



Actividad sísmica reciente en el noroeste de la Península Ibérica

Recent seismic activity in the Northwest Iberian Peninsula

C. López-Fernández⁽¹⁾, J. A. Pulgar⁽¹⁾, J. Gallart⁽²⁾, J. M. González-Cortina⁽¹⁾, J. Díaz⁽²⁾ y M. Ruiz⁽²⁾

⁽¹⁾Dpto. de Geología, Universidad de Oviedo, Arias de Velasco s/n 33005, Oviedo, clopez@geol.uniovi.es

⁽²⁾Dpto. de Geofísica, Institut de Ciències de la Terra 'Jaume Almera' IJA-CSIC, Sole Sabaris s/n 08028, Barcelona, jgallart@ija.csic.es

SUMMARY

The NW Iberian Peninsula is characterized by a quite remarkable seismic activity reported in the Lugo province (Galicia) during the 90s that culminated on a magnitude 5.3 event in 1997. However, the seismicity is poorly constrained eastwards of Galicia due to the lack of permanent instruments monitoring that area. A temporary seismic network of up to 18 portable stations has been deployed in Asturias, Galicia and Leon since 1999. During the 28 months of operation, this network evidenced a widespread seismicity of low to moderate magnitude, allowing to locate more than 400 seismic events, two thirds of which could not be catalogued by the Spanish permanent seismic network. The new seismic results confirm the high level of present-day activity within the area of Becerreá, Sarria and Triacastela (Lugo), and reveal also a significant activity unknown to date, to be associated in some cases with major structures such as the Ventaniella fault.

1. INTRODUCCIÓN

El noroeste de la Península Ibérica ha sido considerado tradicionalmente como una zona de baja sismicidad. No obstante, en la década de los 90 se produjeron distintas crisis sísmicas en la zona oriental de Galicia que culminaron el 21 de mayo 1997 con un sismo de magnitud 5.3 (Rueda & Mezcuá, 2001). Posteriormente, se ha comprobado que esta zona sigue presentando una actividad sísmica destacable.

Desde los años 80, la sismicidad en el noroeste peninsular se controla únicamente a partir de 4 estaciones instaladas en Galicia, pertenecientes a la Red Sísmica Nacional gestionada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Hacia el este y el sur la cobertura sísmica es muy deficiente, ya que las estaciones más cercanas se sitúan en Álava y Madrid, a más de 400 km de distancia de las anteriores.

La sismicidad detectada por esta sub-red gallega induce a cuestionarse la existencia de un número significativo de eventos de magnitud baja o moderada, que quedarían por debajo del umbral de detección actual. Este hecho se acentuaría en las comunidades del norte peninsular que no disponen de estaciones sísmicas próximas.

Recientemente, en un proyecto de investigación, coordinado entre el Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo y el Instituto de Ciencias de la Tierra 'Jaume Almera' del C.S.I.C.-Barcelona (proyecto GASPI), se planteó el estudio de detalle de la actividad sísmica en el noroeste peninsular, en relación con la estructura litosférica y con los mecanismos de deformación varisca y alpina que afectaron a esta zona.

Mediante la instalación de una red sísmica portátil se analizó la actividad microsísmica en el noroeste de la Península Ibérica entre los años 1999 y 2001. Los primeros resultados de este estudio se presentan aquí y muestran la existencia de un número muy considerable de eventos de baja magnitud, detectados en diversas zonas de Galicia y Asturias y no catalogados por la red nacional.

2. ENCUADRE GEOLÓGICO

La zona noroeste de la Península Ibérica se encuadra dentro del denominado Macizo Varisco (Figura 1), constituido sobre todo por rocas paleozoicas que alcanzaron diferentes grados de deformación durante la Orogénesis Varisca en el Carbonífero, y que sufrieron posteriormente los efectos de la Orogénesis Alpina. El Macizo Varisco se subdivide en cinco zonas (Julivert et al., 1972), tres de las cuales afloran en el noroeste peninsular: Zonas Cantábrica, Asturoccidental-Leonesa y Centroibérica.

