que es el método que

permite obtener movimientos verticales con mayor precisión. En España, esta metodología fue usada por primera vez para cuantificar MVR en el NE español, comprobándose que las nivelaciones de precisión realizadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) desde 1872 hasta la actualidad tenían una calidad suficiente (errores aceptables, número elevado de señales repetidas y tiempo transcurrido entre nivelaciones suficiente para considerar los movimientos significativos) (Giménez et al., 1996; Giménez, 1998).

El método utilizado para obtener los MVR a partir de los datos del IGN se basa en la comparación entre desniveles brutos (no compensados) entre señales niveladas en años diferentes. Al comparar desniveles de diferentes años se obtiene el movimiento vertical relativo entre dos señales consecutivas. Acumulando estos movimientos a partir del origen de la línea se construyen los perfiles de MVR, en los cuales se considera la primera señal estable y todos los movimientos se refieren a ella. En los perfiles de MVR presentados las barras de error equivalen a dos desviaciones estándares referidas a la señal anterior, los movimientos inferiores al error no se consideran significativos.

Este estudio presenta los resultados obtenidos para cuatro líneas de nivelación de la zona suroriental española: Alicante-Albacete, Alicante-Almería, Larva-Almería y Almería-Málaga (figura 1). La información que aporta la comparación de nivelaciones es de gran importancia en esta área, ya que es una de las zonas españolas con una mayor sismicidad. De hecho, la zona ha sido afectada por 12 terremotos destructores desde 1396, el último de los cuales tubo lugar en 1884 (figura 1). Así pues, el siglo XX, periodo al cual pertenecen los datos de nivelación, puede considerarse como un periodo relativamente poco activo ya que no ha sido afectado por ningún sismo importante, lo cual indica que los movimientos obtenidos deben ser considerados de carácter intersísmico.

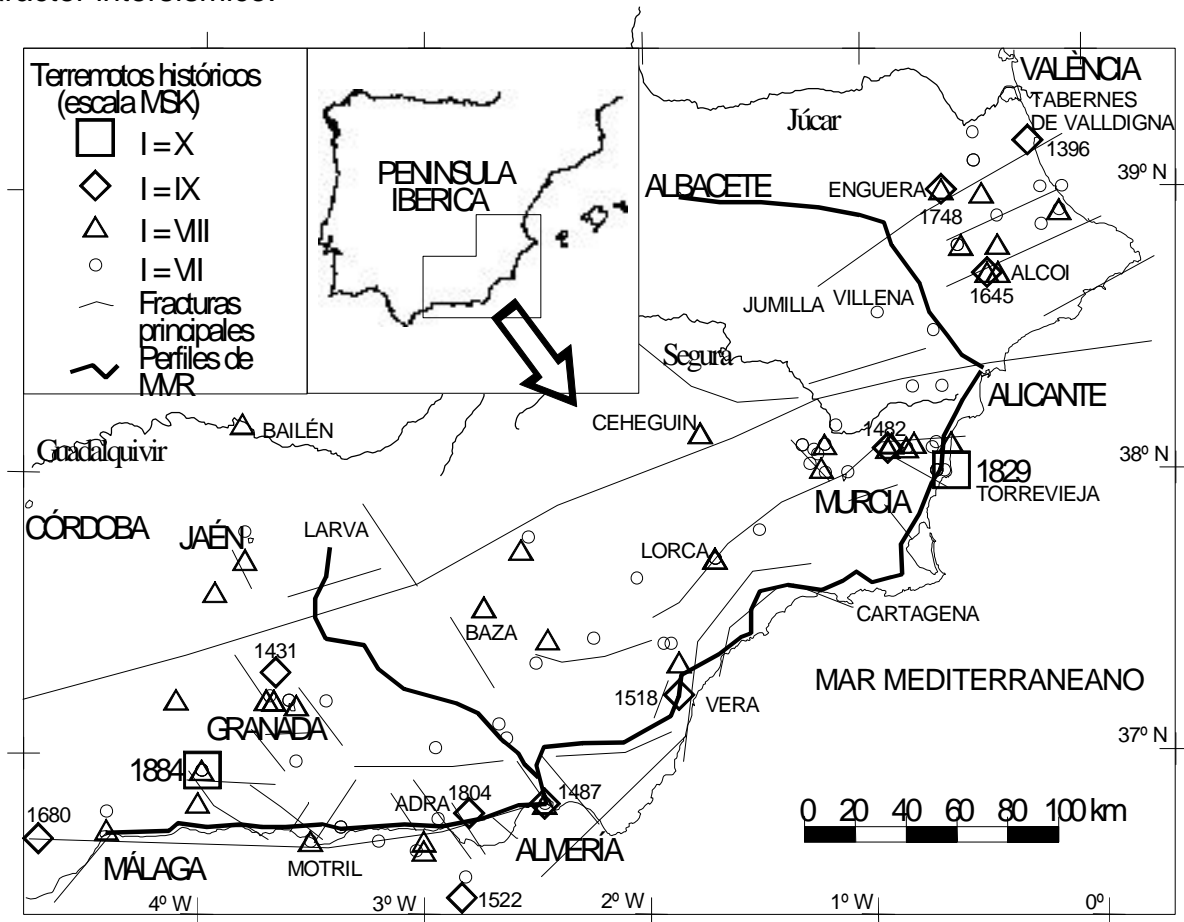


Figura 1: Situación aproximada de los perfiles de MVR, junto con las principales fallas con movimientos recientes, y sismos históricos de la zona (IGN, 1983).

