

Prospección de hidrocarburos en la plataforma continental de Asturias

M. Gutiérrez Claverol y J. Gallastegui

Departamento de Geología. Universidad de Oviedo, c/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005-Oviedo.

E-mail: claverol@geol.uniovi.es, jorge@geol.uniovi.es

Resumen: La investigación llevada a cabo sobre petróleo y gas natural en la concesión “Mar Cantábrico”, dentro del dominio marino asturiano, comenzó hace más de 30 años, utilizándose profusamente técnicas de sísmica de reflexión. Las sucesivas campañas de prospección geofísica desarrolladas, con más de 2.000 km de longitud de líneas, reconocieron la existencia de varios reflectores sísmicos regionales, dos de los cuales, los denominados “H” –discordancia Cretácico-Terciario– y “K” –nivel arcilloso por debajo del Santoniense–, se muestran muy netos. La interpretación de diversos perfiles sísmicos ha permitido establecer la estructura de la cuenca mesozoico-terciaria que rellena la plataforma asturiana. En este trabajo también se describen las características principales de los sondeos ejecutados en esta zona precontinental durante los años 1975 y 1985, con una longitud total que sobrepasa los 50 km. En 1975 se emplazó el primer sondeo “offshore”, denominado “C-1” que ya alumbró indicios de petróleo dentro de materiales del Terciario. Los resultados obtenidos pueden considerarse satisfactorios al encontrarse hidrocarburos en más de la mitad de las perforaciones. Los almacenes más importantes se encuentran en el Cretácico y Paleoceno, aunque los materiales jurásicos, objetivo prioritario de la prospección, apenas fueron alcanzados en las investigaciones realizadas, dada su profundidad. Entre las trampas petrolíferas destacan los pliegues anticlinales estrechos y alargados en sentido E-O.

Palabras clave: Hidrocarburos, Petróleo, Gas, Almacén, Trampa Estructural, Roca Madre, Línea Sísmica, Sondeo, Plataforma Continental Cantábrica.

Abstract: Oil and natural gas exploration in the asturian continental shelf started more than 30 years ago. Seismic surveying was profusely used and more than 2.000 km of seismic reflection profiles were acquired in different prospective campaigns. Two main reflectors “H” –Tertiary Cretaceous unconformity– and “K” –shaly level below the Santonian– were recognized in the profiles. The interpretation of several profiles allowed us to define the structure of the Meso-Tertiary basin that fills the asturian platform. More than 50 km. of rock were drilled in test wells in the platform between 1975 and 1985 and their main characteristics are also described in this paper. The first offshore well (“C-1”) was drilled in 1975 and showed positive results in Tertiary rocks. The results were satisfactory, given that oil and/or gas were found in more than half of the wells. The main reservoir rocks are in Cretaceous and Paleocene levels, and although Jurassic rocks were the main target, they were scarcely reached in the different prospective campaigns. Long and narrow E-W anticlinal folds are amongst the oil-bearing structures.

Key words: Hydrocarbon, Petroleum, Natural Gas, Reservoir, Structural Trap, Source Rock, Seismic Profile, Well, Cantabrian Continental Platform.

El conocimiento de la geología de la plataforma continental cantábrica comenzó con los trabajos de Gilbert Boillot y otros investigadores franceses en el inicio de los años 70, permitiendo disponer de una base estratigráfica de partida, así como de un

rudimentario esquema geológico, elaborado a partir de muestras rocosas tomadas en el fondo marino, y de un esbozo de interpretación estructural del subsuelo, basado principalmente en registros sísmicos (Boillot et al., 1971 y 1973). Tales pesqui-

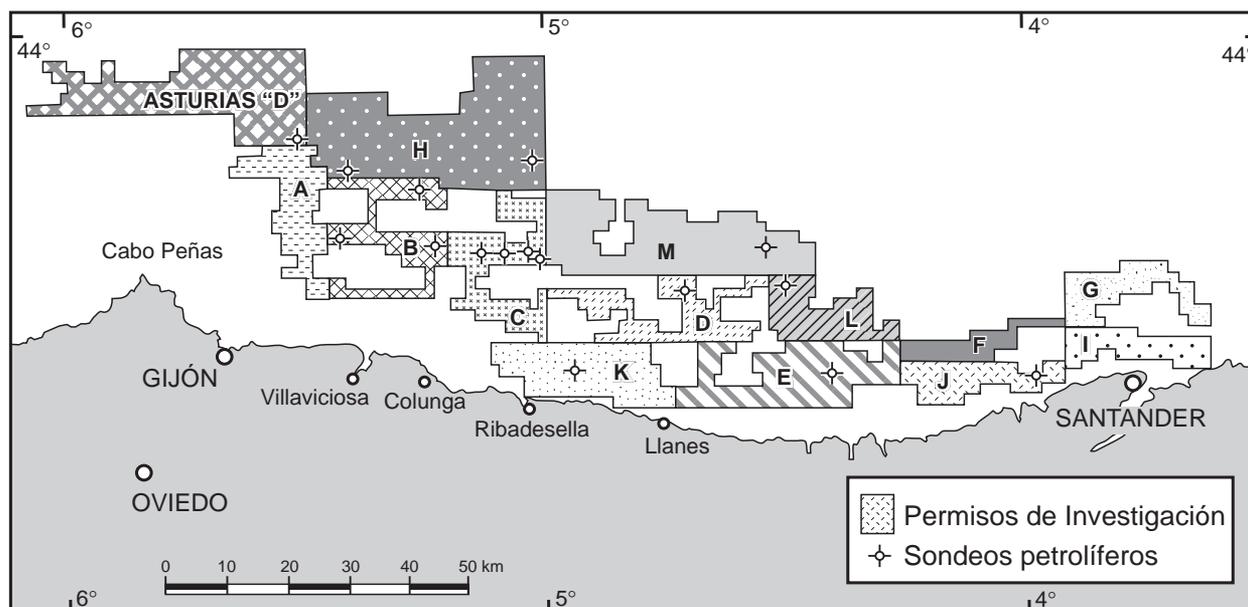


Figura 1. Ubicación de los permisos de investigación petrolífera dentro de la plataforma continental de Asturias y Cantabria. A-M, permisos de investigación.

sas confirmaron la extensión de la cuenca meso-terciaria conocida en tierra firme dentro del dominio oceánico.

Las primeras prospecciones geológicas orientadas a la búsqueda de petróleo en Asturias las realizó la sociedad española Ciepsa, que inspeccionó la zona comprendida entre Avilés y Villaviciosa a finales de los años 60, con resultados estimados como no satisfactorios. Algo más tarde, las compañías Shell España y Campsa solicitaron, y obtuvieron en el año 1970, seis permisos de investigación de hidrocarburos, dentro de la concesión denominada “Mar Cantábrico” (“MC”), ya en la zona precontinental de Asturias y Cantabria. A los correspondientes a la zona occidental se les asignó las letras A, B, C y D, atribuyéndose los caracteres F y G a los más orientales (Fig. 1).

La importancia petrolífera de la plataforma asturiana fue puesta de manifiesto a finales de 1975, época en la que se iniciaron las prospecciones en el permiso “MC-C”, cuyo campo suministró algunas miles de toneladas de petróleo bruto. Alentados por los prometedores comienzos, se solicitaron nuevos permisos de investigación y se continuaron efectuando vastos levantamientos sísmicos y sondeos profundos fuera de costa (“offshore”), con resultados desiguales, aunque algunos de ellos revelaron

la existencia de petróleo y gas natural, en cantidades consideradas no rentables (Fig. 2).

Las informaciones obtenidas con los trabajos ejecutados aconsejaron solicitar a los anteriores titulares nuevos permisos en la misma concesión “Mar Cantábrico” (Fig. 1), los denominados K, E, J e I, muy próximos a la línea de costa, así como en los L y M, que fueron otorgados en febrero de 1977.