La Zona Cantábrica está constituida por una alternancia de rocas siliciclásticas y carbonatadas, sobre las cuales se sitúan discordantemente los sedimentos mesozoicos y terciarios. Su estructura actual es el resultado de la superposición de las orogénesis

varisca y alpina, separadas por los episodios extensionales permo-mesozoicos.

La Zona Asturoccidental-Leonesa está constituida básicamente por una potente sucesión de rocas siliciclásticas del Paleozoico Inferior. El metamorfismo es generalizado en la zona, siendo de mayor grado hacia el oeste, donde son abundantes los afloramientos de granitoides. Su estructura general es consecuencia de la superposición de tres fases de deformación variscas (Marcos, 1973), a la que se suman posteriormente algunas estructuras tardías.

La Zona Centroibérica es estratigráficamente muy heterogénea, incluyendo sectores con diferente grado de metamorfismo y zonas con abundantes granitoides. Su estructura final es el resultado de la superposición de varias deformaciones, siendo las más recientes las más visibles.

En general, en las tres zonas la deformación Alpina produjo el levantamiento del basamento, la reactivación de algunas estructuras variscas y la generación de otras nuevas estructuras, fundamentalmente fallas (Alonso et al., 1995).

La estructura a nivel cortical del noroeste peninsular ha sido estudiada recientemente por distintos métodos geofísicos, sobre todo mediante diversos perfiles sísmicos de reflexión y refracción, gravimetría, etc. (Córdoba et al., 1987; Pérez-Estaún et al., 1994; Álvarez-Marrón et al., 1996; Pulgar et al., 1996; Gallart et al., 1997; Ayarza et al., 1998; Fernández-Viejo et al., 1998, 2000; Gallastegui, 2000).

3. RED SÍSMICA PORTÁTIL

La red sísmica instalada en el noroeste peninsular entre mayo de 1999 y agosto de 2001 (Figura 1) fue diseñada fundamentalmente para la detección y localización de sismos de pequeña magnitud en las Zonas Asturoccidental-Leonesa y Cantábrica. Esta red permitió cubrir íntegramente la comunidad asturiana y la provincia de Lugo, detectando igualmente los sismos provenientes de áreas adyacentes.

Se dispuso en total de 18 estaciones sísmicas digitales, si bien el número de emplazamientos fue de 24, ya que para poder cubrir todas las zonas previstas fue necesario desplazar parte de las estaciones a nuevos puntos durante el periodo de funcionamiento de la red.

Se utilizaron 3 tipos diferentes de instrumentos de registro sísmico: 8 estaciones 'Reftek' y 10 estaciones 'Lennartz Electronics' (6 modelo Mars-88 y 4 Marslite). Se trabajó con geófonos de tres componentes, de dos tipos: unos con periodo corto de 1s (sismos locales y regionales) y otros de 20s (para analizar también telesismos).

Las estaciones Reftek y Marslite funcionaron siempre en modo de registro continuo, mientras que las estaciones Mars-88 tuvieron que trabajar en modo discontinuo, mediante un algoritmo de disparo, por su limitada capacidad de almacenamiento de datos.

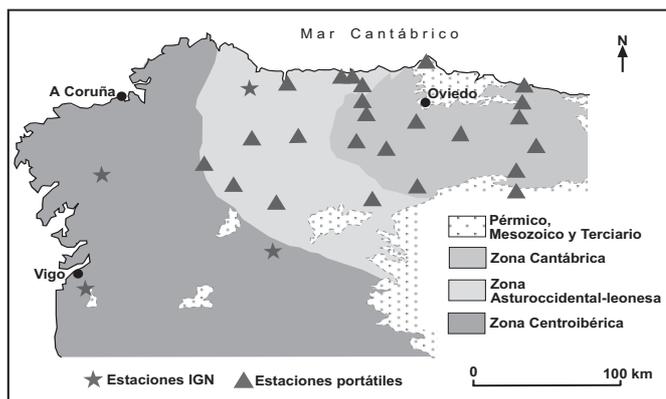


Figura 1 - Estaciones sísmicas utilizadas en el estudio. (Seismic stations used in this work)

Durante el periodo de operatividad de la red sísmica instalada se efectuaron visitas periódicas a todos los emplazamientos, con la frecuencia necesaria para asegurar el mantenimiento técnico de los equipos, comprobando su correcto funcionamiento y extrayendo los datos almacenados para su traslado al centro de procesado y posterior análisis.

