

Caracterización de estructuras geológicas en el margen continental Cantábrico para evaluar la capacidad de almacenamiento de CO₂ e integridad del sello: El Sondeo MCJ-1 (España)

Characterization of geological structures in the Cantabrian continental margin for evaluation of CO₂ storage and seal integrity: The case of the MCJ-1 well (Spain).

F. Fernández-Sáez¹, J. García-Senz¹, M. Najarro¹, A. Maestro¹ y F. Bohoyo¹

¹ Instituto Geológico y Minero de España. C/Calera, 1 28760- Tres Cantos (Madrid, España). ffdezsaez@gmail.com, jesus.garcia@igme.es, mnajarro21@gmail.com, a.maestro@igme.es, f.bohoyo@igme.es.

Resumen: El Margen Continental Cantábrico fue elegido en el marco del proyecto ALGECO₂ como una zona potencial de almacenamiento de CO₂. Una de las zonas seleccionadas se localiza en torno al sondeo Mar Cantábrico J-1 (MCJ-1), situado a 1,5 km de la costa de Santander, donde han sido interpretados 30 perfiles de sismica de reflexión multicanal. Este sondeo se sitúa en la charnela de un anticlinal de dirección NE-SO, cuyo origen está relacionado como la inversión de un sistema de semicuevas desarrolladas durante el Cretácico inferior. Esta estructura es la continuación en el margen continental de la Banda de Pliegues y Cabalgamientos de Nansa (BPCN). La BPCN está constituida por pliegues de propagación de falla vergentes al sur, que involucran al basamento varisco, y una cobertera Cretácico-Terciaria solidaria, que definen el borde norte y oeste de una provincia salina denominada Bloque Costero de Santander (BCS). La BPCN y el BCS se conectan mediante una compleja zona triangular de deformación. La interpretación de los perfiles sísmicos de reflexión multicanal, las diagráfias del sondeo y la realización de cuatro cortes geológicos seriados que unen la estructura anticlinal estudiada con los datos de la zona emergida ha sido determinante para evaluar la geometría del sello y el almacén.

Palabras clave: almacenamiento de CO₂, conversión tiempo-profundidad, Margen Cantábrico, modelado 3D, tectónica salina.

Abstract: The Cantabrian Continental Margin was selected as a potential zone for CO₂ storage during the ALGECO₂ project. One of the selected areas is located around the Mar Cantabrico J-1 well (MCJ-1), at 1.5 km offshore from the Santander coast. In this area, 30 seismic reflection multichannel profiles have been interpreted. This well is placed in a NE-SW anticline hinge, whose origin is related to inverted semigraben systems developed during the Lower Cretaceous. This anticline structure is part of the Nansa Thrust and Fold Belt (BPCN) offshore continuation. The BPCN is composed of south-vergent basement-cored fold propagation faults and a solidary Cretaceous-Tertiary sedimentary cover, which constituted the north and west border of a salt province called Santander Coastal Block (BCS). The BPCN and the BCS are connected by a complex triangular deformation zone. The interpretation of the multichannel seismic reflection profiles, the well logs and series of four cross-sections linking studied anticlinal structure offshore and the geological onshore data, has been crucial to evaluate the geometry of the seal and store.

Key words: CO₂ storage, time depth conversion, Cantabrian Margin, 3D modeling, saline tectonics.

INTRODUCCIÓN

El “Plan de selección y caracterización de áreas y estructuras favorables para el almacenamiento de CO₂ en España” (Plan ALGECO₂) comprende, entre otras actividades, el estudio geológico de diversos sectores del margen continental español, con el objeto de caracterizar su estructura y geometría, y determinar las áreas susceptibles de constituir emplazamientos de almacenamiento geológico de CO₂ de origen antropogénico. De los tres sectores estudiados en el margen continental Cantábrico, el almacén perforado por el sondeo Mar Cantábrico J-1 (MCJ-1), a 1,5 km de

la costa, ha sido estudiado como un posible candidato (Fig. 1).