Por su parte, un consorcio de petroleras, lideradas por Philips, obtenía el permiso “Mar Cantábrico-H”, donde se perforaría en dos ocasiones (1980 y 1982). Hacia la misma época, la Empresa Nacional de Investigación y Explotación de Petróleo, S. A. (Eniepsa) también se apuntó a la fiebre exploradora con la concesión “Asturias-D”, concedida en mayo de 1980, ejecutando dos sondeos en el lustro inicial de los años 80. Actualmente una empresa noruega está realizando nuevos estudios geofísicos aerotransportados sobre esta zona precontinental.

Aunque la campaña prospectiva del precontinente se concentró entre los años 1975 y 1985, la existencia de hidrocarburos en Asturias ya es conocida desde comienzos del siglo xx. Efectivamente, al efectuar sondeos de reconocimiento en la zona central de Asturias para localizar yacimientos ocultos de carbón, se detectaron emanaciones de gas

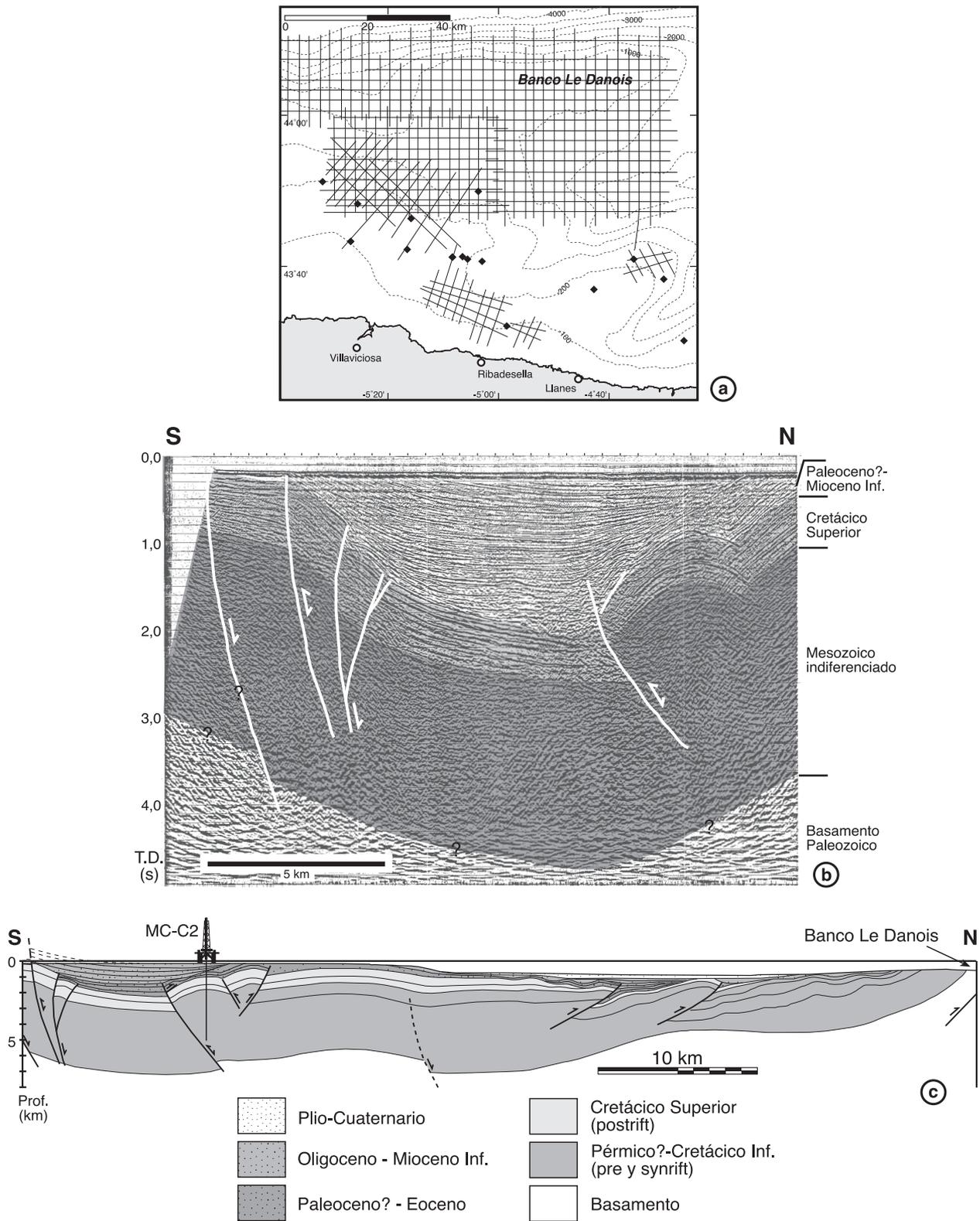


Figura 2. a) Mapa de la distribución de líneas sísmicas y sondeos en la plataforma continental asturiana al E del Cabo Peñas. b) Línea sísmica interpretada en las inmediaciones de la costa de Ribadesella. c) Corte geológico N-S de la plataforma continental asturiana desde la línea de costa hasta el Banco Le Danois, aproximadamente a lo largo del meridiano 5°, basado en la interpretación de los perfiles sísmicos (Gallastegui, 2000).

natural en las proximidades de la actual Mina La Camocha (Gijón).

Apenas existe documentación bibliográfica acerca de las características geoenergéticas de este ámbito. La primera mención escrita del petróleo de esta zona fue un artículo periodístico de García Siñeriz (1977). Otra de las pocas referencias la constituye una Conferencia celebrada en Londres (1980) sobre "Petroleum Geology of the Continental Shelf of North-West Europe"; en ella, Soler et al. (1981) presentaron una comunicación donde, por vez primera, se hacen públicos datos científicos y técnicos. La revista "Minerpress" recogió, en 1981, un breve resumen sobre las prospecciones del permiso "Mar Cantábrico C". Uno de los documentos principales fue publicado por el IGME, en una recopilación de los sondeos petrolíferos efectuados en España, en el que se incluyen los de la plataforma cantábrica (Lanaja, 1987).

Más recientemente, Gutiérrez Claverol y Luque Cabal (1993 y 1995) realizaron una síntesis e interpretación de todas las perforaciones llevadas a cabo en la plataforma continental y Gutiérrez Claverol (1998) pormenorizó la exploración de petróleo y gas en la plataforma costera asturiana.

Por último, se ha de mencionar la existencia de diversos informes inéditos de los sondeos realizados por Shell España, Campsa, Philips Petroleum Co. y Eniepsa.

Prospección sísmica

La técnica geofísica más utilizada en la prospección de petróleo es la sísmica de reflexión por cuanto permite obtener una imagen directa de la estructura geológica de las cuencas exploradas. Mediante este método se localizan las estructuras trampa susceptibles de alojar petróleo y se establecen los puntos a prospectar mediante sondeos directos.

La prospección sísmica de la plataforma asturiana fue muy intensa, especialmente al E del Cabo Peñas, y se prolongó hasta el año 1987. Aunque es difícil precisar con exactitud el número total de perfiles sísmicos registrados, se ha podido estimar que en el sector marino comprendido entre Gijón y Llanes se realizaron más de 170 líneas que en total cubren una longitud superior a los 2.000 km (Fig. 2a). En diversos informes inéditos se reconocieron

la existencia de varios reflectores sísmicos regionales, dos de los cuales se muestran muy netos en la concesión "Mar Cantábrico". El más profundo, horizonte "K", fue correlacionado en los sondeos con una arcillita muy característica por debajo del Santoniense (Cretácico Superior) y constituye la principal base de las interpretaciones estructurales del subsuelo. El techo del Cretácico Superior –que marca la discordancia Paleoceno Superior-Maastrichtiense– coincide con otro destacado reflector sísmico denominado "H".

Como se puede ver en la figura 2b, la calidad de los perfiles sísmicos es, en general, buena o muy buena en los niveles más someros por encima del Cretácico Superior; por el contrario, la reflectividad decae drásticamente en los niveles infrayacentes, que son prácticamente transparentes desde el punto de vista sísmico.

