

Estructura del sistema frontal de cabalgamientos en el Pirineo Oriental: control estratigráfico en la geometría y secuencia de emplazamiento de los cabalgamientos.

Structure of the southeastern Pyrenees frontal thrust system: stratigraphic control in both geometry and thrusting sequence.

D. A. Bello¹, M. López-Blanco², J. A. Muñoz¹, E. Roca¹, J. M. Casas¹, M. Marzo²

1 Dept. Geodinàmica i Geofísica, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona. 08028 Barcelona. danielbello@ub.edu

2 Dept. Estratigrafia, Paleontologia i Geociències Marines, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona. 08028 Barcelona.

Resumen: El manto del Cadí, la unidad estructural más extensa del Pirineo Oriental meridional, involucra cerca de 5 km de sucesión paleógena depositada en una cuenca de antepaís. Esta secuencia constituye un sistema petrolífero que ha sido explorado desde el año 1960 y suprayace discordantemente un basamento Paleozoico involucrado en el apilamiento antiformal que caracteriza el centro de la cordillera. En el antepaís, la sucesión paleógena presenta un espesor menor y está constituida por un conjunto de facies diferente, en general más somera. La interpretación de datos sísmicos reprocesados recientemente y su integración con datos de superficie y de sondeos son la base de un nuevo modelo estructural del área. La presencia de un espesor anómalo de una serie de rocas evaporíticas por debajo del sinclinal de Ripoll (2000m perforados en el sondeo El Serrat-1) ha sido interpretada como asociada a un cambio lateral de facies entre una formación turbidítica (Campdevàrol) septentrional, la formación evaporítica de Beuda y una formación carbonática meridional (Perafita) y a su apilamiento en un dúplex.

Palabras clave: Pirineo, evaporitas, Cuenca del Ebro, cabalgamiento, antepaís.

Abstract: *The Cadí thrust sheet in the South-eastern Pyrenean fold and thrust belt involves an up to ~5 km thick succession of Palaeogene foreland basin sediments deposited in front of the upper thrust sheets of the southern Pyrenees stack. These strata are unconformably overlaying Palaeozoic basement rocks involved into an antiformal stack at the northern part of the studied area. . They constitute a hydrocarbon system, which has been explored since the 1960. In the foreland, the Paleogene succession is thinner and shows a different facies arrangement. The interpretation of recently reprocessed seismic data (Final Stack and Final Migration) and their integration with surface and well data have been the basis for a new structural model of the area. The presence of an anomalous thick series of evaporitic rocks underneath the Ripoll Syncline (unexpectedly drilled for 2000 m in the El Serrat-1 Well) has been interpreted as a stratigraphic unit passing laterally to turbidites (northwards) and shallow water carbonates (southwards) which has been tectonically repeated into a duplex.*

Key words: *Pyrenees, evaporites, Ebro Basin, thrust, foreland, facies belts*

INTRODUCCIÓN

El sector meridional del Pirineo Oriental incluye, como principal unidad estructural, el manto del Cadí, al sur y por encima de los mantos inferiores de la Zona Axial constituidos por rocas del basamento hercínico (Muñoz, 1985, Vergés, 1993). Tanto el antepaís deformado de la Cuenca del Ebro como el Manto del Cadí están constituidos por una potente serie paleógena que yace discordante por encima del zócalo paleozoico y ocasionalmente rocas mesozoicas. En el sector estudiado del Pirineo Oriental se destacan dos estructuras de dirección E-W: el cabalgamiento de Vallfogona, que constituye el límite entre el Manto del Cadí y el antepaís, y el sinclinal de Ripoll, que representa el rasgo estructural más significativo del Manto del Cadí (Fig. 1). Este sinclinal presenta una amplitud variable (~10 km) y se extiende a lo largo de ~64 km, al igual que la mayoría de estructuras presentes en la zona. El

