

Estructura y evolución tectónica del sector oriental del margen continental cantábrico: resultados de los perfiles de sísmica multicanal MARCONI

Structure and tectonic evolution of the eastern cantabrian margin: Results from the MARCONI multichannel seismic Data

J.A. Pulgar^{1,5}, G. Fernández-Viejo^{1,5}, J. Gallastegui^{1,5}, J. Gallart^{2,5}, B. Benjumea³, R. Bartolomé⁴, M. Ruiz^{2,5}, O. Ferrer³ y Grupo MARCONI

1 Dpto. Geología, Universidad de Oviedo, Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo. pulgar@geol.uniovi.es; gaby@geol.uniovi.es; jorge@geol.uniovi.es

2 Dpto. Estructura y Dinámica de la Litosfera, ICTJA, CSIC Barcelona, Lluís Solé i Sabarís s/n, Barcelona 08028. jgallart@ija.csic.es

3 Dpto. Geodinámica y Geofísica, Universidad de Barcelona, Martí i Franquès s/n, Barcelona 08028. benjumea@ub.edu; joferrer@ub.edu

4 UTM, CMIMA, CSIC, Barcelona, Passeig Marítim de la Barceloneta, 37-49, 80003 Barcelona. rafael@utm.csic.es

5 Equipo CONSOLIDER "Topo-Iberia"

Resumen: El Golfo de Vizcaya se formó durante el Cretácico como consecuencia de la apertura del Océano Atlántico. La convergencia entre las placas Euroasiática e Ibérica durante el Cenozoico dio lugar al levantamiento de la cordillera pirenaico-cantábrica y al cierre parcial del Golfo de Vizcaya. La mayor parte de esta deformación tiene lugar en el margen Noribérico, haciendo de este área un lugar único para estudiar los estadios iniciales de la deformación de un margen pasivo. En el verano de 2003, el experimento sísmico MARCONI permitió adquirir 11 perfiles de sísmica de reflexión vertical profunda utilizando el buque Hespérides, lo que ha proporcionado una nueva imagen 3D de la estructura cortical del sector SE del Golfo de Vizcaya. Los datos muestran que la estructura de este margen se caracteriza por una espesa secuencia de sedimentos meso-cenozoicos (hasta 4 s TWT, hasta > 6 km) parcialmente deformada por cabalgamiento y pliegues asociados, vergentes al N. Se han diferenciado tres conjuntos sedimentarios separados por discordancias que se corresponden con las secuencias alpinas pre-, sin- y posttectónicas. Los datos sísmicos muestran también la existencia de cuencas mesozoicas con evidencias de inversión tectónica y la existencia de fallas y estructuras laterales coincidiendo con los importantes cañones submarinos de dirección aproximada N-S. Teniendo también en cuenta otros datos geofísicos, la estructura general del sector SE del Golfo de Vizcaya se ha interpretado como una corteza continental adelgazada o transicional deslizada hacia el S por debajo del extremadamente abrupto y muy deformado talud continental Noribérico.

Palabras clave: Golfo de Vizcaya, Margen Cantábrico, Sísmica de Reflexión, MARCONI.

Abstract: The Bay of Biscay formed during the Cretaceous as a consequence of the opening of the North Atlantic. The convergence between the Iberian and Eurasian plates during the Cenozoic resulted in the building of the Pyrenean-Cantabrian Mountains on land, and the partial closure of the Bay of Biscay. The main part of this deformation and shortening occurs in the North Iberian Margin, making this area a unique place to study the initial stages of deformation in a passive margin. In summer 2003, 11 deep seismic reflection profiles were acquired in the MARCONI seismic experiment, aboard the Spanish R.V. Hespérides, providing a new 3D image of the structure at the south-easternmost part of the Bay of Biscay. This new data set shows that the structure of this margin is characterized by a thick sequence of Mesozoic-Cenozoic sediments (up 4 s TWT, up > 6 km) partially deformed by northward vergent thrusts and related folds. The interpretation includes three sedimentary sequences separated by unconformities that correspond to the pre, syn and post-tectonic sequences. A Mesozoic sedimentary basin imaged has indications of a Cenozoic tectonic inversion. Evidences of lateral and/or transfer structures coincide with two important North-South striking submarine canyons. The overall crustal structure of the south-easternmost part of the Bay of Biscay has been interpreted as a thinned continental or transitional crust underthrust to the S below the extremely steep North Spanish continental slope.

Key words: Bay of Biscay, Cantabrian Margin, Deep Seismic Reflection, MARCONI.