Las evidencias geológicas de deformaciones recientes están dispersas por todo el área y se concentran alrededor de las principales fracturas. Así, se han reconocido gran cantidad de estructuras de deformación en materiales recientes (Plio-Cuaternario), junto con evidencias geomorfológicas importantes de movimientos tectónicos dentro del Cuaternario (Bousquet, 1979; Estévez y Sanz de Galdeano, 1983; García Dueñas et al., 1984; Ott d'Estevou and Montenat, 1985; Goy y Zazo, 1986; Boccaletti et al., 1987; Montenat, 1990; Sanz de Galdeano, 1990; Sanz de Galdeano and Vera, 1992; Silva et al., 1993; Sanz de Galdeano et al., 1995; Sanz de Galdeano, 1996).

La comparación de las nivelaciones de precisión, pues, aporta nuevos datos acerca de la cantidad de deformación que se ha acumulado alrededor de las principales fracturas de la zona a lo largo de los últimos 100 años. Estos nuevos datos, junto con la información de los catálogos sísmicos y los estudios de campo realizados por diversos autores nos ayudan a tener un mayor conocimiento sobre el movimiento actual de las fallas y los posibles periodos de retorno de los grandes sismos.

Alicante-Albacete

Esta línea discurre entre Alicante y Albacete y ha sido nivelada en 4 ocasiones en los años 1872, 1880-85, 1925 y 1975. Comparando estas cuatro campañas, es posible construir diferentes perfiles de MVR presentados en la figura 2 en diferentes trazos (1872-1880, 1872-1925, 1880/85-1925 y 1925-1975). En la parte superior de la figura se muestra la topografía a lo largo del recorrido para poder identificar la presencia de correlaciones sistemáticas entre movimientos y topografía (Giménez et al., 1996; Giménez, 1998). Todos los perfiles tienen como origen la señal principal del ayuntamiento de Alicante (NP1). Para poder comparar estos perfiles es necesario representar los movimientos como velocidades medias (consideradas constantes) obtenidas al dividir el movimiento entre la diferencia de años entre las campañas comparadas.

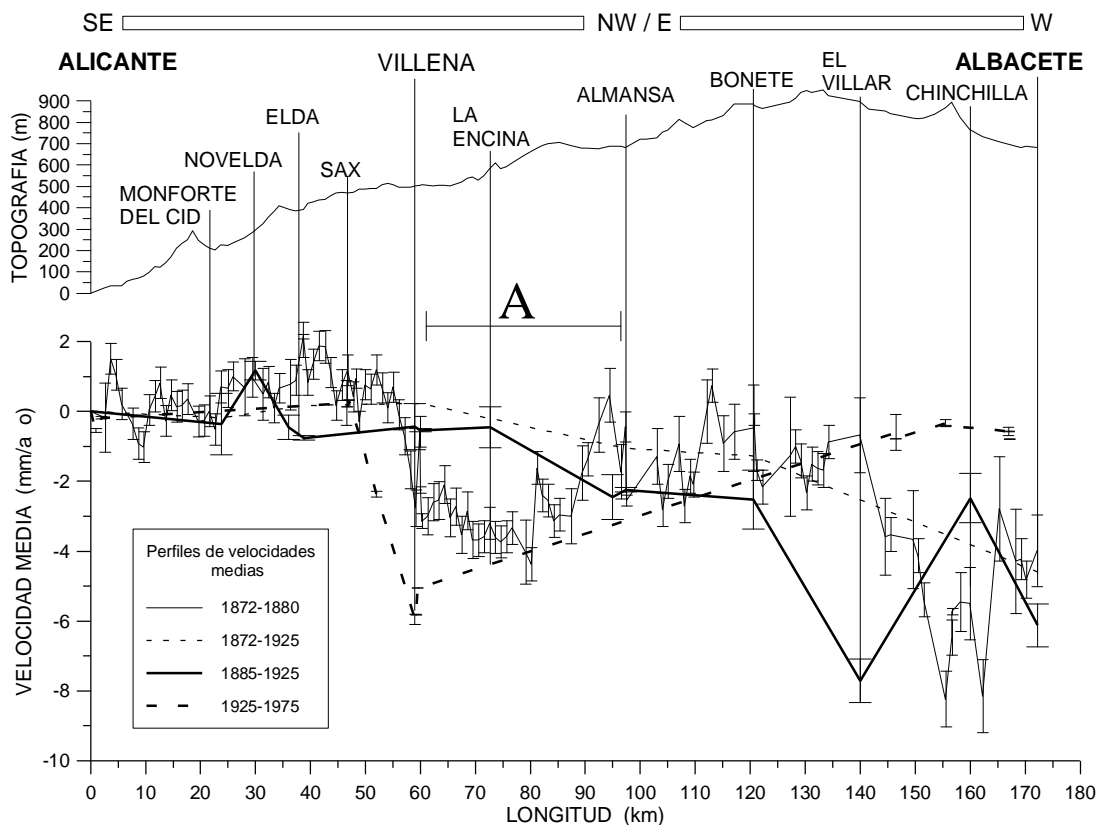


Figura 2: Perfiles de velocidades medias y topografía entre Alicante y Albacete (ver leyenda). Barras de error iguales a dos desviaciones estándares referidas a la señal anterior. La letra A indica la principal anomalía.

Los diferentes perfiles de velocidades medias entre Alicante y Albacete muestran ciertas características comunes. En primer lugar se puede considerar que entre Alicante y Villena los movimientos son poco significativos. Por otro lado, entre Almansa y Albacete existen una serie de movimientos verticales de gran amplitud que pueden ser considerados caóticos (picos positivos y negativos). Pero el aspecto más importante de estos perfiles es que, todos ellos presentan un levantamiento de la zona sudeste (que coincide con la zona prebética) respecto a la zona noroeste (que coincide con el dominio Ibérico), este salto es del orden de los 2 mm/año y tiene lugar entre Villena y Almansa.

