

El «Jurásico Marino» del margen suroccidental de la Cuenca Vascocantábrica y su relación con la exploración de hidrocarburos

The «Marine Jurassic» of the southwestern margin of the Basquecantabrian Basin and its relation with hydrocarbon exploration

S. Quesada, S. Robles y V. Pujalte

Dpto. de Estratigrafía, Geodinámica y Paleontología. Fac. de Ciencias. Universidad del País Vasco. Apartado 644. 48080 Bilbao.

ABSTRACT

A type-section of the Lias and Dogger ("Marine Jurassic") of the southwestern margin of the Basquecantabrian Basin (Cantabria, Palencia and Burgos provinces) has been established based on both outcrop and subsurface data (well logs and seismic sections). Three potential hydrocarbon reservoirs are defined for this domain, the Hettangian Basal Dolomitic-Evaporitic Unit, the Lower Sinemurian Shallow Carbonate Ramp and the Middle Dogger Neritic and Pelagic Ramps, that might get hydrocarbons from middle liassic organic-rich marls and black shales source-rocks developed in the adjacent Polientes-Sedano Basin.

Key words: *Marine Jurassic Type-Section, Southwestern Basquecantabrian Basin, Reservoirs, Source-Rocks, Traps.*

*Geogaceta, 13 (1993), 92-96
ISSN: 0213683X*

Interés, objetivos y metodología

La existencia de indicios de hidrocarburos en el sector suroccidental de la Cuenca Vascocantábrica es conocida desde hace tiempo, tanto en superficie a modo de manchas asfálticas, como en los numerosos sondeos petrolíferos realizados en esta parte de la región. La prospección de estos indicios, principalmente ubicados en facies detríticas del complejo Purbeck-Weald, dio como resultado el descubrimiento del campo Ayoluengo, productor de petróleo y gas desde mediada la década de los sesenta, así como de otros descubrimientos no comerciales (ej. sondeos Tozo). La aparición posterior en el sondeo Hontomín-2 de petróleo en almacenes jurásicos marcó un nuevo hito en la exploración en la Cuenca Vascocantábrica al añadirse a la conocida importancia como rocas generadoras de hidrocarburos de estos materiales, su interés como potenciales rocas almacén. De hecho, en los últimos años, gran parte de la atención exploratoria en la región se ha centrado en depósitos de la macrosecuencia marina del Jurásico (Lías y Dogger) como es el caso de los sondeos Valdearnedo-1, Montorio-1 y más recientemente Hontomín-3.

En este trabajo se resumen las características estratigráficas, sedimentológicas y paleogeográficas del "Jurásico

Marino" en el sector más suroccidental de la cuenca. Este sector corresponde en su mayor parte al dominio conocido como Banda Plegada de Montorio (fig. 1A), dominio en el que en nuestra opinión estos materiales presentan un elevado interés exploratorio. La metodología empleada ha consistido en el análisis detallado de las secciones estratigráficas representativas, la datación paleontológica de las diversas unidades de valor regional y su correlación con los registros de sondeos disponibles de la zona, de los que se han extraído asimismo numerosos datos de interés de sus informes finales. Estas labores han sido complementadas con la interpretación de líneas sísmicas mediante su correlación con secciones de superficie y calado de sondeos, el análisis de microfacies y el inicio del análisis de los procesos diagénéticos con microscopio de catodoluminiscencia.

La banda plegada de Montorio

La Banda Plegada de Montorio es un dominio estructural y paleogeográfico localizado en el margen suroccidental de la Cuenca Vascocantábrica, constituido por una estrecha franja de orientación NO-SE situada en las provincias de Cantabria, Palencia y Burgos. En dicha franja aflora una serie, relativamente poco potente, de materiales mesozoicos

replegados, que evolucionan hacia el NE a las potentes series desarrolladas en el depocentro de Polientes-Sedano (fig. 1).

Este dominio se sitúa en el extremo meridional de la Plataforma Burgalesa (sector suroccidental del dominio Navarro-Cántabro definido por Feuillée y Rat, 1971) formando parte del frente de cabalgamiento meridional que limita la Cuenca Vascocantábrica con la depresión terciaria del Duero. En líneas generales está delimitado por dos accidentes de entidad regional que condicionan asimismo su potencial petrolífero: la falla de Villela al sur, y la de Ubierna (o Río Lucio) al norte (fig. 1A). Se trata en ambos casos de líneas de fractura complejas y con importantes saltos en dirección, de actividad intermitente a lo largo de prácticamente todo el Mesozoico, que condicionaron la evolución tectosedimentaria del margen suroccidental de la Cuenca Vascocantábrica.

