

# Terremoto de 19 de febrero de 2001 (mb 2.6, IGN) al E de La Vega de Riosa (Asturias): ¿un caso de sismicidad inducida en una mina española registrado instrumentalmente?

## *The February 19th 2001 Earthquake (mb 2.6, IGN): a case of induced seismicity instrumentally registered in a Spanish Coal Mine?*

J.M. González-Cortina<sup>1</sup>, J.A. Pulgar<sup>1</sup>, C. López-Fernández<sup>1</sup>, J. Gallart<sup>2</sup>, J. Díaz<sup>2</sup> y M. Ruiz<sup>3</sup>

1 Dpto. de Geología, Universidad de Oviedo. c/ Jesús Arias de Velasco, s/n. 33005 Oviedo, Asturias. jmgcorti@geol.uniovi.es

2 Dpto. de Estructura y Dinámica de la Tierra, Instituto de Ciencias de la Tierra 'Jaume Almera' (CSIC). c/ Lluis Sole Sabaris, s/n. 08028 Barcelona

3 Dept. of Marine Geosciences, UMR Géosciences Azur, Observatoire de la Côte Azur, 2, Quai de la Darse, BP. 48. 06235 Villefranche sur Mer, France.

**Resumen:** El 19 de febrero de 2001 ocurrió un terremoto de Magnitud mb 2.6 (IGN) en el centro de Asturias. Las formas de onda de ese terremoto eran diferentes a las de los terremotos naturales conocidos en la región. El epicentro del terremoto calculado por el IGN (Instituto Geográfico Nacional), que no encajaba con ninguna estructura geológica activa, sin embargo, estaba muy próximo a dos de las más importantes minas de carbón que la empresa estatal HUNOSA (Hulleras del Norte, S.A.) tiene en Asturias, los pozos San Nicolás (Mieres) y Montsacro (Morcín-Riosa). Cabía la posibilidad de que ese evento pudiese ser un ejemplo de terremoto inducido por la actividad minera. Con objeto de profundizar en su origen se instaló una red sísmica temporal de detalle centrada en el epicentro calculado por el IGN y de radio unos 3 km. Durante un periodo de registro de un año se detectaron más de 300 pequeños eventos claramente diferenciados de la actividad minera diaria. Las características de algunos de esos eventos podrían confirmar la presencia de un foco de sismicidad inducida por las minas de esa comarca que explicaría el terremoto de 2001.

**Palabras clave:** Sismicidad Inducida, Minas, Red Sísmica.

**Abstract:** On February 19th 2001 a 2.6 (mb, IGN) magnitude earthquake occurred in the centre of Asturias (NW of Spain). The waveforms for this earthquake were quite different from those of natural earthquakes recorded in this region. The epicentre of this earthquake calculated by the Spanish National Geographic Institute (IGN) did not match any active known geological structure. In addition to this, it was very close to two of the most important active coal mines that HUNOSA mining company has in Asturias, "San Nicolás" (Mieres) and "Montsacro" (Morcín – Riosa). The 2001 event could be an example of earthquake induced by mining activity. In order to study in deep the origin of this earthquake, a provisional high resolution seismic network was installed in a 3 km radius area, centred on the epicentre calculated by the IGN. More than 300 small events, which are clearly not related to the daily mining activity, were detected in one year. The characteristics of some of those events could confirm the presence of a focus of mining induced seismicity that could be under the 2001 earthquake.

**Key words:** Induced Seismicity, Mines, Seismic Network.

## INTRODUCCIÓN

El 19 de febrero de 2001 ocurrió un terremoto al E de la localidad de La Vega de Riosa (Asturias). Para este terremoto el Instituto Geográfico Nacional calculó una Magnitud mb de 2.6 y una Intensidad EMS de II en el pueblo de Vistrimir (Mieres, Asturias). Por medio de una red sísmica portátil que estaba operativa en aquel momento, la red del proyecto GASPI, se obtuvieron muy buenos registros en seis estaciones que rodeaban el epicentro de este evento. Al observar las formas de onda de los sismogramas de ese terremoto en esas seis estaciones, se pudo comprobar que eran muy diferentes a los de los terremotos naturales que habitualmente se registraban en Asturias con la misma red.