CONTEXTO GEOLÓGICO

La fragmentación de Pangea entre el Pérmico y el Cretácico con la apertura del Océano Atlántico, condujo primero a la formación de cuencas transtensionales-extensionales y después al desarrollo de márgenes pasivos en la Placa Ibérica. El margen noribérico se separa de Eurasia durante el Aptiense-Albiense (Derégnaucourt y Boillot, 1982) y la Placa Ibérica se mueve independientemente del resto de Europa con un sentido antihorario hacia el sudeste,

arrastrada por África en su movimiento hacia el este (Malod y Mauffret, 1990). A lo largo de este proceso, ocurre la separación de los márgenes continentales Cantábrico (Iberia) y Armoricano (Eurasia), y la creación de corteza oceánica en el Golfo de Vizcaya.

El cese de la apertura del Golfo de Vizcaya, hace unos 80 Ma (Roest y Srivastava, 1991), junto con el empuje de África, provoca un movimiento de rotación horario que se relaciona con el inicio de la orogenia pirenaica dentro del ciclo alpino (Pulgar et al., 1996), caracterizada por una subducción limitada a lo largo del Margen Cantábrico, el desarrollo de un prisma de acreción y la inversión de las estructuras existentes durante el Eoceno y el Mioceno inferior (Álvarez-Marrón et al., 1997; Gallastegui, 2000).

El Sondeo MCJ-1 se encuentra sobre un anticlinal vergente al sur limitado por una falla de alto ángulo (Shell, 1980), que García-Senz et al. (2015) interpretan como el resultado de la inversión de un semigraben de edad Aptiense superior a posiblemente Albiense. Este anticlinal supone la continuación sumergida bajo el Mar Cantábrico del dominio de la Banda del Nansa (Espina, 1997), caracterizada por pliegues de propagación de falla que involucran al basamento varisco y a una cobertera cretácico-terciaria solidaria relativamente delgada. Estos pliegues de basamento limitan por el oeste, sur y norte, una provincia salina denominada Bloque Costero de Santander (BCS) (Barnolas y Pujalte, 2004), cuya cobertera se halla despegada del basamento por el horizonte plástico del Keuper (Fig. 1) y que como se describe a continuación juega un papel importante en el sello lateral del reservorio.

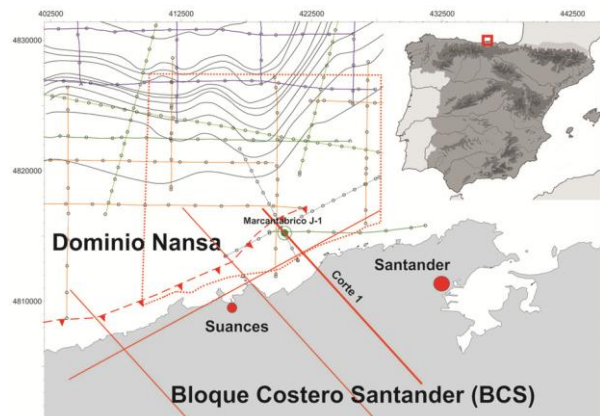


FIGURA 1. Mapa de perfiles de sismica de reflexión multicanal y cortes geológicos seriados en torno al sondeo MCJ-1.

ESTRATIGRAFÍA DEL SONDEO MCJ-1

El sondeo MCJ-1, de techo a muro, se caracteriza por las siguientes unidades (Shell, 1980): Unidad 1, entre los 124 m y los 379 m de profundidad, existe una secuencia sedimentaria constituida por arcillas y margas eocenas; Unidad 2, entre los 379 m y los 1272 m, se observa una sucesión de margas, arcillas y

carbonatos de edad Turoniense-Santoniense; Unidad 3, entre los 1272 m y 2879 m, aparece calizas mudstone y dolomías en facies Urgon de edad Albiense-Aptiense superior limitada a techo y muro por discontinuidades erosivas. Por comparación con los afloramientos cercanos de San Vicente de la Barquera, el tramo dolomítico entre los 2275 m y los 2879 m podría reinterpretarse como de edad Carbonífero en vez de Aptiense (García-Senz et al., 2015); finalmente la Unidad 4, entre 2879 m y 3000 m de profundidad, comprende metasedimentos del Ordovícico.

METODOLOGÍA

Para caracterizar la geometría 3D del posible par almacén-sello, así como el volumen de roca y capacidad del almacén aproximada, se han realizado cuatro cortes geológicos seriados e interpretado 30 perfiles sísmicos y 5 diagrfias del sondeo MCJ-1 (*Gamma Ray, Bulk density, Sonic Log, Dual Laterolog y Dipmeter*). Las imágenes de esos perfiles sísmicos han sido digitalizadas usando el script IMAGE2SEGY y el paquete de MATLAB SEGYMAT (Marce.li Farran *com. pers.*), para posteriormente introducirse en un proyecto KINGDOM Suite para su interpretación.