Descripción de los sondeos petrolíferos

Las estructuras geológicas dibujadas por los reflectores en la zona precontinental y la extrapolación de los rasgos geológicos conocidos en la zona continental, aconsejaron a las empresas involucradas en la exploración la realización de varios sondeos exploratorios para hidrocarburos (unos 20) entre 1975 y 1985 (Fig. 3a), algunos de los cuales obtuvieron resultados positivos (Fig. 3b). En total se sobrepasaron los 50.000 metros perforados. La figura 4 recoge la situación de las perforaciones realizadas en el margen continental y su contexto geológico, mientras que la Tabla i resume las principales características de las mismas.

Sondeo Mar Cantábrico C-1

El primer sondeo que se llevó a cabo ("MC" C-1) estaba situado a 22 km de Ribadesella y a 48 km al ENE de Gijón (profundidad del mar: 146,6 m). Los titulares de los permisos "Mar Cantábrico", Shell y Campsa al 50 por ciento, comenzaron a perforar el 21 de septiembre de 1975; se tuvo que abandonar la operación dos meses más tarde (16 de noviembre), bastante antes de llegar al objetivo previsto, al surgir dificultades mecánicas.

El objetivo principal de la perforación era alcanzar los materiales clásticos y carbonatados del Cretácico Inferior y del Jurásico, posibles rocas almacén;

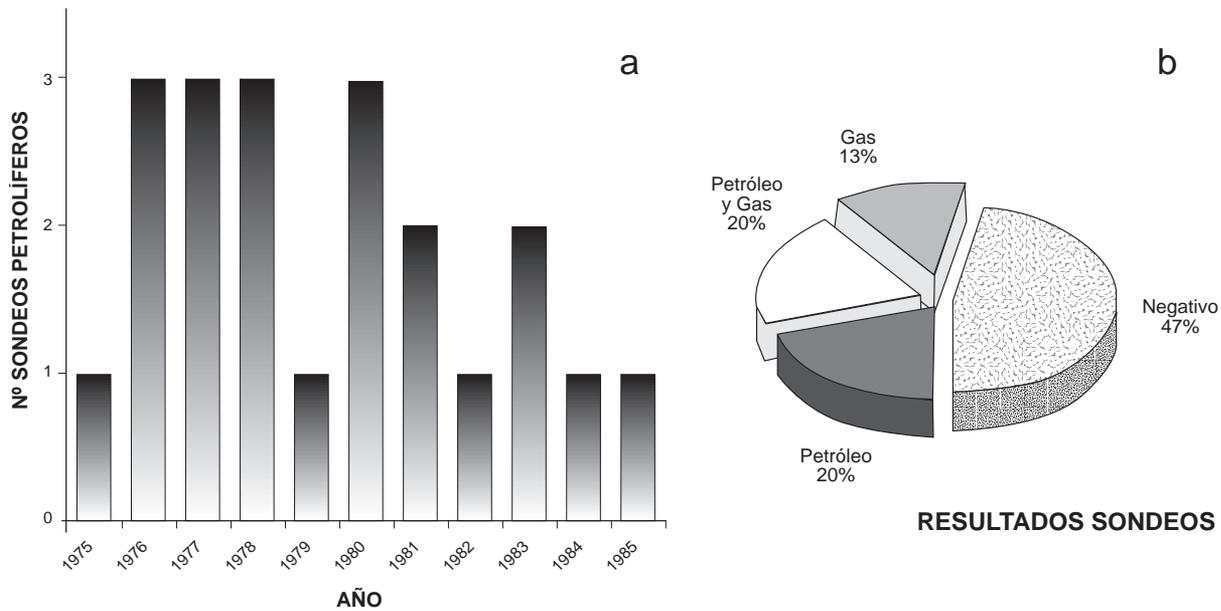


Figura 3. Distribución temporal de la campaña de sondeos de prospección petrolífera en la plataforma continental asturiana y grado de éxito de los mismos.

se consideraba, por los conocimientos de la geología regional, que el Jurásico Inferior constituía la roca madre y que los sedimentos, predominantemente arcillosos, del Terciario y del Cretácico Superior podrían suponer una buena cobertera impermeable. Como objetivo secundario se fijaron los niveles detríticos permotriásicos, e incluso los tramos carbonatados, probables receptores del gas generado en los infrayacentes materiales carboníferos.

Basándose en la información facilitada, especialmente por los reflectores sísmicos, se emplazó el sondeo sobre una estructura alpina anticlinal con eje E-O. La perforación atravesó una cobertera terciaria –constituida por arcillas del Mioceno Inferior, margas y calizas del Oligoceno, margas grises con glauconita y calizas del Eoceno y Paleoceno Superior– en discordancia sobre margas y arcillitas calcáreas del Cretácico Superior (Maastrichtiense a Campaniense). Se alcanzó una profundidad total, medida desde la plataforma de perforación, de tan sólo 1.280 m (Fig. 5).

Con este sondeo se demostró, por primera vez, la existencia de hidrocarburos en la plataforma continental asturiana. Se detectaron indicios alentadores de petróleo y/o gas desde los 865 m hasta los 1.140 m y, singularmente, en el intervalo 940-950 m (Eoceno) (Fig. 5).

Sondeo Mar Cantábrico C-2

Los prometedores resultados de la perforación inicial animaron a realizar un segundo sondeo (“MC” C-2). Dispuesto sobre la plataforma Medusa (Fig. 6) con una situación de tan sólo 70 m al norte del anterior, los objetivos de este pozo fueron cortar la roca almacén, de edad comprendida entre Cretácico y Jurásico, y asimismo, alcanzar los horizontes detríticos del Permotriás.

Comenzó la perforación inmediatamente terminado el sondeo anterior (18 de noviembre de 1975), finalizando la misma el 19 de mayo de 1976. La mesa de la plataforma se encontraba a 24,6 m sobre el nivel del mar.

La estructura geológica atravesada fue el anterior pliegue anticlinal, cuyo límite meridional es una falla que lo separa de una fosa tectónica terciaria (Fig. 2b y c), mientras que el límite septentrional está definido por fallas y pliegues de la misma edad.

Como era de esperar, el primer millar de metros corta idénticos materiales a los del pozo precedente. Así, a los 997 m se atravesó la discordancia Paleoceno Superior-Maastrichtiense, coincidente con el reflector sísmico “H”. Los materiales del Cretácico Superior –margas, arcillitas calcáreas grises y calizas marrones– se extendieron hasta una profundidad de 1.770 m, donde se encontraron sedimen-

