

# *Caracterización sedimentológica de los sistemas aluviales del Terciario del margen ibérico de la Cuenca del Ebro (Sector Central)*

A. PÉREZ Y J. VILLENA

Area de Estratigrafía, Departamento de Ciencias de la Tierra,  
Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza.

## RESUMEN

Las facies aluviales del Terciario del margen ibérico de la Cuenca del Ebro se clasifican en siete tipos diferentes en función de la geometría de los cuerpos detríticos groseros. A partir del análisis sedimentológico de cada uno de estos tipos de depósito, y apoyados en la distribución areal de facies, se identifican dos tipos de sistemas aluviales. El primero de ellos presenta elevadas pendientes, pequeño desarrollo de las facies groseras (por lo general menos de 4 Km de extensión desde el área fuente) y paso directo de estas facies a depósitos lutíticos propios de partes distales. El segundo está caracterizado por una gran importancia de procesos fluviales, presenta bajas pendientes y un gran desarrollo longitudinal (entre 20 y 40 Km). Ambos tipos de sistemas coexisten en el tiempo, interpretándose las diferencias en función de una mayor o menor actividad tectónica en el área fuente.

**Palabras clave:** Sistemas aluviales. Terciario. Cuenca del Ebro. Noreste de España.

## ABSTRACT

The Tertiary alluvial facies of the Iberian Margin of the Ebro Basin are classified in seven different types in function of the geometry of the detritical gross bodies. From sedimentological analysis of each one of these types of deposit, and depending upon the areal distribution of facies, two different types

of alluvial systems are identified. The first one presents a high gradient, a small development of the coarse facies (generally less than 4 Km of extension from the source area) and it changes directly to lutitic deposits corresponding to their own distal area. The second system is characterized by a great development of the fluvial processes, it displays a low gradient and a relatively great longitudinal extension (among 20 and 40 Km). Both systems coexist in the time, and their differences are related to a great or smaller diastrophyc activity in the area source.

**Keywords:** Alluvial systems. Tertiary. Ebro Basin. Northeast of Spain.

## INTRODUCCIÓN

Para el conjunto de materiales del Terciario del margen ibérico de la Cuenca del Ebro, Villena et al. (1992 y 1996) definen ocho unidades genéticas, Unidades Tectosedimentarias denominadas como  $T_1$  a  $T_8$ , limitadas por rupturas sedimentarias reconocibles en toda el área estudiada. De ellas tres pertenecen al Paleógeno, una representa la transición Paleógeno-Neógeno y las cuatro restantes se asignan al Neógeno.

Estos mismos autores realizan la reconstrucción de los correspondientes dispositivos sedimentarios para cada una de ellas e interpretan la evolución vertical de las mismas en función de sucesivas retrogradaciones de los sistemas y expansiones de las áreas lacustres o bien retrogradaciones-progradaciones dentro de un marco de actividad tectónica decreciente o creciente respectivamente.

En el área objeto del presente estudio (Fig. 1) situada en el sector central de este margen ibérico, afloran la parte inferior de la unidad atribuida al Paleoceno, la unidad del tránsito Paleógeno-Neógeno y las unidades neógenas (Fig. 2). La primera presenta afloramientos muy reducidos localizados en el sector oriental del área estudiada y constituye potentes sucesiones fuertemente tectonizadas (Pérez et al, 1985; Pérez, 1989) compuestas casi exclusivamente por facies aluviales. Por el contrario, los depósitos neógenos, de amplia extensión de afloramiento, integran un conjunto prácticamente horizontal constituido por facies detríticas y químicas (carbonatos y yesos) cuya sedimentación se realizó en sistemas de abanicos aluviales y áreas lacustres.

Dichas facies lacustres presentan un notable desarrollo y su caracterización sedimentológica es bien conocida gracias a los trabajos de Birnbaum (1976), Quirantes (1969-78), Pérez et al (1987 y 1989), Salvany et al (1994) y Pérez et al (1994). No ocurre lo mismo con las facies aluviales, siendo el objeto del presente trabajo el análisis de tales facies, basado en la geometría de los depósitos y sus asociaciones en secuencias.

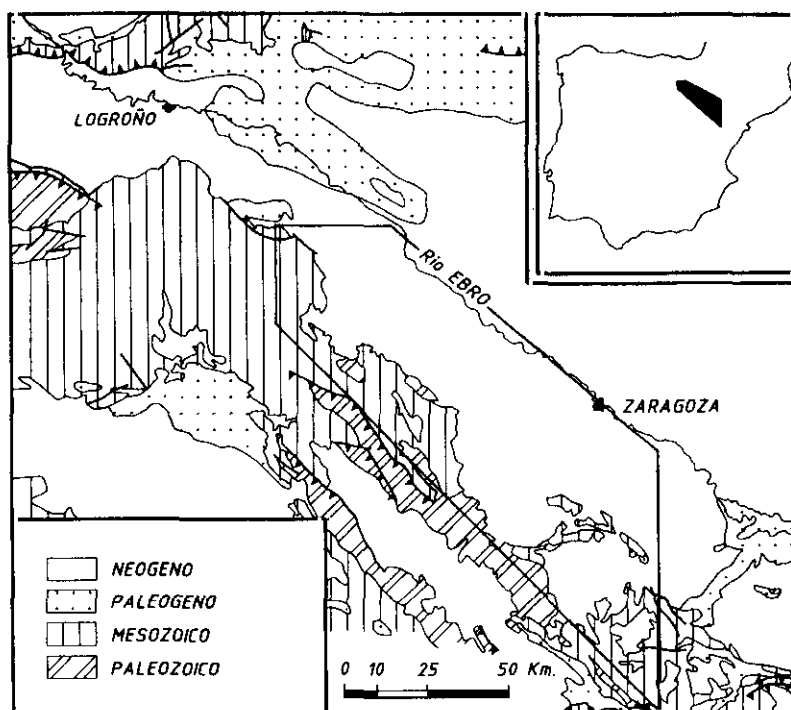


Fig. 1.—Situación del área estudiada.  
Fig. 1.—Situation of the studied area.