Al E de la La Vega de Riosa, la zona epicentral de ese terremoto, no hay ninguna estructura geológica activa actualmente que pueda explicar un terremoto de esa Magnitud. Sin embargo, se ubican dos de las minas de carbón explotadas en interior más importantes que la empresa HUNOSA (Hulleras del Norte, S.A.) mantiene aún activas en la región asturiana, los pozos "San Nicolás" y "Montsacro", así como otras muchas antiguas explotaciones de montaña hoy en día abandonadas. Las características tan peculiares de los sismogramas de esos dos terremotos podían encajar con las de una sismicidad inducida por las labores mineras.

La sismicidad inducida por minería es hoy en día un fenómeno conocido y ampliamente estudiado

mundialmente. Las excavaciones mineras en profundidad producen variaciones en los campos locales de esfuerzos, los materiales no soportan la presión y se fracturan. No se requieren fracturas preexistentes ni un esfuerzo inicial anormal (Gough, 1980). Una buena descripción de la evolución histórica en el conocimiento de este tema se puede encontrar en (McGarr *et al.*, 2002).

Los terremotos inducidos por las labores mineras se dividen habitualmente en dos grandes grupos (Gibowicz y Kijko, 1994). En un primer grupo se incluyen los terremotos asociados a fallas preexistentes que son reactivadas por la nueva distribución de esfuerzos. En el segundo grupo se incluyen los terremotos originados por fracturas en material hasta entonces intacto. Son los terremotos de este segundo grupo los que presentan una serie de características que los diferencian de los terremotos normalmente asociados a la actividad sísmica natural. Las peculiaridades del terremoto de febrero de 2001 parecían encajar con las características de la sismicidad inducida de ese segundo grupo descritas por distintos autores. Con objeto de estudiar el origen de este terremoto en julio de 2004 se instaló una nueva red sísmica temporal en el entorno de los pozos mineros que la empresa HUNOSA tiene en los municipios de Mieres, Riosa y Morcín: “San Nicolás” y “Montsacro”.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

La zona de estudio está situada dentro del Macizo Ibérico, en la Zona Cantábrica (Julivert *et al.*, 1972), ocupando el extremo más noroccidental de la Cuenca Carbonífera Central, que limita con la Unidad del Aramo, una de las unidades de la Región de Pliegues y Mantos (Fig. 1).

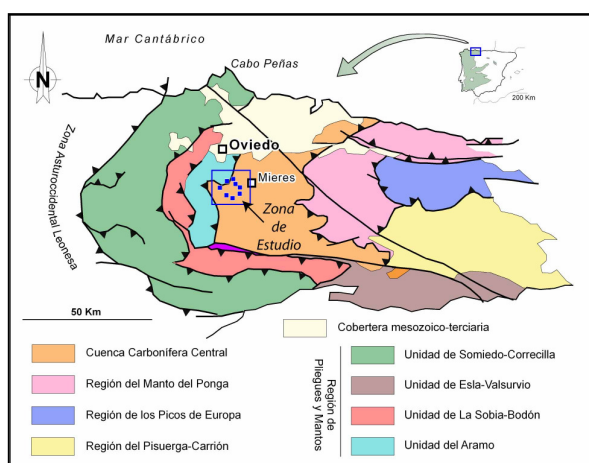


FIGURA 1. Situación de la zona de estudio en el contexto geológico regional.

## RED SÍSMICA

Para la realización del estudio se dispuso una red constituida por 8 estaciones en registro continuo. Se emplearon 2 tipos de estaciones de registro sísmico, 4

estaciones RefTek modelo 72A-07G, y 4 estaciones Lennartz-electronics modelo MARSlite. Se utilizaron geófonos de tres componentes Lennartz-electronics, modelos LE-3Dlite (período propio 1s) y LE-3D/20s (período propio 20s), y Mark-Products modelo L4 (período propio 1 s). El intervalo de muestreo elegido para el experimento es de 16 ms (62,5 muestras por segundo) en el caso de las estaciones Lennartz-electronics, y de 20 ms (50 muestras por segundo) en el caso de las estaciones RefTek. Los equipos estaban instalados en la superficie, siguiendo una distribución circular de unos 3 km de radio con las principales zonas de explotación de los dos pozos mineros en su interior (Fig. 2). La red comenzó su funcionamiento en julio de 2004 y se mantuvo operativa hasta diciembre de 2005.