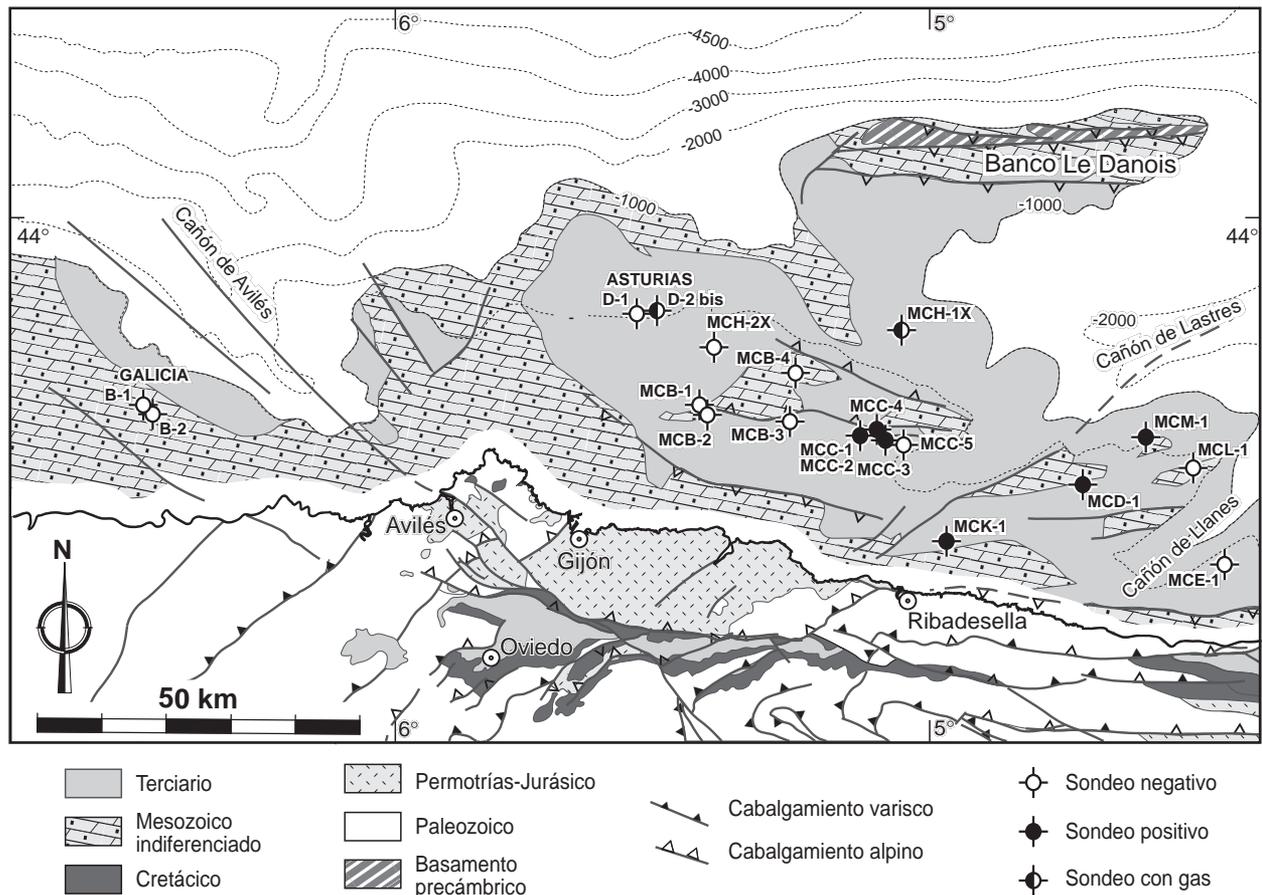


Figura 4. Situación de los principales sondeos petrolíferos ejecutados en la zona prelitoral.

tos detríticos del Cretácico Inferior (Albiense). Hasta los 4.243 m se cortaron diferentes materiales del Cretácico Inferior, y a partir de aquí y hasta una profundidad de 4.382,5 m (cota de finalización) una serie de arcillas pizarrosas negras con anhidrita, de edad incierta (Jurásico Sup. o Cretácico Inf.?) (Fig. 5).

El sondeo confirmó el interés petrolífero de la zona. Además de indicios de gas (metano, etano y propano) en casi toda la serie del Terciario, se atravesó un nivel de arenas finas, de edad Santoniense, saturado de petróleo de buena calidad (37,5° API) y con bajo contenido en azufre (0,22%), obteniéndose 7.100 barriles/día, según las pruebas de producción realizadas. Es destacable reseñar que a muro de este tramo arenoso, coincidente con un nivel de arcillitas de gran continuidad lateral, se sitúa el otro importante reflector sísmico regional, conocido como "K" (Fig. 5).

Hacia los 1.500 m de profundidad (Cenomanien-se), y también en el Aptiense, se captó gas metano y butano en porcentajes del orden del 10%. Por fin, se hallaron indicios de petróleo en las areniscas de edad Barremiense.

Sondeo Mar Cantábrico C-3

En el verano del mismo año 1976 se produjo otro hallazgo positivo en una zona a 26 km de la costa y a unos 4 km al este-sudeste del pozo precedente. Se trata del sondeo "MC" C-3 (profundidad del mar: 152,4 m), que debe ser considerado como de evaluación del yacimiento descubierto con el precedente, ya que era importante determinar la potencia y continuidad lateral del tramo de arenas cretácicas almacenadoras de petróleo.

En esta perforación se recuperaron pocos detritus de las rocas (ripios), pero su estudio, junto a la información suministrada por los perfiles de las dia-

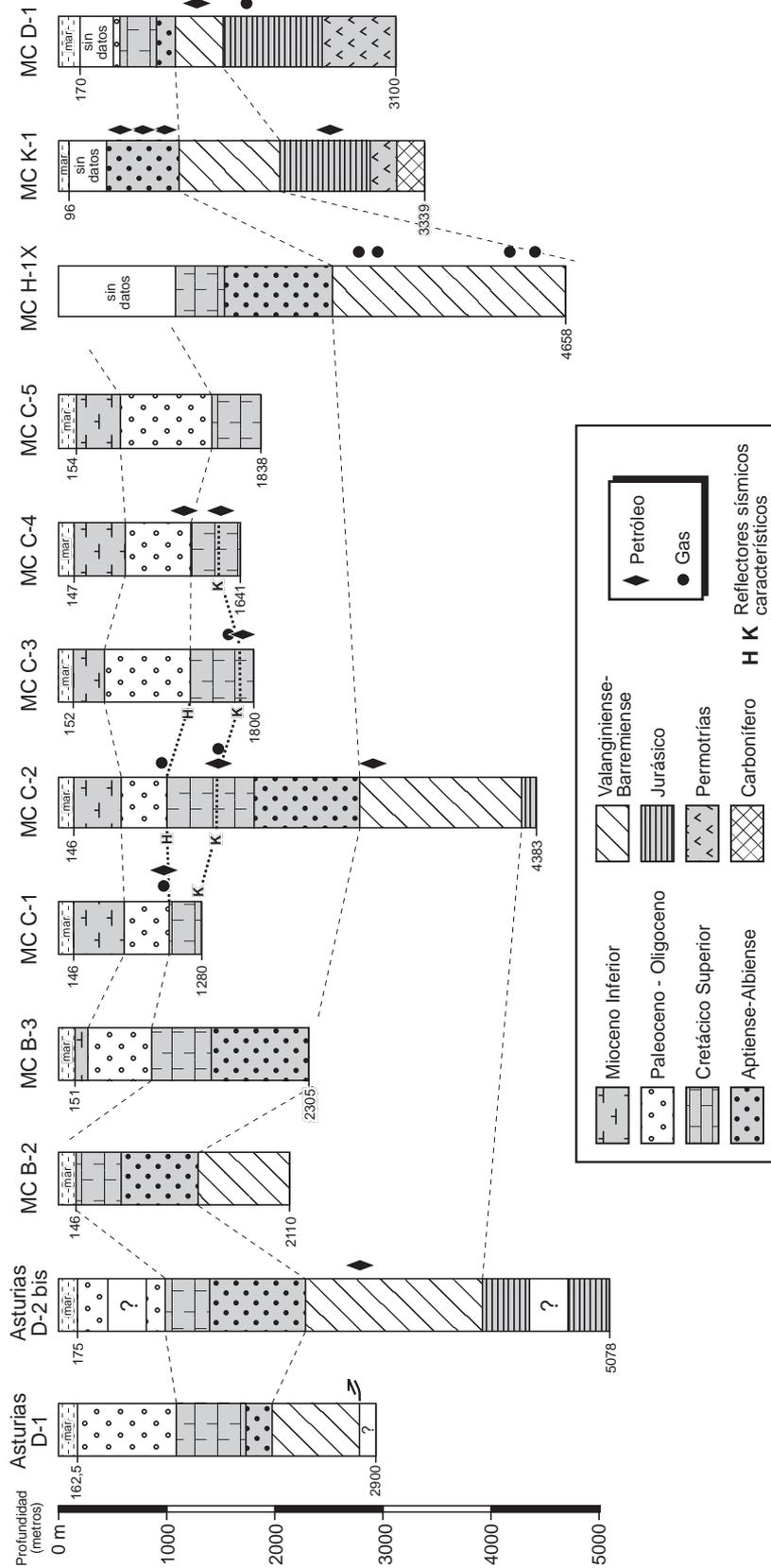


Figura 5. Correlación estratigráfica de sondeos petrolíferos en la plataforma costera asturiana, con indicación de los hallazgos de hidrocarburos.



