

FUENTES SISMICAS ASOCIADAS A FALLAS EN EL SURESTE PENINSULAR

SANZ DE GALDEANO EQUIZA, C. * Y LÓPEZ CASADO, C. **

* Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (C.S.I.C. - Univ. Granada). Facultad de Ciencias, Granada.

** Departamento de Física Teórica y del Cosmos. Facultad de Ciencias, Granada.

RESUMEN

La sismicidad en el SE peninsular, como la de la Cordillera Bética de la que forma parte, es muy activa si bien generalmente moderada. Los mapas de $I \geq VI$ o $M_b \geq 4$ muestran varios agrupamientos que son los de Almería, Vera, Murcia y Enguera. Por su parte, la red de fallas neógena y cuaternaria es muy densa, con tres juegos principales, cuyas direcciones medias son N60-70 a E-W, NW-SE y NE-SW. Este último juego es el más importante en la región estudiada, con las zonas de fallas de Murcia-Totana-Lorca, Palomares y Carboneras. Se señalan en esta red los segmentos de fallas considerados activos, o potencialmente activos, desde un punto de vista neotectónico. También se compara la red de fallas con las posiciones epicentrales de los seismos más importantes, en las que suele haber una considerable incertidumbre; por ello se indican tan sólo las correlaciones más claras con varios segmentos de fallas.

Segmentos de fallas activos, o potencialmente activos, aparecen en todo el SE peninsular, pero se concentran especial, pero no únicamente, en varias áreas específicas, que corresponden a las fallas de dirección NE-SW que se extienden desde Almería a Alicante. El mapa presentado, aunque requiere una mejora progresiva gracias a estudios de microsismicidad detallados y a análisis de datos geofísicos (perfiles sísmicos, etc), constituye una aproximación al establecimiento de fuentes sísmicas asociadas con segmentos de falla concretos.

Palabras clave: Sismicidad, Cordillera Bética, fallas activas, segmentos de fallas.

ABSTRACT

Seismicity in the SE of Spain, as in the Betic Cordillera where it is included, is quite active but in general moderate. The maps of $I \geq VI$ or $M_b \geq 4$ show several groupings (Almería, Vera, Murcia and Enguera). In turn, the network of Neogene and Quaternary faults in the Cordillera is very dense, with three main sets striking N60-70 to E-W, NW-SE and NE-SW. This last set is the more important in the study region, with the fault zones of Murcia-Totana-Lorca, Palomares and Carboneras. In this network the fault segments considered active, or potentially active, from a neotectonic perspective have

been marked. We have also compared the fracture network with the epicentral positions of the major seisms; as there is often considerable uncertainty about the location of these positions we have indicated only the clearest correlations with various fault segments.

Active, or potentially active, fault segments exist overall the SE of Spain, but they are concentrated especial, but not solely, in several areas corresponding to the NE-SW faults extending from Almería to Alicante. The map presented, although require future improvements by detailed studies of microseismicity and by the analysis of geophysical data (seismic profiles, etc) is an approximation towards the establishing of seismic sources linked with segments of specific faults.

Key words: Seismicity, Betic Cordillera, Active faults, fault segments.

INTRODUCCIÓN

El SE peninsular corresponde a la parte oriental de la Cordillera Bética. Ésta, junto con el Rif, forman la terminación occidental de las cadenas alpinas euroasiáticas.

La Cordillera Bética (Fig. 1) está formada fundamentalmente por dos zonas: La Externa, que constituyó originalmente el borde S y SE de del Macizo Ibérico, sumergido durante la mayor parte del Mesozoico y Terciario; y la Zona Interna, que fue desplazada hacia el O desde su posición original, fundamentalmente durante el Mioceno inferior (Andrieux et al., 1971; Durand Delga and Fontboté, 1980; Sanz de Galdeano, 1990a, etc.).

En la Cordillera Bética hay una activa sismicidad, pero es generalmente de magnitud moderada. Sólo 13 terremotos con magnitudes superiores a 5,0 han sido registrados en este siglo, y ninguno de ellos ha sido superior a 5,5. La mayor parte de esta sismicidad corresponde a terremotos superficiales, pero existen en algunas zonas sismos intermedios ocurridos a profundidades que oscilan entre 40 y 180 km. Además se han registrado tres terremotos a profundidades superiores a 600 km, cuyos epicentros se sitúan al S de Granada. La sismicidad superficial, y en menor grado la intermedia, debe ser relacionada con la densa red de fracturas de la región.

En este trabajo ofrecemos una panorámica de los segmentos de fallas que pueden considerarse activos en el SE peninsular. Con este objetivo usamos correlaciones entre la red de fallas neógena y cuaternaria y los datos neotectónicos y de epicentros de terremotos superficiales. Debido a la falta de un adecuado registro estadístico con el que se pudieran obtener valores significativos (López Casado et al., 1995), estas fallas (o segmentos de fallas) consideradas como fuentes sísmicas no pueden ser caracterizadas por los parámetros **a** y **b** de la relación de Gutenberg-Richter. En cualquier caso, el conocimiento de estas fallas y segmentos de fallas activos contribuye a una mejor evaluación del riesgo sísmico en la región.