Los perfiles sísmicos, que abarcan 477 km, fueron convertidos a profundidad utilizando los datos de velocidad de su procesado, así como los datos propios del sondeo (*Bulk density y Sonic Log*). El estudio petrofísico de las diagrfias del sondeo permite interpretar la permeabilidad del sello y del almacén. Las superficies clave (techo y muro del Urgoniano), así como los volúmenes de roca y capacidad de CO₂, se establecieron mediante el software GOCAD.

Para continuar la estructura hacia la costa, con el fin de explicar el cierre del almacén y su validez como trampa, se realizaron 4 cortes seriados con el programa MOVE, uniendo los contactos y estructuras de los mapas geológicos 1:25.000 de Cantabria (<http://mapas.cantabria.es>) con las superficies obtenidas a partir de los perfiles de sismica multicanal.

CONTINUIDAD DEL SELLO

El estudio combinado de los perfiles sísmicos, las diagrfias del sondeo petrolífero MCJ-1 y de los cortes geológicos seriados ha permitido establecer la continuidad lateral y vertical del sello del reservorio y definir el tipo de trampa. La trampa en torno al sondeo MCJ-1 es una zona triangular de deformación cuyo límite meridional es un cabalgamiento frontal dirigido hacia el norte que despega una lámina salina (Fig. 2).

La continuidad lateral del sello está asegurada por las evaporitas del Keuper, mientras que el techo de la trampa estaría asegurado por el nivel de margas y calizas margosas de más de 1000 m de espesor, de edad Cretácico superior-Cenozoico. Como se ve en el corte

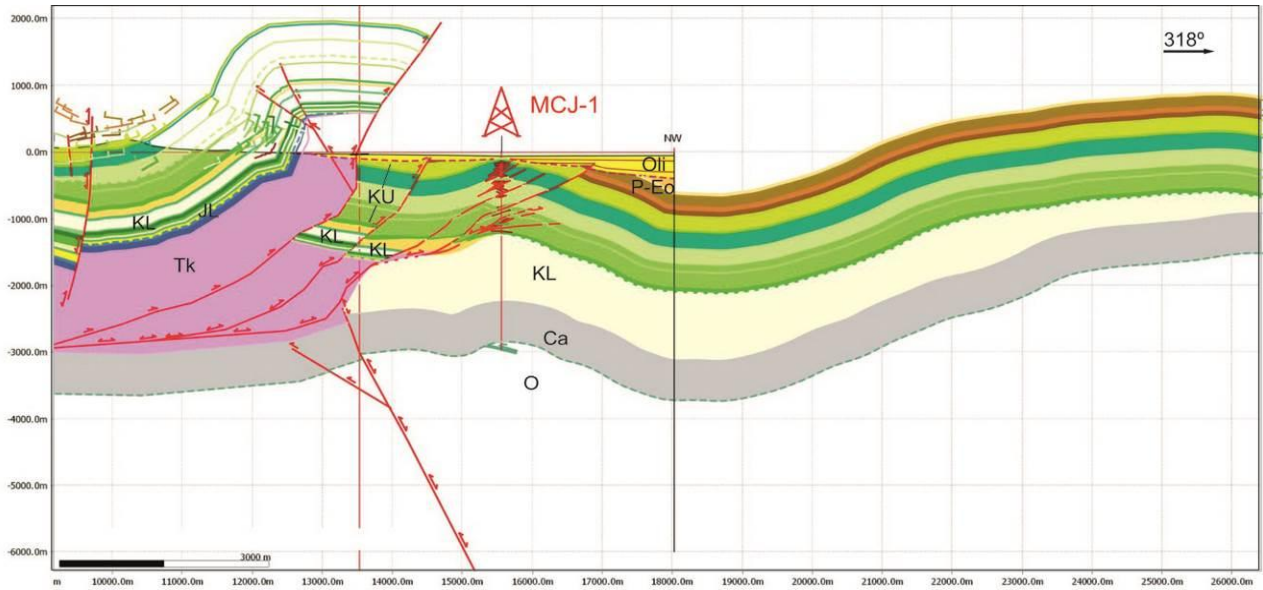


FIGURA 2. Corte geológico de la trampa en torno al sondeo MCJ-1 en un triángulo de deformación entre una lámina salina de cobertera y pliegues de basamento. O: Ordovícico; Ca: Carbonífero; Tk: Keuper; JL: Jurásico inferior; KL: Cretácico inferior; KU: Cretácico superior; P-Eo: Paleoceno – Eoceno; Olig: Oligoceno.