## CARACTERIZACIÓN DE LITOFACIES

Para realizar el estudio sedimentológico partimos de la identificación de un conjunto de litofacies en las que se observa unas litologías dominantes. Estas litofacies, de composición generalmente heterogénea, corresponden a cuerpos rocosos susceptibles de ser cartografiados por su importancia y amplia extensión de afloramiento. Las litofacies pueden definirse como la superposición y yuxtaposición de secuencias de tercer orden en el sentido que Arenas et al. (1989) definen para las litofacies terrígenas. En definitiva, estas litofacies son unidades litológicas cartografiables dentro de cada una de las U.T.S. y podrían ser asimilables a formaciones. En la figura 2 se sintetizan las relaciones laterales entre las distintas litofacies y su situación dentro de cada una de las Unidades Tectosedimentarias definidas en el sector central del margen ibérico de la Cuenca del Ebro.

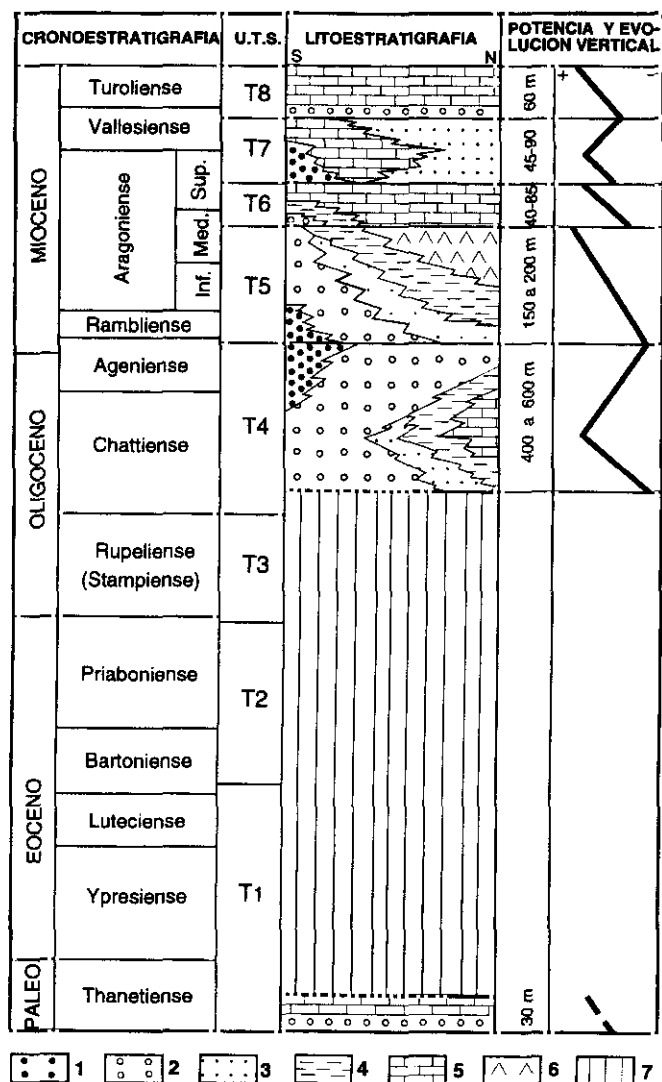


Fig. 2.—Situación estratigráfica y distribución de litofacies en las Unidades Textosedimentarias del Terciario del sector central del margen ibérico de la Cuenca del Ebro. 1: Litofacies conglomeráticas. 2: Litofacies conglomerático-lutíticas. 3: Litofacies lutítico-arenosas. 4: Litofacies lutíticas. 5: Litofacies carbonatadas. 6: Litofacies yesíferas. 7: Laguna estratigráfica.

Fig. 2.—Stratigraphic logs and distribution of lithofacies in the Tectosedimentary Units of the Tertiary of the Iberian margin of the Ebro Basin. 1: Conglomeratic Lithofacies. 2: Conglomeratic-lutitic Lithofacies. 3: Lutitic-sandstone Lithofacies. 4: Lutitic Lithofacies, 5: Carbonated Lithofacies. 6: Gypsum Lithofacies. 7: Hiatus.

Desde el punto de vista sedimentológico, cada una de las litofacies que proponemos representará la respuesta al conjunto de procesos que actúan en un determinado sector de un medio sedimentario. Representarían por tanto un subambiente dentro de un medio.

Las litofacies diferenciadas son:

*Conglomeráticas*: Compuestas por conglomerados en un 80% como mínimo, siendo el resto lutitas arenosas, lutitas con clastos y algunas areniscas.

*Conglomerático-lutíticas*: Constituidas por conglomerados 70-30%, lutitas (20-60%) y porcentajes muy bajos de areniscas y calizas.

*Lutítico-arenosas*: Los porcentajes de areniscas pueden oscilar entre el 20 y el 40%, siendo el resto esencialmente lutitas.