Las correlaciones que mostramos son algo imprecisas debido a la escala en que se presentan los datos y no es posible a la vez detallar en un corto escrito los datos neotectónicos presentados.

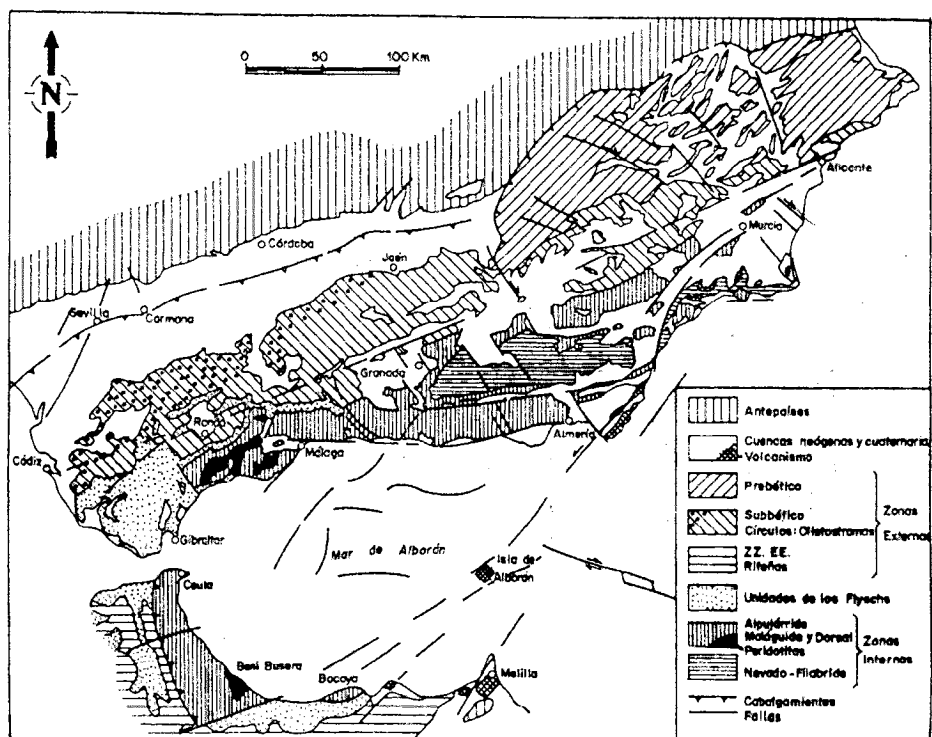


FIG. 1.- Esquema geológico de la Cordillera Bética.

MAPAS DE SISMICIDAD EN EL SE PENINSULAR

Los datos de terremotos en el SE Peninsular se han tomado del catálogo sísmico de la región Ibero-Mogrebí (Mezcua y Martínez Solares, 1983 y posteriores revisiones hasta 1993). Después de situar los epicentros en mapas a escala 1:200.000, éstos y la información de la red de fallas se ha introducido en ordenador. Es obvio, que hay muchas incertidumbres y errores de situación en los terremotos históricos (anteriores a 1910). Por otra parte, la fecha en que el catálogo puede considerarse completo para magnitudes, en función del umbral fijado (3,0, 4,0, etc...). variará tanto temporalmente, desde 1930 a 1960, como según los sectores que se consideren. Además, incluso la localización de epicentros de terremotos registrados instrumentalmente son significativamente imprecisos. Por ello, las correlaciones entre los terremotos y las fallas conocidas presentan considerable imprecisión.

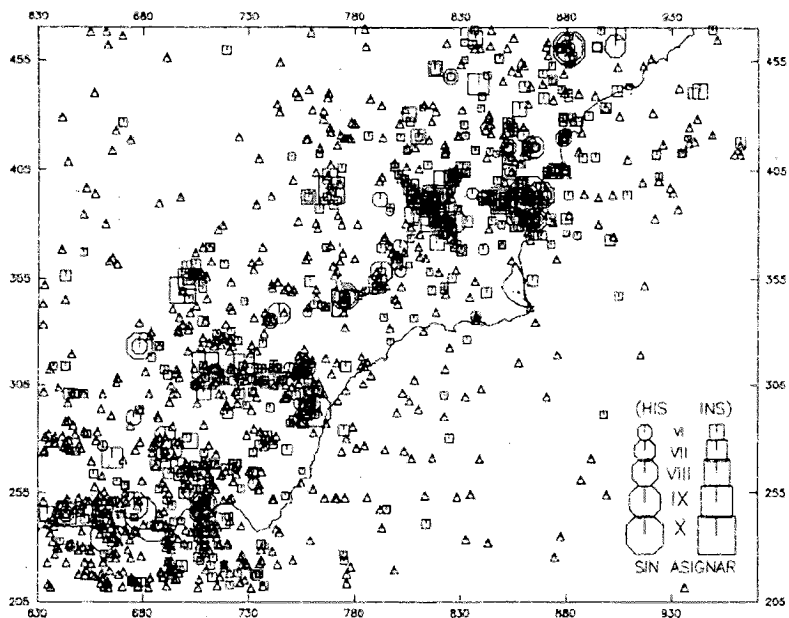


FIG. 2.- Mapa general de la sismicidad superficial en el SE peninsular.