INTRODUCCIÓN

Desde el Pérmico al Cretácico, la apertura de los océanos Atlántico y Thetys condujo a la formación de márgenes pasivos alrededor del viejo Macizo Varisco

de Iberia. En el NO de la península, varios episodios extensionales (principalmente en el Permotriásico y Jurásico sup-Cretácico inferior) culminaron en el Cretácico superior con la generación de nueva corteza en el Golfo de Vizcaya. Estos procesos de extensión

condujeron a la formación del margen cantábrico y a la individualización de la microplaca Ibérica (Srivastava *et al.*, 1990). Durante el Cenozoico, el movimiento de aproximación entre las placas de Iberia y Europa, estimado por algunos autores en torno a 150 km en dirección NW (Olivet, 1996), transformó este límite de placas en un margen activo cuyo acortamiento dio lugar al levantamiento de la cordillera pirenaico-cantábrica y a una deformación considerable del margen pasivo cretácico.

El margen continental cantábrico se caracteriza por una estrecha plataforma (30-40 km), un talud continental muy corto y abrupto (10-12°), el desarrollo de profundos cañones submarinos, la presencia de plataformas marginales (Le Danois, Santander, Ortegá, Landas) y una fosa al pie del talud rellena de sedimentos. Estas características derivadas de la deformación Alpina lo diferencian de su conjugado en el norte, el margen Armoricano, donde las cuencas extensionales mesozoicas solo fueron ligeramente invertidas. El carácter limitado de la deformación sufrida por el margen Noribérico hacen de este área un lugar privilegiado para estudiar las primeras etapas de la deformación de un antiguo margen pasivo.

En el verano de 2003, el experimento sísmico MARCONI (acrónimo de MARGen COntinental NorIbérico) permitió adquirir 11 perfiles de sísmica de reflexión multicanal utilizando el buque Hespérides, lo que ha proporcionado una nueva imagen 3D de la estructura cortical del sector SE del Golfo de Vizcaya.

ADQUISICIÓN Y PROCESADO DE LOS DATOS

En la campaña MARCONI se registraron más de 1800 km de datos sísmicos a lo largo de 11 perfiles (4 E-O, 5 N-S y 2 oblicuos), con una capa de agua oscilando entre 100 y casi 5000 m (Fig. 1).

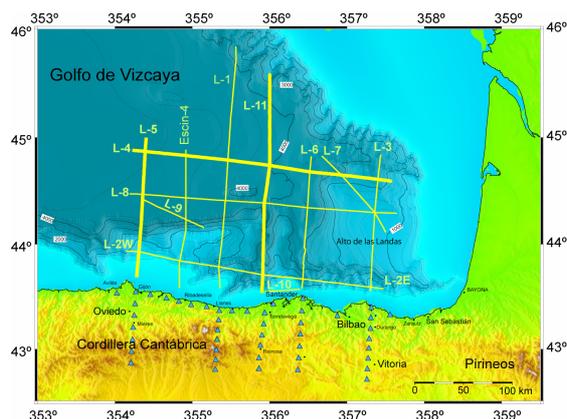


FIGURA 1. Mapa de situación de las líneas sísmicas MARCONI.

Los parámetros de adquisición de la sísmica han venido impuestos por el equipamiento disponible en el buque Hespérides y por haber realizado una adquisición simultánea de datos de gran ángulo utilizando OBS/OBH y estaciones sísmicas en tierra (Tabla I).

FUENTE		
Tipo: Air-guns BOLT	Potencia: variable, 1935 in ³ (L 2W, 7, 8, 11), 2435 in ³ (L 2E,3,4,5,6) and 2690 in ³ (L 1)	
Profundidad: 9 m	Intervalo disparo: 40s (equivalente a 100 m de espaciamiento entre los tiros)	
STREAMER		
Tipo: Teledyne	Longitud: 2400 m	Profundidad: 10 m
Num. grupos: 96	Intervalo grupo: 25 m	Long. grupo: 25 m
REGISTROS		
Long. registro: 18 s	Muestreo: 4 ms	Navegación: GPS diferencial

TABLA I. Parámetros de adquisición de los datos de sísmica de reflexión multicanal MARCONI

Los datos fueron procesados siguiendo la rutina general para la sísmica multicanal marina, utilizando el programa *Globe Claritas*, tal como se muestra en la Tabla II. Un ejemplo de estos perfiles sísmicos se muestra en la figura 2.