4. PROCESADO DE DATOS Y LOCALIZACION HIPOCENTRAL

La primera fase de procesado de datos se centró en extraer la información relevante de las estaciones que registran en modo continuo, y que rápidamente acumulan muchos Gigabytes de memoria. Los diferentes formatos de almacenado de datos que presentan los distintos equipos de registro fueron transformados en un único formato estándar de almacenado y de trabajo, para lo que se utilizó el formato SAC (Seismic Analysis Code, University of California).

A los datos procedentes de cada estación se les aplicó un algoritmo de detección que permite establecer un listado de fechas y tiempos en los que se observa un determinado evento. A continuación se elaboró un listado único con los datos de todas las estaciones (incluyendo las de funcionamiento en modo de disparo). A dicho listado se le aplicó un programa de búsqueda de coincidencias horarias, que permitiera conocer cuándo en un número mínimo de estaciones se había detectado una señal que pudiera corresponder a un mismo evento.

Paralelamente se procedió a la selección de los eventos catalogados por los servicios sísmicos oficiales: sismos locales y regionales (IGN) y telesismos (USGS).

Una vez seleccionados los registros se procedió a la localización hipocentral de los eventos. Para cada uno se identificaron las fases P y S en los sismogramas de cada estación sísmica, así como el final del evento. El proceso de lectura de tiempos se llevó a cabo mediante las utilidades del programa SAC-2000.

Para la localización hipocentral se ha trabajado con el programa HYPO-71 (Lee & Lahr, 1975). Las magnitudes se han calculado a partir de la duración total del evento según:

$$FMAG = -0.87 + 2 \log(T) + 0.0035 D$$

siendo T la duración de la señal registrada en segundos y D la distancia epicentral en km.

Con esta metodología se localizaron todos los eventos no registrados por las redes sísmicas oficiales y se relocalizaron los eventos catalogados por dichas redes, incorporando los registros obtenidos por la red sísmica portátil.

Cabe señalar que un alto porcentaje (más del 80%) de los eventos detectados inicialmente por la red sísmica portátil se han interpretado como eventos 'no naturales', y se han descartado para el estudio de sismicidad. Su distinción se realizó mediante un minucioso análisis de múltiples aspectos: el contenido frecuencial, la localización hipocentral repetida en los mismos lugares, la repetición horaria de los eventos, las profundidades en torno a cero km, etc. La

zona noroeste de la Península Ibérica es una zona con una elevada actividad minera tanto de interior como a 'cielo abierto', lo cual, unido a un alto volumen de obra civil, explicaría el elevado número de eventos 'artificiales' relacionados con voladuras.

En el periodo comprendido entre mayo de 1999 y agosto de 2001 se detectaron un total de 529 sismos, pudiéndose realizar hasta 420 determinaciones hipocentrales (Tabla 1). De ellas, 284 fueron de sismos no catalogados por la red sísmica fija, mientras que 140 consistieron en la relocalización de eventos ya detectados y catalogados por el IGN.

Los resultados de este estudio indican que el umbral de detección de la red sísmica gestionada por el IGN se sitúa en magnitudes en torno a 2.0 para sismos en Galicia, con variaciones locales dependiendo de la cercanía a estaciones de la red o del nivel de ruido de la zona. En el área de mayor actividad, en la provincia de Lugo, se detectan en general los sismos con magnitud superior a 1.9. A medida que aumenta la distancia a la subred gallega el umbral de detección crece, situándose en el Principado de Asturias en una magnitud de 2.4, con tendencia a aumentar hacia el este.