*Lutíticas*: 70 a 90% de lutitas, y entre 10-20% de yesos. El resto intercalaciones de arena o caliza en cuerpos laminares.

## ANÁLISIS DE LAS FACIES ALUVIALES

En cada una de las litofacies, con excepción de las lutíticas, varía la geometría de los depósitos sedimentarios. Estas geometrías, especialmente las de los cuerpos detríticos groseros, confieren a los depósitos de una determinada litofacies una imagen particular que ha dado lugar a la clasificación en tipos de litofacies (Fig. 3). La interpretación paleoambiental la hemos realizado a partir del análisis de facies. En estos depósitos se observan facies semejantes a las identificadas por Miall (1978 y 1996). Además se especifican los diferentes elementos arquitecturales (Miall, 1985) y sus relaciones laterales y verticales.

### LITOFACIES CONGLOMERÁTICAS

#### *Tipo I.—Cuerpos conglomeráticos con geometría acintada*

Constituidos por conglomerados cuyos clastos están soportados por la matriz (facies Gms). Son cantos muy angulosos y heterométricos que pueden alcanzar hasta 50 cm de tamaño máximo, relacionados con lutitas con cantos dispersos (facies Fms) dando lugar a secuencias de 1 a 2,5 m de potencia (Fig. 4) integran cuerpos de geometría acintada, de 0,50 a 1,5 m de potencia, que poseen continuidad lateral muy reducida, con frente neto lobulado en donde se observa una mayor concentración de materiales groseros y el paso directo a facies de lutitas. Presentan base planar sin cicatrices erosivas destacables, salvo pequeñas formas semejantes a «groove marks». Existe relación directa entre la potencia del estrato y el tamaño de los clastos.

Depósitos con estas características geométricas y texturales, se conocen desde los trabajos de Bull (1972), Bluck (1976); Hooke (1967), Steel (1974)

y Johnson (1970). Estos autores coinciden en atribuir tales depósitos a coladas de fango (debris flow) propias de segmentos proximales de abanicos aluviales desarrollados bajo climas áridos.

*Tipo II.—Cuerpos conglomeráticos con geometría tabular*

Se trata de conglomerados masivos con textura granosostenida y matriz microconglomerática (facies Gm). Constituidos por cantos y bloques de hasta 1,5 m de centilo. Alta heterometría y presencia de ejes mayores de los cantos paralelos a los planos de estratificación.

Estos cuerpos presentan bases y techos por lo general planos o con superficies ligeramente irregulares. Ocasionalmente contienen intercalaciones de areniscas gruesas con laminación paralela (facies Sh) en unidades que no superan los 10 cm de potencia, dando lugar a evoluciones secuenciales tal como se refleja en la figura 4.

Interpretamos áreas muy proximales de abanicos en las que el flujo deja de ser confinado dando lugar a mantos de arroyada y pierde competencia, depositando de forma rápida los materiales más groseros en forma de manto de gravas (facies Gm). Las facies Sh se interpretan como lechos planos de alto régimen de flujo.


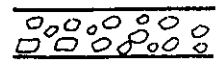

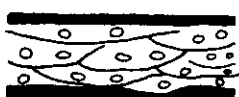



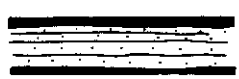



LITOFACIES CONGLOMERÁTICO-LUTÍTICAS

*Tipo III.—Cuerpos conglomeráticos con geometría externa tabular (ocasionalmente acintada) alternando con lutitas*

Fig. 3.—Clasificación de las facies terrígenas en función de las litofacies y geometría de los depósitos (en mayúsculas geometría externa tridimensional, en minúsculas geometría interna). Denominación de facies según nomenclatura de Miall (1978). Gms: Conglomerados con textura no granosostenida; Gm: Conglomerados masivos; Gt y Gp: Conglomerados con estratificación cruzada en surco y planar respectivamente; Se: Depósito residual. St, Sp, Sr, Sh, y Sf: Areniscas con estratificación cruzada en surco, planar, laminación cruzada y estratificación de foreset, respectivamente; Fm: Lutitas masivas; Fms: Lutitas con cantos dispersos. E. A: Elementos arquitecturales según Miall (1985). SG: Flujos gravitacionales sedimentarios; BG: Barras de grava; BA: Barras de arena; C: Canales; LA: Láminas de arena; AL: Acreción lateral; FD: Finos de desbordamiento

Fig. 3.—Classification of detrital facies, following the lithofacies and geometry of the deposits (in capital letters three-dimensional external geometry, in small letters internal geometry).

Name of facies according to nomenclature of Miall (1978). Gms: Matrix-supported, massive gravel; Gm: Clast supported, massive gravel; Gt and Gp: Gravel with trough and planar cross-bed respectively; Se: Lag deposit. St, Sp, Sr, Sh and Sf: Sandstones with trough cross-bed, planar cross-bed, ripple cross lamination and foreset cross-bed, respectively; Fm: Massive muds; Fms: Mud with scattered clast. E. A.: Architectural Elements according to Miall (1985). SG: Sediment gravity flow; BG: Gravel bars; BA: Sandy bedforms; C: Channels; LA: Laminated sand sheet; AL: Lateral-accretion macroform; FD: Overbank fines.