Caracterización estratigráfica, sedimentológica y paleogeográfica

El Jurásico del sector occidental de la Cuenca Vascocantábrica está constituido por dos macrosecuencias deposicionales principales reflejando cada una de ellas distintas fases en la evolución tectónica de la cuenca, a saber: "Jurá-

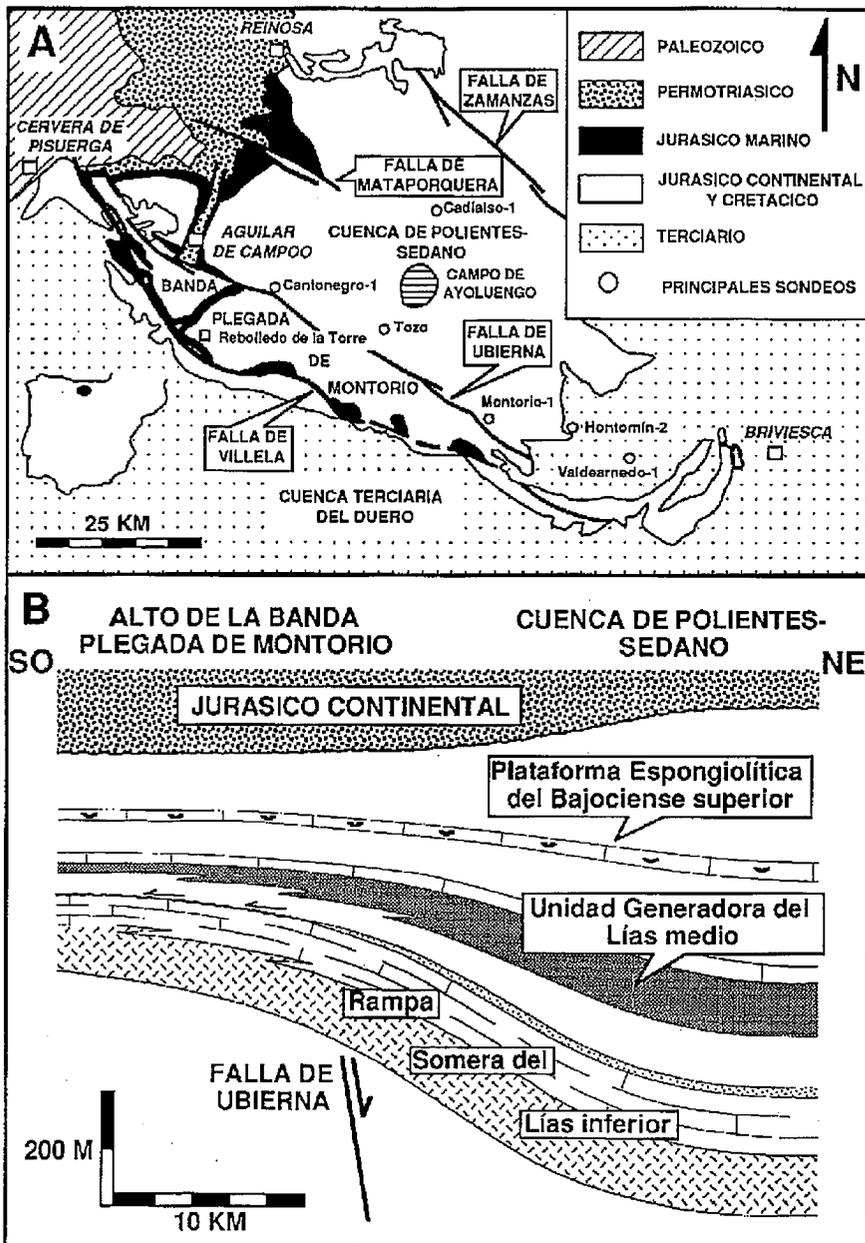


Fig. 1.- A.- Mapa geológico simplificado del sector suroccidental de la Cuenca Vasco-cantábrica mostrando los afloramientos del Jurásico Marino, las principales fallas y los dominios tectosedimentarios establecidos. B.- Sección transversal simplificada del Jurásico de la parte suroccidental de la Cuenca Vasco-cantábrica.

