

Estratigrafía y disposición estructural del Terciario Inferior en el subsuelo del Sector Central de la Cuenca del Ebro

J. KLIMOWITZ

GESSAL C/ Arturo Soria, 136, 1°C. Madrid 28043

RESUMEN

Algunos aspectos desconocidos de las características estratigráficas y estructurales del Terciario inferior en el subsuelo de la Cuenca del Ebro pueden ser reconocidos a partir del estudio en detalle de la información de los sondeos y campañas sísmicas procedentes de la exploración de hidrocarburos. En los materiales paleógenos depositados directamente sobre un sustrato mesozoico o paleozoico, se puede distinguir, en relación a ciertas estructuras geológicas, la existencia de sedimentos continentales de edad Paleoceno y Eoceno. Diversos tipos de discordancias angulares son reconocibles en estos depósitos durante el Eoceno medio-superior y el Oligoceno. La expansión de los depósitos sedimentarios paleogenos se muestra muy relacionada con la actividad tectónica compresiva del sustrato mesozoico-paleozoico.

Palabras clave: Estratigrafía. Terciario Inferior. Cuenca del Ebro.

ABSTRACT

Some unknown stratigraphical and structural characteristics of the lower Tertiary Ebro Basin infill can be recognized re-examinig in detail the oil drilling and seismic data, according to surface observations. Among Paleogene deposits, whose materials lie directly on the Mesozoic and Paleozoic basement, the existence of Paleocene and Eocene continental sediments can be defined in relationship with some geological structures. Several kinds of angular unconformities developed specially during the middle-upper Eocene and lower Oligocene. The expansion of the Paleogene sedimentary deposits are in direct relationship to the compressive tectonic activity of the Mesozoic-Paleozoic basement.

Key words: Lower Tertiary. Stratigraphy. Ebro Basin.

INTRODUCCION

En el borde meridional de la Depresión del Ebro, en su sector aragonés, se reconocen en superficie materiales terciarios que están constituidos fundamentalmente por depósitos continentales y se encuentran separados entre sí por discordancias angulares (Riba et al, 1985; Anadon et al, 1981; Colombo, 1986; Anadon et al, 1989).

A partir del análisis e interpretación de los sondeos de la exploración de hidrocarburos en el Sector Central de la Depresión del Ebro se pueden diferenciar en el subsuelo algunos de estos depósitos continentales paleogenos.

El Terciario inferior en el subsuelo de este área fue ya tratado con anterioridad por Quirantes, J. (1969), cuyos resultados establecían para la mayor parte de esta zona una discordancia erosiva de series oligocenas sobre un sustrato mesozoico plegado.

Tanto en los trabajos de Quirantes (1969), y posteriores autores (Riba et al, 1985; Anadon et al, 1989), como en la propia información de los sondeos de hidrocarburos del área, no se reconocen o diferencian series atribuibles al Paleogeno inferior en los sondeos de este área, reconociéndose únicamente un Paleoceno carbonático en los sondeos Candasnos-1 y Fraga-1.

La superposición de estas unidades lutíticas de edades comprendidas entre el Paleoceno y Oligoceno, aparentemente sin claras características que permitieran su correcta diferenciación, fue la causa de

haberse considerado anteriormente en todo su conjunto como materiales exclusivamente oligocenos (Quirantes, 1969), o incluso miocenos (Riba et al, 1985). Por otro lado el diferente grado de erosión que afecta a las unidades sedimentarias del terciario inferior en el subsuelo de este área origina que sondeos próximos no controlen las mismas unidades litoestratigráficas.

Es por ello necesario recordar la importancia de la selección de una adecuada escala de representación gráfica para la correcta interpretación de la correlación de los sondeos, especialmente en esta área de sedimentación continental terciaria, en donde se pueden observar en estudios anteriores correlaciones de muy diversa índole condicionadas por el uso de escalas con una importante exageración vertical.

METODOLOGIA

La dificultad de establecer una correlación fiable en estas formaciones continentales del Paleógeno a partir de la información de los antiguos sondeos de exploración de hidrocarburos de la cuenca del Ebro radica principalmente en los problemas de diferenciación litoestratigráfica en series fundamentalmente lutíticas con características petrofísicas muy uniformes.

Por otro lado, el control geométrico de estas formaciones del Terciario Inferior, que con disposición subhorizontal se extienden sobre la superficie de erosión de esta cuenca terciaria, condiciona claramente la interpretación en las correlaciones de las unidades litoestratigráficas definidas debido a la complejidad que imprime sobre estos depósitos basales la existencia de estructuraciones locales (anticlinales, cabalgamientos en el sustrato mesozoico) de escasa representación regional.

La información de las campañas sísmicas de reflexión existentes no aporta tampoco en este caso una definición clara a esta problemática estratigráfica, pues los reflectores sísmicos subhorizontales próximos a la discordancia basal terciaria pueden corresponder por su propia definición vertical, a varias y/o distintas unidades del Paleógeno, pudiéndose incurrir en errores de gran importancia en la correlación de estas unidades.