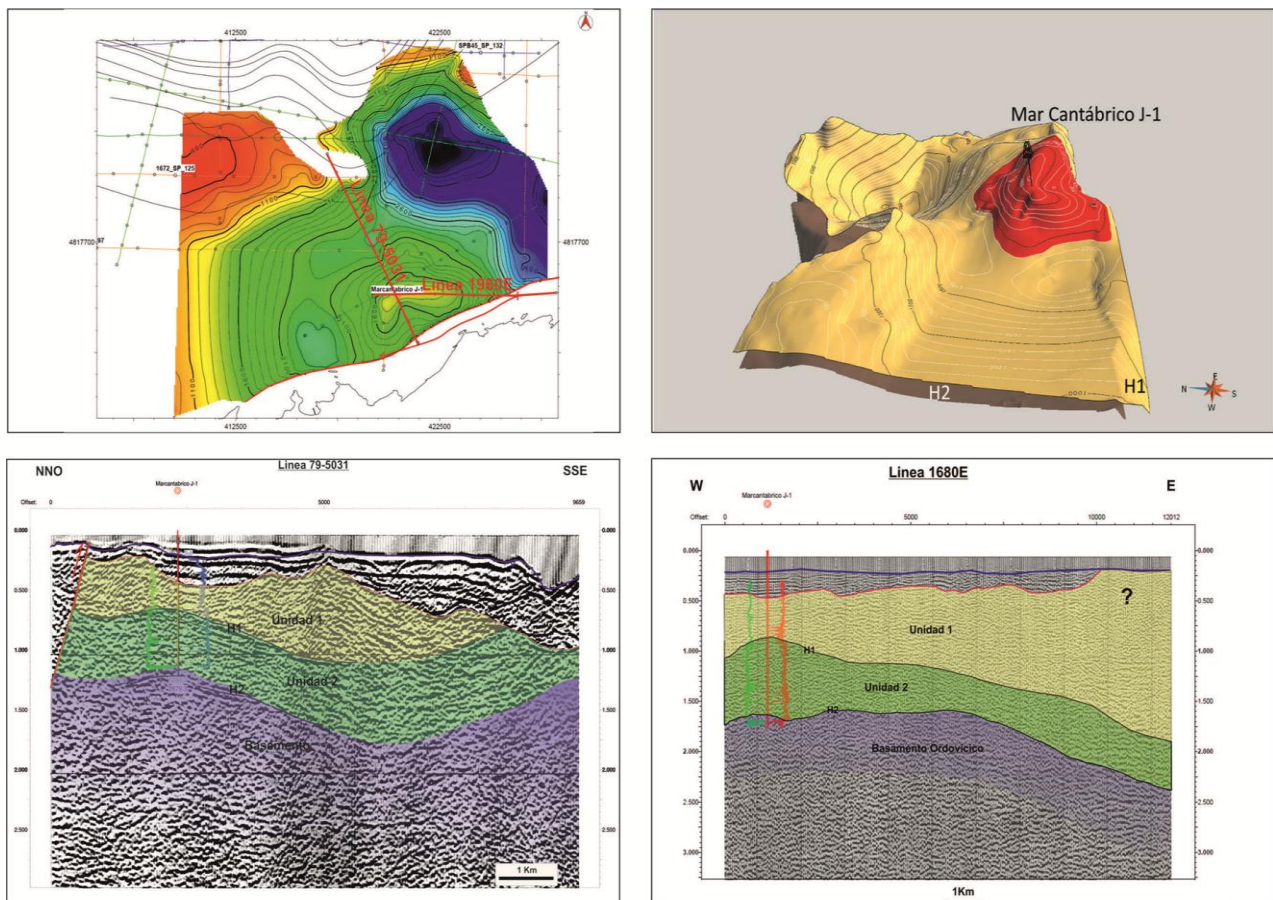


FIGURA 3. Arriba a la izquierda: Mapa de isobatas del techo de la unidad almacén. Arriba a la derecha: Reconstrucción 3D de la superficie techo del almacén (H1) y la superficie muro del almacén (H2). Abajo: Interpretación de los perfiles de sísmica multicanal que cruzan el sondeo MCJ-1.