Fig. 1.- A.- Simplified geological map of the southwestern sector of the Basque-cantabrian Basin showing the Marine Jurassic outcrops, the main faults and the established tectosedimentary domains. B.- Simplified cross section of the Jurassic of the southwestern part of the Basque-cantabrian Basin.

sico Marino” (Lías y Dogger) y “Jurásico Continental” (Malm) (Robles *et al.*, 1988; Pujalte *et al.*, 1988 y 1990). La macrosecuencia marina está compuesta en su totalidad por sistemas deposicionales carbonatados o mixtos, que inicialmente se desarrollan en condiciones de sedimentación relativamente uniformes y someras. Posteriormente, la reactivación de fallas hercínicas y los fenómenos halocinéticos, acompañados de

una transgresión marina eustática, condicionaron la subdivisión de la cuenca durante el Sinemuriense medio en altos y surcos relativos y la evolución de la extensiva rampa carbonática basal (Hettangiense-Sinemuriense inferior) a sistemas de rampa-cuenca intraplataforma, con el desarrollo de una cosmopolita plataforma espongiolítica durante el Bajociense terminal.

En la Banda plegada de Montorio el

“Jurásico Marino” se caracteriza por tener espesores comparativamente reducidos (Pujalte *et al.*, 1988), característicos de un dominio paleogeográfico poco subsidente, correspondiente a una zona de margen de cuenca (fig.1B). Concretamente en las secciones más potentes los espesores desarrollados varían desde 400 en las proximidades de la falla de Villela (p. ej. secciones de Rebolledo de la Torre o Villanueva de Puerta) hasta 600 metros en las proximidades de la falla de Ubierna (p. ej. secciones y sondeos del área de Aguilar de Campoo). Es muy frecuente sin embargo la presencia en el dominio de secciones estratigráficas parcialmente truncadas debido a importantes fenómenos erosivos posteriores. Del análisis detallado de las secciones y sondeos más completos se puede definir una serie estratigráfica tipo (fig. 2), caracterizada por diversos sistemas deposicionales y unidades litoestratigráficas de validez para todo el dominio, que pueden ser correlacionadas y extendidas a otros sectores de la cuenca (Robles *et al.*, 1991; Quesada *et al.*, 1991). Para la atribución de espesores y bioestratigrafía se ha utilizado la sección de referencia de Rebolledo de la Torre (fig. 1A).

—Rampa carbonática somera del Lías inferior (150 m.). Sobre las arcillas vermiculares y evaporitas del Keuper se desarrolla en la Banda Plegada de Montorio una delgada unidad basal de dolomías, discontinua y de difícil atribución temporal, que puede corresponder a la formación Dolomías de Imón. Esta unidad es reemplazada en la vertical por facies de *sabkha*, conocidas en la literatura regional como “Carniolas”, compuestas por alternancias prácticamente azoicas de dolomías, margas y anhidrita que en superficie presentan un aspecto oqueroso y brechoide motivado por un proceso de disolución y colapso. Estas facies gradan en la vertical a depósitos de ambientes perimareales con fauna restringida que constituyen el denominado “Lías Calcáreo” o “Calcarenitas”, compuestos en este dominio por alternancias de dolomías y calizas dolomíticas, generalmente con laminaciones de origen algal, que alternan con niveles de calizas micríticas peloidales y bancos discontinuos formados por *grainstones* oolíticos. Es importante notar que la unidad mixta carbonática-siliciclástica que se desarrolla en las zonas de surco subsidente a techo de esta unidad, se encuentra muy reducida en este dominio, acuniándose totalmente en