Pirineo Oriental ha sido objeto de diversas campañas de exploración petrolera desde 1960, que ha generado una gran cantidad de información del subsuelo. Asimismo, esta zona ha sido objeto de un gran número de publicaciones y trabajos sobre la estratigrafía y en menor cantidad de la estructura. La perforación del sondeo El Serrat-1 en 1987, por parte de Union Texas España Inc., planteó un nuevo problema en la comprensión estructural de la zona, al revelar la verdadera profundidad del cabalgamiento de Vallfogona y poner en evidencia un paquete evaporítico (~2000 m) hacia la parte inferior del sondeo que fue atribuido a una nueva unidad estructural denominada unidad del "Serrat", situada por debajo del Manto de Cadí. (Vergés y Martínez, 1988; Muñoz et al., 1988; Clavell et al., 1988; Martínez et al., 1989; Vergés, 1993; Muñoz et al., 1994; Casas et al., 1996; Martínez et al., 1997).

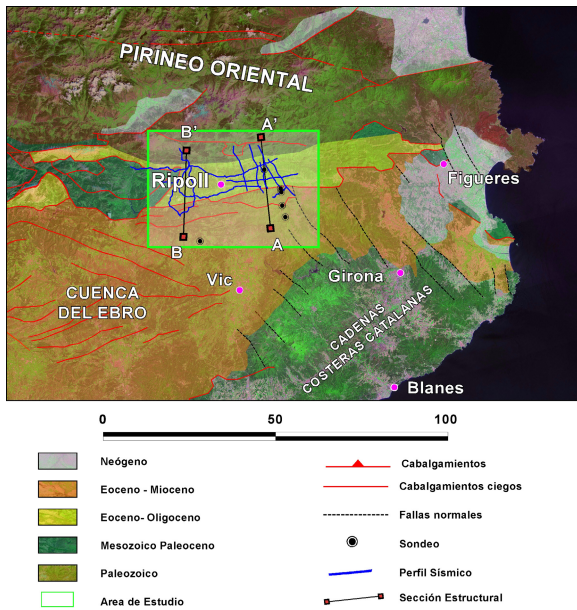


FIGURA 1. Mapa estructural resumido del Pirineo Oriental (Modificado de Vergés, 1998) con la localización de los perfiles sísmicos, sondeos y secciones estructurales.

METODOLOGÍA

Este trabajo está basado en la interpretación de 11 perfiles sísmicos adquiridos durante la década de 1980 y que recientemente fueron reprocesados por la Compañía Española de Petróleos S.A. (CEPSA) y en el estudio de los logs correspondientes a 7 sondeos petroleros que atraviesan tanto el antepaís como el sinclinal de Ripoll. La geometría de la estructura se ha establecido a partir de la interpretación sísmica teniendo en cuenta las diferentes versiones de los perfiles (Final Stack y Final Migration) con el fin de aprovechar los reflectores que se pierden en las diferentes etapas del procesado y que pueden representar discontinuidades importantes como fallas o discordancias (Fig. 2). En los perfiles se puede identificar un basamento basculado en dirección NW. Asimismo, en el antepaís se reconocen reflectores que corresponden a las formaciones paleógenas de Beuda, Banyoles y Coubet que varían su carácter sísmico de un perfil a otro, aunque son igualmente reconocibles. En el sinclinal de Ripoll se han identificado los reflectores correspondientes al techo de las formaciones Coubet, Banyoles y Campdevàrol. Esta información se ha integrado con datos de superficie y los sondeos perforados en el área de estudio. A partir de la interpretación de los perfiles sísmicos se ha elaborado un modelo estructural representado por 2 cortes geológicos (N-S) a través del sinclinal (Fig. 3). El primer corte, Bellmunt-El Serrat, pasa por el sondeo de El Serrat-1. y en él se ha integrado además la información de 4 sondeos perforados cerca de la traza de corte: Ridaura-1, Ridaura-2, San Privat-1 y Joanetas-1 (Fig. 1 y 3). El segundo corte, Les Lloses-Montgrony, está localizado unos 20 km al oeste del primero y para su realización sólo se ha contado con un sondeo perforado en el antepaís: Perafita-1 (Fig. 1 & 3).