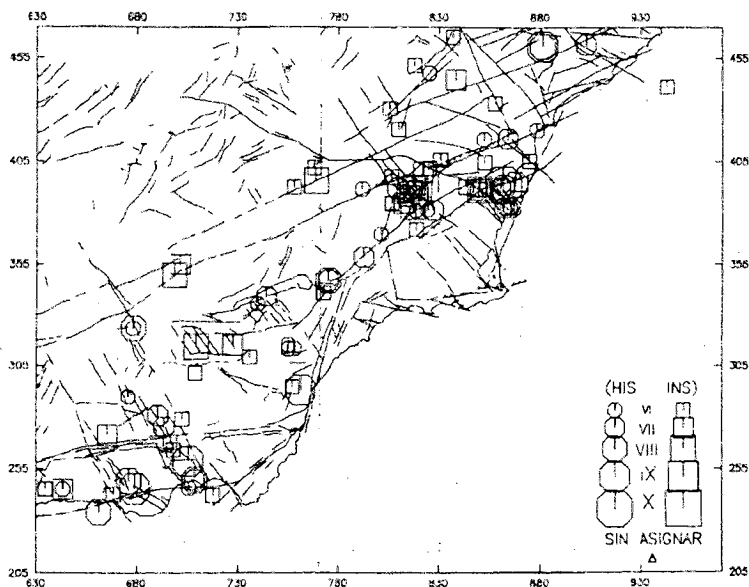


FIG. 3a.- Mapa de la sismicidad en el SE peninsular. A: Con valores de $I \geq VI$

Una panorámica de la sismicidad del SE peninsular según la intensidad se presenta en la figura 2. Hay varios agrupamientos significativos de terremotos, a la vez que existen áreas libres de ellos, pero el número de eventos es tan grande y el grado de ruido sísmico es tan alto, que razonablemente las correlaciones verosímiles son imposibles. Por ello, para hacer correlaciones usamos mapas que muestran la sismicidad por encima de $I \geq VI$ (MSK) o $M_b \geq 4$ (Fig. 3a y b).

En conjunto, los agrupamientos más importantes son los de Almería, Vera, Murcia y Torreveija. Sólo los agrupamientos de Almería y Torreveija se distinguen bien en el periodo instrumental, aunque otros, tal como el de Cehegín, pueden ser detectados.

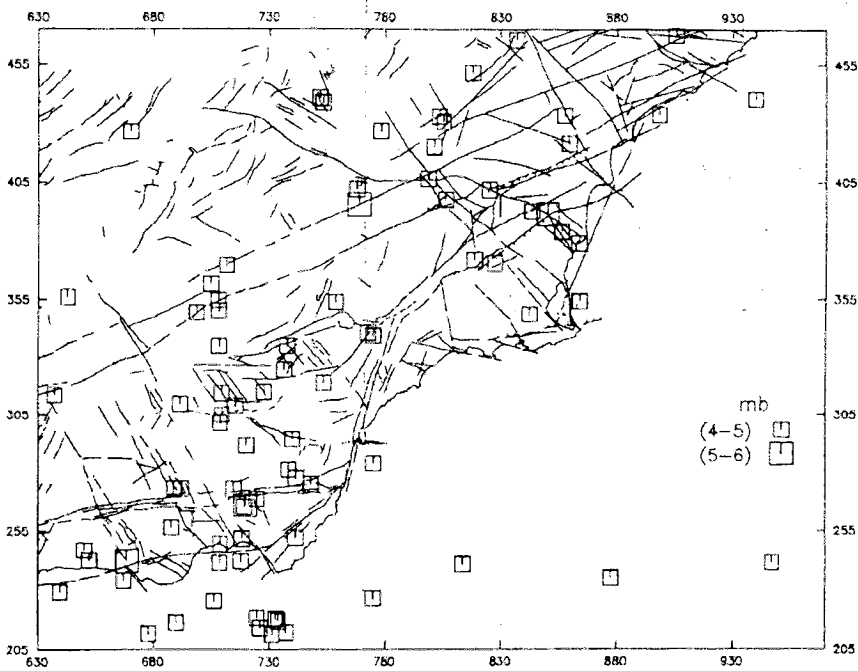


FIG. 3b.- Mapa de la sismicidad en el SE peninsular B: Con valores de $M_b \geq 4$

LA RED DE FALLAS DEL SE PENINSULAR

El conjunto de fallas, formadas desde el Mioceno a la actualidad, del SE peninsular se representa esquemáticamente en las figuras 4, 5 y 6, aunque alguna puede ser anterior, si bien presenta movimientos de las edades citadas. Las superficies de cabalgamientos entre mantos no se muestran, algunas de las cuales fueron activas anteriormente, durante, e incluso después del Mioceno inferior. Estas superficies también han sido aprovechadas en movimientos extensionales, especialmente durante el Mioceno

inferior y medio (Comas *et al.*, 1992; Jabaloy *et al.*, 1992). Nuestra falta de información acerca de su exacta continuación en profundidad impide su correlación con terremotos.

