

Movimientos verticales recientes en Cataluña a partir de nivelaciones de precisión

Recent vertical movements from precise leveling data in Catalonia

J. Giménez (*), E. Suriñach (*), X. Goula (**) y J. Fleta (**)

(*) Departament de Geologia Dinàmica Geofísica i Paleontologia. Univ. de Barcelona. Facultat de Geologia. 08071 Barcelona.

(**) Servei Geològic de Catalunya. Av. del Paral·lel nº 71. 08004 Barcelona.

ABSTRACT

To determine recent vertical movements (R.V.M.) from precise leveling data we have compared the original height differences recorded in the field by the Instituto Geográfico Nacional in two different campaigns. The accuracy, number of leveled bench marks and leveling paths of the two campaigns are adequate to measure R.V.M.. The two studied profiles show significant R.V.M.. Two steps of about 150 mm \pm 30 mm, in 37 and 38 years (4 mm/year of relative velocity), which have, partially, tectonic origin has been obtained.

Key words: *precise leveling, recent vertical movements, Catalonia.*

Geogaceta, 15 (1994), 150-152

ISSN: 0213683X

Introducción

Este estudio se enmarca dentro de una serie de trabajos sobre neotectónica y sismicidad a partir de evidencias geológicas en materiales Cuaternarios y del estudio de terremotos históricos, y tiene la finalidad de cuantificar las deformaciones verticales recientes en el NE de la Península Ibérica.

La comparación de las nivelaciones topográficas de precisión y de alta precisión, realizadas en épocas diferentes, es una técnica que permite cuantificar los movimientos verticales recientes (M.V.R.) del terreno. Existen, en la literatura, diversas metodologías para el cálculo de M.V.R.. En el método utilizado en este estudio, los movimientos se obtienen al restar la diferencia de altitud entre dos puntos, medida en una nivelación reciente, de la observada en una nivelación anterior. El intervalo de tiempo, transcurrido entre las dos nivelaciones, necesario para que los movimientos verticales sean significativos, depende de la velocidad de deformación de la zona.

La comparación de nivelaciones es factible cuando: el número de señales niveladas en ambas épocas (repetidas) es elevado, la precisión de la nivelación en ambas épocas, obtenida con las mismas expresiones, es comparable, y los caminos seguidos en las dos nivelaciones son los mismos o muy parecidos.

Datos utilizados y metodología

El territorio español ha sido nivelado por el Instituto Geográfico Nacional (I.G.N.) en dos campañas distintas. La primera, realizada entre 1871 y 1922, constituye la Red de Nivelación de Precisión, y la segunda, realizada entre 1925 y 1974, es la Red de Nivelación de Alta Precisión.

Las líneas de nivelación utilizadas son las que presentan señales niveladas en ambas épocas, junto con algunas niveladas más de una vez en una misma campaña (Giménez, 1993).

Para cada línea se han recogido, directamente de los archivos del I.G.N., las diferencias de nivel entre todas las señales del recorrido junto con otros datos de interés. Los M.V.R. se obtienen pues, a partir de las diferencias de altitud entre puntos (Giménez *et al.*, 1993).

Hemos desarrollado una metodología que permite calcular los M.V.R. a lo largo de un perfil, a partir de los datos elementales tomados en el campo, y evaluar sus errores con distintas expresiones. Ello permite una clasificación de la fiabilidad de los M.V.R.. (Giménez *et al.*, 1993).

La precisión de las nivelaciones de ambas épocas se ha recalculado con una expresión común ya que, en su día, fue obtenida con expresiones distintas. Después de un análisis de las expresiones utilizadas por el I.G.N. en ambas campañas y de algunas de la literatura,

hemos escogido las expresiones propuestas por Lallemand (1889), que consideran la presencia de errores sistemáticos y accidentales y tienen en cuenta el proceso seguido en la nivelación de alta precisión (Giménez, 1993), junto con la propuesta por Bomford (1987) que permite obtener la desviación estándar en un punto a partir de las expresiones de Lallemand.