Los datos del registro continuo fueron analizados por medio de lo que se denomina un algoritmo de disparo. Los cálculos hipocentrales se realizaron por medio de los programas *sac2000* (Goldstein *et al.*, 1996; Goldstein *et al.*, 2003) e *HYPO-71* (Lee y Larh, 1975). Se utiliza un modelo de velocidades de onda P compuesto por siete capas horizontales, basado en los modelos regionales de velocidades de Fernández-Viejo *et al.*, (2000) y Pedreira *et al.*, (2003), con modificaciones superficiales locales que dotan al modelo de mayor precisión. En los primeros 1,5 km se han introducido dos capas de velocidades 3,5 km/s y 4 km/s respectivamente, del orden de las que se pueden esperar del tipo de rocas más superficiales de la zona de estudio. Esos valores se han extraído del trabajo de Torres-Alonso *et al.*, (1998) en una zona similar.

## RESULTADOS

Dentro del círculo determinado por la red, se ha podido detectar más de 300 eventos sísmicos que no se corresponden con la numerosa actividad artificial de los dos pozos mineros; las formas de onda de todos esos eventos son en general fácilmente distinguibles de las voladuras de interior. Se ha calculado una solución hipocentral para todos estos más de 300 eventos.

La profundidad de los eventos encontrados es del orden de la profundidad de la explotación, en ningún caso es superior. Esto ya se podía deducir de la diferencia de tiempos de llegada entre las ondas P y S, que siempre es de unos 0,3 s en las estaciones más cercanas a los epicentros, muy similar a la encontrada en los eventos artificiales. La planta más profunda de los dos pozos está a una profundidad de 570 m medidos desde de la entrada del pozo, 1.271 m si la medimos desde el punto más alto de la zona de estudio.

La distribución espacial de los eventos no artificiales se manifiesta en cuatro focos principales que se han denominado foco “Esperanza”, foco “Llosorio”, foco “Montsacro” y foco “Nicolasa”, y su ubicación dentro de la red se puede observar en la Figura 2. De entre estos cuatro focos destaca por la

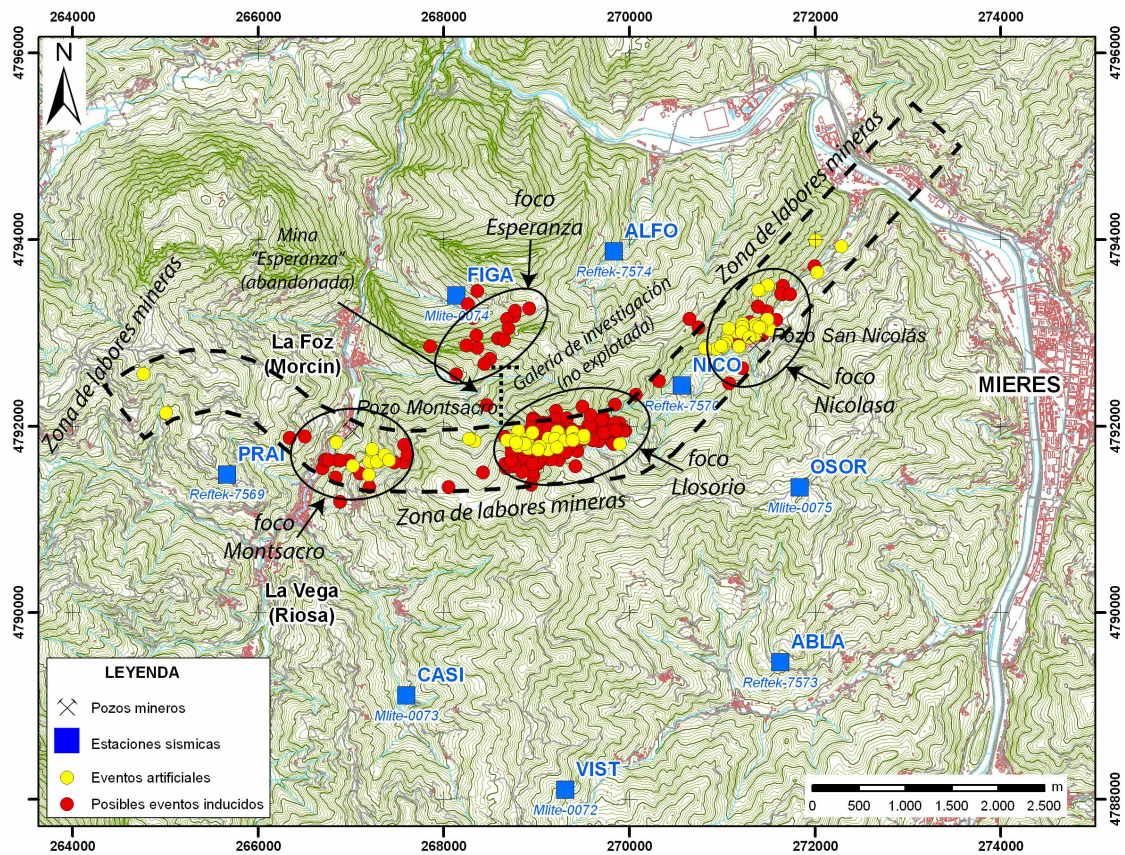


FIGURA 2. Posición de los posibles focos de sismicidad inducida encontrados en el interior de la red, situados en el contexto de las labores mineras de los dos pozos. La línea discontinua representa la proyección en superficie de las labores mineras de interior. Se ha señalado la bocamina de la antigua mina de montaña "Esperanza", actualmente abandonada.