No es posible por tanto elaborar un estudio de estratigrafía sísmica para estas unidades del Terciario inferior. Sin embargo si han sido de utilidad los perfiles sísmicos analizados, como herramientas de

apoyo a la correlación propuesta, pues si aportó información de interés en la definición de la geometría y estructura del sustrato preterciario, así como en el análisis, a nivel regional, de los condicionamientos estructurales sobre la sedimentación terciaria.

La diferenciación litoestratigráfica realizada en este estudio tras una interpretación de detalle de la información geofísica de los sondeos Ebro-1, Bujaraloz-1, Chiprana-1, Candasnos-1, Lerida-1, Mayals-1, Fraga-1 y Ballobar-1, ofrece nuevos datos sobre la estratigrafía del Paleógeno de la cuenca del Ebro. En este estudio se ha revisado especialmente la información correspondiente a los tramos de series del terciario inferior atravesados por estos sondeos. Estos materiales terciarios están ampliamente afectados por los distintos episodios de erosión y muy relacionados con la actividad tectónica del sustrato mesozoico.

La identificación de las unidades litoestratigráficas definidas se ha realizado atendiendo a criterios litológicos, al carácter y respuesta de las diagráfias de estos sondeos, así como a la correlación de estas diferenciaciones con las unidades litoestratigráficas paleogenas que afloran a lo largo del margen meridional de la Depresión del Ebro.

CARACTERISTICAS ESTRATIGRAFICAS GENERALES DE LAS UNIDADES DEL SUBSUELO

A partir del análisis litoestratigráfico de los materiales paleógenos depositados sobre el sustrato mesozoico (Fig. 1) se ha podido distinguir una unidad inferior equivalente a la Formación Mediona (Anadon, 1978), otra unidad equivalente al Complejo Ulldemollins del Grupo Cornudella, otra unidad equivalente al Grupo Barberá y una unidad superior, discordante sobre todas las anteriores, equivalente a la Formación Flix y/o Formación Blancafort del Grupo Scala Dei (Colombo, 1986).

La confirmación de la existencia de estas unidades del Paleógeno inferior, en este sector de la Cuenca del Ebro, ofrece una clara visión de la continuidad y extensión de la cuenca de sedimentación Eocena, con materiales similares a los del margen sur y sudeste de esta cuenca terciaria.

Las diversas unidades litoestratigráficas (Unidad A,B,C,D y E) identificadas en los registros geofísicos de los sondeos de este área se describirán a continuación según su sucesión estratigráfica, siendo agrupadas según sus equivalentes litoestratigráficos definidos en superficie:

- Unidad A: Formación Mediona.

Los materiales del Paleoceno, al igual que se observa en los afloramientos próximos al borde suroccidental de las Catalánides (Anadon et al, 1981; Colombo, 1986), presentan también en el subsuelo una extensión condicionada por la paleogeografía originada por la actividad tectónica preterciaria.

Sólo en los sondeos Candasnos-1 y Fraga-1 se reconocieron en la base del terciario unos materiales carbonáticos y lutíticos con un espesor entre 30 a 55 m. atribuidos al Paleoceno. El sondeo Ballobar-1, al Norte de los sondeos anteriores, atraviesa en cambio un nivel lutítico rojo, de unos 30 m. de espesor, que podría corresponder a un equivalente estratigráfico de dicho paleoceno carbonático como resultado de un cambio lateral de facies a llanura fangosa "mud flat". Estas margas rojas, que presentan intercalaciones de microbrechas y calizas organo-detriticas, habían sido atribuidas anteriormente al Cretácico Inferior al presentar éstas una electrofacies similar a las series cretácicas infrayacentes.

Equivalente a estas facies podríamos también citar las lutitas y margas rojas atravesadas en el sondeo Lérida-1, con mayor potencia (60 m), y que se encuentran depositadas a su vez discordantemente sobre el sustrato mesozoico. Todos estos materiales formarían parte de una unidad litoestratigráfica equivalente a la Formación Mediona, y por tanto se les puede atribuir una edad Taneciense Medio-Superior.

La continuidad lateral de esta formación a lo largo de la cuenca es variable, pues además del condicionante paleogeográfico deposicional de estos materiales hay que contar con la importante erosión que se desarrolla durante el Eoceno superior al Oligoceno inferior en el subsuelo de este sector meridional de la Cuenca del Ebro.

A grandes rasgos parece tener continuidad con los materiales lutíticos rojos de edad Paleocena controlados por los sondeos de los sectores orientales de la Cuenca del Ebro (sector catalán: sondeos Puigreig-1, Perafita-1bis, Juanetas-1, etc) y de su sector septentrional (autóctono surpirenaico: sondeos Huesca-1, Comiols-1). En ambos sectores la potencia de estos materiales lutíticos oscila entre los 30 y 70 m.

Sin embargo, parece producirse un cambio importante de potencia hacia los sectores occidentales (área de Rioja-Navarra), en donde se observan espesores de 200 a 300 m. (Sondeos Rioja) de estas formaciones lutíticas paleocenas.

- Unidad B: Complejo de Ulldemolins.