En una primera aplicación de la metodología a los datos existentes hemos comprobado que la resolución de éstos es buena y que el número de señales repetidas es suficiente para que los resultados sean significativos. En la figura 1 se presenta, sobre un mapa geológico, el perfil estudiado, que sigue la línea de ferrocarril que une Barcelona y Figueres pasando por Mataró.

M.V.R. entre Barcelona y Figueres

La línea Barcelona-Figueres fue nivelada en la primera época en dos partes: la primera en 1914 entre Barcelona y Figueres pasando por Granollers y la segunda en 1915 entre Barcelona y el Empalme pasando por Mataró. En la segunda época se niveló, en 1952, la línea Barcelona-Figueres vía Mataró (Fig. 1).

Debido al hecho de que los caminos seguidos en las dos épocas son distintos y también a la existencia de un tramo de unos 30 km donde no hay señales repetidas (figura 1) hemos estudiado dos perfiles de M.V.R. independientes:

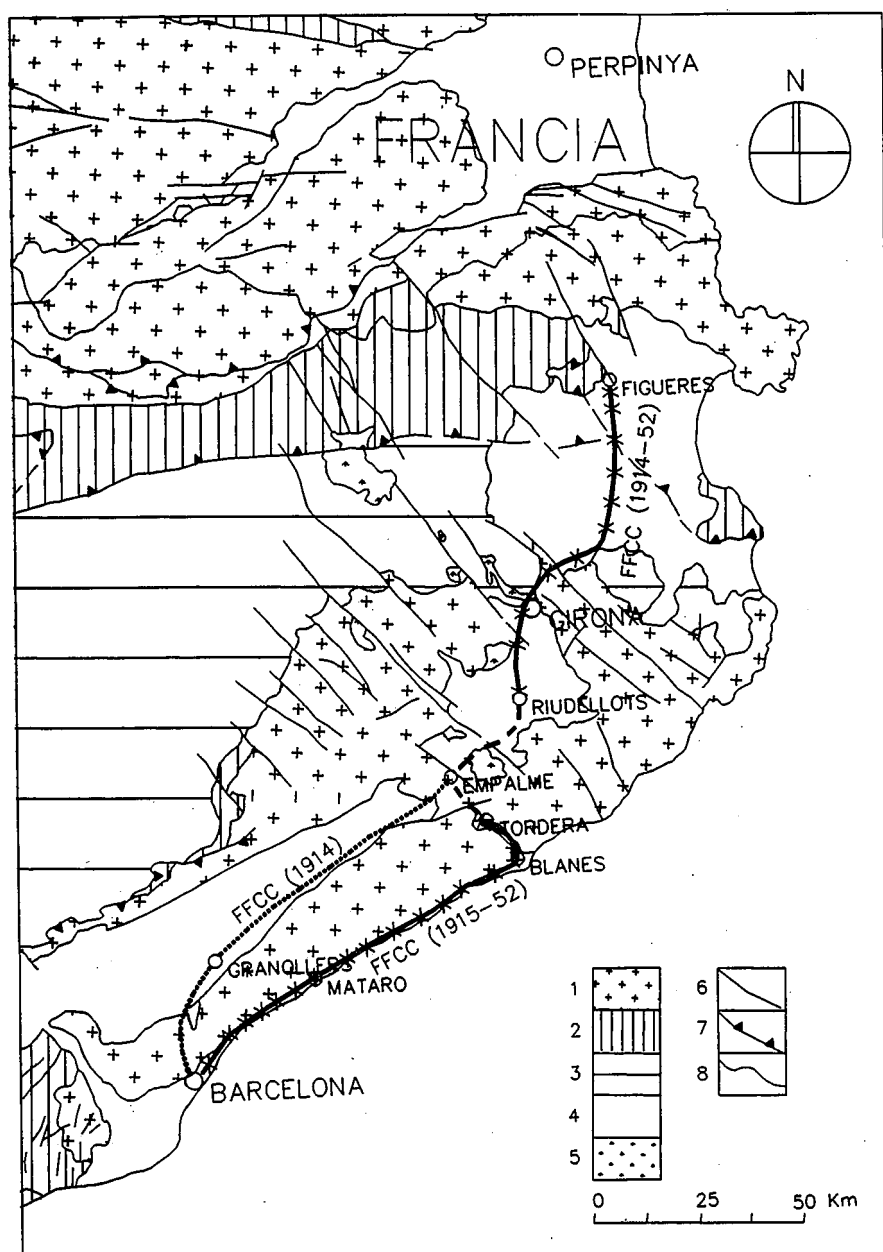


Fig. 1.— Esquema de los dos perfiles estudiados (en trazo grueso). Cruces: localización aproximada de las señales repetidas. El tramo en trazo discontinuo separa los dos perfiles estudiados. Línea de puntos: línea de ferrocarril nivelada una sola vez. 1) Paleozoico. 2) Mesozoico. 3) Paleógeno. 4) Neógeno y Cuaternario. 5) Volcanismo cuaternario. 6) Falla. 7) Cabalgamiento. 8) Contacto litológico. (Adaptado de S.G.C. 1991)

Fig. 1.— Location of the two studied profiles (heavy lines). Crosses: approximate location of the releveled bench marks. The dashed line indicates the gap between the two profiles. Dotted line: non releveled path. 1) Paleozoic. 2) Mesozoic. 3) Paleogene. 4) Neogene and Quaternary. 5) Quaternary volcanic rocks. 6) Fault. 7) Thrust fault. 8) Lithological contact. (Modified S.G.C. 1991).

1) **Barcelona-Tordera (B-T)**, en el que se compara la nivelación de 1915 con la de 1952 y consta de 16 señales repetidas en 63 km.

2) **Riudellots de la Selva-Figueres (R-F)**, en el cual se compara la nivelación de 1914 con la de 1952 y presenta 11 señales repetidas en unos 52 km..