localización de los eventos y tamaño de los mismos el foco "Esperanza".

La situación de este foco está relativamente alejada de las zonas explotadas actualmente, sobre una antigua mina de montaña llamada mina "Esperanza". En este foco se han localizado más de veinte eventos, algunos de los cuales han sido los de mayores tamaños ocurridos durante el periodo de registro continuo. El más grande de los eventos localizados en ese foco fue también detectado por la red del IGN, asignándole una Magnitud 1.5 (mbLg). Esos más de veinte eventos registrados no han sido un hecho puntual o aislado, se fueron produciendo a lo largo de todo el periodo de registro de la red. Normalmente ocurrían de forma independiente, si bien la noche del terremoto de mbLg 1.5 hubo 3 pequeñas réplicas.

Las formas de onda de los eventos del foco "Esperanza" muestran detalles como la polaridad de la primera llegada, casi siempre negativa (implosiva), o la escasa amplitud relativa entre las ondas S y las ondas P, características destacadas que se citan habitualmente en la literatura internacional para los terremotos inducidos (Gibowicz y Kijko, 1994). Se puede ver un ejemplo de los sismogramas de un evento de este foco en la Figura 3.

DISCUSIÓN

Los resultados expuestos en el apartado anterior muestran que en la zona de estudio hay varios posibles focos de sismicidad inducida. En este trabajo, la atención se va a centrar en el que parece ser el foco más importante, el que ha deparado durante estos meses de investigación el terremoto de mayor Magnitud, catalogado por el IGN.

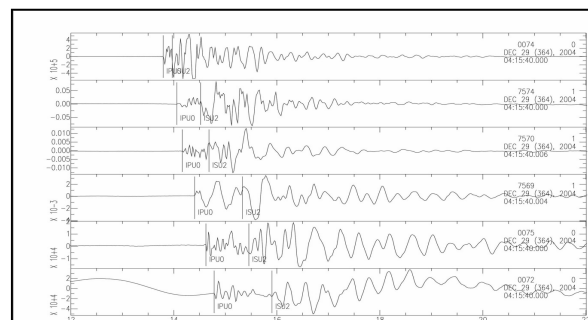


FIGURA 3. Sismogramas de los canales verticales de un evento del foco "Esperanza".

Los eventos del foco "Esperanza" presentan características de los terremotos inducidos (polaridad de la primera llegada casi siempre negativa, escasa amplitud relativa entre las ondas S y P). Las formas de ondas de los sismogramas de estos eventos son muy parecidas a las registradas en el terremoto de 2001. La

comparación directa entre ellas es difícil porque no hay ninguna estación de las redes portátiles coincidentes. Sin embargo sí se han podido comparar las formas de onda de la estación de la red sísmica nacional ERUA, cedidas por el IGN, para los dos terremotos catalogados en la zona. Salvando la importante diferencia de Magnitud entre ambos terremotos, el encaje de los sismogramas es aceptable, por lo que éste podría ser el foco que explicase el terremoto de 2001 (Fig. 4).

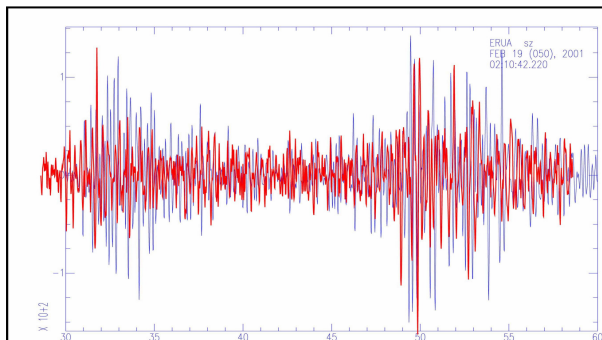


FIGURA 4. Sismogramas de la estación de ERUA, perteneciente al IGN, que sólo tiene el canal vertical. Se han superpuesto los sismogramas de los dos terremotos catalogados buscando los puntos de similitud. El de color azul corresponde al terremoto de febrero de 2001; e l de color rojo al de diciembre de 2004.