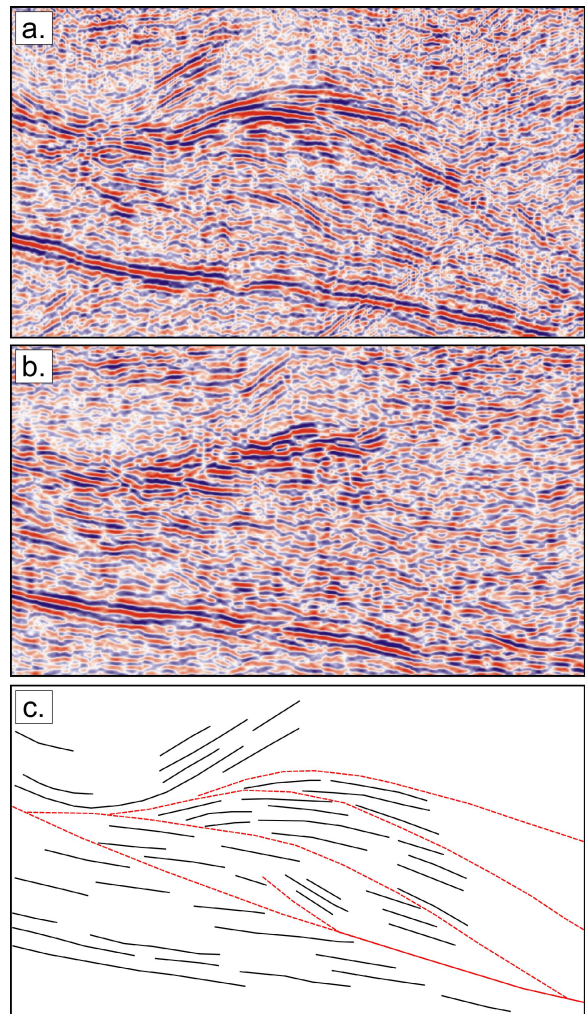


FIGURA 2. Comparación de la calidad de la información en diferentes versiones del perfil sísmico UTC-85-101 a. Final Stack, b. Final Migration, c. Interpretación estructural.

ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE CABALGAMIENTOS

En los cortes obtenidos se observa que el sinclinal de Ripoll está formado por el apilamiento de unidades que involucran rocas del basamento (flanco norte) y a partir de la emergencia del cabalgamiento de Vallfogona en su flanco sur (Fig. 3). Este cabalgamiento es un cabalgamiento fuera de secuencia dado que afecta materiales sin-tectónicos que fosilizan estructuras en su bloque inferior. y corta pliegues. Los demás cabalgamientos principales presentan una secuencia normal de bloque inferior. En la versión Final Stack de los perfiles sísmicos N-S se puede reconocer, por debajo del flanco norte del sinclinal de Ripoll, una serie de truncaciones que han sido interpretadas como cabalgamientos (Fig 2). De esta manera, el espesor de evaporitas hallado en el sondeo no representaría una única unidad estructural, sino que resultaría de una serie de repeticiones de la Fm. Beuda en las diferentes láminas cabalgantes de un dúplex. En los perfiles sísmicos E-W también se reconocen truncaciones entre las diferentes láminas. Hacia el antepaís los cabalgamientos suben en la serie

y utilizan niveles estratigráficos más altos como nivel de despegue (de las evaporitas de la Fm Beuda a las lutitas de las Fms. Banyoles y Bellmunt). Existen también estructuras antiformes en el bloque inferior del cabalgamiento de Vallfogona que en profundidad son bastante apretadas y que han sido suavizadas en superficie por la sedimentación sintectónica. La estructura más representativa del antepaís deformado es el anticlinal de despegue de Bellmunt. El nivel de despegue se sitúa entre las calizas de la Fm. Peña y las evaporitas de la Fm. Beuda. Su localización estaría controlada por el acunamiento hacia el sur de las evaporitas de la Fm. Beuda.