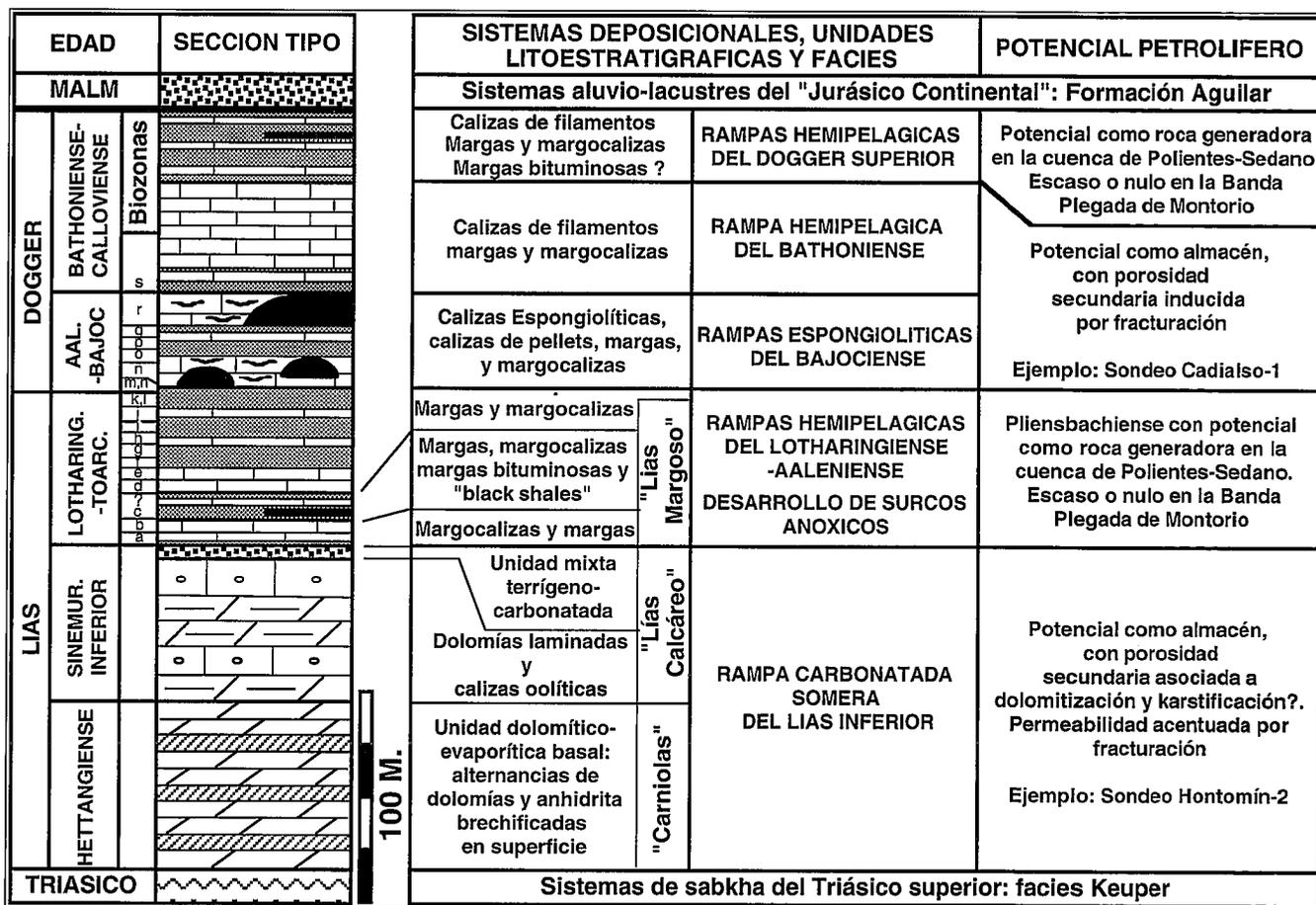


Fig. 2.- Principales características estratigráficas y petrolíferas de una "sección-tipo" del "Jurásico Marino" de la Banda Plegada de Montorio establecidas a partir de datos de afloramiento y registros de sondeos. Biozonas de ammonites: a.- Oxynotum. b.- Raricostatum. c.- Jamesoni. d.- Margaritatus. e.- Spinatum. f.- Tenuicostatum. g.- Serpentinus. h.- Bifrons. i.- Variabilis. j.- Thouarsense-Insigne. k.- Pseudoradiosa. l.- Aalensis. m.- Opalinum. n.- Murchisonae. ñ.- Discites?, Laeviuscula y Sauzei. o.- Humphriesianum. p.- Niortense. q.- Garantiana. r.- Parkinsoni. s.- Zigzag.