LITO-FACIES	IMAGEN DEL DEPOSITO	FACIES Y GEOMETRIA	DEPOSITO Y E. A.	
CONGLOMERATICAS	<b>TIPO I</b> 	Gms, Fms <b>ACINTADA lobulada</b> 0.5 a 1.5 m.	Coladas de debris flow <b>SG</b>	
	<b>TIPO II</b> 	Gm <b>TABULAR</b> 0.3 a 2 m.	Mantos de gravas <b>BG + C</b>	
CONGLOMERATICO LUTITICO	<b>TIPO III</b> a  b 	T A B U L A R 1-5 m	Gm, (Gp), Fm cuerpos planares 0.1 a 0.4 m	Barras conglomeráticas con o sin frente de avalancha
	Gm, Gt, Fm cuerpos canaliformes 0.2 a 0.5 m		Canales agrupados <b>C + BG → FD</b>	
	<b>TIPO IV</b> 	Fm, Gm, Gt <b>ACINTADA canaliforme</b> 0.4 a 4 m	Canales aislados <b>C → FD</b>	
<b>TIPO V</b> 	Fm, Gm <b>LOBULADA lenticular</b> 0.3 m	Lóbulos de grava <b>FD LG</b>		
LUTITICO ARENOSAS	<b>TIPO VI</b> a  b  c1  c2 	T A B U L A R 1-5 m	Se, St, Sp, Sr canaliforme 0.3 a 1 m	Canales y barras de arena <b>C + BA → FD</b>
	Sh, Sr, Fm laminar 0.1 a 0.4 m		Sheet-flood <b>LA → FD</b>	
	St, Se, Fm		Point-bar <b>C + AL → FD</b>	
	cuerpos sigmoidales 1 a 2 m			
	Sf, Sh, Se, Fm			
<b>TIPO VII</b> 	Fm, St, Sr, Se <b>ACINTADA canaliforme</b> 0.7 a 4 m	Canales de arena <b>C → FD</b>		

### III. a) Geometría interna: Unidades planares o cuneiformes

Los cuerpos conglomeráticos, de base erosiva, tienen potencias de 1 a 3 metros (ocasionalmente 7 a 8 metros) y están integrados por la superposición de unidades menores (secuencias de segundo orden) de 0,10 a 0,40 m de potencia (ocasionalmente 1 m) de tendencia laminar y evolución grano-decreciente separadas por superficies irregulares (Fig. 4). Textura granosostenida y matriz arenosa o sin matriz. Clastos subredondeados a bien redondeados con centilos entre 10 y 40 cm (ocasionalmente centilos de hasta 1 m). Son mayoritariamente masivos (facies Gm), habitualmente con imbricación del tipo a (t) b (i) o a(p) a(i), y con estratificación incipiente dada por secuencias de primer orden grava-gravilla de 0,2 a 0,3 m de potencia o grava-arenisca de hasta 0,2 m. Ocasionalmente se reconocen conglomerados con estratificación cruzada en surco (facies Gt) o estratificación cruzada planar (Gp).

Los intervalos lutíticos con potencias de 0,2 a 4 m (ocasionalmente 10 m) son de tendencia tabular, corresponden a facies masivas (Fm) y a veces laminadas (Fl) con cantos dispersos (facies Fms). Ocasionalmente incluyen facies P.

Estos depósitos se organizan como secuencias de tercer orden según dos asociaciones de facies diferentes (Fig. 4). La potencia total de estas secuencias oscila entre 1,5 y 7 m (ocasionalmente hasta 15 m). Su evolución vertical es granodecreciente, no obstante, ocasionalmente es posible encontrar secuencias granocrecientes.

### III. b) Geometría interna: Cuerpos canaliformes

Los cuerpos conglomeráticos presentan bases marcadamente canaliformes y potencias entre 60 cm y 5 m (ocasionalmente 10 m). Pueden constituir una secuencia única de segundo orden o estar formados por la superposición de secuencias de segundo orden de potencia métrica, limitadas por superficies erosivas canaliformes. A su vez estas secuencias están constituidas por sets de estratificación cruzada en surco o de relleno de canal de 0,20 a 0,50 m de potencia y hasta 1 m de amplitud, ocasionalmente hasta 3 m de potencia y amplitud decamétrica. Presentan textura granosostenida y matriz arenosa. Cantos subredondeados y subangulosos con centilos entre 8 y 13 cm, si bien ocasionalmente pueden alcanzar hasta 50 cm. Las lutitas son masivas y aparecen como facies Fm, Fms, o laminadas (Fl).

En función de la presencia o ausencia de areniscas las facies reconocidas se pueden agrupar según las asociaciones de facies señaladas en la figura 4.

En la secuencia b1 es frecuente el desarrollo de niveles de caliche que aparecen como nódulos dispersos entre las facies lutíticas o como capas más con-