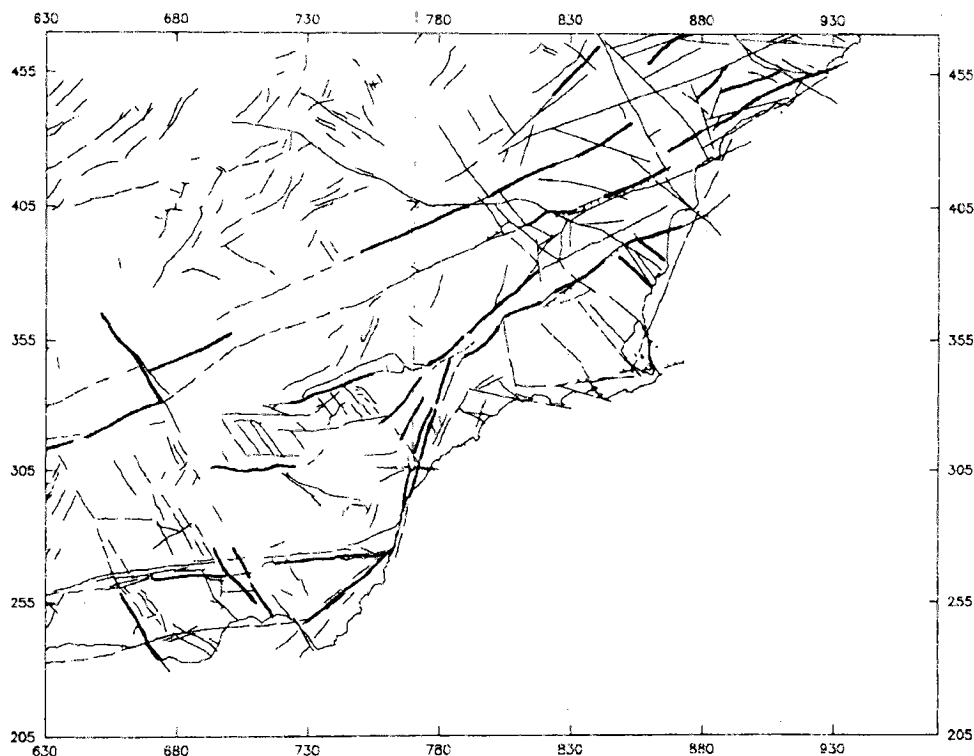


FIG. 4.- La red de fallas neógenas a cuaternarias en el SE peninsular. Se marcan en trazos gruesos los principales segmentos considerados activos desde el punto de vista neotectónico.

Las trazas de algunas de las fallas mostradas son parcialmente deducidas. Estas trazas se conocen bien en algunas áreas, mientras que existen otras en las que las fallas se detectan con dificultad. Hay tres direcciones preferenciales de fallas (N70-90, NW-SE y NE-SW) (Sanz de Galdeano, 1983, 1990a; Boccaletti *et al.*, 1987; Sanz de Galdeano *et al.*, 1995) que se han movido de diferente forma a lo largo del Neógeno. Las fallas N70-90 presentaron originalmente desplazamientos de desgarre dextroso, pero quedaron prácticamente inmovilizadas en el Mioceno superior o incluso se movieron en sentido contrario con componentes sinistrosos y/o verticales (localmente como fallas in-

versas en tiempos recientes). Las fallas de direcciones NW-SE y NE-SW fueron activas desde el Mioceno superior en adelante. Las NW-SE con desplazamientos dextrorsos y las NE-SW sinistrosos, pero en muchos casos los movimientos fueron con componente de falla normal o incluso fueron exclusivamente movimientos de falla normal. Esto dependió de la posición de la compresión que fluctuó entre NW-SE y N-S durante el Mioceno superior a la actualidad, a la vez que existía una extensión prácticamente perpendicular.