Fig. 2.- Main stratigraphic and petroliferous characteristics of a "type-section" of the "Marine Jurassic" in the Montorio Folded Domain from outcrop and well log data. Ammonoid biozones: a.- Oxynotum. b.- Raricostatum. c.- Jamesoni. d.- Margaritatus. e.- Spinatum. f.- Tenuicostatum. g.- Serpentinus. h.- Bifrons. i.- Variabilis. j.- Thouarsense-Insigne. k.- Pseudoradiosa. l.- Aalensis. m.- Opalinum. n.- Murchisonae. ñ.- Discites?, Laeviuscula y Sauzei. o.- Humphriesianum. p.- Niortense. q.- Garantiana. r.- Parkinsoni. s.- Zigzag.

el sector más meridional (fig. 1B). Los estudios diagenéticos en curso parecen revelar que el proceso de dolomitización que sufre el conjunto de la plataforma somera en el dominio estudiado, y que condiciona el potencial como reservorio de la misma, es temprano y selectivo. Estos estudios parecen corroborar asimismo evidencias de campo sobre la existencia de un proceso de exposición subaérea y la consiguiente karstificación de la parte superior de la unidad como ha sido apuntado en algunas ocasiones.

-Rampas Hemipelágicas del Lotharingiense-Aalenense (40 m.). Como reflejo del importante pulso transgresivo que tiene lugar en la cuenca a partir del Lotharingiense se desarrollan sobre las facies de la plataforma somera sucesivos sistemas de rampa-cuenca intra-

plataforma. Estos sistemas están compuestos por alternancias rítmicas hemipelágicas de margas y margocalizas con faunas de mar abierto, que caracterizan un tramo claramente reconocible en superficie y sondeos denominado en ocasiones "Lías Margoso". Este conjunto de sistemas está limitado por dos importantes discontinuidades de entidad regional, que en la zona de estudio llevan asociados importantes hiatos y condensaciones sedimentarias (discontinuidad del Sinemuriense medio y del Aalenense basal). El "Lías Margoso" presenta un carácter más calcáreo en la parte basal (Lotharingiense) e intermedia (Domeriense superior) reflejando este último un pulso regresivo. Entre ambos niveles, en materiales del Pliensbachiense, es frecuente la aparición de una unidad de margas enriquecidas en

materia orgánica y *black shales*, principal roca generadora de la sucesión, que muestra un importante desarrollo en la adyacente cuenca de Polientes-Sedano, (Braga *et al.*, 1988; Robles *et al.*, 1991 y 1992, Quesada *et al.*, 1992) y que en el dominio de Montorio se encuentra fuertemente acuñada (fig. 1B).

-Rampas Espongiolíticas del Bajociense (40 m.). Ambos sistemas se desarrollan en dos intervalos estratigráficos que constituyen el techo de sendas secuencias de ralentización de la subsidencia y somerización relativa, desarrolladas durante el Bajociense inferior y superior respectivamente (Quesada *et al.*, 1990). Ambas secuencias están compuestas a la base por alternancias rítmicas hemipelágicas de margas y margocalizas de plataforma externa que evolucionan en la vertical a calizas fun-

damentalmente micríticas y peloidales, con desarrollo de biohermos y biostromos de esponjas y frecuentes niveles de retrabajamiento por tormentas. La colonización espongiolítica es mucho más importante en la secuencia superior (plataforma desarrollada en la biozona Parkinsoni) la cual constituye un excelente nivel guía de correlación en superficie y subsuelo a lo largo de toda la Cuenca Vasco-cantábrica (corresponde en algunos sondeos al denominado "nivel de pellets del Dogger").

—Rampa pelágica del Bathoniense (45 m.) Está compuesta por secuencias sedimentarias métricas de margas y calizas *mudstones-packstones* de filamentos desarrolladas en una extensiva plataforma externa, que se desarrollan tras la clara profundización que tiene lugar en la base del Bathoniense (biozona Zigzag).

—Rampas Hemipelágicas del Dogger superior (Calloviense inferior?) (55 m.). Compuestas por una alternancia rítmica de facies hemipelágicas de margas y calizas *mudstones-packstones* de filamentos, desarrolladas en una plataforma externa, que regionalmente muestra una tendencia a la restricción y somerización, desarrollándose en las zonas de surco adyacentes niveles de margas enriquecidas en materia orgánica, que se acuñan hacia la zona marginal de Montorio. Su límite superior es una superficie de truncación erosional sobre la que se disponen los materiales de la macrosecuencia continental del Jurásico.