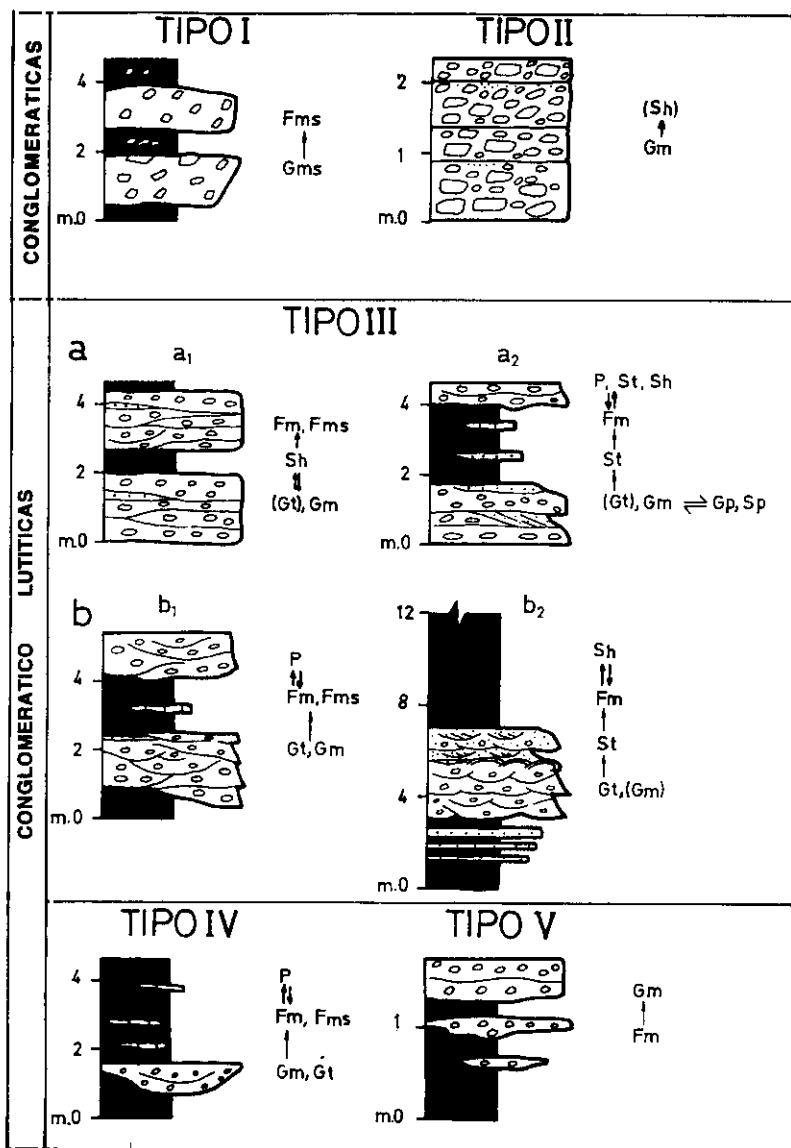


Fig. 4.—Secuencias establecidas para las litofacies conglomeráticas y conglomerático-lutíticas.

Fig. 4.—Established sequences in the conglomeratic and conglomeratic-lutitic lithofacies.

tíneas desarrolladas a techo del conjunto conglomerático. En este último caso presentan potencias entre 7 y 15 cm y se trata de caliches laminados o brechificados en los que se pueden diferenciar varias fases de retrabajamiento.

En la secuencia  $b_2$  (Fig. 4) la sucesión es más potente y compleja. El intervalo conglomerático-arenoso presenta potencias de 4 a 10 m y se reconocen cuerpos que pueden alcanzar 75-100 m de amplitud. El conjunto lutítico-arenoso aparece en potentes intervalos de 8 a 45 m.

Los cuerpos de areniscas que aparecen intercalados entre las facies Fm presentan potencias de 0,5 a 1 m y son de geometría tabular o ligeramente lenticular. Internamente son masivas (facies Sh). A veces aparecen a base de los intervalos conglomeráticos dando en conjunto una sucesión estrato y granocreciente. En estos casos la evolución vertical de la secuencia es cíclica granocreciente-granodecreciente.

En estas secuencias tipo  $b_2$ , ocasionalmente los cantos del techo de los niveles conglomeráticos se encuentran recubiertos por una envuelta de origen algal constituyendo verdaderos oncolitos. Sobre ellos se pueden desarrollar unidades estromatolíticas: cuerpos individuales de geometría cilíndrica asimétrica y potencia de unos 20 cm, cuyo eje se orienta subparalelo a la dirección de la corriente. El crecimiento de las algas es de tipo laminado o columnar. Estas unidades estromatolíticas se encuentran recubiertas por las areniscas con estratificación cruzada en surco.

Las características geométricas y texturales de los depósitos descritos indican corrientes tractivas en canales entrelazados, respondiendo los depósitos conglomeráticos al desarrollo de barras o al relleno multiepisódico de canales.

La alta relación lutita-conglomerado nos sitúa en sectores de medios a distales de abanicos aluviales. En las secuencias  $b_1$  las características texturales de los conglomerados y el desarrollo de niveles de caliche sobre los litosomas conglomeráticos y entre las facies lutíticas lo interpretamos en función de largos periodos de inactividad en el sistema aluvial, siendo activos los canales exclusivamente durante avenidas torrenciales en abanicos de posiblemente escasa amplitud. Cuando los niveles de caliche corresponden a costras laminadas de origen algal situados a techo de los niveles conglomeráticos se interpretan como la sedimentación correspondiente a la colmatación final del canal cuando resta una lámina de agua que favorece el desarrollo algal.

Las facies Fm representan los depósitos de llanura de inundación de estos sistemas, o bien, la llanura aluvial de los sistemas de abanicos.

Las facies Fms evidencian la existencia de flujos con elevada carga en suspensión.

Los depósitos reconocidos en las secuencias  $b_2$  presentan una mejor clasificación de los cantos y organización de las facies, representando corrientes más permanentes relacionadas con etapas de mayor desarrollo longitudinal de los abanicos. En el caso de cuerpos de grandes dimensiones, cada uno de

tales cuerpos representa la totalidad de la red activa en el sector medio, en un momento dado de la vida del abanico, reflejando los cuerpos menores sucesivos períodos de acreción vertical del conjunto de canales y barras que integran dicha red.