Los picos anómalos presentes entre Almansa y Albacete deben ser atribuidos a un origen superficial (no tectónico), ya que el área presenta una sismicidad baja y las señales implicadas reposan en sedimentos neógenos. Además, la forma de las anomalías (picos locales) suelen ser debidos a causas superficiales (no tectónicas) (Giménez, 1998).

El salto existente entre la zona Prebética y la zona Ibérica (anomalía A, figura 2), de unos 2 mm/año, puede ser considerado de origen tectónico, ya que aunque la zona por donde discurre el perfil no ha sido afectada por sismos destructores en tiempos históricos, si que lo han sido las zonas localizados al NE del perfil (sismos de intensidad IX (MSK) de Alcoi en 1645, de Enguera en 1748 y de Tabernes de Valldigna en 1396, figura 1). Un inconveniente es que este salto tiene lugar en una zona relativamente amplia, por lo tanto no es posible relacionar este movimiento con una estructura concreta. Así, pues la anomalía debe asociarse al conjunto de fallas inversas con direcciones ENE-WSW que se localizan en este sector a las cuales se les puede atribuir la sismicidad del área (López Casado et al., 1987; Sanz de Galdeano et al., 1995).

Alicante-Almería

Esta línea discurre entre Alicante y Almería, y a diferencia de la línea anterior, solamente ha sido nivelada en dos ocasiones (1934 y 1976), con lo que solo es posible construir un perfil de MVR (figura 3). Como en el gráfico anterior, y en los siguientes, las barras de error representadas equivalen a dos desviaciones estándares referidas a la señal anterior, y en la parte superior se representa la topografía del recorrido.

Este perfil presenta tres anomalías significativas, indicadas con las letras B, C y D en la figura 3. La primera es un fuerte pico negativo localizado en la zona de San Javier (anomalía B, figura 3), con un máximo de unos 240 ± 20 mm (unos 5 mm/año expresado en velocidad media). Esta anomalía debe ser atribuida, en gran parte, a procesos superficiales, ya que la zona hundida reposa en sedimentos recientes (zona de la Cuenca del Campo de Cartagena), y la sismicidad de esta zona es baja. Aún y así, la presencia de influencias tectónicas no puede ser descartada, ya que las potencias de sedimentos recientes de esta cuenca están ampliamente condicionadas por fracturas NW-SE (Montenat, 1990; Silva et al., 1993).

La anomalía C, localizada entre Águilas y Terreros, y consiste en un pico anómalo positivo (unos 70 ± 10 mm) seguido de un salto negativo de unos 40 ± 5 mm (del orden de los 0.9 mm/año en velocidad media). Este salto divide el perfil en dos partes, quedando la zona al norte de Terreros elevada respecto a la zona situada al sur de esta localidad (figura 3). Se observa, también, que mientras entre Alicante y Águilas la pendiente del perfil es nula (exceptuando la anomalía de San Javier), a partir de Terreros el perfil presenta una pendiente negativa. Estos dos hechos indican que esta anomalía es de carácter regional

Esta anomalía regional coincide con la traza de la falla NNE-SSW de Cocón-Terreros, por lo tanto esta anomalía podría ser causada por un movimiento reciente de esta estructura. Esta falla condiciona la sedimentación de los materiales neógenos de la cuenca de Águilas (Montenat, 1990), pero en esta área la sismicidad debe considerarse baja. Los únicos sismos importantes de esta zona se localizan en la cuenca de Vera (sismo de intensidad IX en 1518, figura 1), y clásicamente han sido atribuidos a la actividad de la falla de Palomares, que limita el arco de Águilas por el oeste, alrededor de la que se han descrito numerosas evidencias de movimientos en el Plio-Cuaternario. El hecho de que el perfil de MVR no muestre ninguna anomalía al cruzar la falla de Palomares debe ser atribuido a que esta estructura tiene una componente direccional muy importante y una componente vertical casi nula, lo cual coincide con los estudios geológicos (Bousquet, 1979; Larouzière et al, 1988; Montenat, 1990; Sanz de Galdeano, 1990). Para poder determinar los movimientos horizontales recientes alrededor de la falla de Palomares es necesario utilizar otras técnicas como el GPS (Colomina et al., 1998).