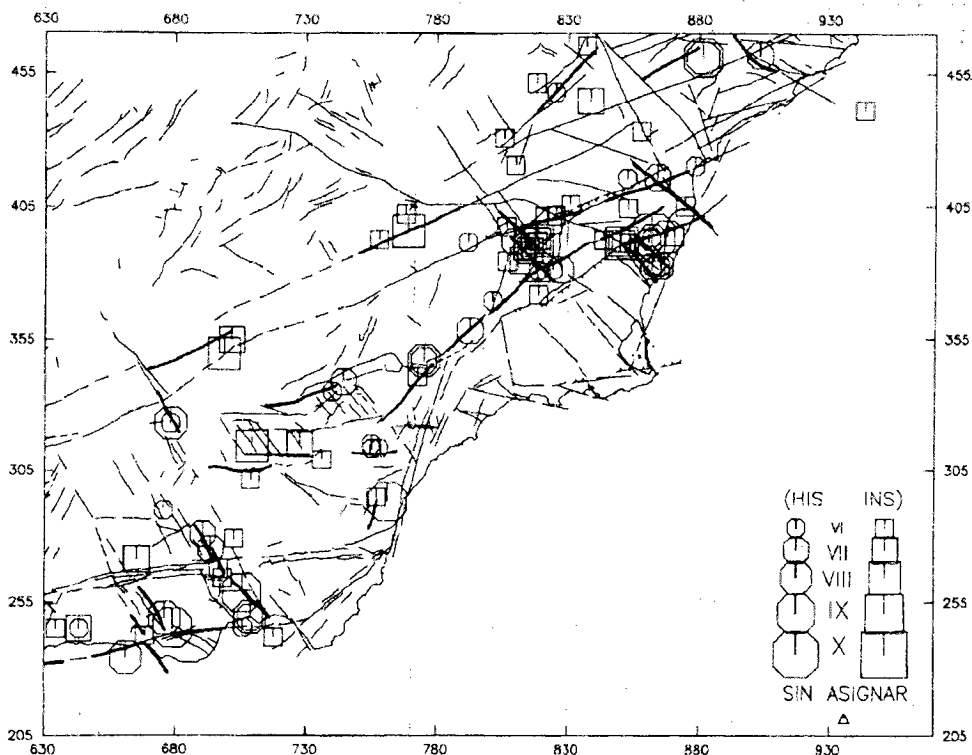


FIG. 5.- La red de fallas neógenas a cuaternarias en el SE peninsular y situación de los epicentros de los terremotos de $I \geq VI$. Los trazos gruesos corresponden a una primera correlación entre los terremotos y algunos segmentos de fallas.

En la actualidad, los movimientos más visibles de los diferentes juegos de fallas son de tipo normal, lo que implica un cierto levantamiento y extensión radial de la Cordillera Bética, SE peninsular incluido (Sanz de Galdeano y López Garrido, 1991), aunque existen rasgos que muestran compresiones de dirección aproximada NNW-SSE (Estévez and Sanz de Galdeano, 1983; Groupe de Recherche, 1977; Ott d'Estevou and

Montenat, 1985). Datos sísmicos revelan la misma compresión (Buform and Udías, 1991; Udías and Buform, 1991; Buform et al., 1995). La mayoría de estas fallas afectan al Mioceno superior y por tanto se han movido durante el periodo neotectónico «sensu lato» de la Cordillera Bética (es el periodo que va desde el Tortonense, y especialmente el Tortonense superior, a la actualidad). En estos casos es difícil considerar estas fallas como activas. Pero en muchos de ellos se sospecha que presentan movimientos más modernos, aunque si no existen sedimentos pleistocenos u holocenos suele ser imposible demostrar la edad del desplazamiento. Además, cuando estos depósitos existen, su datación es difícil, pues suelen ser sedimentos continentales. Localmente se han encontrado restos fósiles (especialmente dientes de roedores) que permiten su datación.