Tabla 1 - Resumen de sismos detectados (Summary of detected seismic events)

Año*	Sismos detectados Total	Sismos localizados	
		Proyecto GASPI	IGN (relocalizados)
1999	117	62	32
2000	304	184	48
2001	108	34	60
Total:	529	280	140

* 1999 mayo-diciembre; 2001 enero-agosto

Los umbrales de detección han disminuido considerablemente con la red sísmica portátil, que ha permitido localizar sismos con magnitudes a partir de 1.6 en toda el área cubierta por la red (Asturias y Lugo), aumentado ligeramente dicho umbral (magnitudes en torno a 2.0) en las zonas adyacentes a la misma (León y Cantabria).

La incorporación de los datos de la red sísmica portátil a los obtenidos por la red IGN ha mejorado sensiblemente la calidad de las localizaciones hipocentrales. Las diferencias oscilan entre algunos kilómetros para eventos dentro de la subred de Galicia, y varias decenas de kilómetros, a medida que nos alejamos de dicha subred. Los valores de RMS obtenidos con datos IGN están habitualmente por encima de 0.5, descendiendo a valores inferiores a 0.3 en todos los casos al incorporar nuestros registros. Un ejemplo ilustrativo del error que puede llegarse a cometer en la localización de sismos ocurridos fuera de la subred gallega es el del evento del 3 de febrero de 2000 (magnitud 2.1) localizado inicialmente al SO de Salas (Asturias) y cuya relocalización lo situó al NO de Avilés, a unos 50 km aproximadamente de la determinación IGN.

5. DISTRIBUCIÓN DE LA SISMICIDAD

Los más de 400 sismos localizados durante el periodo operativo de la red temporal (Figura 2) se distribuyen irregularmente por el noroeste peninsular, concentrándose sobre todo en la provincia de Lugo, y especialmente en el área delimitada por las poblaciones de Sarria, Becerreá y Triacastela.

Cabe destacar sobretodo la sismicidad al suroeste de Becerreá, donde en 27 meses se han detectado más de 200 sismos concentrados en apenas 40 km². Los sismos se distribuyen según una orientación aparente NE-SO en una zona en la que existen diversas fallas, estructuras cuya significación geológica no es fácilmente asociable con la importante actividad sísmica que se observa. La mayoría de los hipocentros son bastante superficiales, a menos de 10 km de profundidad. Más del 90% de los sismos presentan magnitudes que oscilan entre 2 y 3. Cercanos a esta zona tan activa existen otros focos de actividad sísmica, como por ejemplo al SO de Poboja o en Baralla. La falla con dirección NE-SO que discurre al noreste de Becerreá parece estar relacionada con la sismicidad superficial detectada en esta zona.