Aplicación a la exploración de hidrocarburos

Potenciales Almacenes del Jurásico Marino: Tres unidades de las descritas en el apartado de estratigrafía muestran en principio un buen potencial para el entrapamiento de hidrocarburos (fig. 2), potencial que ha sido corroborado por la presencia de indicios e incluso acumulaciones de hidrocarburos en superficie y sondeos: la unidad basal dolomítico-evaporítica o "Carniolas" (Rethiense?-Hettangiense), la plataforma carbonática somera (Sinemuriense inferior) y las plataformas carbonáticas neríticas y pelágicas del Dogger (desarrolladas durante el Bajociense y Bathoniense). Debe resaltarse que en la Banda Plegada de Montorio las facies del Complejo Purbeck-Weald, princi-

pales rocas productoras en el entorno de Ayoluengo, están ausentes o muy pobremente representados por lo que en la práctica no constituyen aquí objetivos potenciales.

—*Unidad Dolomítico - Evaporítica Basal.* A pesar de las aparentemente óptimas condiciones que presenta la unidad de "Carniolas" en superficie, con un grado de brechificación muy importante y porosidad oquerosa, dicha textura es el resultado de un proceso de colapso por la disolución superficial de las evaporitas, aún presentes en el subsuelo, de las secuencias de *sabkha* que constituyen la unidad. Sin embargo, en algunos sondeos esta unidad presenta frecuentes indicios de hidrocarburos gaseosos, que pueden estar ligados a fisuración (Ej. sondeo Valdearnedo-1).

—*Rampa Carbonática Somera del Sinemuriense inferior.* Constituye la unidad productora de Hontomín y por tanto la de mayor potencial de las tratadas, habiendo constituido el objetivo principal en la mayoría de los sondeos recientemente realizados en la zona de estudio (Montorio-1, Cantonegro-1, y Hontomin-3). Estos sondeos aunque no han encontrado acumulaciones comerciales presentan en dicha unidad fuertes indicios de petróleo. Del contraste de los estudios realizados en superficie con los datos aportados por los sondeos parece deducirse diferencias en la porosidad dentro de la unidad, que por ejemplo en el sondeo Montorio-1 han sido cifradas a partir de *cross plots* de los registros del sondeo, con valores máximos variables entre el 14% y 27%. Los niveles dolomíticos, generalmente de textura laminada apreciable solo en las secciones de superficie, muestran una porosidad mayor en comparación con los niveles más calizos, compuestos por *grainstones* oolíticos o calizas micríticas peloidales, y si bien la permeabilidad del conjunto de la unidad parece ser escasa, esta puede quedar suplida por el importante grado de fisuración que frecuentemente presenta (Ej. sondeo Valdearnedo 1).

—*Rampas Neríticas y Pelágicas del Dogger.* Las extensivas plataformas carbonatadas de mar abierto desarrolladas durante el Bajociense y Bathoniense muestran en principio un escaso potencial como roca almacén dada su naturaleza fundamentalmente micrítica, que condiciona su escasa porosidad primaria. Sin embargo, los estudios de campo realizados revelan que dichas

unidades pueden llegar a desarrollar una importante porosidad secundaria de fractura frente a esfuerzos tectónicos (Quesada *et al.*, 1990) pudiendo llegar a constituir almacenes potencialmente interesantes si las condiciones tectónicas locales son las adecuadas. En este contexto se pueden encuadrar probablemente las acumulaciones de gas encontradas en el sondeo Cadialso-1.

Potenciales Rocas Generadoras del Jurásico Marino:

La principal unidad generadora de hidrocarburos de la sucesión jurásica y por tanto probablemente de toda la sucesión sedimentaria de la Cuenca Vasco-Cantábrica corresponde al Lías medio (Suarez-Ruiz, 1987; Quesada *et al.*, 1992). Dicha unidad alcanza su espesor máximo en la cuenca de Polientes-Sedano (surco relativo subsidente), donde supera los 100 m de potencia y desarrolla cuatro intervalos de *black shales* principales. Desde allí se adelgaza progresivamente hacia la Banda Plegada de Montorio, donde no llega a superar los 16 metros de potencia en los afloramientos más meridionales (fig. 1B). Este fuerte adelgazamiento está acompañado de un cambio lateral hacia facies más oxigenadas que lleva consigo la práctica desaparición de los intervalos de *black shales* disminuyendo asimismo el contenido orgánico total de la unidad en general. Estos hechos, unidos a su bajo grado de maduración, condicionan el bajo potencial generador de la unidad Pliensbachiense en el dominio estudiado. No puede excluirse sin embargo que hayan migrado hacia la Banda Plegada de Montorio hidrocarburos desde la zona generadora del adyacente depocentro de Polientes-Sedano.