La figura 2 muestra los M.V.R. del perfil B-T en el cual se considera estable la estación del Poble Nou (Barcelona), y la figura 3 muestra los M.V.R. entre Riudellots (considerado estable) y Figueres. Las barras de error representadas en ambas figuras indican los errores medios cuadráticos acumulados desde el origen de la línea.

A pesar de que en algunas estaciones las barras de error que acompañan a los M.V.R. son grandes los perfiles contienen información a destacar:

Ambos perfiles (B-T y R-F) presentan un basculamiento general hacia el Norte, cuyo origen, real o debido a errores sistemáticos, no es evidente (Giménez, 1993).

En el perfil B-T destacan: un salto entre Caldetes y Arenys de Mar de $165 \text{ mm} \pm 30 \text{ mm}$ y un hundimiento de la estación de Blanes respecto a Tordera y Malgrat de unos $180 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$ (figura 2). Ambos movimientos representan unos movimientos verticales de unos 4 mm/año .

El salto entre Caldetes y Arenys debe tener un origen tectónico ya que las dos señales fueron emplazadas en granito no alterado. Además, en Caldetes existen manifestaciones hidrotermales que están asociadas a la zona de fractura del sector de Canyadell (situado a 1 km de Arenys). Cabe destacar que a lo largo de este siglo ha habido cierta actividad sísmica entre estas poblaciones y los alrededores, pero siempre con intensidades moderadas (Goula *et al.*, 1992).

El hundimiento de la estación de Blanes puede explicarse por procesos de compactación de sedimentos o cambios en el nivel freático, ya que la estación está situada en materiales Cuaternarios del delta del río Tordera. Por otra parte, en este emplazamiento, las influencias tectónicas no son descartables ya que el valle bajo del río Tordera se diferenció en el Plioceno a partir del sistema de fallas NW-SE que, junto con el sistema NE-SW, estructuran los Catalánides (Donville, 1976) (Fig. a 1).

El resto de oscilaciones que presenta el perfil pueden estar asociadas a la estructuración en bloques de los Catalánides (Anadón *et al.*, 1979) o a procesos de compactación de sedimentos, ya que la mayoría de las señales de la costa reposan en sedimentos relacionados con la dinámica litoral.