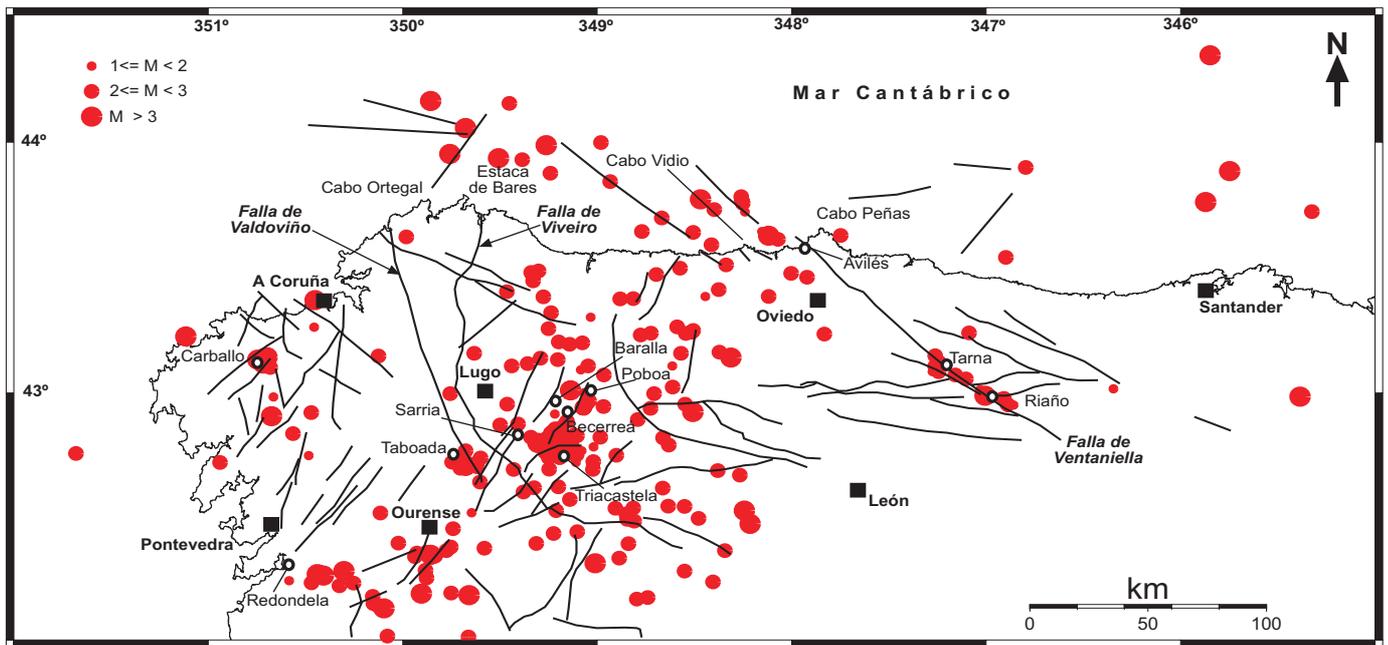


Figura 2 - Sismos localizados entre abril de 1999 y agosto de 2001, y fallas principales del noroeste peninsular. (Events located between april 1999 and august 2001, with main faults of NW Iberia)

Al norte de la provincia de Lugo existe una alineación de sismos con una orientación aproximada norte-sur, que no es relacionable con ninguna estructura visible en superficie. Se trata de sismos relativamente profundos (la mayoría sobre 13-14 km) y cuyas magnitudes varían entre 2 y 3, si bien en el pasado se han indicado valores superiores a 4. Al norte de la Estaca de Bares y de Cabo Ortegal, se detectaron un destacable número de sismos relativamente profundos (superiores a 15 km) y con magnitudes siempre superiores a 3. Estos sismos podrían estar relacionados con fallas NO-SE presentes en la plataforma cantábrica, paralelas a algunas otras estructuras con esta misma orientación y juego alpino existentes en tierra. Al este de Taboada se localizaron varios sismos entre 7 y 10 km de profundidad que alcanzaron magnitud 3, los cuales estarían relacionados con la Falla de Valdoviño. Existe, igualmente, un elevado número de sismos que aparecen dispersos por el resto de la provincia y que no muestran unas concentraciones tan definidas como las zonas anteriormente citadas.

En A Coruña, el sur de Carballo es la zona más activa sísmicamente; en julio de 2000 hubo una crisis con más de 30 sismos registrados en apenas 24 horas, alcanzando uno de ellos una magnitud superior a 4. La mayor parte de los sismos fueron superficiales, no superando los 10 km de profundidad. En Pontevedra se observa una alineación de sismicidad al sureste de Redondela. Se trata de sismos superficiales (3-10 km) con magnitudes comprendidas entre 1.9 y 3. La provincia de Ourense presenta la mayor parte de la sismicidad localizada al suroeste de la capital, con sismos bastante profundos en general (10-20 km) y magnitudes casi siempre inferiores a 3.

En Asturias y León la actividad sísmica más aparente se localiza fundamentalmente en torno a la importante Falla de Ventaniella y estructuras asociadas, con varios focos en el Cañón de Avilés, la zona de Tarna, Riaño y el norte del Cabo Vidio. Se han detectado en esas zonas más de 50 eventos a lo largo de más de dos años de observación. Se trata de sismos relativamente profundos, ya que la mayor parte de los hipocentros se sitúan entre los 10 y los 20 km de profundidad. Las magnitudes son ligeramente superiores en el Cañón de Avilés, donde alcanzan valores superiores a 3, que en las zonas de Tarna o Riaño, en donde oscilan entre 1.8 y 3. El resto de Asturias presenta una actividad sísmica más escasa y dispersa, entre 10 y 20

km de profundidad, ligeramente superior en el occidente de la región. Igualmente se detecta alguna sismicidad muy dispersa en la zona norte de León, en la vertiente sur de la cordillera Cantábrica.