Figura 6. Foto de la plataforma Medusa.

grafías, ha permitido establecer una precisa correlación estratigráfica con la columna determinada en el C-2. A una profundidad de 1.222 m se encontró el reflector sísmico “H”, apareciendo el nivel arenoso cretácico a los 1.643 m; es decir, en ambos casos, algo más de 200 m por debajo que en el sondeo anteriormente descrito. A una profundidad de 1.700 m se hallaron arcillitas pizarrosas del Cenomaniense (Fig. 5).

Igualmente, los hidrocarburos afloraron en el tramo detrítico del Cretácico Superior, si bien con peores características de permeabilidad. Se trata de petróleo de 35,4° API y con una producción diaria de 466 a 895 barriles, según distintas pruebas, bastante inferior a la del sondeo “C-2”. Estas diferencias de calidad parecen indicar la incomunicación de estos dos almacenes, a pesar de tratarse del mismo nivel estratigráfico.

Sondeos Mar Cantábrico B-1 y B-2

Los siguientes sondeos, emplazados en el meridiano de Villaviciosa, denominados “MC” B-1 y “MC” B-2, perforaron la prolongación occidental de la misma estructura anticlinal. El primero, “B-1”, fue abandonado a los 707 m por presentar una alta desviación, siendo reemplazado por el “B-2”, situado 50 m al sur de él. La serie estratigráfica cortada pertenece en su integridad al Cretácico, estableciéndose el límite superior-inferior a los 910

m. Al final se alcanzaron arcillitas pizarrosas con horizontes de arenas de grano fino, más frecuentes hacia el muro, de edad Barremiense.

El resultado definitivo fue negativo a pesar de haberse observado una pobre e intermitente fluorescencia natural en los ripios, singularmente en el intervalo 974-1.118 m (Albiense-Aptiense) y por debajo de 1.281 m (Barremiense).

Sondeos Galicia B-1 y B-2

A fines del año 1977 se realizaron dos perforaciones frente a la costa de Luarca con la denominación Galicia B-1 y B-2 (Fig. 4). El primer sondeo fue muy corto (226,6 m) y sólo atravesó calizas arenosas del Cretácico. El segundo alcanzó al Paleozoico, después de pasar una cobertera del Cretácico y del Trías. No se dispone de datos sobre la existencia de hidrocarburos.

Sondeo Mar Cantábrico B-3

Entre noviembre de 1977 y enero de 1978 la compañía Shell aún realizó una nueva perforación en el permiso “Mar Cantábrico-B”. Se trata del sondeo “MC” B-3 ubicado, frente al municipio de Colunga, sobre la zona oriental de la misma estructura que sus predecesores.

Se esperaba que los reflectores “K” correspondiesen a las arenas de origen turbidítico similares a las cortadas, en análogos horizontes, en los sondeos “C-2” y “C-3”, situados éstos a levante del “B-3”; sin embargo, no se cumplió el vaticinio resultando ser limolitas y conglomerados, en vez de areniscas, con características pobres como roca almacén.

El pozo atravesó una serie de arcillas y limolitas del Mioceno, más tarde 30 m de margas del Eoceno Superior dispuestas discordantemente sobre margas y limolitas del Eoceno Medio y Paleoceno. A los 823 m de profundidad cortó el Cretácico Superior –arcillitas calcáreas a margas con intercalaciones de limolitas y de conglomerados calcáreos– y a los 1.360 el inferior –arcillitas calcáreas con conglomerados olistostrómicos– (Fig. 5). No se detectaron vestigios de petróleo ni de gas, aunque sí fluorescencia natural de origen mineral en horizontes carbonatados y conglomeráticos.

Un rasgo sobresaliente en los sondeos del mismo permiso “Mar Cantábrico-B”, es que los datos de

buzamiento de la estratificación van aumentando en profundidad, desde subhorizontales (8°) hasta subverticales (80°), lo que fue interpretado como debido a pequeños cabalgamientos relacionados con la estructura tectónica que jalona el flanco meridional del pliegue.

Sondeo Mar Cantábrico E-1

Entre enero y marzo de 1978, Shell perforó un nuevo sondeo marino ("MC" E-1) frente a la costa de San Vicente de la Barquera (Cantabria), al sur del cañón de Lastres. Alcanzó una profundidad de 2.246 m, después de atravesar una serie de margas y conglomerados del Terciario.

Sondeo Mar Cantábrico K-1

Inmediatamente después del sondeo precedente se acometió (6 de marzo) otro, muy próximo a la costa de Ribadesella, conocido como "MC" K-1 que finalizó el 20 de julio de 1978. El objetivo perseguido era diferente al de los anteriores, pues se trataba de explorar una estructura formada por un anticlinal con una discordancia y alcanzar al Permotriás.

La columna litológica perforada abarca una amplia secuencia de materiales que van desde el Cretácico Inferior (con una potencia de unos 1.900 m), pasando por el Jurásico (835 m), Permotriás (248 m) hasta alcanzar el Carbonífero a una profundidad de 3.103 m (Fig. 5). En el seno de la sucesión jurásica se diferencia un tramo superior compuesto por 224 m de arcillitas rojizas con intervalos de areniscas y limolitas, parcialmente equivalente a la facies Purbeck aflorante en el continente, y un tramo inferior formado por 611 m de calizas, margas y dolomías, éstas dominantes hacia la base –pertenecientes al Lías y, probablemente, al "Tramo de transición"-. El Permotriás está representado por arcillas limosas rojizas, areniscas, limolitas y niveles de calizas. Entre los materiales carboníferos se distingue la "Caliza de Montaña" (175 m) dispuesta sobre un tramo, estratigráficamente invertido, de areniscas, limolitas y lutitas.

Se corroboró la configuración estructural prevista, comprobándose además que la superficie de discordancia Cretácico-Jurásico actuó, asimismo, como nivel de deslizamiento aprovechando un tramo evaporítico de edad Neocomiense. Inmedia-

tamente por encima de este nivel, los buzamientos son superiores a los que exhiben los materiales jurásicos.

Se encontraron algunos indicios de petróleo residual (Fig. 5), fundamentalmente en materiales bastante fracturados de Cretácico Inferior (Hauteriviense-Aptiense) y también en dolomías liásicas, aunque aquí muy pobres. Sin embargo, resultaron infructuosos los niveles permotriásicos debido a la ausencia de buenos tramos detríticos para constituir almacenes rentables.

Sondeo Mar Cantábrico L-1

Al año siguiente se perforó el "MC" L-1, ubicado, asimismo, inmediatamente al norte del cañón de Llanes, y del que no se dispone de datos, salvo que superó los 3.000 metros.

Sondeo Mar Cantábrico M-1

También en los primeros meses de 1979 comenzó el sondeo "MC" M-1, situado la zona septentrional del cañón de Llanes. Sobrepasó los 4.000 m de profundidad e intersectó un nivel que produjo una salida brusca de petróleo ("blow-out") de tipo asfáltico.

Sondeo Mar Cantábrico H-IX

Ya en la década de los años 80, un consorcio de compañías llevaron a cabo, frente a la costa de Ribadesella, el sondeo "MC" H-IX, que resultó positivo en cuanto a manifestaciones gaseosas. El período de perforación se desarrolló entre el 18 de abril y el 11 de noviembre de 1980 y es uno de los sondeos que alcanzó mayor profundidad al detenerse a 4.658 m (Fig. 5).

Se confiaba hallar hidrocarburos dentro de areniscas, tanto del Cenomaniense como del Valanginiense, e incluso alcanzar los probables almacenes del Jurásico. Sin embargo, las expectativas no se confirmaron y sólo se detectaron indicios muy puntuales de gas en calizas fracturadas del Aptiense y, esencialmente, en niveles del Neocomiense (Graves, 1980). El gas detectado fue metano, a veces con trazas de etano y propano, en porcentajes comprendidos entre 11-20%.