El segundo perfil, R-F, presenta un salto de unos $150 \text{ mm} \pm 15 \text{ mm}$ entre las estaciones situadas en la depresión de La Selva y Girona, que representa también una velocidad relativa de unos 4 mm/año , y un basculamiento general hacia el Norte (Fig. 3).

El salto entre las estaciones de La Selva y Girona puede tener influencias antrópicas (cambios en el nivel freático), ya que las primeras reposan en materiales detríticos Pliocenos. Por otra parte, el salto coincide con la termina-

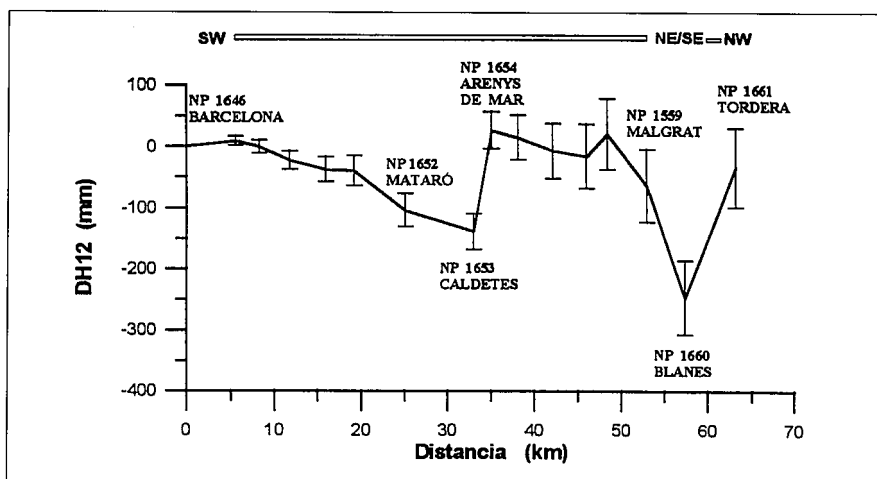


Fig. 2.— Movimientos verticales recientes (entre 1915 y 1952) entre Barcelona y Tordera, en mm. Barras de error: error medio cuadrático en mm referido al origen de la línea.

Fig. 2.— Recent vertical movements (between 1915 and 1952) between Barcelona and Tordera in mm. Error bars: one standar deviation cumulated from the origin, in mm.

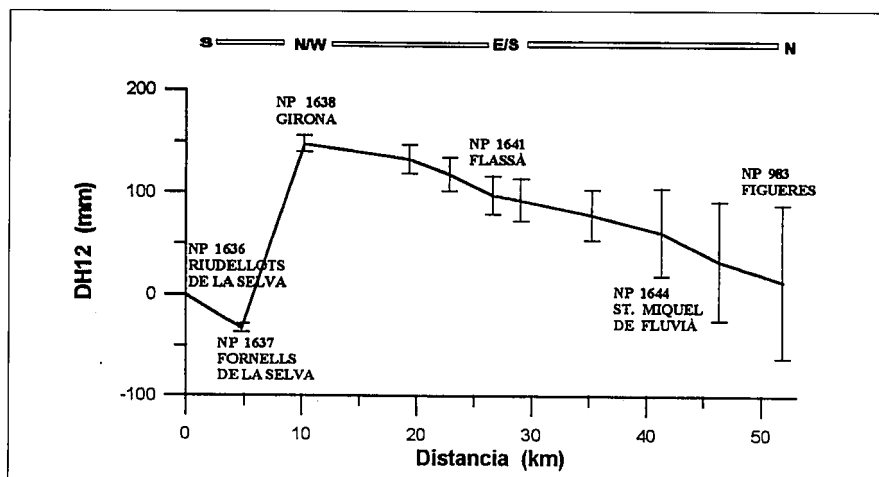


Fig. 3.— Movimientos verticales recientes (entre 1914 y 1952) entre Riudellots de la Selva y Figueres en mm. Barras de error: error medio cuadrático en mm referido al origen de la línea.