El límite más oriental de detección que presentó la red sísmica instalada fueron los distintos eventos localizados en el mar Cantábrico, al norte y al noroeste de Santander.

Finalmente, cabe destacar la localización de sismos sobre grandes estructuras geológicas en áreas muy próximas a algunos embalses, pudiendo tratarse de una sismicidad inducida por los mismos. Un caso llamativo es el del este de Taboada (Lugo) donde los epicentros se sitúan muy próximos al embalse de Belesar, ubicado sobre la Falla de Valdoviño. Otro ejemplo es el del los epicentros en el área del embalse de Riaño en León. Dicho embalse está construido sobre la Falla de Ventaniella, la cual concentra la mayor parte de la sismicidad en dos focos, Riaño y el cañón submarino de Avilés. En ambas zonas puede producirse un considerable aporte de agua a la propia falla.

6. MECANISMOS FOCALES

Se ha abordado también el cálculo de mecanismos focales a partir de la polaridad de la onda P. Debido a la dificultad de calcular mecanismos de sismos individuales por el número limitado de lecturas disponibles al tratarse de eventos de magnitudes en general inferiores a 3, en muchos casos se han calculado mecanismos compuestos, usando grupos de sismos lo más consistentes posible, según las características geoestructurales de la zona de origen. La Figura 3 muestra las soluciones focales obtenidas.

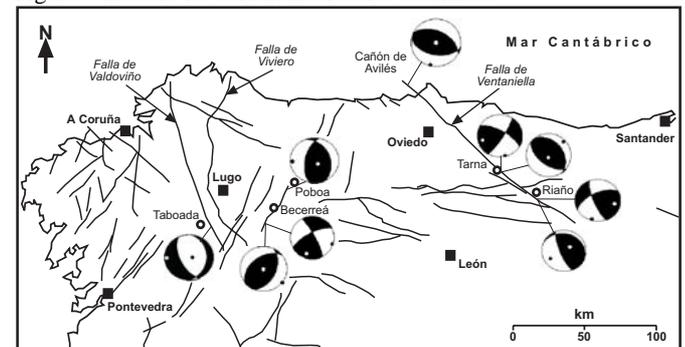


Figura 3 - Mecanismos focales obtenidos en el Noroeste de la Península Ibérica. (Focal mechanisms calculated in the study area)



En el área situada al SO de Becerreá (Lugo) se ha trabajado con lecturas de más de 100 sismos. Básicamente se han obtenido mecanismos de dos tipos, unos de falla inversa y otros de desgarre. En ambos casos, uno de los planos nodales (asociado a la falla reconocida en superficie) presenta una orientación NE-SO, y el eje de presión es muy próximo a la horizontal. El mecanismo focal correspondiente al grupo de sismos al SO de la localidad de Poboja en Lugo, es de falla inversa con orientación NNE-SSO, con el eje de presión prácticamente horizontal según una orientación aproximada E-O. Estos datos son concordantes con el movimiento de falla inversa dextrógira reconocido geológicamente.

La solución focal obtenida para los sismos situados al este de Taboada (Lugo), próximos a la Falla de Valdoviño, es diferente a las descritas en las restantes zonas de dicha provincia. Se trata de un mecanismo de falla normal, con planos nodales orientados NNO-SSE.

Dentro del área de influencia de la Falla de Ventaniella, en el caso del Cañón de Avilés el mecanismo obtenido es de falla inversa con una ligera componente de desgarre y con orientaciones de planos nodales ONO-ESE. En la zona del Puerto de Tarna los datos son compatibles con dos tipos de mecanismos posibles, uno de falla de desgarre dextrógira, y otro de falla inversa. En ambos casos, al menos uno de los planos nodales tiene una orientación NO-SE, coincidente con la orientación de la propia falla. La zona de Riaño presenta igualmente dos tipos de soluciones focales posibles, una de falla inversa, similar a la anterior zona, y otra de falla de desgarre dextrógira. Los ejes de presión en todos los casos se presentan casi horizontales y con una orientación NE-SO, perpendicular a la traza de la falla. Los mecanismos obtenidos coinciden con las evidencias geológicas del movimiento de esta falla.