La estructura objeto de exploración era un anticlinal limitado por fallas ONO-ESE. Los materiales atravesados pertenecen totalmente al Cretácico, los

primeros 1.500 m al superior –calizas margosas, que varían gradualmente a margas hacia la base, y algunos niveles areniscosos, a veces masivos– y los restantes al inferior –con predominio de margas y arcillas calcáreas con intercalaciones de calizas y areniscas–.

Sondeo Asturias D-1

De manera casi coetánea con el proyecto precedente, la empresa Eniepsa perforó casi en la vertical del meridiano de Gijón, con una lámina de agua de 162,5 m. El sondeo, bautizado como Asturias D-1, duró desde el 18 de marzo hasta el 12 de diciembre de 1980.

No se posee información detallada sobre los indicios de hidrocarburos hallados, aunque sí se tiene noticia de los terrenos atravesados (Fig. 5). Hasta una profundidad de 1.061 m se cortó una serie margosa del Terciario (Oligoceno, Eoceno y Paleoceno), cota a la que se entró en el Cretácico, tanto el superior (con un espesor total de 638 m) como el inferior (1.049 m), estando representados materiales pertenecientes a todos sus pisos. A partir de los 2.748 m y hasta el final se altera la anterior simplicidad estratigráfica, apareciendo nuevamente el Eoceno superpuesto a un probable Trías salino (diapiro?) y éste por encima de calizas cretácicas basales.

Sondeo Mar Cantábrico C-4

El 14 de noviembre de 1980 Shell España empezó el pozo “MC” C-4, ubicado a 25 km de la costa y a 35 de Gijón, con una profundidad del mar de 147,5 m; concluyó el 17 de febrero de 1981. Con esta perforación se pretendía definir la posible extensión de las arenas turbidíticas del Santoniense, que en las anteriores prospecciones del “Mar Cantábrico-C” habían liberado petróleo; según lo previsto, también proporcionaron hidrocarburos de buena calidad.

En el primer tramo se traspasaron arcillitas calcáreas de Mioceno Inferior y margas, areniscas y conglomerados calcáreos, al muro, del Paleoceno-Oligoceno (Fig. 5). A partir de los 1.201 m se cortaron arcillitas, conglomerados, margas y arenas del Cretácico Superior. El reflector “K” se sitúa a la profundidad de 1.533-1.553 m.

Surtió petróleo en el intervalo 1.452,5-1.465 m, correspondiente a las arenas turbidíticas con alta permeabilidad del Santoniense Superior, en similar posición estratigráfica a la de los sondeos “C-2” y “C-3”. El hidrocarburo era ligero de 35,4° API y con una producción máxima de 3.130 barriles/día –si se aumentaba el ritmo aflucía una fracción arenosa–, llegándose a extraer en la prueba un total de 23.238 barriles de crudo. Además, y de manera inesperada, se lograron buenos indicios en calizas de la base del Terciario (1.159-1.169 m), obteniéndose, después de acidificar el pozo, hasta 5.000 barriles/día de un petróleo ligero (34,3° API).

Sondeo Mar Cantábrico C-5

El último sondeo del permiso “Mar Cantábrico-C” fue el “MC” C-5 (19 de febrero a 31 de marzo de 1981). Situado a unos 20 km del litoral en la perpendicular de Ribadesella, estaba dispuesto sobre la plataforma “Bideford Dolphin”, con una capa de agua de 154 m. Resultó infructuoso después de atravesar arcillitas calcáreas del Mioceno Inferior (hasta los 561 m), 821 m de margas del Terciario Inferior y 456 m de margas, areniscas y dolomías del Cretácico Superior (Fig. 5).

Sondeo Mar Cantábrico H-2X

Durante marzo y junio de 1982, Philips ejecutó el pozo “MC” H-2X frente a Villaviciosa, algo más al norte de los “B-1” y “B-2”, y del que sólo se conoce que alcanzó los 3.022 m de profundidad.

Sondeo Mar Cantábrico D-1

En el año 1983 se reanudaron las prospecciones del subsuelo de la plataforma continental al norte de la costa de Llanes. El sondeo “MC” D-1 también detectó ligeros indicios de hidrocarburos. Tras atravesar 31 m de margas eocenas y 927 m de Cretácico, se introdujo en una serie jurásica, predominantemente carbonatada y, desde la profundidad de 2.401 m, en un extenso intervalo salino (separado del Lías por unos niveles anhidríticos y dolomíticos) (Fig. 5). Fue abandonado por razones técnicas.

Se captaron trazas insignificantes de petróleo en arcillas y margas del Cretácico hasta los 1.220 m, y escasas señales de gas en las calizas del Jurásico Medio (Fig. 5).

Sondeo Mar Cantábrico B-4

Otra de las perforaciones marinas de la que apenas se dispone de información es la denominada "MC" B-4. Situada en la vertical de Colunga, con una profundidad de agua de 148 m, se desarrolló en los meses de junio y octubre de 1983 llegando a intersectar materiales del Jurásico.

Sondeo Asturias D-2 bis

El último sondeo del que se tienen noticias es el Asturias D-2 bis, sobre una lámina de agua de 175 m, que es el sondeo más profundo realizado en la zona ya que alcanzó los 5.078 m de profundidad (Fig. 5). Fue programado con la finalidad de reconocer los hallazgos de petróleo detectados en el Asturias D-1, al techo de la serie jurásica.

Se desconocen datos sobre los 480 primeros metros de perforación. A partir de los cuales se atravesó una serie evaporítica extrusiva no datada –sal y anhidrita–, y a los 800 m se llegó al límite Eoceno-Paleoceno. El Cretácico Superior –377 m de margas con intercalaciones de calizas, y limolitas y areniscas calcáreas comienza a los 973 m de profundidad y le sigue el Inferior, con 2.550 m de potencia. El Jurásico Superior –calizas grises a beige– aparece a los 3.900 m con un espesor de 422 m y da paso a unos niveles evaporíticos no datados, pero probablemente de edad permotriásica, dispuestos en contacto con materiales del Kimmeridgiense. Se registraron manifestaciones baladíes de gas (proporción de hidrocarburos gaseosos entre 1,7 y 3,6%) en el Neocomiense-Barremiense (las más importantes a los 2.767 m de profundidad) y en el tramo evaporítico, pero no en las calizas jurásicas, finalidad prospectiva primaria (Fig. 5).

Estructura geológica de la plataforma continental asturiana

Mediante la integración de los datos de sondeos con la interpretación de 25 perfiles sísmicos de la plataforma asturiana se ha podido completar un corte geológico N-S de la cuenca mesozoico-terciaria desarrollada en la misma (Fig. 2c) (Gallastegui, 2000; Gallastegui et al., 2002).

La plataforma cantábrica está ocupada por una cuenca sedimentaria mesozoica asimétrica que se

adelgaza hacia el N (Fig. 2c), desarrollada durante la etapa de extensión que afectó a todo el margen noribérico entre el Permotriás y el Cretácico Inferior (Fig. 5). La potencia máxima de los niveles de este período, que reposan sobre un basamento paleozoico, supera los 5.000 m en la zona cercana a la costa, para adelgazarse progresivamente hacia el norte en dirección al Banco Le Danois, donde dicho basamento aflora en la proximidad del talud continental (Figs. 2c y 4). La cuenca Permo-Mesozoica está a su vez dividida en una serie de subcuencas por fallas normales mesozoicas que están fosilizadas por los niveles del Cretácico más alto (Fig. 2c). Los niveles del Cretácico Superior (800 m en el extremo meridional) también disminuyen de espesor hacia el norte y llegan a desaparecer en el límite del talud, donde el Terciario se apoya directamente sobre el Cretácico Inferior. Las rocas del Cretácico Superior se depositaron en el período de estabilidad tectónica que acompañó a la apertura y oceanización del Golfo de Vizcaya.