Sobre la unidad A o directamente sobre el sustrato mesozoico, cuando el Paleoceno no se halla presente, se sitúan unos materiales lutíticos con intercalaciones carbonáticas y evaporíticas. Estos materiales en el subsuelo presentan potencias de hasta 120 m. Salvo en los sondeos Fraga-1 y Ballobar-1, en el resto de los sondeos citados los niveles superiores de esta unidad se encuentran parcialmente erosionados, siendo esta erosión más acusada hacia el sur en donde los sondeos Chiprana-1 y Ebro-1 sólo reconocen 38 y 23 m. respectivamente, de esta unidad. Estos materiales serían equivalentes noroccidentales del Complejo Ulldemolins del Grupo Cornudella (Colombo, 1986), y se depositarían durante el Eoceno inferior y medio (Taneciense a Luteciense-Bartoniense).

En general los materiales equivalentes al Complejo Ulldemolins, presentan en el subsuelo espesores inferiores a los distinguidos en superficie, reduciéndose de los 305 m. existentes en la transversal de la Morera del Montsant, a los 94 m. controlados al norte del área en el sondeo Ballobar-1. Para el área de Bujaraloz-1 la potencia máxima controlada es de unos 124 m., debiendo haber sido originalmente más potente dado que se encuentra aquí esta serie afectada por la discordancia Bartoniense-Priaboniense (Fig. 1).

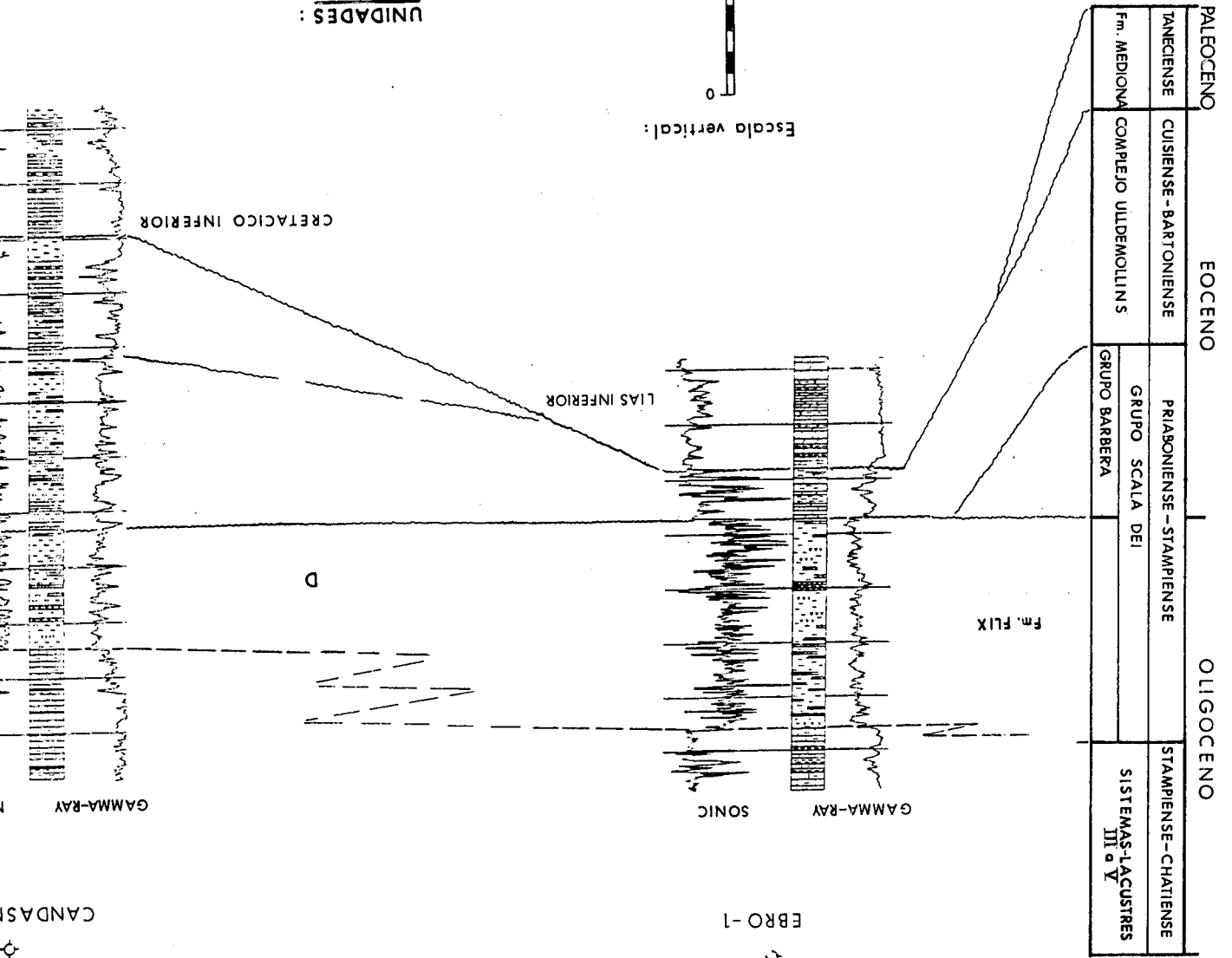
Los materiales correspondientes a este complejo litoestratigráfico presentan en los sondeos del área de estudio (Bujaraloz, Ebro-1, Chiprana, Ballobar, Candasnos, Fraga y Mayals), diversos litotipos, pudiéndose distinguir algunos de los siguientes tramos: un tramo basal carbonatado, un tramo inferior evaporítico, un tramo medio carbonatado, uno superior evaporítico y un tramo terminal terrígeno arenoso.