Los canales con relleno parcial de arenas podrían haber formado parte de una red de canales múltiples y distribuidores, como ocurre en los abanicos aluviales actuales. A su vez el relleno de cada uno de estos canales presenta las características propias de los depósitos de ríos entrelazados: canales con relleno de gravas y/o arenas. Esquemas análogos son descritos en el modelo Donjek de Miall (1978). Las facies Sh reconocidas entre los depósitos de llanura de inundación se interpretan como depósitos de derrames generados por el desbordamiento de canales próximos.

Depósitos oncolíticos y construcciones estromatolíticas con las características antes descritas son interpretados, respectivamente, como depósitos desarrollados en canales con fuerte turbulencia y márgenes de canales someros y en calma (Freytet y Plaziat, 1965). En nuestro caso, dada su situación entre las facies Gt y St, pensamos que representan fases de abandono de los canales relacionadas con fenómenos de avulsión.

#### *Tipo IV.—Cuerpos conglomeráticos con geometría canaliforme aislados entre lutitas*

Los cuerpos conglomeráticos tienen potencias comprendidas entre 0,40 y 3 m y anchuras de 1 a 5 m. En la vertical presentan evolución granodecreciente.

Estos cuerpos pueden estar constituidos por una única unidad, o bien por la superposición de unidades, también canaliformes, de 50 a 90 cm de potencia. Textura granosostenida y cantos subredondeados y redondeados con cantos entre 10 y 20 cm. Las lutitas son masivas, en ocasiones con cantos dispersos, subangulosos y angulosos de unos 2-5 cm de diámetro, y contienen rhizolitos carbonatados orientados verticalmente.

La organización de los depósitos tipo IV viene dada por una secuencia de tercer orden que presenta evolución vertical granodecreciente y potencias entre 1 y 9 m (Fig. 4).

Las características texturales y geométricas de estos depósitos conglomeráticos indican que se formaron por corrientes tractivas. Las dimensiones de los cuerpos conglomeráticos, su relleno simple o complejo y el aislamiento entre facies lutíticas sugieren que los canales tenían una amplitud reducida con un relleno mono o multiepisódico y muy escasa movilidad lateral.

Su dispersión y aislamiento entre los depósitos de lutitas nos sitúa en partes distales de abanicos aluviales, representarían por tanto estas facies lutíticas la llanura aluvial periódicamente inundada por la cual discurrían tales ca-

nales. Los rhizolitos son interpretados como estructuras organosedimentarias originadas por la acumulación de carbonatos alrededor de restos de raíces.

*Tipo V.—Cuerpos conglomeráticos con geometría lobulada, aislados entre lutitas*

Los conglomerados se organizan en cuerpos de 0,30 a 0,5 m de potencia con geometría lenticular en sección. Presentan bases ligeramente canaliformes o irregulares, con incisiones locales y techos convexos, tienen textura granostenida y abundante matriz lutítica. Cantos subredondeados y subangulosos de unos 7-10 cm de diámetro. Aunque estos depósitos responden a una alternancia de facies Gm y Fm, existe una ordenación vertical en secuencias granocrecientes de potencia entre 1 y 2 m, dadas por un predominio de facies Fm hacia la base de las mismas y mayor proporción en cuerpos conglomeráticos hacia techo.

Las características descritas evidencian la división de canales del sistema distribuidor, los cuales son cada vez más someros hasta perder el carácter canalizado, con la consiguiente expansión del flujo y sedimentación de la carga dando un depósito lobulado. Esta evolución longitudinal de los canales ha sido interpretada también por Friend (1978) a partir del análisis de otros depósitos aluviales de la Cuenca del Ebro.

La organización en secuencias granocrecientes se interpreta como la progradación de estos lóbulos del sistema deposicional.

#### LITOFACIES LUTÍTICO-ARENOSAS

*Tipo VI.—Cuerpos arenosos con geometría tabular alternando con lutitas*

##### VI a) Geometría interna: unidades canaliformes

Los cuerpos arenosos presentan potencias entre 2 y 5 m, y un contacto inferior erosivo sobre el que aparece un depósito residual que en ocasiones puede referirse a facies Gm y alcanzar hasta 30 cm de potencia y varios metros de continuidad lateral.

Las facies St aparecen en sets de 0,20 a 1 m de potencia, excepcionalmente 2 m, estando en este último caso las láminas con deformación hidroplástica. Las facies Sp se presentan en sets agrupados o aislados de 0,10 a 0,30 m de potencia, con láminas tangenciales o ligeramente sigmoidales en la base.

Las lutitas aparecen en intervalos tabulares de 1 a 7 m de espesor y son masivas.

Estas facies se ordenan en secuencias de tercer orden, granodecipientes, que en función de la presencia o ausencia de facies Sp se pueden agrupar según las sucesiones de la figura 5.

Las facies St son generadas por la migración, en el fondo de los canales, de megaripples de crestas lunadas. En medios fluviales arenosos las facies Sp son atribuidas a depósitos de barras linguoides o transversas.

La secuencia a1 presenta una sucesión de facies análoga a la descrita en la Battery Point Formation (Lawrence y Willians, 1987) y los depósitos tienen similitud con los descritos para el río South Saskatchewan, que es un ejemplo de río entrelazado (Cant y Walker, 1978).

Las litofacies conglomeráticas descritas en esta secuencia a1, debido a su escaso desarrollo tanto lateral como vertical, representan una iniciación de barras longitudinales en el fondo de los canales.

La sucesión vertical de facies recogida en la secuencia a2 se interpreta como una secuencia de relleno de canal y abandono gradual del sistema activo, representando las facies Fm los depósitos de llanura de inundación. En nuestro caso los canales poseían una elevada movilidad, a juzgar por la extensión lateral del cuerpo arenoso. Se corresponden con los «Braided Mobile Channel Belt» de Friend (1983).