El posterior desplazamiento de la placa africana hacia el norte durante el Terciario produjo una modificación en el régimen tectónico del área, que pasó a ser compresivo. En este contexto tuvo lugar el cierre parcial del Golfo de Vizcaya, el levantamiento alpino de la Cordillera Cantábrica (Alonso et al., 1996) y la inversión tectónica de la cuenca mesozoica de la plataforma cantábrica (Riaza Molina, 1996; Álvarez Marrón et al., 1997; Gallastegui, 2000; Gallastegui et al., 2002) mientras se depositaban los niveles sintectónicos terciarios. Los efectos de la compresión entre el Eoceno y el Mioceno Inferior, observables en la plataforma asturiana son los siguientes: i) inversión tectónica de las fallas normales mesozoicas que juegan como fallas inversas (extremo S del corte geológico en la figura 2c), ii) emplazamiento de cabalgamientos vergentes al N enraizados dentro de la serie mesozoica en las inmediaciones del Banco Le Danois y iii) desarrollo de pliegues relacionados con los cabalgamientos y las fallas invertidas (Gallastegui, 2000; Gallastegui et al., 2002). Algunos de los pliegues anticlinales desarrollados en ese momento fueron prospectados mediante sondeos, como por ejemplo los sondeos "MC" C-1 a "MC" C-5, que exploraron una estruc-

Tabla i. Características generales de los principales sondeos ejecutados en la plataforma continental asturiana. Las profundidades están referidas a la cota de la plataforma de perforación, normalmente 24,6 m sobre el nivel del mar.

SONDEO	Coordenadas	Año	Compañía	Profundidad (máxima)	Edad columna sondeada	Hidrocarburos
“MC” C-1	43° 41' 12,61" N 5° 08' 21,72" O	1975	SHELL/CAMPSA	1.280 m	Mioceno Inf.- Cretácico Sup.	Gas: 940-950 Petr.: 865-1140
“MC” C-2	43° 41' 15,00" N 5° 08' 21,70" O	1975-76	SHELL/CAMPSA	4.382,5 m	Mioceno Inf.- Jurásico Sup.	Petr.: 1441-1455 Gas: 1486-1500 Petr.: 2818-2852
“MC” C-3	43° 40' 58,20" N 5° 05' 37,28" O	1976	SHELL/CAMPSA	1.800 m	Mioceno Inf.- Cretácico Sup.	Petr.: 1643-1652
“MC” B-1	43° 43' 13,52" N 5° 26' 51,36" O	1976	SHELL/CAMPSA	707 m	Cretácico Sup.	Negativo
“MC” B-2	43° 43' 12,09" N 5° 26' 51,14" O	1976-77	SHELL/CAMPSA	2.110,5 m	Cretácico Sup.- Inf.	Negativo
Galicia B-1	43° 42' 57,00" N 6° 33' 11,90" O	1977	CHEVRON	326,6 m	Cretácico	(?)
Galicia B-2	43° 42' 58,16" N 6° 33' 11,31" O	1977	CHEVRON	1.754 m	Cretácico Inf.- Paleozoico	(?)
“MC” B-3	43° 42' 13,94" N 5° 16' 29,88" O	1977-78	SHELL/CAMPSA	2.305,5 m	Mioceno- Cretácico Inf.	Negativo
“MC” E-1	43° 30' 07,35" N 4° 26' 27,94" O	1978	SHELL	2.246 m	Terciario	(?)
“MC” K-1	43° 22' 04,79" N 4° 58' 31,02" O	1978	SHELL/CAMPSA	3.339 m	Cretácico Inf.- Carbonífero	Petr.: 500-598 Petr.: 652-691 Petr.: 742-979 Petr.: 2434-2445
“MC” L-1	43° 38' 17,81" N 4° 30' 06,18" O	1979	SHELL	3.383 m	Eoceno- Cretácico Inf.	(?)
“MC” M-1	43° 40' 56,01" N 4° 35' 33,35" O	1979-80	SHELL	4.208 m	(?)	Petr.: indicios
“MC” H-1X	43° 49' 55,47" N 5° 03' 40,16" O	1980	PHILIPS/BP/ GETTY/ENIEPSA	4.658 m	Cretácico Sup.- Cretácico Inf.	Gas: 2912-2914 Gas: 4392-4397
Asturias D-1	43° 51' 23,94" N 5° 33' 56,74" O	1980	ENIEPSA	2.900 m	Oligoceno- Cretácico Inf.	Negativo (?)
“MC” C-4	43° 41' 16,12" N 5° 06' 31,21" O	1980-81	SHELL/CAMPSA	1.641 m	Mioceno Inf.- Cretácico Sup.	Petr.: 1159-1169 Petr.: 1452-1465
“MC” C-5	43° 40' 29,31" N 5° 02' 59,57" O	1981	SHELL/CAMPSA	1.838 m	Mioceno Inf.- Cretácico Sup.	Negativo (?)
“MC” H-2X	43° 48' 29,37" N 5° 25' 28,04" O	1982	PHILIPS	3.022 m	(?)	(?)
“MC” D-1	43° 36' 54,74" N 4° 42' 45,02" O	1983	SHELL/CAMPSA	3.100 m	Eoceno Sup.- Permotrías	Petr.: 1220 Gas: 1780-1790
“MC” B-4	43° 46' 21,28" N 5° 15' 50,29" O	1983	SHELL	4.900 m	Jurásico	(?)
Asturias D-2 bis	43° 51' 12,39" N 5° 31' 50,61" O	1984-85	ENIEPSA	5.078 m	Mioceno- Jurásico Sup.	Gas: indicios

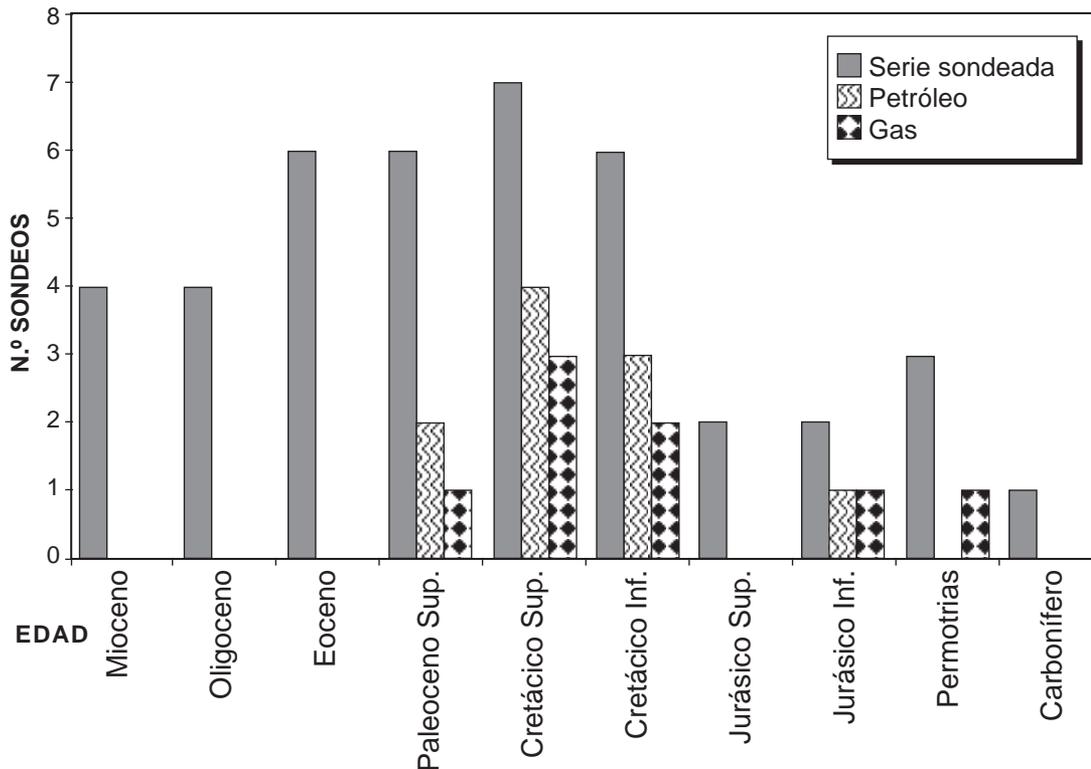


Figura 7. Edad de los terrenos atravesados por los sondeos petrolíferos productivos y distribución de los hallazgos de hidrocarburos.

tura anticlinal con dirección N1200 que se atraviesa en el extremo N del perfil de la figura 2b.