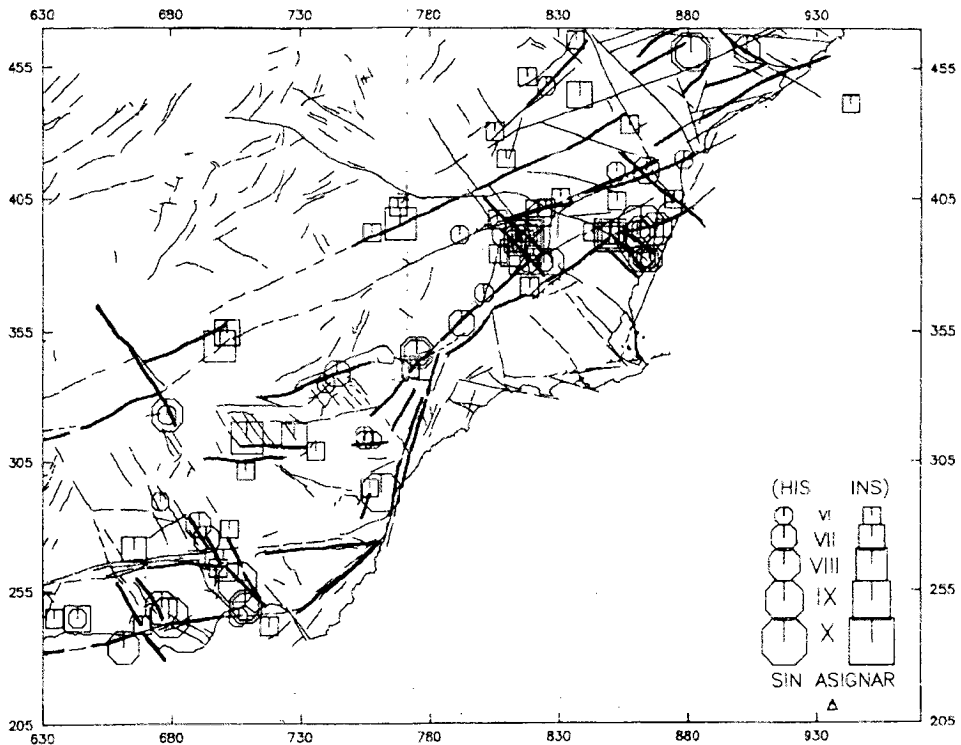


FIG. 6.- Esquema general simplificado que muestra los principales segmentos de falla considerados activos, o potencialmente activos, (indicados por trazos gruesos) tanto desde el punto de vista neotectónico como de los datos sísmicos.

Existen varias definiciones de falla activa (Hays, 1989). Hemos escogido una de las más amplias, aplicada a fallas potencialmente activas, por la que consideraremos activas, o al menos potencialmente activas, a las fallas que afectan a sedimentos del Cuaternario o incluso del Plioceno. También se han considerado criterios geomorfológicos y de otros tipos. La figura 4 representa el resultado de aplicar este concepto de fallas potencialmente activas a segmentos de fallas de longitud superior a 3 km. Las líneas más gruesas indican segmentos claramente activos, o al menos potencialmente activos, desde el punto de vista neotectónico. Esta longitud fue escogida de acuerdo con Bonilla et al. (1984) y Darragh y Bolt (1987), quienes consideran que es necesaria una longitud de ruptura de al menos 3 km para alcanzar una magnitud de aproximadamente 4,5. Un valor similar se deduce de la fórmula: $\text{Log } L \text{ (km)} = -1.388 + 0.4329 M$, determinada por Ryall y Vanwormer (1980). Muchos otros segmentos podrían ser marcados, pero hemos preferido marcar tan sólo aquellos que son muy claros.

De los segmentos potencialmente activos existen dos particularmente notables: los de Almería-Murcia y Alicante.

La parte oriental de Almería-Murcia está ocupada por las fallas de Carboneras, Palomares y Lorca-Alhama de Murcia (Bousquet and Philip, 1976; Groupe de Recherche, 1977; Bousquet et al., 1978; Coppier et al., 1989; Montecat y Ott D'Estevou, 1990; Montecat et al., 1990 a y b; Ott D'Estevou and Montecat, 1985; Sanz de Galdeano, 1990b). Los movimientos de estas fallas tuvieron lugar a lo largo del Neógeno y en algunos lugares ocurrieron durante el Plioceno y el Cuaternario. Son fallas de desgarre sinistroso pero que también presentan movimientos verticales normales. Esto último se observa más claramente en la zona de Lorca-Alhama de Murcia y Murcia.

El área de Alicante en en cierta medida la continuación NE del sector anterior. Montecat et al., (1990a); Goy et al., (1989); Dabrio et al., (1990); de Ruig (1992), entre otros, describen los movimientos cuaternarios de las fallas en este área. Montecat (1977) presentó algunas relaciones existentes entre los terremotos y las fallas en la región de Torre Vieja y del Bajo Segura.

RELACIONES ENTRE LA SISMICIDAD SUPERFICIAL Y LA RED DE FALLAS

Los epicentros de terremotos de $I \geq VI$ y también de $M_b \geq 4$ se representaron sobre la red de fracturas. La figura 5 presenta esta correlación. En algunos casos esta relación es clara y entonces marcamos el segmento de falla como sísmicamente activo. En otros casos son dudosos y en algunos los terremotos no pueden ser relacionados con ninguna falla conocida. Es particularmente buena la correlación existente entre los principales agrupamientos de fallas indicados anteriormente y algunas fallas, especialmente en áreas donde intersectan varios de sus juegos.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS, FALLAS CONSIDERADAS POTENCIALES FUENTES SÍSMICAS

La figura 6 muestra los principales segmentos de fallas activas y potencialmente activas del SE peninsular; sin embargo, esta figura tiene varias limitaciones. La principal es su escala, que no puede mostrar detalles y por tanto las correlaciones son muy generales. Otras limitaciones se refieren a la calidad de los datos usados. La situación de los epicentros presenta dificultades e incertidumbres y por ello algunas correlaciones referidas a fallas concretas son discutibles. Además, nuestro conocimiento de la red de fallas es incompleto y hay fallas del basamento no visibles en superficie. Algunos terremotos importantes no pueden por otra parte explicarse en la actualidad, pues están situados lejos de fallas conocidas. Por ello, los resultados obtenidos deben ser complementados en muchos sectores con datos de microsismicidad, perfiles geofísicos, etc. Por esta razón el esquema mostrado en la figura 6 es incompleto. Sin embargo, pensamos que los segmentos de fallas marcados en esta figura corresponden realmente a segmentos activos o potencialmente activos, pero que deberán ser delimitados con mayor detalle. Además, se deberán añadir otros segmentos aún no conocidos. De esta forma el mapa debe ser progresivamente mejorado, pero representa una base para calcular el riesgo sísmico, pues permite la determinación de fuentes sísmicas relacionadas con fallas activas concretas.