Trampas: Los principales descubrimientos de hidrocarburos en el sector suroccidental de la Cuenca Vasco-cantábrica (Ayoluengo y Hontomín) se han realizado en trampas estructurales tempranas poco afectadas por deformaciones posteriores o preservadas en los cinturones de cabalgamiento. Por el contrario los entrapamientos ligados a estructuras alpinas (anticlinales ligados al frente de cabalgamiento meridional, o a la actividad alpina del accidente de desgarre de Ubierna y Villela) han demostrado, al menos por el momento, un potencial productor comparativamente muy inferior. Este hecho está probablemente motivado por la relación del momento de migración principal de los hi-

drocarburos a partir de la adyacente cuenca de Polientes con el momento de desarrollo de las estructuras. En efecto, los mapas de isorango de reflectancia de vitrinita parecen indicar la coincidencia de los valores más elevados con los depocentros de la macrosecuencia del Purbeck-Weald, lo que implica la existencia de una migración efectiva ya para el Cretácico medio a estructuras preformadas durante el Jurásico superior y tránsito Jurásico-Cretácico. Si bien la génesis de dichas estructuras tempranas, de orientación NE-SO claramente transversal a las estructuras alpinas, ha sido generalmente atribuida a fenómenos exclusivamente halocinéticos, el análisis detallado de la macrosecuencia continental del Jurásico evidencian la actividad sinsedimentaria de la falla de Ubierna (Pujalte y Robles, 1988) indicando un posible origen transpresivo para dichas estructuras o en su caso para el inicio de dichos fenómenos halocinéticos.

Agradecimientos

La bioestratigrafía de la sección de Rebolledo de la Torre fue realizada por Comas-Rengifo, M.J.; Fernandez-Lopez, S.; Goy A. y Ureta, M.S. del Departamento de Paleontología de la Universidad Complutense de Madrid. Este trabajo es una contribución al Proyecto de Investigación del Gobierno Vasco PGV 9116.

Referencias

Braga, J.C.; Comas-Rengifo, M.J.; Goy, A.; Rivas, P. y Yébenes, A. (1988): III Coloquio de Estratigrafía y Paleogeografía del Jurásico de España. Logroño. Libro Guía de las Excursiones, p. 17-45.
 Feuillée, P y Rat, P. (1971): Publications de l'Institut Français du Pétrole. Collection Colloques et Séminaires, Technip, Paris. v.22, Bd2, p.v.1-1-v. p 1-48.
 Pujalte, V.: Robles, S. y Vallés, J.C. (1988): III Coloquio de Estratigrafía y Paleogeografía del Jurásico de España. Logroño. Libro Guía de las Excursiones, p. 85-93.
 Pujalte, V. y Robles, S. (1988): III Coloquio de Estratigrafía y Paleogeografía del Jurásico de España. Logroño. Libro Guía de las Excursiones, p. 95-114.
 Pujalte, V.; Robles, S.; Quesada, S. y Vicente Bravo, J.C. (1990): 13th International Sedimentological Congress.

Nottingham. Posters Abstracts Book p. 182.
 Quesada, S.; Pujalte, V.; Robles, S. y Vicente Bravo, J.C. (1990): Geogaceta, v. 7 p. 26-28.
 Quesada, S.; Robles, S.; y Pujalte, V. (1991): Geogaceta, v.10, p. 3-6.
 Quesada, S.; Robles, S.; y Comas-Rengifo, M.J. (1992): III Congreso Español de Geología. Salamanca. Actas de las sesiones científicas. v. 2 p. 329-333.
 Robles, S.; Pujalte, V.; y Vallés, J.C. (1988): III Coloquio de Estratigrafía y Paleogeografía del Jurásico de España. Logroño. Libro Guía de las Excursiones, p. 1-15.
 Robles, S.; Quesada, S. y Pujalte, V. (1991): Dolomieu Conference on Carbonate Platforms and Dolomitization. Ortisei. Abstract Book, p. 224-225.
 Robles, S.; Quesada, S.; y Comas-Rengifo, M.J. y Garmendia, J.M. (1992): Sequenece Stratigraphy of European Basins. Dijon. Abstracts Volume. p. 354-355.
 Suárez Ruiz, I (1987): Tesis Doctoral. Instituto Nacional del Carbón. CSIC. Oviedo.