Los sondeos meridionales (Ebro-1, Chiprana-1 y Bujaraloz-1) controlan los tramos inferiores de este complejo, distinguiéndose en ellos principalmente niveles carbonatados y evaporíticos. En particular el sondeo Bujaraloz-1 muestra un tramo basal carbonatado con trazas de yeso y otro tramo, a techo compuesto por niveles evaporíticos y arenosos, que corresponderían al tramo basal carbonatado y al tramo inferior evaporítico respectivamente del complejo de Ulldemolins.

Otra alternativa para los materiales carbonatados depositados sobre la discordancia basal terciaria controlados en los sondeos Ebro-1 y Chiprana-1 sería su equivalencia con la Formación Morera del Montsant. Esta posibilidad sin embargo implicaría la presencia de altos paleogeográficos durante la sedimentación del Taneciense al Bartoniense, al no existir registro de la Formación Mediona ni del Complejo de Ulldemolins.

Figura 1.- Correlación de las unidades sedimentarias del Paleógeno en el subsuelo del sector central de la Cuenca del Ebro.
 Figure 1.- Subsurface correlations of Paleogene sedimentary units in the Ebro basin central sector.

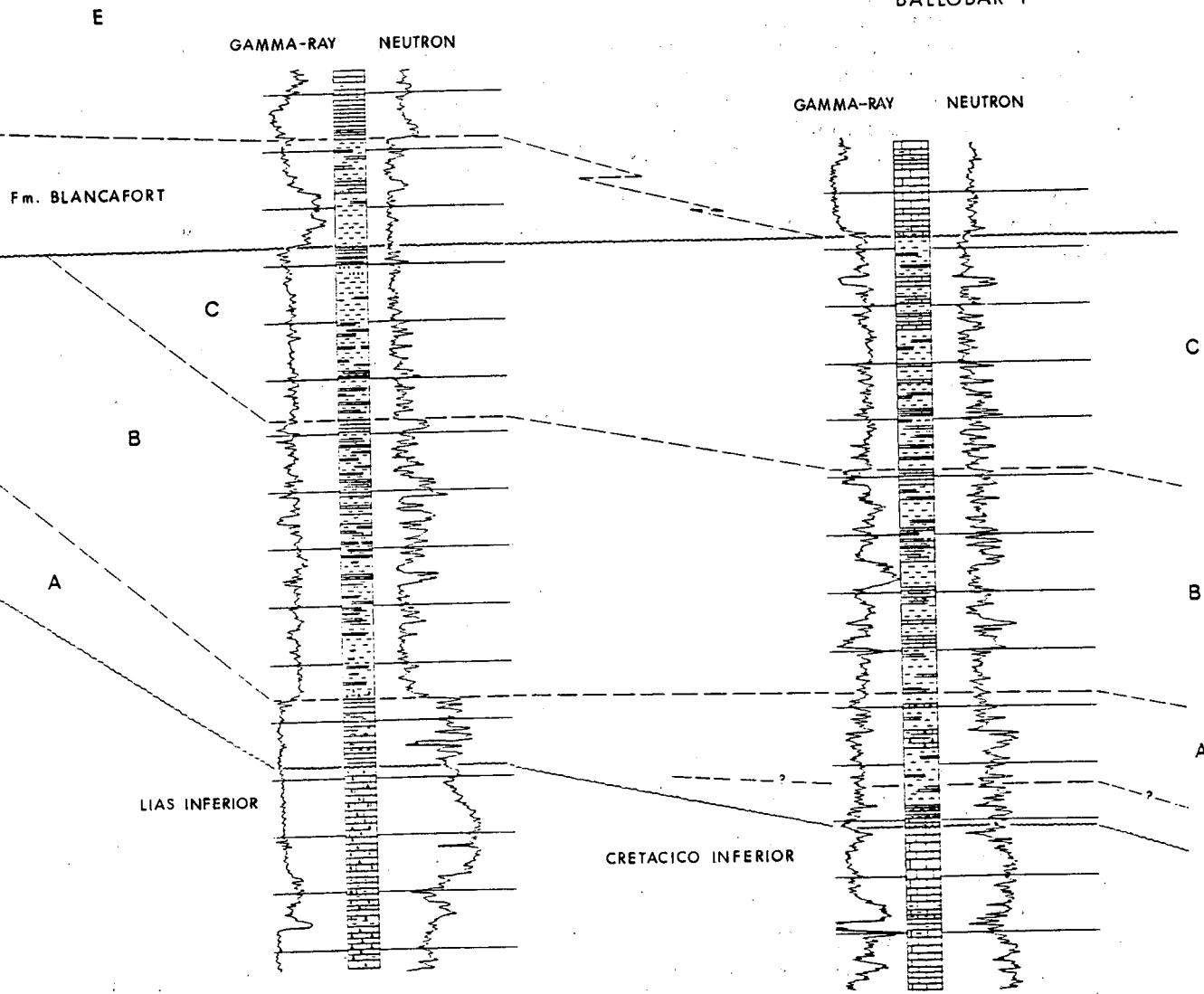
- UNIDADES:
- A = Formación Mediona
 - B = Complejo Ulldemollins
 - C = Grupo Barbera
 - D = Sistema aluvial Scala Dei
 - E = Carbonatos de los sistemas lacustres del depocentro de Mequinenza



NE

FRAGA-1

BALLOBAR-1



En los sondeos que controlan esta unidad hacia el Norte no es posible diferenciar estos tramos, aunque si aparecen litotipos similares: carbonatos, evaporitas y arenas calcáreas.