CONCLUSIONES

La correlación de epicentros de terremotos de $I \geq VI$ o $M_b \geq 4$ con la red de fallas del SE peninsular permite deducir un conjunto de segmentos de fallas activas. Los datos neotectónicos obtenidos en el campo igualmente permiten la delimitación de segmentos de fallas activas o potencialmente activas. En muchos casos, ambas fuentes de datos coinciden en los mismos segmentos de fallas. Los resultados, muy simplificados, se muestran en la figura 6.

Segmentos de fallas activas aparecen en todo el SE peninsular, pero se concentran especialmente en varias áreas específicas, que corresponden a las fallas de dirección NE-SW que se extienden desde Almería a Alicante. El mapa presentado, aunque requiere una mejora progresiva gracias a estudios de microsismicidad detallados y a análisis de datos geofísicos (perfiles sísmicos, etc), constituye una aproximación a la correlación de fuentes sísmicas con segmentos de falla específicos.

Agradecimientos: Este trabajo se ha realizado dentro de los proyectos PB92-0184-C02-01 y PB91-0079 (DGICYT) y del Grupo de Trabajo 4085 «Análisis y Dinámica de Cuencas» (Junta de Andalucía).

BIBLIOGRAFÍA

- ANDRIEUX, J., FONTBOTÉ, J.M. Y MATTAUER, M. (1971): «Sur un modèle explicatif de l'Arc de Gibraltar». *Earth and Planetary Science Letters*, 12: 191-198.
- BOCCALETTI, M., GELATI, R., LÓPEZ GARRIDO A.C., PAPANI G., RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, J. Y SANZ DE GALDEANO, C. (1987): «Neogene-Quaternary sedimentary-tectonic evolution of the Betic Cordillera». *Acta Naturalia de «L'Ateneo Parmense»*, 23: 179-200.
- BONILLA, M.G., MARK, R.K. Y LIENKAEMPER, J.J. (1984): «Statistical relations among earthquake magnitude, surface rupture length and surface displacement». *Bull. Seism. Soc. Am.*, 74: 2379-2411.
- BOUSQUET, J.C., MONTENAT, C. Y ECHALLIER, J.C. (1978): «Ruptures dans des constructions situées sur des failles actives du Sud de la Péninsule ibérique». *Vie R.A.S.T., Orsay (Soc. géol. edit.)*, p. 64.
- BOUSQUET, J.C. Y PHILIP, H. (1976): «Observations microtectoniques sur la compression nord-sud quaternaire des Cordillères bétiques orientales (Espagne méridionale-Arc de Gibraltar)». *Bull. Soc. géol. France*, 18: 711-724.
- BUFORN, E., SANZ DE GALDEANO, C. Y UDÍAS, A. (1995): «Seismotectonics of the Ibero-Maghrebian region». *Tectonophysics*, 248: 247-261.
- BUFORN, E. Y UDÍAS, A. (1991): «Focal mechanism of earthquakes in the Gulf of Cadiz, South Spain and Alboran Sea». *Seismicity, Seismotectonics and Seismic risk of the Ibero-Maghrebian Region. Publicación n. 8. Instituto Geografico Nacional. Madrid 1991*, 30-40.
- COMAS, M.C., GARCÍA-DUEÑAS, V. Y JURADO, V. (1992): «Neogene tectonic evolution of the Alboran Sea from MCS data». *Geo-Marine Letters*, 12, 2/3: 157-164.
- COPPIER, G., GRIVEAUD, P., DE LAROUZIÈRE, F.D., MONTENAT, C. Y OTTD'ESTEVOU, P. (1989): «Example of Neogene tectonic indentation in the Eastern Betic Cordilleras: the Arc of Aguilas (Southeastern Spain)». *Geodinamica Acta* 3,1: 37-51.
- DABRIO, C.J., ZAZO, C., GOY, J.L., SANTISTEBAN, C., BARDAJÍ, T. Y SOMOZA, L. (1990): «Neogene and Quaternary fan delta deposits in southeastern Spain». *II Fan-Delta Workshop. Murcia, field guidebook*, 70 p.
- DARRAGH, R.B. Y BOLT, B.A. (1987): «A comment on the statistical regression relation between earthquake magnitude and fault rupture length». *Bull. Seism. Soc. Am.*, 77: 1479-1484.
- DE RUIG, M.J. (1992): «Tectono-sedimentary evolution of the Prebetic fold belt of Alicante (SE Spain)». *Tesis Univ. Amsterdam*, 208 p.
- DURAND-DELGA, M. Y FONTBOTÉ, J.M. (1980): «Le cadre structural de la Méditerranée occidentale». *26 Congrès. Géol. Intern., Paris. «Les Chaînes alpines issues de la Téthys». Mém. B.R.G.M.*, 115: 67-85.
- ESTÉVEZ, A. Y SANZ DE GALDEANO, C. (1983): «Néotectonique du secteur central des Chaînes Bétiques (Basins du Guadix-Baza et de Grenade)». *Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dynamique, Paris*, 21: 23-34.
- GOY, J.L., ZAZO, C., SOMOZA, L. Y DABRIO, C.J. (1989): «The neotectonic behaviour of the Lower Segura River Basin during the Quaternary. Palaeogeographical behaviour of the «Conglomerates of the Segura». *Bull. INQUA Neotectonic Comm.* 12: 14-17.
- GRUPE DE RECHERCHE NÉOTECTONIQUE DE L'ARC DE GIBRALTAR (1977): «L'histoire tectonique récente (Tortonien à Quaternaire) de l'Arc de Gibraltar et des bordures de la mer d'Alboran». *Bull. Soc. géol. France*, 19, 3: 575-614.
- HAYS, W.W. (1989): «Aspectos fundamentales de la geología y de la sismología para la microzonación sísmica». *Física de la Tierra. Movimientos fuertes del suelo y riesgo de terremotos. Univ. Complutense, Madrid*, 1: 17-250.