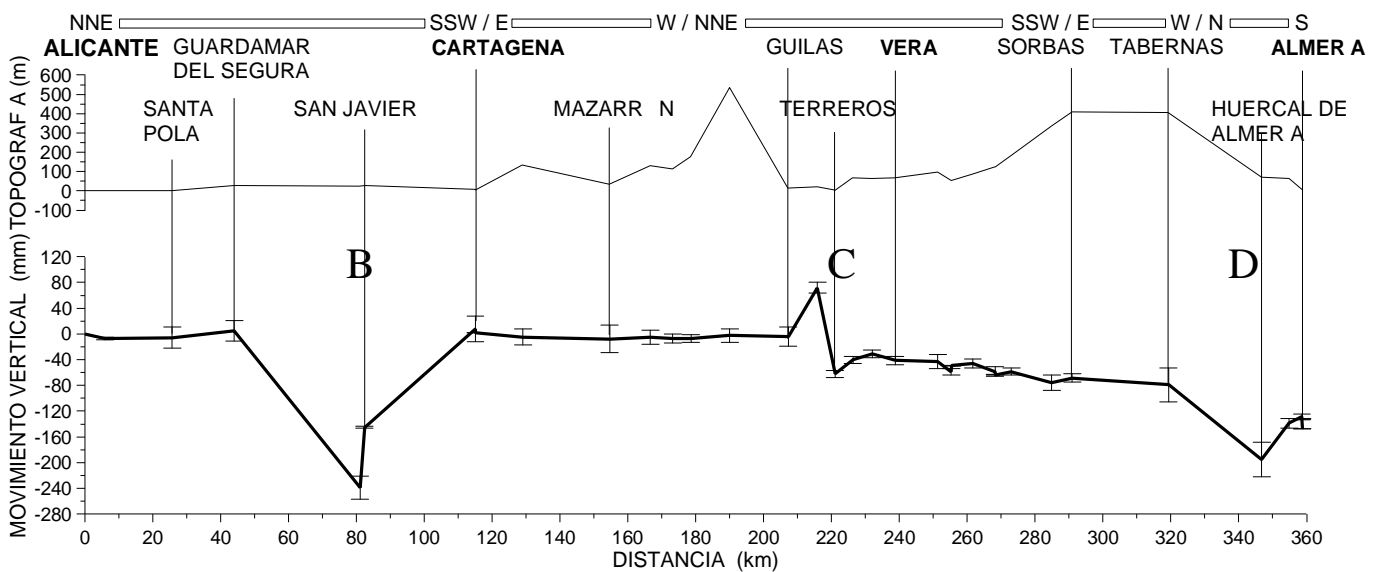


Figura 3: Perfil de MVR y topografía entre Alicante y Almería (1934-1976). Barras de error iguales a dos desviaciones estándares referidas a la señal anterior. Las letras B, C y D, indican las principales anomalías.

La tercera anomalía de este perfil (letra C, figura 3) es un hundimiento de las señales de la cuenca de Almería respecto a las de la cuenca de Tabernas. Este hundimiento es máximo en Huercal de Almería (115 ± 27 mm) y en la zona de Almería ciudad es del orden de los 55 mm respecto a Tabernas (unos 1.5 mm/año en velocidad media) (figura 3). Este hundimiento debe ser atribuido a la actividad reciente de las fallas NW-SE que estructuran y que afectan a los materiales recientes de esta cuenca (Sanz de Galdeano, 1996). Por otro lado, el hundimiento anómalo de la señal de Huercal de Almería debe estar influenciado por procesos superficiales.

Larva-Almería

Esta línea fue nivelada en los años 1903 y 1933, por lo tanto solo es posible construir un perfil de MVR con origen en la señal de la estación de Larva. En la figura 4, en la que se muestra este perfil junto con la topografía a lo largo del recorrido, se han definido tres anomalías indicadas con las letras D, E y F. El pico negativo de la estación de Hueneja, de 130 ± 12 mm (letra E, figura 4) debe ser atribuido a procesos superficiales, debido a la baja actividad sísmica de la zona y a la forma de la anomalía. Por otro lado las anomalías D y F

pueden relacionarse con procesos tectónicos, aunque las influencias superficiales deben ser importantes.

La anomalía D (figura 4), se localiza en la cuenca de Almería, por lo tanto coincide con la ya comentada del perfil anterior (letra D, figura 3), pero en el perfil Larva-Almería el hundimiento de Almería ciudad es de 200 ± 20 mm (del orden de los 7 mm/año en velocidad media) respecto la señal de Benahadux, y por lo tanto muy superior al registrado en el perfil Alicante-Almería. Esta gran diferencia debe ser atribuida a procesos superficiales debidos a la compactación de sedimentos recientes y a la extracción de aguas subterráneas. Por este motivo el hundimiento tectónico de la cuenca de Almería debido al juego de las fallas NW-SE no debería ser considerado superior a 1.5 mm/año.

La anomalía F, localizada entre Moreda y Cabra de Santo Cristo (figura 4), puede subdividirse en un salto de 150 ± 10 mm entre Cabra de Santo Cristo y Huelma, y un salto de 70 ± 10 mm entre Pedro Martínez y Moreda. Estos MVR implican unas velocidades medias de unos 5 y 2 mm/año respectivamente, que dada la baja sismicidad de esta área deben ser atribuidos en su mayor parte a procesos superficiales. No obstante, los dos saltos coinciden con la traza de fallas ENE-WSW (fallas de Guadahortuna y Cádiz-Alicante, respectivamente), alrededor de las cuales se han observado evidencias de movimientos recientes, sobretodo alrededor de la falla de Cádiz-Alicante (Estévez y Sanz de Galdeano, 1983; Boccaletti et al., 1987), aunque la actividad sísmica en esta área es baja (figura 1). El problema reside en que no es posible determinar que cantidad de movimiento es debido a causas tectónicas y que a procesos superficiales. Así, debido a la baja actividad sísmica del área, la velocidad de deformación tectónica alrededor de estas fracturas debe ser considerada del orden de 1 mm/año.