PRE-STACK
1) Muestreo 8 ms; 2) edición datos; 3) adición geometría y posiciones CMP a las cabeceras (espaciado CMP:12.5 m. Fold:12); 4) balance de amplitudes: corrección divergencia esférica; 5) filtrado de frecuencia variable tiempo; 6) sección "common offset"; 7) deconvolución en shot domain. Operador: 240 ms Gap:24ms; 8) CMP gathering; 9) "brute stack" con una función de veloc. Preliminary; 10) análisis de velocidades cada 10-100 CMP, paneles de semblanza y velocidad constante; 11) corrección "normal move-out"; 12) STACK
POST-STACK
13) Mezclado de trazas (7 traces weights: 1:3:5:7:5:3:1); 14) mute de la capa de agua; 15) migración tiempo 16) AGC para imprimir, longitud 2s

TABLA II. Flujo de procesado estándar para las líneas MARCONI

Sobre la parte de los perfiles con mayor interés estructural se ha realizado una migración en profundidad antes del "stack" (*PSDM: Pre-Stack Depth Migration*) utilizando el software *Sirius* de *GX Technologies* para obtener la verdadera geometría y profundidad de las estructuras.

DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN

Los rasgos estructurales más destacados son los referidos a la llanura abisal al pie del talud donde los perfiles sísmicos ofrecen una buena imagen de la pila sedimentaria y de las estructuras que la afectan. En la figura 2 se muestran dos de los perfiles N-S (L-5 y L-11) y uno de los perfiles E-O (L-4). Un inconveniente para la interpretación es la ausencia de datos de sondeos a estas profundidades o de otro tipo de información geológica que nos permita identificar y correlacionar los reflectores con unidades geológicas concretas de edad conocida. Por ello, hemos usado las discordancias angulares observables y las relaciones geométricas entre los reflectores para definir tres secuencias estratigráficas (pre-, sin- y posttectónica) relacionadas con la deformación alpina. Las edades tentativas asignadas a estas secuencias, basadas en las edades conocidas de la deformación en secuencias similares en tierra y en datos de sondeos de la plataforma cantábrica y el alto de la Landas, son las siguientes: Cretácico Superior (o aún más joven) a Paleoceno para la secuencia pretectónica, Eoceno, a

Mioceno inferior para la sintectónica y Mioceno medio a Pleistoceno para la postectónica.

La línea 5 discurre a través de la plataforma continental asturiana y el talud en dirección S-N hasta el centro de la llanura abisal del Golfo de Vizcaya. La línea 11, situada mas E, cruza todo el golfo hasta alcanzar el talud del margen armónico (Fig. 1).. Aunque la resolución de estos perfiles no es buena en

la zona del talud, estudios previos basados también en datos de exploración petrolera, han mostrado que la mayor parte de la deformación alpina del margen se concentra en el talud donde se desarrollan cabalgamientos vergentes al N que son responsables de su acortamiento, levantamiento y fuerte pendiente (Gallastegui *et al.*, 2002).