CONTROL ESTRATIGRÁFICO DE LAS ESTRUCTURAS

En los cortes y el esquema estratigráfico, las facies paleógenas reflejan una profundización de la cuenca en dirección N (Fig. 3). Los diferentes cinturones de facies muestran un desplazamiento generalizado hacia el S, produciéndose un retroceso de las plataformas carbonáticas del margen S y un avance hacia la cuenca de los sistemas detríticos de procedencia N, asociados al despalzamiento hacia el S de las diferentes unidades cabalgantes (Puigdefàbregas et al., 1986). Este desplazamiento hacia el sur de los depocentros da lugar a la superposición de facies de centro de cuenca (evaporitas, margas y turbiditas) sobre facies marginales de plataforma carbonática. La diferente competencia entre unos materiales (carbonatos) y otros favoreció la generación de importantes niveles de despegue (rellanos entre unidades superpuestas en la vertical y rampas asociadas a los cambios laterales de facies existentes entre formaciones diferentes). Uno de los principales niveles de despegue son las evaporitas de la Fm. Beuda que, a partir del estudio y correlación de sondeos y del estudio de datos de superficie, se ha podido establecer como una unidad lateralmente equivalente a plataformas carbonáticas en el margen S de la cuenca (Fm. Perafita) y a los sistemas turbidíticos de la Fm. Campdevàrol hacia el N y E.

CONCLUSIONES

El gran espesor de evaporitas perforado en el sondeo de El Serrat ha sido interpretado como el resultado de un dúplex de láminas que en su sector frontal involucran las evaporitas de la Fm. Beuda. La geometría y posición de la parte frontal del dúplex condiciona la geometría del sinclinal de Ripoll y las variaciones longitudinales de la estructura a lo largo de su flanco norte. Asimismo, la geometría y localización de los cabalgamientos de la zona están controladas por el límite entre las facies de plataforma carbonática al sur y sus equivalentes de

cuenca (margas, turbiditas y evaporitas) más al norte y la posición de las evaporitas de la Fm. Beuda.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por CEPSA y los proyectos: MODES-4D (CGL2007-66431-C02-01/BTE) y REMOSS 3D-4D (CGL2007-66431-C02-02/BTE). Se ha desarrollado en el Grupo de Geodinámica y Análisis de Cuenca Números, y en el Centro Mixto de Investigación Geomodels. Agradecemos al Departamento de Exploración y Producción de CEPSA toda la información y ayuda facilitadas.

REFERENCIAS

- Casas, J.M., Durney, D., Ferret, J. y Muñoz, J.A. (1996): Determinación de la deformación finita en la vertiente sur del Pirineo oriental a lo largo de la transversal del río Ter. *Geogaceta*, 20: 803-805.
- Clavell, E., Martínez, A. y Vergés, J. (1988): Morfologia del basament del Pirineu oriental: evolució i relació amb els mantells de corriment; *Acta Geològica Hispànica*, 23:129-140.
- Martínez, A., Vergés, J., Clavell, E. y Kenedy, J. (1998): Stratigraphic framework of the thrust geometry and structural inversion in the southeastern Pyrenees: La Garrotxa area. *Geodinamica Acta*, 3: 185-194.
- Martínez, A., Rivero, L. y Casas, A (1997): Integrated gravity and seismic interpretation of duplex structures and imbricate thrust systems in the southeastern Pyrenees (NE Spain). *Tectonophysics*, 282: 303-329.
- Muñoz, J.A., Casas, J.M., Martínez, A. y Vergés, J. (1988): An introduction to the structure of the Southeastern Pyrenees: The Ter-Freser cross-section - Excursion Guide. En Symposium on the Geology of the Pyrenees and Betics, Barcelona, 85 p.
- Muñoz, J.A., Vergés, J., Martínez-Rius, A., Fleta, J., Pujadas, J., Tosquella, J., Samsó, J.M., Sanz, J., Saula, E., Mató, E., Barberà, M., Casas, J.M. y Cirés, J. (1994), Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 256 (Manlleu). IGME, Madrid.
- Puigdefàbregas, C., Marzo, M. Muñoz, J.A. (1986): Thrust belt development in the Eastern Pyrenees and related depositional sequences in the southern foreland basin. *Spec. Publ. Int. Ass. Sedim.*, 8: 229-246.
- Vergés, J. (1993): *Estudi tectònic del versant sud del Pirineu central i oriental. Evolució cinemàtica en 3D*. Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona, 203 p.
- Vergés, J. y Martínez, A. (1988): Corte compensado del Pirineo oriental: Geometría de las cuencas de antepaís y edades de emplazamiento de los mantos de corrimiento. *Acta Geològica Hispànica*, 23: 95-105.