La relación arenisca-lutita nos sitúa en sectores medios a distales de abanicos aluviales caracterizados por la existencia de una densa red de canales de baja sinuosidad.

## VI b) Geometría interna laminar

Los cuerpos arenosos poseen potencias de 0,5 a 4 m. Están constituidos por un conjunto de láminas (secuencias de primer orden) de 1 a 30 cm de espesor con límites netos, a veces con irregularidades de detalle. Muy ocasionalmente aparecen pequeñas canalizaciones. El tamaño de grano puede variar de grueso a muy fino, observándose granodecrecimiento en cada una de las láminas, a veces desde un depósito basal de cantos (facies Se).

Los intervalos lutíticos, de tendencia igualmente tabular, pueden variar entre 0,1 y 2 m. Son masivos o laminados y a veces contiene niveles pedogénicos (facies P) de varios centímetros de potencia. La sucesión vertical de facies puede observarse en la figura 5.

La ausencia de canalizaciones y la geometría tabular de los cuerpos arenosos nos lleva a interpretar procesos de «sheet-flood» como agentes generadores de estos depósitos. En ellos las arenas en facies Sh se interpretan como la estructura de fondo plano del alto régimen de flujo.

La presencia de facies St indica la existencia ocasional de corrientes canalizadas muy someras.

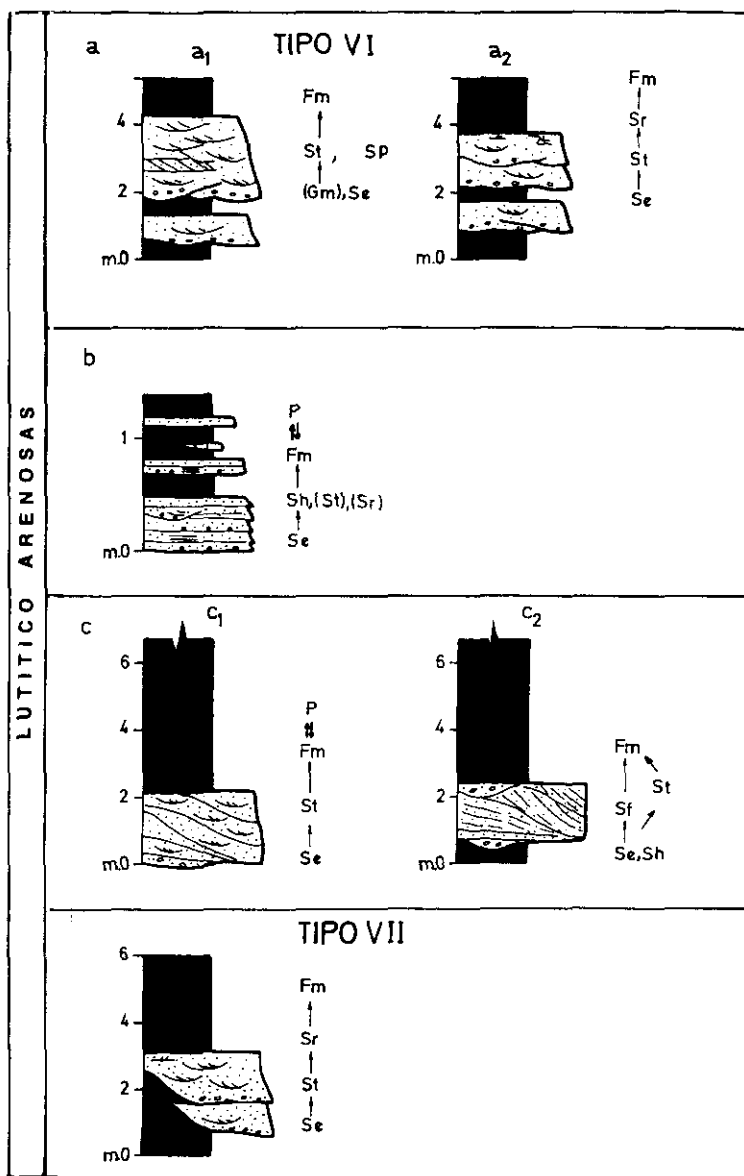


Fig. 5.—Secuencias establecidas para las litofacies lutítico-arenosas.

Fig. 5.—Established sequences in the lutitic-sandstone lithofacies.

La asociación de facies que integran esta secuencia sugiere que son debidas a corrientes efímeras que se desarrollan cerca del pie de abanicos aluviales.

#### VI c) Geometría interna: cuerpos sigmoidales

Los cuerpos arenosos tabulares se inician con una superficie erosiva plana o suavemente canaliforme a gran escala, con irregularidades y canalizaciones de detalle. Sobre ella pueden desarrollarse depósitos lenticulares aislados de cantos de 2 a 3 cm, de hasta 2 m de anchura y 0,5 m de potencia (facies Se o Gt), o láminas de arena con laminación horizontal o de muy bajo ángulo (facies Sh).

Internamente están organizados en una serie de unidades de acreción lateral, con geometría sigmoidal y potencias entre 0,30 y 1,2 m. Internamente estas unidades aparecen formadas por un conjunto de sets de estratificación cruzada en surco (secuencia  $c_1$ ), o bien por láminas tipo «foreset» de gran escala (facies Sf) cuya inclinación disminuye de techo a muro, llegando a dar láminas tipo «bottomset» (secuencia  $c_2$ ). El tamaño de grano es siempre arena gruesa a media.