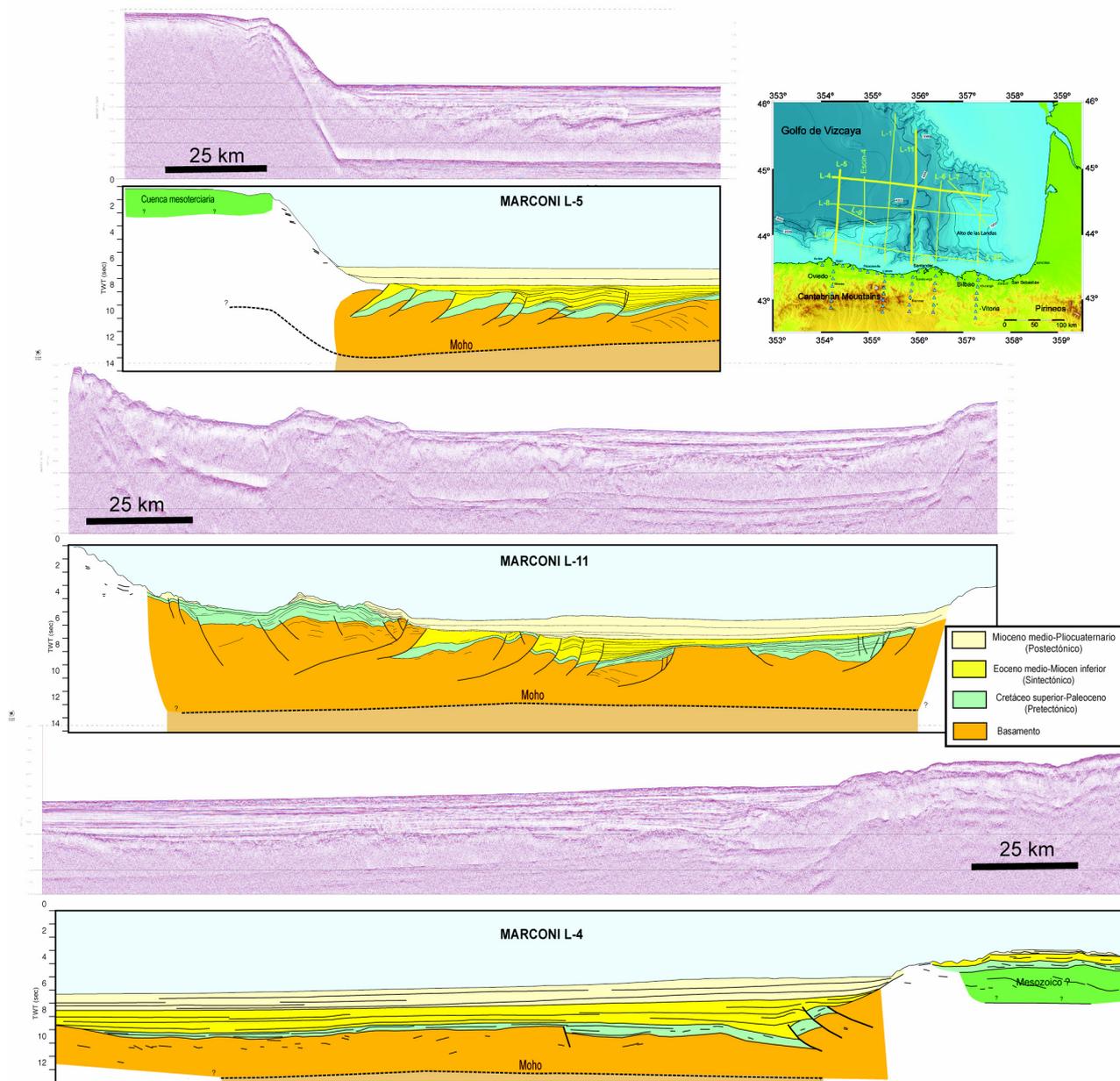


FIGURA 2. Secciones sísmicas e interpretación de los perfiles de sísmica de reflexión Marconi L-5, L-11 y L-4

La secuencia sedimentaria superior es casi tabular (~1,2 s de espesor), prácticamente indeformada y caracterizada por reflexiones paralelas continuas que pueden llegar a trazarse por distancias superiores a 90 km. Esta secuencia se dispone en onlap sobre ambos taludes, fosiliza las estructuras que afectan a la secuencia inferior y ha sido interpretada como postectónica (Mioceno Medio-Pleistoceno).

La secuencia sintectónica situada por debajo (entre 7 y 9,5 s aprox.) muestra, por el contrario, variaciones

laterales significativas de espesor y facies sísmicas. Esta secuencia se ha depositado durante el emplazamiento de diversos cabalgamientos vergentes al N, y pliegues asociados, perfectamente observables en las imágenes sísmicas. Como resultado las reflexiones se encuentran deformadas en la parte más próxima al talud, donde aparecen plegadas y cortadas, y desarrollando discordancias locales, que van de angulares a progresivas, asociadas a los pliegues y cabalgamientos individuales (Fig. 2). Estas relaciones,

típicas de las denominadas estructuras de crecimiento, se observan con su verdadera geometría en la L-5 con la PSDM (Fig. 3).

Esta banda de deformación que bordea el talud continental con pliegues y cabalgamientos, tiene una geometría similar a los prismas de acreción tectónica y ha sido descrita como tal en otras secciones de este margen (Álvarez Marrón et. Al., 1996, 1997; Gallastegui et al., 2002). Esta banda de deformación se extiende hasta unos 50-90 Km al N del talud, casi hasta el centro del golfo, donde pasa a una secuencia indeformada con una geometría de cuña muy marcada, donde las capas se adelgazan muy rápidamente hacia el N situándose en "onlap" sobre la secuencia pre-tectónica (Figs. 2 y 3).

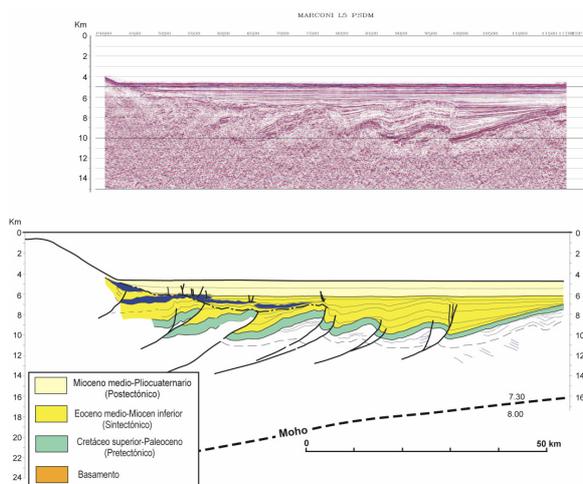


FIGURA. 3. Sección sísmica migrada en profundidad antes del "stack" (PSDM) e interpretación del perfil sísmico MARCONI L-5