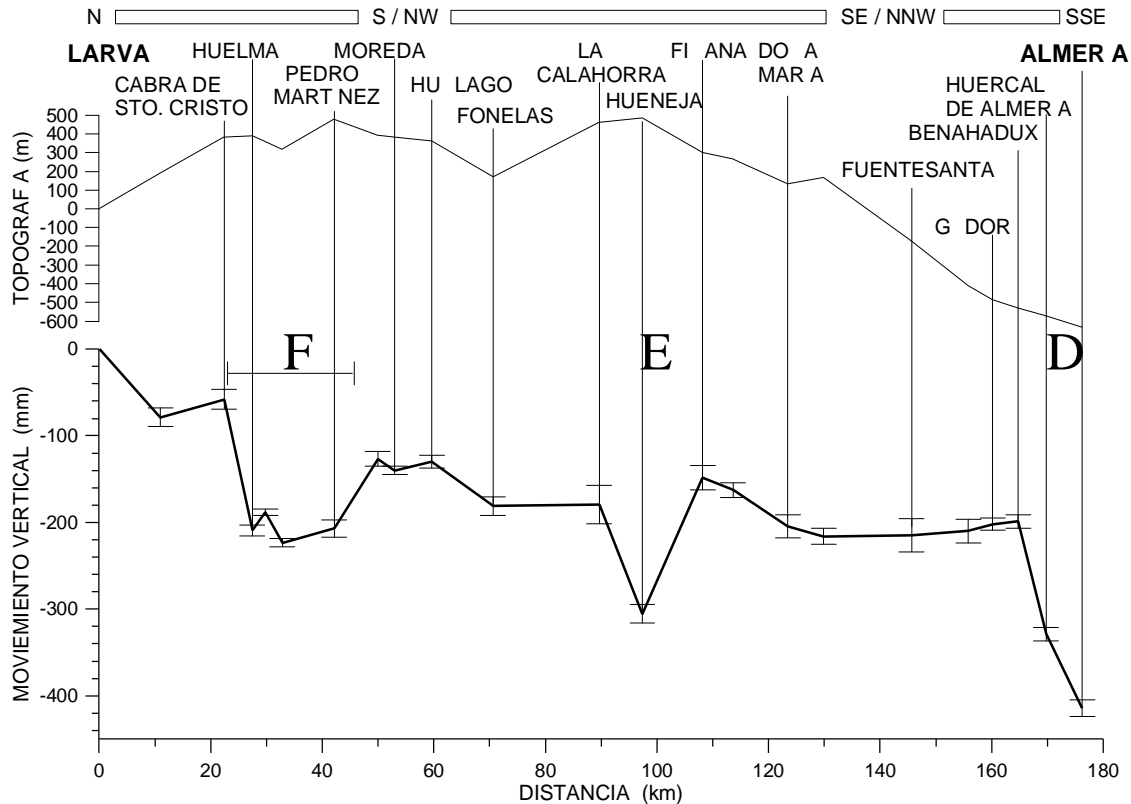


Figura 4: Perfil de MVR y topografía entre Larva y Almería (1903-1933). Barras de error iguales a dos desviaciones estándares referidas a la señal anterior. Las letras D, E y F indican las principales anomalías.

Almería-Málaga

Esta línea ha sido nivelada en tres ocasiones (1905, 1934 y 1976), lo cual permite construir dos perfiles de MVR (1905-1934 y 1934-1976). En la figura 5 se muestran estos perfiles representados como velocidades medias referidas a Almería.

Los MVR que muestran estos dos perfiles son contradictorios, ya que mientras en el perfil 1905-1934 se observa un claro hundimiento del bloque Adra-Salobreña, del orden de 1 mm/año respecto a Almería y Almuñécar, que es máximo en entre la Rábita y Calahonda, del orden de 2 mm/año respecto a Adra y Salobreña, el perfil 1934-1976 no presenta MVR significativos. Por otro lado, si acumulamos los desplazamientos entre 1905 y 1976 se obtiene un hundimiento medio de Calahonda respecto de Almería de 1 mm/año. Estos MVR deben ser relacionados con la actividad de las fallas NW-SE y NE-SW presentes a lo largo de la costa del Mar de Alborán (Rodríguez-Fernández y Martín-Penela, 1993; Sanz de Galdeano et al., 1995; Martínez Díaz y Hernández Enrile 1997), a las cuales se les puede atribuir la sismicidad de esta zona, así, en esta área han tenido lugar sismos destructores, siendo la última crisis en 1804, año en el que acaeció un sismo de I=IX (Dalías) y dos sismos de I=VIII (Adra y Motril) (figura 1).