Cuestión: ¿Existen realmente en la Banda Fallada de Montorio fallas activas durante el Mesozoico o se trata simplemente de la alineación de una rampa en que hayan existido rupturas, como se deduce de las figuras, y que las fallas existentes son post-mesozoicas?

¿Dónde está la evidencia de que se trata de una falla hercínica reactivada?

Respuesta: Las líneas de falla de Ubierna y Villela, principales accidentes de la Banda Plegada de Montorio forman parte del sistema de Ventaniella, importante lineación estructural de clara actividad al menos desde el Carbonífero (Julivert *et al.*, 1971; Lobato, 1977). La reactivación mesozoica de este sistema hercínico, manifestada en el dominio considerado por importantes hiatos y fenómenos de truncación erosional de entidad regional, ya fue postulada por Heward y Reading (1980) o Ziegler (1982), y ha sido demostrada entre otros por García-Mondejar *et al.*, (1986) durante el Triásico, Pujalte (1988) durante el Jurásico superior, Pujalte (1981) durante el Cretácico inferior y García-Mondejar (1989) durante el Cretácico medio.

La existencia de un posible control de estos accidentes sobre el depósito de la macrosecuencia marina del Jurásico de la Cuenca Vascocantábrica, era hasta el momento menos conocida. Si bien es cierto que esta macrosecuencia se desa-

rolla durante un periodo de relativa calma tectónica, intermedio entre las etapas de rifting del Triásico y del Jurásico superior-Cretácico inferior, los estudios realizados demuestran razonablemente la influencia en la sedimentación de los accidentes de zócalo. Efectivamente y tal como se deduce del trabajo los dispositivos desarrollados durante el Lías y Dogger son de tipo rampa, y no se puede hablar realmente de la existencia de escarpes de falla o de importantes fenómenos de resedimentación asociados a los mismos. Sin embargo, la influencia de estos accidentes se manifiesta claramente al condicionar la subdivisión del sector suroccidental de la cuenca jurásica vascocantábrica en un dominio marginal poco subsidente en el área de la Banda Plegada de Montorio y una cuenca intraplataforma fuertemente subsistente en el área de Polientes-Sedano, estando ambos dominios perfectamente alineados con las directrices de dichos accidentes. Aunque entre ambos dominios se establece un dispositivo fundamentalmente divergente, son frecuentes en la zona marginal los fenómenos de truncación erosional y de "onlap" asociado, acompañados de importantes cambios laterales de facies e incluso el depósito de materiales siliciclásticos en una serie eminentemente carbonatada, indicando la existencia de periodos tectónicamente activos.

Referencias

García-Mondéjar, J.; Pujalte, V. y Robles, S. (1986): Cuadernos Geología Ibérica. Vol. 10, pp. 151-172.
 García-Mondéjar, J. (1989): In "Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margins" Tankard, A.J. and Balkwill, H.R. (eds.), A.A.P.G. Memoir 46, pp. 395-409.
 Heward, A.P. y Reading, H.G. (1980): IN "Sedimentation in Oblique-Slip Mobile Zones". Ballance, P.F. y Reading, H.G. (eds.), Oxford, Blackwell, pp. 105-125.
 Julivert, M.; Ramírez del Pozo, J. y Truyols, J. (1971): IN "Histoire Structurale du Golfo de Gascogne", Ins. Français Petr. "Colloques et Séminaires", n.º22, vol. 2, pp. V.3-1-V-3-35.
 Lobato, L. (1977): Institución Fray Bernardino Sahagún (C.S.I.C.), 192 pp.
 Pujalte, V. (1981): Sedimentary Geology, 28, pp. 293-325.
 Pujalte, V. (1988): II Coloquio Geológico de España. Simposio sobre cuencas en régimen transcurrente, pp. 135-144.
 Ziegler, P.A. (1982): "Geological Atlas of Western and Central Europe". Elsevier, 2 vols., 130 pp.