Un hecho llamativo es que el foco “Esperanza” está alejado de la zona de actividad minera actual. Se sabe que bajo la zona donde se sitúan sus epicentros se abrió en su día una galería de investigación desde el pozo “Montsacro”, si bien el material jamás llegó a ser explotado y los trabajos se abandonaron (información facilitada por la Dirección General de Minas del Principado de Asturias). Sí hay en esa zona una antigua explotación de montaña actualmente abandonada, mina “Esperanza”. Según la información facilitada por el Archivo Histórico de la Minería “Pozu Fondón”, perteneciente a la empresa HUNOSA, esta mina ha estado explotándose durante más de 100 años y puede llevar abierta más de 150 años. Estaba ya en explotación en la segunda mitad del siglo XIX y en 1969 aún continuaba produciendo, la fecha de su cierre no ha podido ser confirmada, pero seguramente se tuvo lugar a principios de la década de 1970, época en que se fueron cerrando todas las minas de montaña.

## CONCLUSIÓN

En el entorno de los pozos mineros “San Nicolás” y “Montsacro” podría haber varios focos de sismicidad inducida por las labores mineras, uno de ellos capaz de producir terremotos de Magnitud 2.6 (mb, IGN), como el ocurrido en febrero de 2001. Es posible que este foco no esté relacionado con la actividad minera actual y sea consecuencia de las labores realizadas en la mina de montaña “Esperanza”, abandona desde hace treinta años.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos AMB98-1012-C02-02 (GASPI), REN2001-1734-CO3-02/MAR (MARCONI), y por el proyecto CSD2006-0041 “Topo-Iberia” del programa CONSOLIDER-Ingenio 2010. Se agradece la información facilitada por la Dirección General de Minas del Principado de Asturias, por el Archivo Histórico de la Minería “Pozu Fondón” de la empresa HUNOSA y por el Instituto Geográfico Nacional.

## BIBLIOGRAFÍA

- Fernandez-Viejo, G., Gallart, J., Pulgar, J. A., Cordoba, D. y Dañobeitia, J. J. (2000): Seismic signature of Variscan and Alpine tectonics in NW Iberia: Crustal structure of the Cantabrian Mountains and Duero basin. *Journal of Geophysical Research*, 105 (B2): 3001-3018.
- Gibowicz, S.J. and Kijko, A. (1994): *An introduction to mining Seismology*. Academic Press.
- Goldstein, P. and Minner, L. (1996): SAC2000: Seismic Signal Processing and Analysis Tools For the 21st Century. *Seismological Research Letters*, 67, 39.
- Goldstein, P., Dodge, D., Firpo, M. and Minner, L. (2003): SAC2000: Signal processing and analysis tools for seismologists and engineers. En: *The IASPEI International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*". Editado por WHK Lee, H. Kanamori, P.C. Jennings, y C. Kisslinger, Academic Press, London.
- Gough, D.I. (1980): Sismicidad Inducida. En: *Terremotos*. Unesco, 95-123.
- Julivert, M., Fontboté, J.M., Ribeiro, A. y Nabais-Conce, L.E. (1972): *Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares, 1:1.000.000*. IGME, Memoria explicativa, 113.
- Lee, W.H. and Lahr, J.C. (1975): HYPO71 (revised): A computer program for determining hypocenters, magnitudes and first motion pattern of local earthquakes. *U.S. Geol. Surv. Open File report 75-311*, 116 pp.
- McGarr, A., Simpsom, D. and Seeber, L. (2002): Case Histories of Induced and Triggered Seismicity. En: *International Handbook of EARTHQUAKE and ENGINEERING SEISMOLOGY*, PartA. Academic Press, pages 647-661.
- Pedreira, D., Pulgar, J.A., Gallart J. y Díaz J. (2003): Seismic evidence of Alpine crustal thickening and wedging from the Western Pyrenees to the Cantabrian Mountains (North Iberia). *Journal of Geophysical Research*, 108 (B4), 2204, doi:10.1029/2001JB001667.
- Torres-Alonso, M., Gutiérrez-Claverol, M., Rodríguez-Bouzo, L. y Sánchez-Fernández, B. (1998): Comportamiento de las ondas sísmicas en macizos paleozoicos del valle de Bernesga (norte de León). *Ingeniería Civil (CEDEX)*, 109, páginas 133-138.