- Unidad C: Grupo Barbera.

Sobre los depósitos anteriormente descritos (Complejo de Ulldemolins), y únicamente en los sondeos más septentrionales, se pueden reconocer unos materiales, también predominantemente lutíticos, que serían equivalentes a la Formación Lutitas de Montblanc del Grupo Barberá, y que a su vez constituirían los equivalentes de los materiales marinos del Grupo Santa María en sectores más septentrionales y orientales. A estos materiales les corresponderían una edad Priabonense.

Al igual que sucedía con los materiales equivalentes al complejo Ulldemolins, los materiales de la Formación Lutitas de Montblanc de Grupo Barberá tam-

bién presentan en los sondeos que la controlan (Fraga-1 y Ballobar-1) espesores más reducidos que los reconocidos en superficie. La potencia de esta formación se reduce hacia el noroeste, de los 220 m. reconocidos en los afloramientos del margen suroriental de la cuenca a los 102 m. de potencia atravesados en el sondeo Ballobar-1.

- Unidad D: Grupo Scala Dei.

La secuencia deposicional Scala Dei, equivalente suroccidental en sus unidades inferiores a las formaciones del Grupo Barberá, no es atravesada íntegramente en ninguno de los sondeos de este sector central de la cuenca del Ebro.

En los sectores meridionales los sondeos controlan una unidad lutítica, discordante sobre la unidades eocenas anteriormente descritas, según se interpreta en los registros geofísicos de estos sondeos y a partir