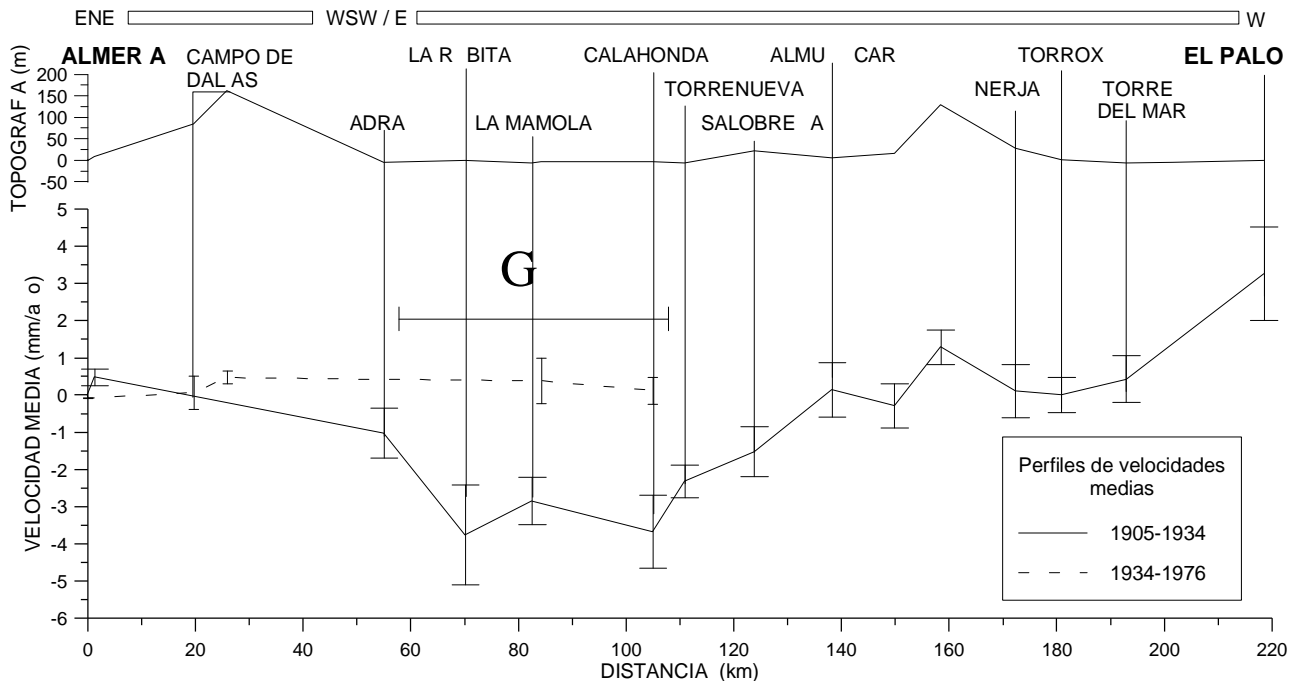


Figura 5: Perfil de velocidades medias y topografía entre Almería y Málaga (ver leyenda). Barras de error iguales a dos desviaciones estándares referidas a la señal anterior.

El hecho de que el perfil Almería-Málaga (1905-1934) presente MVR elevados y que el perfil Almería-Calahonda no muestre movimientos significativos puede ser relacionado con la diferente actividad sísmica. De hecho, a principios del presente siglo la zona fue afectada por diversos sismos: I=VIII Adra (1910, con una réplica de I=VII y dos de I=VI), I=VII Albuñol (1903 y 1913), junto con diversos sismos de I=VI y I=V. Por otro lado entre 1934 y 1976 ningún sismo superior a I=V afectó a esta zona, siendo los dos sismos de 1993-94 ocurridos en Adra-Berja (magnitud del orden de 5.0 y I=VII) la última actividad sísmica notoria. Por este motivo, los MVR acumulados entre la nivelación de 1905 y la de 1934 podrían tener un origen cosísmico, ya que el hundimiento del bloque La Rábita-Calahonda fue de 70 ± 20 mm, y el del bloque Adra-Salobreña fue de 40 ± 10 mm, desplazamientos que pueden ser producidos por sismos con estas intensidades.

Conclusiones

La utilización de los datos históricos de nivelación del IGN ha permitido cuantificar una serie de deformaciones que pueden ser relacionadas con fracturas conocidas alrededor de las cuales se han descrito evidencias de deformaciones en materiales recientes y que, en su mayoría, tienen sismicidad histórica relevante asociada. En la figura 6 se muestra un esquema geológico de las béticas orientales en el cual se han incluido los sismos con $I > VII$ y las líneas de nivelación presentadas con sus principales anomalías tectónicas.