Volumen de Roca (m3)	17054.90E+06
Volumen de Poro (m3)	308.26E+06
Capacidad de almacén (tn)	231.195E+06
Capacidad efectiva (tn)	69.359E+06

TABLA I. Capacidad de almacenamiento de CO₂ para el almacén en torno al sondeo MCJ-1. El factor de eficiencia usado es el 30% de la capacidad de CO₂ Total.

(Fig. 2), la integridad del sello puede verse afectada por bandas de deformación, así como fracturas asociadas a los cabalgamientos.

ESTRUCTURA DEL ALMACÉN

Como se ha indicado, el almacén geológico es una estructura anticlinal cerrada de dirección NE-SO con una longitud aproximada de 10 km que se curva en dirección E-O hacia el norte, con la cresta a una profundidad en torno a los 1250 m, formado por la reactivación de la falla limítrofe de un semigraben preexistente, (Fig. 3).

El Almacén (Fig. 3, Unidad 2) está constituido por calizas y dolomías de edad Albiense-Aptiense superior y posiblemente del Carbonífero con una potencia máxima de 850 m. Presenta una porosidad media calculada mediante el estudio de *Gamma Ray* y *Bulk Density* de 0,1 a 13%, y unos volúmenes y capacidad resumidos en la Tabla I.

CONCLUSIONES

El estudio en torno al sondeo petrolífero MCJ-1 ha permitido definir el almacén y la trampa tanto en sus características geométricas como en su estratigrafía.

El almacén se halla constituido por calizas y dolomías de edad Aptiense superior-Albiense y posible Carbonífero y se ha definido como un anticlinal de dirección NE-SO resultado de la inversión de un semigraben preexistente. La trampa estructural compleja se halla en una zona triangular de deformación entre cabalgamientos de basamento y de cobertera salina de vergencias opuestas. La viabilidad del sello está asegurada lateralmente por una acumulación de evaporitas del Keuper en el frente de la lámina salina, y a techo por las unidades margosas del Cretácico superior de gran continuidad. Los datos disponibles indican que la estructura en torno al sondeo

MCJ-1 es un buen candidato para almacenamiento antropogénico de CO₂, con una capacidad efectiva cercana a los 70 millones de toneladas.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es parte del proyecto ALGECO2 del Instituto Geológico y Minero de España en colaboración con el Instituto para la Reestructuración de la minería del Carbón y el Desarrollo Alternativo de las Comarcas Mineras (IRMC).

REFERENCIAS

- Alvarez-Marrón, J., E. Rubio y Tornè, M. (1997): Subduction-related structures in the North Iberian Margin. *Journal of Geophysical Research*, 102 (B10): 22497-22511.
- Barnolas, A. y Pujalte, V. (2004): La Cordillera Pirenaica: Definición límites y división. En: J.A. Vera (ed.), *Geología de España*, SGE-IGME: 233-2241.
- Derégnaucourt, D. y Boillot, G. (1982): Structure Géologique du golfe de Gascogne. *Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, 2 (3): 149-178.
- Espina, R.G. (1997): *La estructura y evolución tectonoestratigráfica del borde occidental de la Cuenca Vasco-Cantábrica (Cordillera Cantábrica, NO de España)*. Tesis Doctoral, Univ. de Oviedo, 230 p.
- Gallastegui, J. (2000): *Estructura cortical de la Cordillera y Margen Continental Cantábricos*. Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo, 22: 222 p
- García-Senz, J., Maestro, A., Bohoyo, F., Najarro, M., Fernández-Sáez, F., García-Lobón, J.L., López-Barrera, A.I., Domínguez, M. y Suarez, I. (2015): Combined use of Cross-sections, seismic and core data to assess CO₂ storage capacity and seal geometry in a triangle zone of deformation: The MC-J1 prospect (Cantabrian Margin, Spain). *8th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems*.
- Malod, J.A. y Mauffret, A. (1990): Iberian plate motions during the Mesozoic. *Tectonophysics*, 184: 261-278.
- Roest, W.R. y Srivastava, S.P. (1991): Kinematics of the plate boundaries between Eurasia, Iberia, and Africa in the North Atlantic from the Late Cretaceous to the present. *Geology*, 19: 613-616.