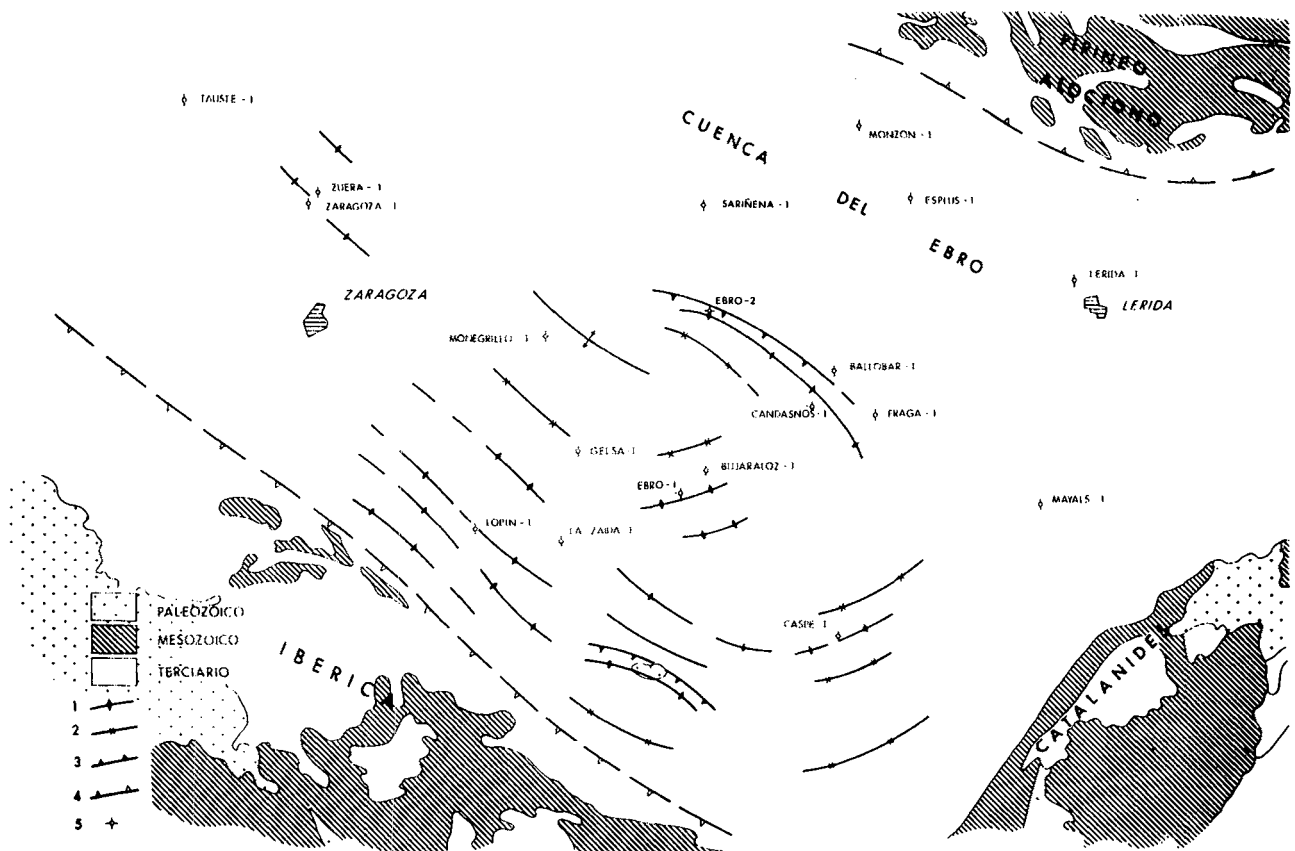


Figura 2.- Esquema de las principales estructuras tectónicas compresivas del sustrato Mesozoico-Paleozoico en el subsuelo de la Cuenca del Ebro. (1) Anticlinal; (2) Sinclinal; (3) Falla inversa / Cabalgamiento; (4) Frente de Cabalgamiento de las unidades alóctonas; (5) Sondeos.

Figure 2.- Schematic distribution of main compressive tectonic structures affecting the Paleozoic-Mesozoic Ebro basin basement. (1) Anticline; (2) Syncline; (3) Inverse fault/overthrust; (4) Alloctonous units overthrusting front; (5) Boreholes.

del control de los primeros reflectores sísmicos sobre la discordancia basal del Terciario, o directamente discordante sobre el sustrato mesozoico. Por otro lado esta unidad lutítica infrayace a los materiales carbonatados de las denominadas unidades superiores (Sistemas lacustres de la Segarra, Urgell y los Monegros). Todo ello hace pensar que dicha formación arcillosa sea equivalente lateral de la Formación Flix, o equivalente en sectores más septentrionales de la Formación Blancafort (sondeos Candanos-1 y Fraga-1).

La disposición de esta unidad lutítica yacente sobre los materiales erosionados del Complejo de Ulldemolins establece la existencia de una importante laguna estratigráfica entre el Bartonense y el Priabonense Superior-Estampiense para los sectores meridionales.

Esta formación lutítica, en los sondeos de este área, alcanza espesores no superiores a los 100 m.

Hacia el Norte esta unidad lutítica del Estampiense disminuye de potencia debido al paso gradual lateral/vertical que se produce a los materiales carbonatados de la Formación Fatarella. Esta formación carbonática, equivalente lateral de la formación lutítica llega a yacer directamente en el sector septentrional sobre los

materiales eocenos equivalentes a la Formación Montblanc (sondeo Ballobar-1), pudiendo desaparecer así hacia el Norte la laguna estratigráfica existente en el sector meridional.

- Unidad E: Unidades Superiores-Sistemas lacustres.

Los materiales correspondientes a esta unidad constituyen en líneas generales el suprayacente de las unidades lutíticas del Grupo Scala Dei. La mayor parte de los sondeos de este área atraviesan los materiales carbonáticos representativos de las facies lacustres carbonatadas de los sistemas de La Segarra, Urgell y Monegros, secuencias disposicionales III, IV, V de Anadon et al (1989).

Tanto en los sondeos del sector meridional como del septentrional existe un tránsito gradual de los materiales lutíticos de la Formación Flix y Formación Blancafort a las formaciones carbonáticas suprayacentes de los sistemas deposicionales lacustres. La definición de las características estratigráficas de estas facies lacustres rebasan el objeto del presente trabajo.