A partir del Mioceno superior no hay evidencias de deformación importante en la plataforma y los niveles del Plioceno y Cuaternario fosilizan a las estructuras en la zona más alejada de la costa.

Conclusiones

El subsuelo de la plataforma costera de Asturias ha demostrado ser generador de petróleo y gas natural, poseer rocas almacén con las características idóneas de porosidad y permeabilidad que permitan contener depósitos de hidrocarburos. No obstante, el hecho de la variación de los parámetros productivos a distancias reducidas y la baja relación almacenes/coberteras no parecen favorecer los hallazgos rentables. Al mismo tiempo, la compleja estructura geológica dificulta encontrar yacimientos estables con dimensiones adecuadas.

Con los datos obtenidos de estos programas de prospección se puede concluir que los *almacenes* de petróleo más importantes son los siguientes (Tabla i, figuras 5 y 7):

- Arenas turbidíticas del Cretácico Superior (Santonense). Poseen unas características petrofísicas muy adecuadas, con granos de tamaño fino, bien redondeados y clasificados, y una alta porosidad (alrededor del 25%). Presentan algunas intercalaciones de conglomerados carbonatados.

- Calizas y areniscas carbonatadas de facies Urgoniense (Cretácico Inferior) y materiales detríticos de facies Wealdense a Purbeck (Cretácico Inferior).

- Conglomerado calcáreo basal del Terciario (Paleoceno), superpuesto en discordancia al Cretácico. De hecho, los clastos son mayoritariamente de calizas de edad cretácica, siendo el cemento de naturaleza dolomítica.

- Materiales del Jurásico que, aunque han sido cortados en pocos sondeos, constituyen un objetivo prioritario de investigación petrolífera ya que en las sucesiones de esta edad que afloran en Asturias son abundantes los intervalos de lutitas negras (“black shales”) y de pizarras bituminosas con potencial como roca madre de hidrocarburos (Valenzuela, 1988). Los niveles de mayor interés se encontrarían dentro de las formaciones Rodiles, Tereñes y Lastres.

Respecto a *trampas* petrolígenas, destacan los pliegues anticlinales, habitualmente estrechos y alargados, según una orientación E-O, presentando el flanco meridional fallado o incluso cabalgante (Fig. 2).

La hipótesis más admitida sobre la *génesis* de los hidrocarburos es que los niveles de lutitas negras jurásicas, en las que el contenido en carbono orgánico suele sobrepasar el 4%, fueron la principal roca madre. Concretamente, la ritmita de la Formación Rodiles (Jurásico Inferior-Medio) contiene diversos tramos de tonalidad gris oscura que produjeron de hidrocarburos, según parece deducirse de los braquiópodos fósiles con relleno de petróleo que se observan en estos niveles margo-calcáreos; uno de estos horizontes, de varios metros de espesor, es singularmente rico en materia orgánica (García-Ramos y Gutiérrez Claverol, 1995). Una vez generados los fluidos, debieron emigrar parcialmente hacia otros niveles litológicos con mayor porosidad, entre ellos los isócronos de naturaleza carbonatada que se detectan en los sondeos de la plataforma continental.

Bibliografía

- Alonso, J. L., Pulgar, J. A., García-Ramos, J. C. y Barba, P. (1996): Tertiary basins and Alpine tectonics in the Cantabrian Mountains (NW Spain). En: *Tertiary basins of Spain: the stratigraphic record of crustal kinematics* (P. F. Friend y C. J. Dabrio, Eds.). Cambridge Univ. Press: 214-227.
- Álvarez-Marrón, J., Pulgar, J. A., Dañobeitia, J. J., Pérez-Estaún, A. y Gallastegui, J. (1997): Results from the ESCI-N4 marine deep seismic profile in the northern Iberian Margin. *Revista Sociedad Geológica de España*, 8 (4): 355-364 (1995).
- Boillot, G., Dupeuble P. A., Hennequin-Marchand, I., Lamboy, M. y Lepretre, J. P. (1973): Carte géologique du plateau continental nord-espagnol entre le canyon de Capbreton et le canyon d'Aviles. *Bulletin Societe Géologique France*, (7) 15 (3-4): 367-391.
- Boillot, G., Dupeuble, P. A., Lamboy, M., D'Ozouville, L. y Sibuet, J. -C. (1971): Structure et histoire géologique de la marge continentale au N de l'Espagne. En: *Histoire structurale du Golfe de Gascogne* (J. Debysier, X. Le Pichon et M. Montadert, Eds.). Technip, Paris, V.6.1-V.6.52.
- Gallastegui, J. (2000): Estructura cortical de la cordillera y margen continental cantábricos: perfiles ESCI-N. *Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo*, 22: 1-210.
- Gallastegui, J., Pulgar, J. y Gallart, J. (2002): Initiation of an active margin at the North Iberian continent-ocean transition. *Tectonics*, 21 (4), 10.1029/2001TC901046.
- García Siñeriz, B. (1977): El interés petrolífero de la cuenca asturiana fuera de costa. *Diario La Voz de Asturias* (24 de abril de 1977), Oviedo.
- Se posee muy poca información sobre el basamento paleozoico de la plataforma continental, pues solamente en dos de los sondeos realizados se cortaron materiales paleozoicos, uno en el meridiano de Ribadesella ("MC" K-1) y el segundo en la transversal de Luarca ("MC" B-2). Así, el "MC" K-1 atravesó en los 236 m finales (ver Fig. 6), inmediatamente por debajo de una cobertera impermeable compuesta por arcillitas rojas y anhidrita del Trías, calizas masivas blanquecinas y areniscas que han sido atribuidas al Carbonífero. Estos datos puntuales parecen excluir la procedencia de los hidrocarburos de depósitos de este sistema.
- Como colofón, se puede concluir que la labor realizada, en lo que a sondeos y estudios geofísicos se refiere, es aún reducida como para definir eficientemente el potencial petrolífero de esta cuenca, por lo que es previsible la ejecución de nuevos proyectos de prospección en el futuro.

Agradecimientos

A la empresa REPSOL, que cedió desinteresadamente los perfiles sísmicos de la plataforma asturiana empleados para este estudio.

García-Ramos, J. C. y Gutiérrez Claverol, M. (1995): La cobertera mesozoico-terciaria. En: *Geología de Asturias* (C. Aramburu y F. Bastida, Eds.). Ediciones Trea, S. L., Gijón: 81-94.

Graves (1980): Mar Cantábrico H-IX. Final geological report. Philips Petroleum Company Spain. *Dirección Gral. Energía, Comercio y Turismo, Ministerio de Industria* (inédito), Madrid.

Gutiérrez Claverol, M. (1998): *Exploración de petróleo y gas en la plataforma costera asturiana*. Primer Curso sobre Investigación geológica aplicada a los recursos energéticos. Facultad de Geología, Univ. de Oviedo.

Gutiérrez Claverol, M. y Luque Cabal, C. (1993): *Recursos del subsuelo de Asturias*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo, 1-392.

Gutiérrez Claverol, M. y Luque Cabal, C. (1995): Recursos geológicos. En: *Geología de Asturias* (C. Aramburu y F. Bastida, Eds.). Ediciones Trea, S. L., Gijón, 187-202.

Lanaja, J. M. (1987): *Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España*. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Madrid, 1-465.

Riaza Molina, C. (1996): Inversión estructural en la cuencas mesozoica del off-shore asturiano. Revisión de un modelo exploratorio. *Geogaceta*, 20 (1): 169-171.

Soler, R., López Vilches, J. y Riaza, C. (1981): Petroleum geology of the Bay of Biscay. En: *Petroleum geology of the Continental Shelf of North-West Europe* (L. V. Illing y G. D. Hobson, Eds.). The Inst. of Petrol., London: 474-482.

Valenzuela, M. (1988): *Estratigrafía, Sedimentología y Paleogeografía del Jurásico de Asturias*. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo (inédita), 1-1433.