7. CONCLUSIONES

La implantación de una red sísmica portátil en el Noroeste de la Península Ibérica, entre 1999 y 2001, ha permitido analizar con detalle la actividad sísmica existente en la zona y ha puesto de manifiesto la existencia de una sismicidad de baja magnitud poco conocida hasta el momento.

El número de sismos detectados en el noroeste peninsular por la red sísmica temporal (529) es sensiblemente superior al de sismos catalogados por la red sísmica nacional (140). El número y la distribución de las estaciones de la red sísmica nacional no permiten controlar adecuadamente la sismicidad que actualmente presenta esa zona, especialmente, para sismos con magnitudes inferiores a 2.0 en Galicia y 2.5-3.0 en las comunidades de Asturias, Cantabria y León.

Un porcentaje significativo de la sismicidad en el noroeste peninsular se dispone sobre estructuras de primer orden, en fallas con orientación tanto NE-SO (caso de la zona de Becerreá o del norte de Lugo), como NO-SE, (Falla de Ventaniella). No obstante, otra parte de la sismicidad debe asociarse también con diversas estructuras menores.

La mayor actividad sísmica se localiza en la provincia de Lugo, especialmente en el área situada entre las localidades de Becerreá, Sarria y Triacastela, que muestra una inusual concentración de eventos en el marco de la sismicidad general de la zona. El resto de la sismicidad, prácticamente desconocida hasta la actualidad, se distribuye de una forma más dispersa por el resto de la comunidad gallega y asturiana, así como en el Mar Cantábrico, y marginalmente en las provincias de León y Santander.

Los sismos registrados por la red sísmica portátil son, en general, de pequeña magnitud, con valores entre 2 y 3 para la mayor parte de los eventos. Magnitudes superiores se determinaron en sismos localizados al SO de Becerreá (Lugo), en la zona de Carballo (A Coruña) y sobre la Falla de Ventaniella (Asturias). El umbral mínimo de detección de la red sísmica portátil se situó en magnitudes de 1.6. Las profundidades que muestran los eventos son variables: los más superficiales son los situados al SO de Becerreá y en Taboada (Lugo), y en Carballo (A Coruña); los más profundos (10-25 km) son los localizados al norte de Lugo, en Ourense y en estructuras como la Falla de Ventaniella.

En la zona al suroeste de Becerreá (Lugo) los mecanismos focales obtenidos son de dos tipos: de falla inversa y de falla de desgarre, con planos de falla según orientación NE-SO y ejes de presión próximos a la horizontal. Al este de Taboada (Lugo) se determinaron mecanismos de falla normal, con una mínima componente de desgarre. Los mecanismos determinados en sismos localizados sobre la Falla de Ventaniella son compatibles con soluciones según falla inversa o bien de desgarre dextrógira, siendo en ambos casos consistente la orientación de los planos nodales con la de la falla principal.

En definitiva, el noroeste peninsular presenta una actividad sísmica significativa, tanto por el número de sismos originados como por la magnitud que han alcanzado algunos de los eventos. Esta actividad se distribuye a lo largo de toda la esquina noroeste de la península, de modo un tanto irregular y sin circunscribirse a las zonas activas conocidas hasta la actualidad. Las magnitudes de los eventos son en general moderadas a bajas, aunque algunos eventos han alcanzado años atrás valores mucho más considerables, que han llegado a provocar un alto grado de alerta entre la población de la zona.