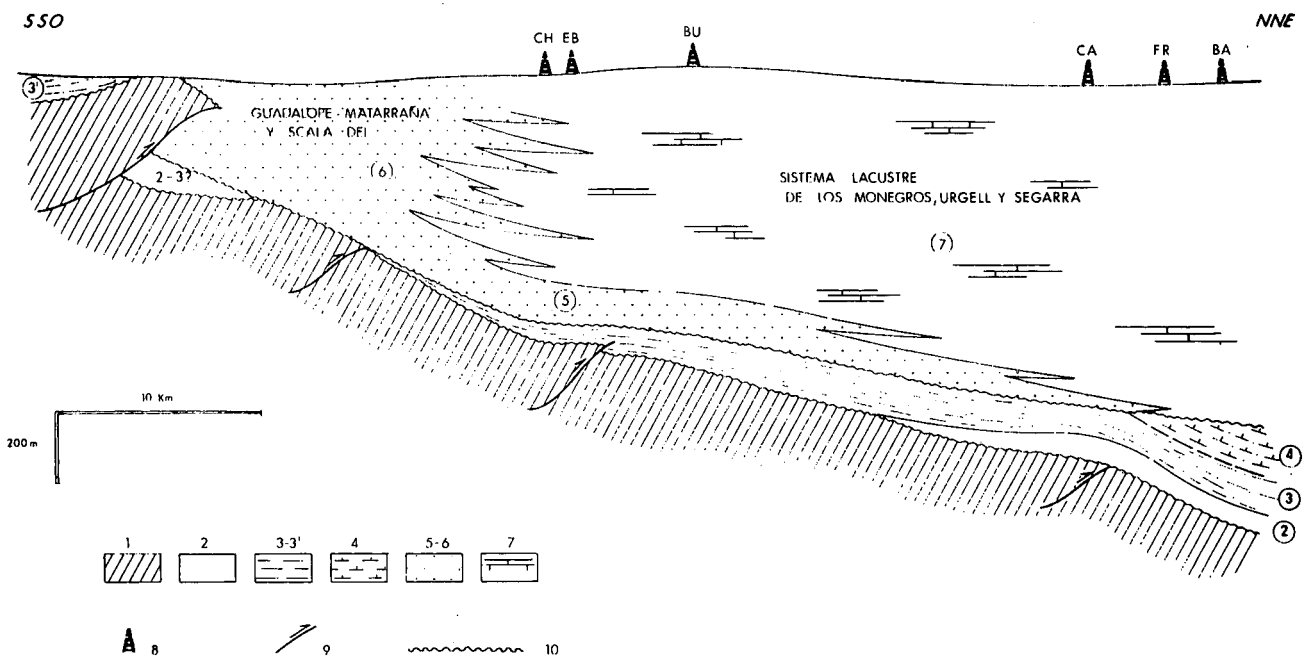


Figura 3 - Distribución esquemática de las unidades litoestratigráficas terciarias en el sector central de la Cuenca del Ebro. (1) Sustrato Mesozoico y Paleozoico; (2) Fm. Mediona; (3) Grupo Cornudella: Complejo Ulldemolins; (3') Fm. Cabezo Negro; (4) Grupo Barberà: Fm. Montblanc; (5) Grupo Scala Dei: Fm. Flix; (6) Grupos Scala Dei y Guadalope-Matarranya; (7) Sistemas Lacustres de Los Monegros, Urgell y La Segarra; (8) Sondeo; (9) Tectónica Compresiva; (10) Discordancia. (CH) Chiprana-1; (EB) Ebro-1, (BU) Bujaraloz-1; (CA) Candanos-1; (FR) Fraga-1; (BA) Ballobar-1.

Figure 3. - Schematic distribution of the Tertiary lithostratigraphic units in the Ebro basin, central sector. (1) Mesozoic and paleozoic basement; (2) Mediona Fm.; (3) Cornudella Group, Ulldemolins Complex; (3') Cabezo Negro Unit; (4) Barberà Group. Montblanc Fm.; (5) Scala Dei Group, Flix Fm.; (6) Scala Dei and Guadalope-Matarranya Groups; (7) Los Monegros, La Segarra and Urgell Lacustrine Systems; (8) Borehole; (9) Compressive tectonics; (10) Unconformity. Boreholes: (CH) Chiprana-1; (EB) Ebro-1, (BU) Bujaraloz-1; (CA) Candanos-1; (FR) Fraga-1; (BA) Ballobar-1.

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DEL SUBSUELO

Las discordancias angulares que afectan a estos materiales paleogenos en el subsuelo de este sector de la cuenca del Ebro están en relación directa con la existencia de estructuras compresivas de orientación NW-SE y NE-SW (Fig.2).

Las estructuras principales muestran una clara orientación Ibérica (NW-SE), siendo estas estructuras condicionantes paleogeográficas de la sedimentación durante el Paleogeno.

El sustrato mesozoico-paleozoico presenta una estructuración en escalera, con hundimiento progresivo hacia el Norte. Cada uno de estos escalones viene definido generalmente por un accidente tectónico compresivo (pliegues y cabalgamientos) cuya actividad condicionó la sedimentación y erosión de los materiales continentales del Paleogeno inferior y medio. (Fig.3).

La flexura más septentrional (estructura anticlinal Ebro-2/Candanos-1) de orientación NW-SE sería probablemente uno de los condicionantes paleogeográficos de mayor influencia sobre la sedimentación del Eoceno Superior y en especial sobre la sedimentación evaporítica de edad Priaboniense-Stampiense.

Algunas de las estructuras anticlinales mesozoicas reconocidas en el subsuelo se muestran tectónicamente activas también durante el Neógeno, al observarse en los perfiles sísmicos una estructuración anticlinal suave que afecta a las series del Mioceno inferior.

Hacia el borde sur-oriental, área de Flix, no se observan en el sustrato mesozoico estructuras de importancia, apreciándose únicamente en estos materiales un suave monoclinal hacia el NW. Es posible que en este área el nivel de erosión que afecta al Mesozoico no permita diferenciar bajo la sedimentación terciaria las estructuras existentes.

La figura 2 muestra un claro alto estructural en el área del sondeo Monegrillo-1. En este sondeo sólo se reconocen series lutíticas y evaporíticas del Oligoceno y Mioceno. Las series del paleogeno inferior y medio quedan condicionadas a esta estructura, por erosión o no deposición. También en el subsuelo del área de Zaragoza se observa un alto paleogeográfico de este tipo aunque de menor entidad.

Las series del Paleogeno inferior y medio parecen desarrollarse alrededor de estas estructuras ampliamente hacia el Norte, y de manera restringida, probablemente por erosión, hacia el Oeste, Sur y Este de estos altos estructurales situados en el sector central de la cuenca del Ebro.