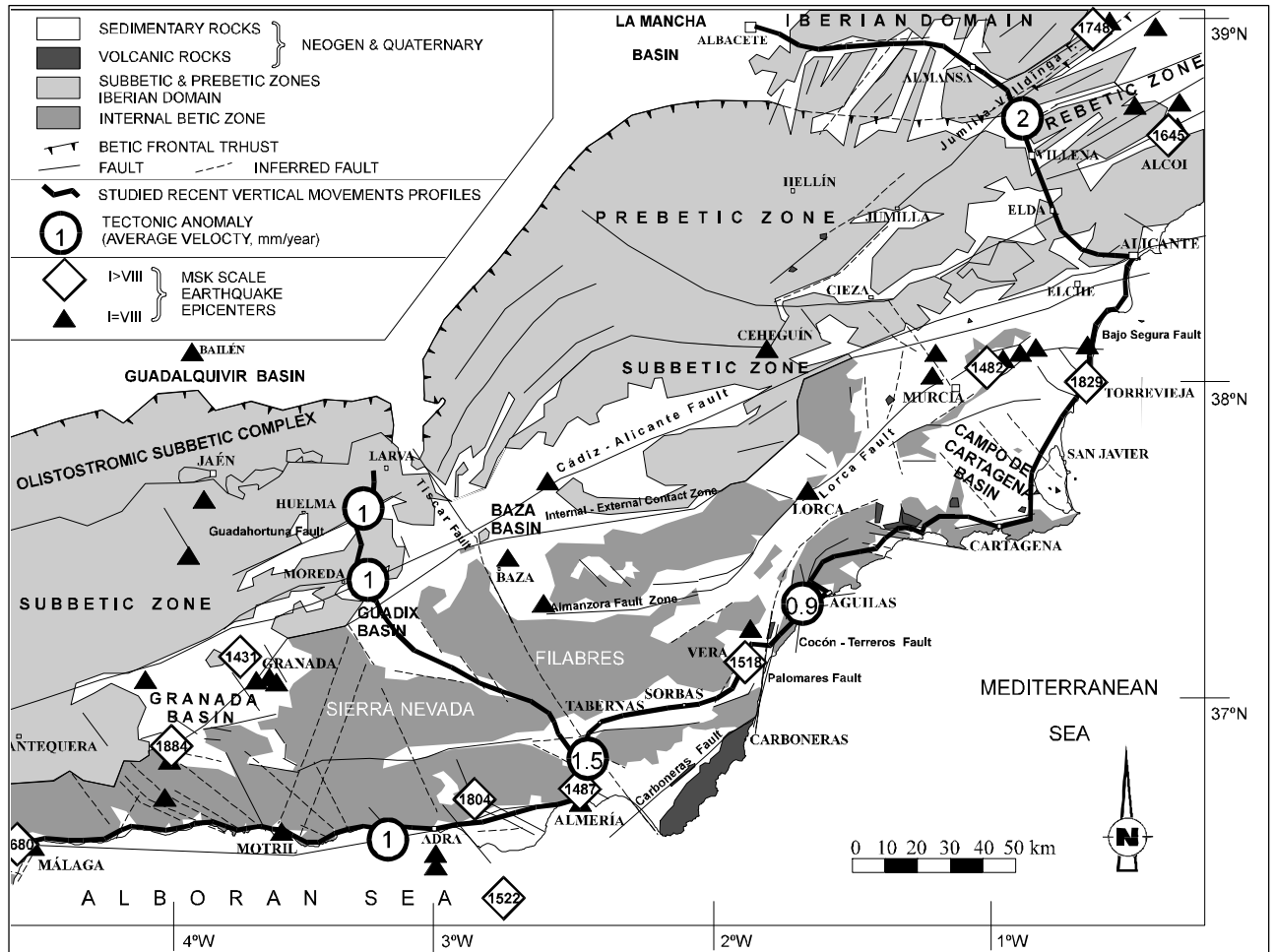


Figura 6: Esquema geológico de la zona bética oriental en el que se muestra la localización de los sismos con $I > VII$ y el trazado de los perfiles de MVR presentados y la localización aproximada de las principales anomalías tectónicas (expresadas como velocidades medias en mm/año).

Una primera conclusión que se puede extraer de estos resultados es que las anomalías localizadas en la zona bética externa se pueden relacionar con estructuras orientadas en dirección ENE-WSW (fallas de Jumilla-Valldigna, Cádiz-Alicante y Guadahortuna) con componentes de movimiento inverso, mientras que las anomalías de la zona interna se pueden relacionar con fracturas orientadas NE-SW y NW-SE (fallas de la cuenca de Almería, de la costa de Alborán y falla de Cocón-Terrerros (con orientación próxima de N-S)) con componentes de desplazamiento normales. Estos movimientos son acordes con el tensor de esfuerzos determinado mediante diferentes métodos (microestructuras, mecanismos focales, etc.), que indica la presencia de una compresión en dirección N-S junto con una extensión en dirección E-W (Galindo-Zaldívar et al., 1993; Coca y Buforn, 1994; Buforn et al., 1995; Meghraoui et al., 1996).

Como se ha mencionado anteriormente, a lo largo del periodo al que pertenecen los datos de nivelación utilizados no se ha producido ningún sismo importante en las inmediaciones de los perfiles estudiados, este hecho indica que los MVR que se han observado deben considerarse intersísmicos (exceptuando los MVR que muestra el perfil Almería-Málaga entre 1905 y 1934). Si se considera que las velocidades de deformación observadas se mantienen constantes en el tiempo, y se hace la hipótesis que los desplazamientos que se acumulan se liberarán en futuros sismos de magnitud elevada (del orden de $M=6$), es decir si se menosprecia la deformación asísmica, se puede hacer una primera aproximación a los tiempos de recurrencia de estos grandes sismos. Pero la validez de esta hipótesis, solo puede aplicarse a las líneas de las que se dispone de más dos nivelaciones, en las cuales la estimación de las velocidades es más correcta.

Teniendo en cuenta estas limitaciones, es posible proponer unos tiempos de recurrencia para sismos de $M=6$ en las zonas de Villena-Almansa, cuenca de Almería y costa del mar de Alborán. Así, suponiendo que un sismo de $M=6$ es equivalente a un desplazamiento del orden de un metro (Wells and Coppersmith, 1994), los tiempos de recurrencia en la zona de Villena-Almansa serán del orden de 500 años, en la zona de la cuenca de Almería estarían alrededor de los 700 años y en la costa de Alborán serían del orden de los 1000 años. Estos tiempos se pueden considerar acordes con la información aportada por los catálogos sísmicos (sobretudo en la zona de Villena-Almansa), además, como las nivelaciones no dan información acerca de los desplazamientos horizontales, los periodos podrían ser menores.