Fig. 3.— Recent vertical movements (between 1914 and 1952) between Riudellots de la Selva and Figueres in mm. Error bars: one standar deviation cumulated from the origin, in mm.

ción SE del sistema de fallas NW-SE (Giménez *et al.*, 1993) (figura 1). Este sistema ha sido relacionado con la crisis sísmica del siglo XV que asoló gran parte de la provincia de Girona (Goula *et al.*, 1992).

El basculamiento hacia el Norte del resto del perfil parece tener cierta relación con la estructuración en bloques de la Depresión del Empordà, ya que dentro del basculamiento general pueden distinguirse dos cambios de pendiente que coinciden con los afloramientos volcánicos Neógenos de esta depresión. Estos últimos resultados, no obstante, deben considerarse con cautela, ya que los errores que acompañan a los M.V.R. son elevados.

Los movimientos verticales obtenidos con este método de trabajo son de

una magnitud muy superior a los obtenidos a partir de evidencias geológicas (Giménez *et al.*, 1993). Este hecho puede ser debido a que los movimientos no son constantes en el tiempo o a que existen épocas con movimientos de signos contrarios.

Conclusiones

El análisis de los datos de nivelación de precisión y de alta precisión del NE de la Península Ibérica ha permitido determinar la buena calidad de éstos y que su utilización en la obtención de M.V.R. es factible ya que: la precisión obtenida en ambas nivelaciones es adecuada, el número de señales niveladas repetidas es suficiente y el tiempo transcurrido entre las dos nivelaciones es lo

bastante grande para que los movimientos sean significativos.

En una primera aplicación de la metodología creada se ha obtenido movimientos muy significativos. En el perfil B-T se ha observado un fuerte salto de 165 mm \pm 30 mm entre Caldetes y Arenys localizado en 2 km y que equivale a un levantamiento relativo de unos 4 mm/año. Este movimiento debe tener un origen tectónico ya que ambas señales reposan en materiales graníticos, además, la zona está afectada por cierta actividad sísmica y existe termalismo relacionado con una zona de fracturación de los granitoides de la Cordillera Litoral.

En el perfil R-F se ha detectado un salto entre La Selva y Girona de unos 150 mm \pm 15 mm que puede estar asociado a la actividad del sistema de fallas NW-SE relacionado con la crisis sísmica del siglo XV. Por otra parte, estas señales reposan en materiales detríticos, lo cual indica que no son descartables los movimientos relacionados con la compactación de sedimentos o con cambios en el nivel freático.

Agradecimientos

Este estudio ha sido posible gracias a la colaboración del Instituto Geográfico Nacional y en concreto a la de D. J.L. Caturla, Subdirector General de Geodesia, que ha facilitado nuestro acceso a los datos y nos ha proporcionado valiosa información acerca de la metodología de la nivelación.

Referencias

- Anadón P., Colombo F., Esteban M., Marzo M., Robles S., Santanach P. y Solé Sugrañés Ll. (1979): Act. Geol. Hisp. 14: 242-270.
- Bomford G. (1987): 4th Ed. Clarendon Press. Oxford. 855 pp.
- Donville B. (1976): Bull. B.R.G.M. (2), IV, 3: 177-210.
- Fleta J. y Escuer J. (1991): Informe S.G.C. 01-91. 56 pp.
- Giménez J. (1993): Tesis de Licenciatura. U.B. 188 pp.
- Giménez J., Suriñach E., Goula X. y Caturla J.L. (1993): Boletín de Información. Servicio Geográfico del Ejército, 75, 1: 23-61.
- Goula X., Olivera C., Escuer J., Fleta J., Grellet B. y Bousquet J.C. (1992): Proc. XXII Gen. Ass. of the Europ. Seis. Comm.: 333-338.
- Lallemand CH. (1889): Encycl. des Trav. Publ. (extrait de Traité des Plans et Nivellement par Durand L., Pelleton et Lallemand).