- JABALOY, A., GALINDO-ZALDÍVAR, J. Y GONZÁLEZ-LODEIRO, F. (1992): «The Mecina extensional system: Its relation with the Post-Aquitania piggy-back basins and the paleostresses evolution (Betic Cordilleras, Spain)». *Geo-Marine Letters*, 12, 2/3: 96-103.
- LÓPEZ CASADO, C., SANZ DE GALDEANO, C., DELGADO, J. Y PEINADO, M.A. (1995): «The parameter b in the Betic Cordillera, the Rif and neighbouring areas. Its relations with the tectonics of the region». *Tectonophysics*, 248: 277-292.
- MEZCUA, J. Y MARTÍNEZ SOLARES, J.M. (1983): «Sismicidad de area Ibero-Mogrebí». *Publicación 203. Instituto Geográfico Nacional., Madrid 1983. pp. 300.*
- MONTENAT, C. (1977): «Les bassins néogènes du levant d'Alicante et de Murcia (Cordillères Bétiques Orientales, Espagne)». *Doc. Lab. Géol. Fac. Sc. Lyon*, 69: 345 p.
- MONTENAT, C. Y OTT D'ESTEVOU, P. (1990): «Eastern betic Neogene basins: a review». *Documents et Travaux de l'IGAL*, 12-13: 9-15.
- MONTENAT, C., OTT D'ESTEVOU, P. Y COPPIER, G. (1990): «Les Bassins neogènes entre Alicante et Cartagena». *Documents et Travaux de l'IGAL*, 12-13: 313-368.
- MONTENAT, C., OTT D'ESTEVOU, P., RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, J. Y SANZ DE GALDEANO, C. (1990): «Geodynamic evolution of the Betic Neogene Intramontane Basins (S and SE Spain)». *En: Iberian Neogene Basins. IX R.C.M.N.S. Congress. Paleontología i Evolució, sp. publ.*, 7-59.
- OTT D'ESTEVOU, P. Y MONTENAT, C. (1985): «Evolution structurale de la zone bétique orientale (Espagne) du Tortonien a l'Holocène». *C.R. Acad. Sci. Paris*, 300, II, 8: 363-368.
- RYALL, A.S. Y VANWORMER, J.D. (1980): «Estimation of maximum magnitude and recommended seismic zone changes in the western Great Basin». *Bull. Seism. Soc. Am.*, 70, 5: 1573-1581.
- SANZ DE GALDEANO, C. (1983): «Los accidentes y fracturas principales de las Cordilleras Béticas». *Estudios Geol.*, 39: 157-165
- SANZ DE GALDEANO, C. (1990a): «Geologic evolution of the Betic Cordilleras in the Western Mediterranean, Miocene to the present». *Tectonophysics*, 172: 107-119.
- SANZ DE GALDEANO C. (1990b): «La prolongación hacia el sur de las fosas y desgarres del norte y centro de Europa: Una propuesta de interpretación». *Rev. Soc. Geol. España*, 3, 231-240.
- SANZ DE GALDEANO C., LÓPEZ CASADO C., DELGADO J. Y PEINADO M.A. (1995): «Shallow seismicity and active faults in the Betic Cordillera. A preliminary approach to seismic sources associated with specific faults». *Tectonophysics*, 248: 293-302.
- SANZ DE GALDEANO, C. Y LÓPEZ GARRIDO, A.C. (1991): «Tectonic evolution of the Malaga basin (Betic Cordillera). Regional implications». *Geodinamica Acta*, 5: 173-186.
- UDÍAS, A. Y BUFORN, E. (1991): «Regional stresses along the Eurasia-Africa plate boundary derived from focal mechanism of large earthquakes». *Pageoph.*, 136, 4: 433-448.