8. REFERENCIAS

- Alonso, J.L., J. A. Pulgar, J.C. García Ramos and P. Barba (1995): "Tertiary basins and alpine tectonics in the Cantabrian Mountains (NW Spain)", en: Tertiary Basins of Spain. Tectonics, climate and sea-level changes (P.F. Friend y C. Dabrio, eds.). Cambridge University Press.
- Ayarza, P., J.R. Martínez-Catalán, J. Gallart, J.A. Pulgar y J.J. Dañobeitia (1998): "Estudio Sísmico de la Corteza Ibérica Norte 3.3: A seismic image of the Variscan crust in the hinterland of the NW Iberian Massif". *Tectonics*, 18 (2): 171-186.
- Álvarez-Marrón, J., A. Pérez-Estaún, J.J. Dañobeitia, J.A. Pulgar, J.R. Martínez-Catalán, A. Marcos, F. Bastida, P. Ayarza Arribas, J. Aller, J. Gallart, F. González-Lodeiro, E. Banda, M.C. Comas and D. Córdoba (1996): "Seismic structure of the northern continental margin of Spain from ESCIN deep seismic profiles". *Tectonophysics*, 264, pp. 153-174.
- Córdoba, D., E. Banda and J. Ansoorge (1987): "The Hercynian crust in Northwest Spain: a seismic survey". *Tectonophysics*, 132, pp. 321-333.
- Fernández-Viejo, G., J. Gallart, J.A. Pulgar, J. Gallastegui, J.J. Dañobeitia and D. Córdoba (1998): "Crustal transition between continental and oceanic domains along the North Iberian Margin from wide-angle seismic and gravity data". *Geophys. Res. Letters*, 25 (23), pp. 4249-4252.
- Fernández-Viejo, G., J. Gallart, J.A. Pulgar, J. Gallastegui, J.J. Dañobeitia and D. Córdoba (2000): "Seismic signature of Variscan and Alpine tectonics in NW Iberia: Crustal structure of the Cantabrian Mountains and Duero Basin". *Jour. Geophys. Res.*, 105:3001-3018.
- Gallart, J., G. Fernández-Viejo, J. Díaz, N. Vidal and J.A. Pulgar (1997): "Deep structure of the transition between the Cantabrian Mountains and the North Iberian Margin from wide-angle ESCIN-N data. *Rev. Soc. Geol. España*, 8 (4), 1995, pp. 365-382.
- Gallastegui, J. (2000): "Estructura cortical de la cordillera y margen continental cantábricos: perfiles ESCI-N". *Trabajos de Geología, Univ. Oviedo*, 22.
- Julivert, M., J.M. Fontboté, A. Ribeiro, y L. Conde: "Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares". *Inst. Geol. Min. España*, 113 pp.
- Lee, W.H.K. and J.C. Lahr (1975): "HYPO71 (revised): a computer program for determining hypocenter magnitude and first motion pattern of local earthquakes". *U.S. Geol. Survey, Open File Rep.* 75-311.
- Marcos, A. (1973): "Las series del Paleozoico inferior y la estructura hercínica del occidente de Asturias (NW de España)". *Trabajos de Geología, Univ. Oviedo*, 6:1-113.
- Pérez-Estaún, A., J.A. Pulgar, E. Banda, J. Álvarez-Marrón and ESCI-N Research Group (1994): "Crustal structure of the external Variscides in Northwest Spain from deep seismic reflection profiling". *Tectonophysics*, 232, pp. 91-118.
- Pulgar, J.A., J. Gallart, G. Fernández-Viejo, A. Pérez-Estaún, J. Álvarez-Marrón and ESCIN Group (1996): "Seismic image of the Cantabrian Mountains in the western extension of the Pyrenees from integrated ESCIN reflection and refraction data". *Tectonophysics*, 264, pp 1-19.
- Rueda, J. & Mezcuca, J. (2001): "Sismicidad, Sismotectónica y Peligrosidad Sísmica en Galicia". *Publicación Técnica IGN* nº 35.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer especialmente a Jorge Gallastegui y David Pedreira la colaboración prestada, así como al resto del personal del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo y del Instituto 'Jaume Almera' del CSIC de Barcelona. Igualmente, al Instituto Geográfico Nacional por toda la información facilitada.

El estudio se ha realizado en el marco del proyecto AMB98-1012, financiado por Programa Nacional de Medio Ambiente-CICYT. Carlos López agradece la financiación aportada por el programa 'Formación de Personal Investigador' del Ministerio de Educación y Ciencia.