CONCLUSIONES

La diferenciación de las unidades litoestratigráficas paleogenas anteriormente descritas pone de manifiesto la continuidad y extensión de la sedimentación continental del terciario inferior en el subsuelo de este sector de la cuenca del Ebro.

El control geométrico de los límites deposicionales y erosivos de estas formaciones permite establecer el grado de subsidencia y de erosión que afecta a dichos materiales reconociéndose importantes lagunas estratigráficas.

Estas lagunas estratigráficas, cuyo mayor desarrollo en el subsuelo de esta zona se presenta hacia zonas meridionales por un hiato entre el Taneciense y Priaboniense, ambos inclusive, parecen estar condicionadas a los accidentes estructurales del sustrato mesozoico.

La continuidad de unidades litoestratigráficas eocenas hacia sectores occidentales de la cuenca del Ebro es de difícil interpretación debido a la escasa diferenciación litológica observable en los materiales terciarios de los sondeos de dicho sector, a la separación entre los mismos, y al gran desarrollo de la sedimentación continental (>3000 m) en esos sectores.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco las sugerencias de dos revisores anónimos que han contribuido a mejorar este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- ANADON, P., 1978: El Paleógeno inferior anterior a la transgresión Biarritziense Eoceno medio) entre los ríos Gaia y Ripoll (Provincias Tarragona y Barcelona). *Estudios Geológicos*, 34: 431-440.
- ANADON, P., CABRERA, L., COLLDEFORNIS, B. y SAEZ, A., 1989: Los sistemas lacustres del Eoceno superior y Oligoceno del sector oriental de la Cuenca del Ebro. *Acta Geológica Hispánica*, 24 (3-4): 205-230.
- ANADON, P., CABRERA, L., COLOMBO, F., MARZO, M., y RIBA, O., 1981: *Estudio estratigráfico y sedimentológico del borde meridional de la Depresión del Ebro entre Alcañiz y Borjas Blancas (Prov. de Teruel, Zaragoza, Lérida y Tarragona)*. J.E.N., 109 pp. Inédito.
- BENZAQUEN, M., NUÑEZ, A. y MARTINEZ, W., 1973: Mapa geológico nacional MAGNA, núm.418, *Montblanch*. IGME. Madrid.
- CABRERA, L., 1983: *Estratigrafía y sedimentología de las formaciones lacustres del tránsito Oligoceno-Mioceno del SE de la Cuenca del Ebro*. Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona, 443 pp. Inédito.
- CABRERA, L., COLOMBO, F. y ROBLES, S., 1985: Sedimentation and tectonics interrelationships in the Paleogene marginal alluvial system of the SE Ebro Basin. Transition from alluvial to shallow lacustrine environments. *6th Europ. Reg. Meeting I.A.S. Exc. Guidebook*, 10: 393-492.

- CABRERA, L. y COLOMBO, F., 1986: Las secuencias de abanicos aluviales paleógenos del Montsant y su tránsito a sucesiones lacustres someras (Sistemas de Scala Dei y de Los Monegros, sector SE de la Cuenca del Ebro). In: P. Anadón y L. Cabrera eds. *Guía de las Excursiones del XI Congr. Esp. de Sediment.* Exc. n. 7., 53 pp.
- COLOMBO, F., 1986: Estratigrafía y sedimentología del Paleógeno Continental del borde meridional occidental de las Catalanides (Provincia de Tarragona, España). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 10: 55-115.
- COLONDRON, I., ORCHE, J., CABAÑAS, I. y MARTINEZ, C., 1979: Mapa geológico nacional MAGNA, nº.444 *Flix*. IGME. Madrid.
- GUIMERA, J., 1984: Paleogene evolution of deformation in the northeastern Iberian Península. *Geol. Mag.*, 121, 413-420.
- IGME, 1987: *Contribución de la Exploración Petrolífera al conocimiento de la Geología de España*. 465 pp.
- ITGE, 1990: *Documentos sobre la Geología del Subsuelo de España*. Tomo VI - Ebro y Pirineos.
- ORTI, F., 1990: Las formaciones evaporíticas del Terciario de la zona de contacto entre la Cuenca del Ebro y los Catalanides. In: F. Ortí y J.M. Salvany eds. *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante*. ENRESA - Dept. Geoq. Prosp. Petrol. U. Barcelona. 70 - 75.
- QUIRANTES, J., 1969: *Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de los Monegros*. Inst. «Fernando el Católico» (CSIC). Zaragoza. Tesis Doctorales, 27: 207 p.
- RIBA, O., REGUANT, S. y VILLENA, J., 1983: Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la Cuenca terciaria del Ebro. IGME. *Libro Homenaje a J. Ríos*, t. II: 131-159.
- SAEZ, A. y SALVANY, J.M., 1990: Las formaciones evaporíticas de Barbastro y Puente La Reina (Eoceno superior - Oligoceno basal de la Cuenca Surpirenaica). In: F. Ortí y J.M. Salvany eds. *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante*. ENRESA - Dept. Geoq. Prosp. Petrol. U. Barcelona. 100 - 105.
- SOLE, L.; CALVET, J. et al, 1975: Mapa geológico nacional MAGNA, nº.417, *Espluga de Francolí*, IGME.