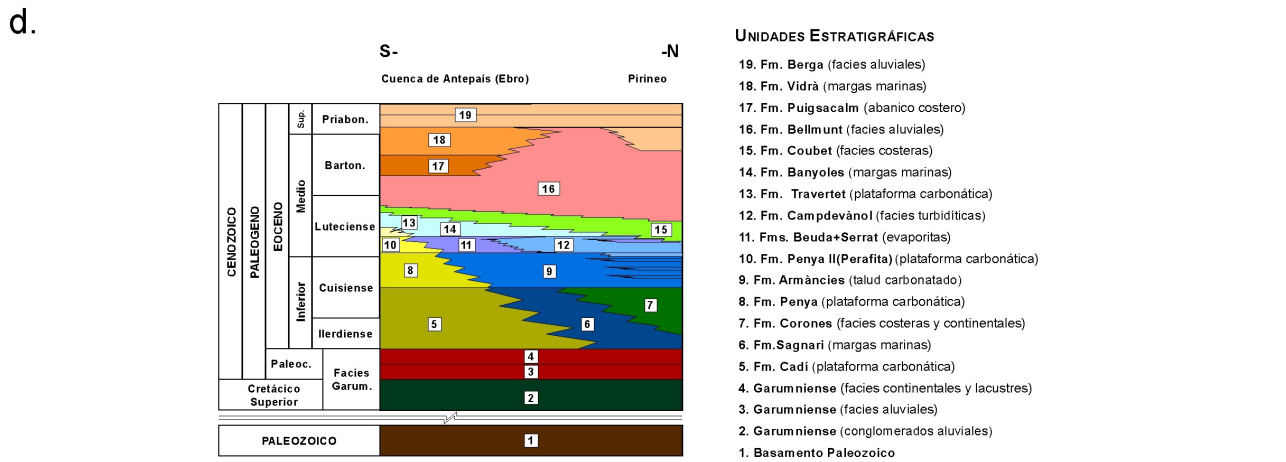
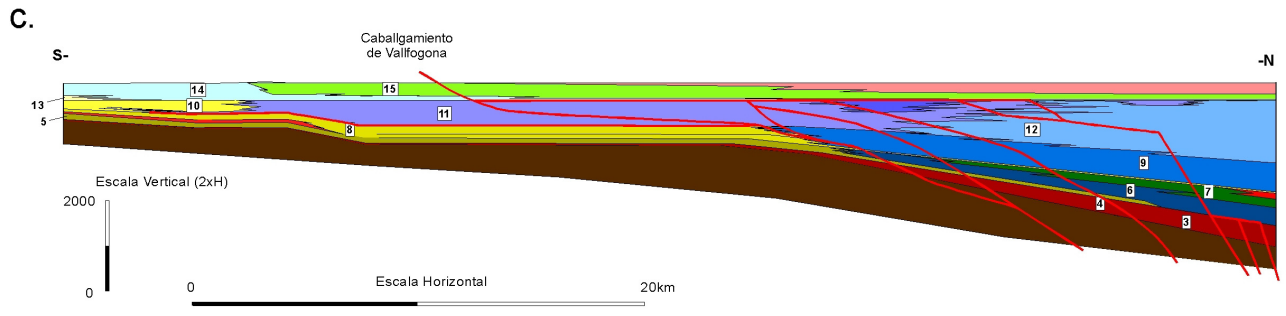
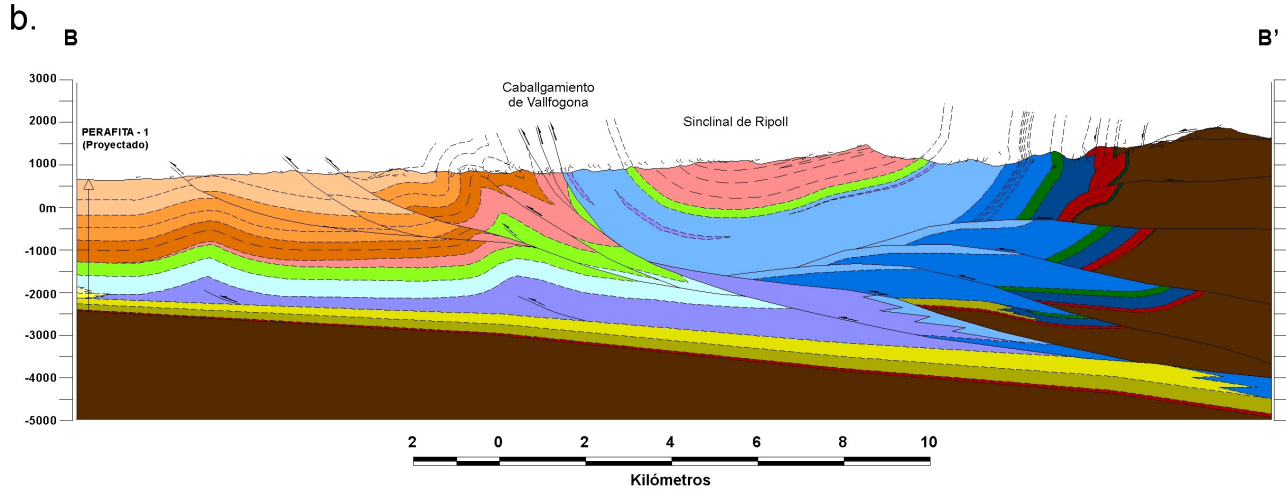
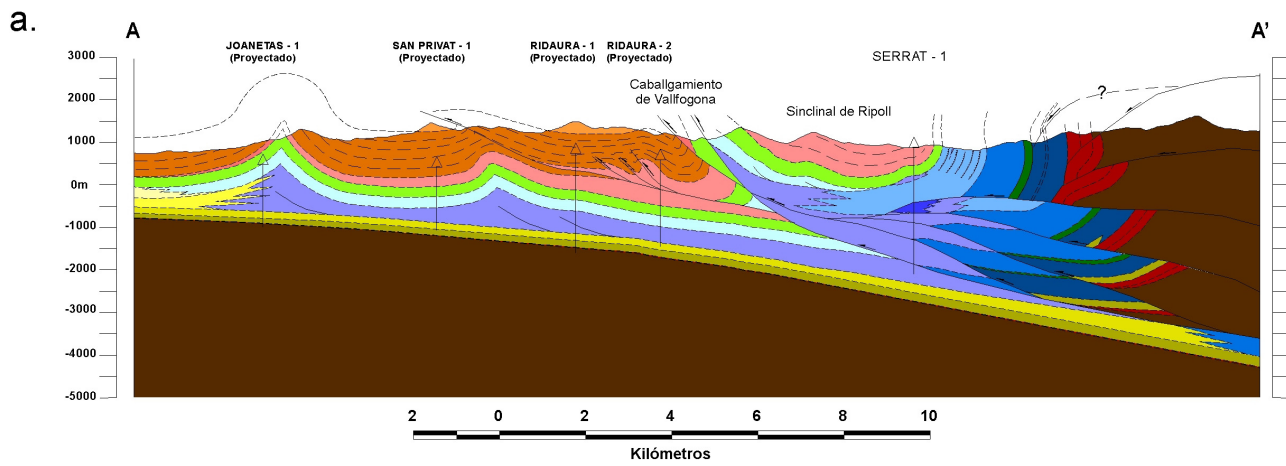


FIGURA 3. Interpretación estructural y estratigráfica de la zona del Ripollès. **a.** Sección Estructural Bellmunt-Serrat, **b.** Sección Estructural Les Lloses-Montgrony, **c.** Esquema de distribución de facies del las unidades de la zona, incluyendo la traza (en rojo) de los futuros cabalgamientos **d.** Unidades y asociaciones de facies.