Hacia el margen N del Golfo la secuencia está básicamente indeformada y reposa concordantemente sobre la secuencia pre-tectónica infrayacente (ver L-4, en fig. 2). En el S, la parte superior de la secuencia pre-tectónica se muestra como una banda (0,2-0,3 s) de reflexiones de más alta amplitud, que está deformada por pliegues y cabalgamientos, sin que muestre variaciones laterales de espesor aparentes y se apoya sobre un basamento muy difractivo. Hacia el N, a pesar de estar al límite de la resolución de los perfiles, se pueden identificar variaciones de potencia de la secuencia que dibujan la existencia de cuencas sedimentarias mesozoicas compartimentadas por fallas normales y rellenas por sedimentos asociados a las etapas de "rifting" relacionadas con la apertura del golfo. La presencia de estas cuencas atestiguan el carácter de corteza continental del basamento de esta parte del golfo.

La limitada potencia de los cañones del Hespérides y la presencia de un fuerte múltiplo de fondo oceánico, no ha permitido observar la posición de la Moho reflectiva en estos perfiles. Su posición en las figuras ha sido fijada a partir de estudios previos de sísmica de gran ángulo (Pulgar et al., 1996; Fernández-Viejo et al., 1998) y del estudio de los datos de OBS de este mismo proyecto (Ruiz, 2007)

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La estructura general de esta zona se caracteriza por la presencia de una zona de intensa deformación bordeando el talud, que alcanza el centro del golfo, pero que en detalle presenta variaciones importantes de uno a otro perfil (comparar L-5 y L11, Fig. 2), apuntando a la presencia de estructuras laterales N-S significativas, algunas de las cuales coinciden con los actuales cañones submarinos. En todo caso contrasta con la casi nula inversión de las cuencas situadas hacia el margen armoricano, evidenciando la importante asimetría de la convergencia alpina en la zona.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto MARCONI (REN2001-1734-C03) y también forma parte del proyecto "Topo-Iberia" (CDS2006-0041), programa Consolider-Ingenio 2010.

REFERENCIAS

- Álvarez-Marrón, J., Pérez-Estaún, A., Dañobeitia, J.J., Pulgar, J.A., Martínez-Catalan, J.R., Marcos, A., Bastida, F., Ayarza-Arribas, P., Aller, J., Gallart, J., González-Lodeiro, J., Banda, E., Comas, M., and D. Córdoba (1996), Seismic structure of the northern continental margin of Spain from ESCIN deep seismic profiles. *Tectonophysics*, 264, 153-174.
- Álvarez Marrón, J., Rubio, E. y Torné, M. (1997), Subduction related structures in the North Iberian Margin. *Jour. Geophys. Res.*, 102: 22497-22511
- Fernández Viejo, G., Gallart, J., Pulgar, J.A., Córdoba, D. and J.J. Dañobeitia (1998), Crustal transition between continental and oceanic domains along the North Iberian margin from wide angle seismic and gravity data. *Geophys. Res. Lett.*, 25, 4249-4252
- Gallastegui, J., Pulgar, J.A., and J. Gallart, J (2002). Initiation of an active margin at the North Iberian continent-ocean transition. *Tectonics*, 21(4), 10.1029/2001TC901046
- Olivet, J.L. (1996), La cinématique de la plaque Iberique. *Bull. Centres Res. Explor. Prod. Elf-Aquitaine* 20, 131-195.
- Pulgar, J.A., Gallart, J., Fernández-Viejo, G., Pérez-Estaún, A., Álvarez-Marrón, J., and ESCIN Group (1996), Seismic image of the Cantabrian Mountains in the western extension of the Pyrenean belt from integrated reflection and refraction data. *Tectonophysics*, 264, 1-19.
- Ruiz, M. (2007), Caracterización estructural I sismotectónica de la litosfera en el domini Pirineico-Cantábric a partir de métodos de sísmica activa I passiva. *PhD Thesis, Barcelona University, Spain*, 354 pp
- Srivastava, S.P., Roest, W.R., Kovacs, L.C., Oakey, G., Levesque, S., Verhoef, J., and R. Macnab (1990), Motion of Iberia since the Late Jurassic: Results from detailed aeromagnetic measurements in the Newfoundland basin. *Tectonophysics*, 184, 229-260.