Referencias

- Boccaletti, M., Papani, G., Gelati, R., Rodríguez-Fernández, J., López Garrido, A.C. and Sanz de Galdeano, C. (1987). "Neogen-Quaternary sedimentary-tectonic evolution of the Betic Cordillera." *Acta Naturalia de l'Ateneo Parmense*, nº 23, pp. 179-200.
- Bousquet, J. C. (1979). "Quaternary strike-slip faults in Southeastern Spain." *Tectonophysics*, v. 52, pp. 277-286.
- Bufo, E., Sanz de Galdeano, C. and Udías, A. (1995). "Seismotectonics of the Ibero-Maghrebian region." *Tectonophysics*, v. 248, pp. 247-261.
- Coca, P. y Bufo, E. (1994). "Mecanismos focales en el Sur de España: Periodo 1965-1985." *Estudios Geológicos*, nº 50, pp. 33-45.
- Colomina, I., Fleta, J., Giménez, J., Goula, X., Masana, E., Ortiz, M.A., Santanach, P., Soro, M., Suriñach, E., Talaya, J. and Térmens, A. (1998). "The CuaTeNeo GPS network to quantify horizontal movements in the southeastern part of the Iberian Peninsula." 1ª As. Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. SIM 1-Assessment and reduction of natural risks (en prensa).
- Estévez A. and Sanz de Galdeano, C. (1983). "Néotectonique du secteur central des Chaînes Bétiques (Bassins du Guadix-Baza et de Grenade)." *Rev. Geol. Dyn. Geogr. Phys.*, v. 24, Fasc. 1, pp. 23-34.
- Galindo-Zaldívar, J., González-Lodeiro, F. and Jabaloy, A. (1993). "Stress and paleostress in the Betic-Rif cordilleras (Miocene to the present)." *Tectonophysics*, v. 227, pp. 105-126.
- García Dueñas, V., Sanz de Galdeano, C, de Miguel, F. and Vidal, F. (1984). "Neotectónica y sismicidad en las cordilleras béticas: Una revisión de los resultados." *Energía Nuclear*, nº 28, pp. 231-237.
- Giménez, J., Suriñach, E., Fleta, J. and Goula, X. (1996). "Recent vertical movements from high-precision leveling data in Northeast Spain." *Tectonophysics*, v. 263, pp. 149-161.
- Giménez, J. (1998). "Quantificació de les deformacions verticals recents a l'Est de la Península Ibèrica a partir d'anivellaments topogràfics de precisió." *Monografies tècniques de l'Institut Cartogràfic de Catalunya*, nº 8. 364 pp.
- Goy, J. L. and Zazo, C. (1986). "Synthesis of the quaternary in the Almeria littoral neotectonic activity and its morphologic features. Western Betics, Spain." *Tectonophysics*, v 130, pp. 259-270.

- IGN (1983). "Sismicidad del área Ibero-mogrebí." Mezcuca, J. y Martínez Solares. Publicación nº 203, Sección de Sismología.
- Larouzière, F. D., Bolze, J., Bordet, P., Hernández, J., Montenat, C. and Ott d'Estevou, P. (1988). "The Betic segment of the lithospheric Trans-Alboran shear zone during the Late Miocene." *Tectonophysics*, v. 152, pp. 41-52.
- López Casado, C., Estévez, A., Pina, J.A. y Sanz de Galdeano, C. (1987). "Alineaciones sismotectónicas en el sudeste de España. Ensayo de delimitación de fuentes sísmicas." *Mediterránea Ser. Geol.*, nº 6, pp. 5-38.
- Martínez Díaz, J.J. y Hernández Enrile, J.L. (1997). "Implicaciones neotectónicas de la serie sísmica de Adra (1993-1994): ejemplo de un terremoto compuesto." *Geogaceta*, nº 20 (4), pp. 834-837.
- Meghraoui, M., Morel, J. L., Andrieux, J. and Dahmani, M. (1996). "Tectonique plio-quaternaire de la chaîne tello-rifaine et de la mer d'Alboran. Une zone complexe de convergence continent-continent." *Bull. Soc. Geol. France*, t. 167, nº 1, pp. 141-157.
- Montenat, C. (1990). "Les Bassins Néogènes du Domaine Bétique Oriental (Espagne): Tectonique et sédimentation dans un couloir de décrochement, Première partie: Etude Régionale." *Doc. et Trav. Inst. Geol. Albert-de-Lapparent*, Paris, nº 12-13, 392 pp. + 3 mapas.
- Ott d'Estevou and Montenat, C. (1985). "Evolution structurale de la zone bétique orientale (Espagne) du Tortonien à l'Holocène." *C.R.A.S. Paris*, t. 300, Série II, nº 8, pp. 363-368.
- Rodríguez-Fernández, J. and Martín-Penela, A. J. (1993). "Neogen evolution of the Campo de Dalías and surrounding offshore areas." *Geodinamica Acta*, v. 6, nº 4, pp. 255-270.
- Sanz de Galdeano, C. (1990). "Geologic evolution of the Betic Cordilleras in the Western Mediterranean, Miocene to the present." *Tectonophysics*, v. 172, pp. 107-119.
- Sanz de Galdeano, C. (1996). "Neotectónica de la provincia de Almería." En: *Sismología aplicada*. Ed. A.M. Posadas Chinchilla et al. Ciencia y Tecnología, Monografías 1, pp.193-205.
- Sanz de Galdeano, C and Vera, A. (1992). "Stratigraphic record and paleogeographical context of the neogen basins in the Betic Cordillera, Spain." *Basin Research*, v. 4, pp. 21-36.
- Sanz de Galdeano, C., López Casado, C., Delgado, J. and Peinado, M.A. (1995). "Shallow seismicity and active faults in the Betic Cordillera. A preliminary approach to seismic sources associated with specific faults." *Tectonophysics*, v. 248, pp. 293-302.
- Silva, P. G., Goy, J. L., Somoza, L., Zazo, C. and Bardají, T. (1993). "Landscape response to strike-slip faulting linked to collisional settings: Quaternary tectonics and basin formation in the Eastern Betics, Southeastern Spain." *Tectonophysics*, v. 224, pp. 289-303.
- Wells, D.L. and Coppersmith, K.J. (1994). "New empirical relationships among Magnitude, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacement." *B.S.S.A*, v. 84, nº 4, pp. 974-1082.

Agradecimientos

Este trabajo no habría sido posible sin la colaboración del personal del Instituto Geográfico Nacional, a los cuales agradezco las facilidades dadas en la recolección de los datos históricos de sus archivos. En especial, debemos agradecer al Sr. Jose Luís Caturla, subdirector de Geodesia, su disposición y amabilidad.