Las lutitas que alternan con estos cuerpos arenosos constituyen intervalos de hasta 20 m de potencia en facies masivas (Fm).

El rasgo más representativo de estos es la acreción lateral. Las paleocorrientes transversales a la dirección y sentido de la acreción, medidas en las estructuras sedimentarias, son el resultado de un flujo helicoidal sobre las barras de meandro. Estas características, junto con el amplio desarrollo de las facies Fm, según Harms et al. (1963), Allen (1964) y Moody-Stuart (1966) es propio de depósitos de canales de alta sinuosidad.

Los cuerpos canaliformes con estratificación cruzada en surco, laterales a los cuerpos de acreción, representan el relleno del canal activo, mientras que aquellos que presentan lutitas arenosas bioturbadas se interpretan como el relleno de canales abandonados.

#### *Tipo VII.—Cuerpos arenosos con geometría canaliforme aislados entre lutitas*

Están constituidos por una única secuencia de segundo orden, o bien aparecen formados por la superposición de varias secuencias de 0,5 a 2 m de potencia, separadas por superficies erosivas que, en conjunto, dan lugar a una evolución granodecreciente. Cada una de estas secuencias se inicia por un depósito residual conglomerático, al que siguen areniscas de grano grueso a fino, con estratificación cruzada en sets de 10 a 50 cm de potencia y con laminación cruzada.

Las lutitas que engloban los cuerpos arenosos son masivas. Como secuen-

cia de tercer orden, los depósitos de tipo VII tienen la expresión dada en la figura 5.

Los cuerpos arenosos representan el relleno de unos canales en los que la migración de megaripples da lugar a la estratificación cruzada en surco.

En esta secuencia, en ningún momento se han encontrado pruebas de acreción lateral ni depósitos correspondientes a canales abandonados, como sería propio de cursos de alta sinuosidad.

Este hecho unido a la geometría lenticular y la escasa amplitud de los cuerpos arenosos, así como su aislamiento entre los depósitos de decantación, nos induce a pensar en una red de cursos dispersos, probablemente de baja sinuosidad, que discurría por una extensa llanura lutítica propia de sectores distales de abanicos aluviales.

#### LITOFACIES LUTÍTICAS

Ocupan extensas superficies en todas el área estudiada. Aparecen como lutitas masivas en su práctica totalidad (facies Fm) de coloraciones de tonos rojos, anaranjadas, marrones y ocre. Azoicas. constituyen niveles de potencia métrica a decamétrica de notable continuidad lateral y geometría tabular. Por lo general se encuentran poco o nada cementadas. Ocasionalmente pueden exhibir laminación horizontal (facies Fl).

Incluyen localmente niveles nodulares irregulares y discontinuos de calizas micríticas masivas de hasta 20 cm de potencia, y desarrollo de yeso intersticial que puede dar lugar a nódulos discontinuos de yeso alabastrino.

Las litofacies lutíticas como tales, se generan por decantación de la carga en suspensión a partir de las aguas que periódicamente inundan la zona distal del abanico.

La presencia de yeso se interpreta como el resultado de los procesos diagenéticos tempranos desarrollados en una llanura lutítica evaporítica (Saline mud flat) que se sitúa en torno a lagos salinos efímeros (playa-lakes) conectados con el abanico.

#### ASOCIACIONES DE FACIES

En base a las relaciones laterales de litofacies observadas y apoyados en la cartografía de las mismas es posible establecer dos asociaciones de litofacies diferentes cuyas características expresamos a continuación.

##### *Asociación A*

Queda caracterizada por las siguientes litofacies: Conglomeráticas, Conglomerático-lutíticas, lutíticoarenosas y lutíticas, relacionadas lateralmente según los diferentes tipos de litofacies señalados en la figura 6.



Puede existir un paso directo de litofacies conglomeráticas a lutíticas sin que exista desarrollo de litofacies conglomerático-lutíticas y arenosas intermedias.

Los depósitos interpretados (debris flow, lóbulos de gravas, sheet flood y canales de pequeñas dimensiones) son propiamente aluviales. La longitud de estos sistemas es inferior a 3 Km, y no existe una clara diferenciación en zonas proximales, medias y distales. El transporte se realiza por flujos acuosos o corrientes de gravedad, siendo completamente activa toda la superficie del abanico casi exclusivamente en fases de avenida.

En aquellos abanicos en que se observa un paso directo de litofacies conglomeráticas (tipo I) a lutíticas se comprueba que el transporte del material se realiza preferentemente en masa, dando lugar a un predominio de los depósitos del tipo I. En este caso se encuentran los abanicos de menor desarrollo longitudinal (inferior a 1 Km) y mayores pendientes, que se deducen de la presencia de bloques olistolíticos deslizados desde el área fuente.

Los abanicos establecidos en esta asociación presentan bastante similitud con los «abanicos aluviales de baja eficacia de transporte» según la terminología de Colombo (1989).

	ABANICO ALUVIAL		
	Proximal	Medio	Distal
<b>ASOCIACION A</b>	Tipos I, II, III a1 →		IV, V, VI b
<b>ASOCIACION B</b>	Tipos III a →	III b, VI a1 →	VI a2, VI c, VII, VI b

Fig. 6.—Relaciones laterales entre los diferentes tipos de litofacies que caracterizan respectivamente los sistemas aluviales de baja eficacia de transporte (Asociación A) y alta eficacia de transporte (Asociación B).

Fig. 6.—Lateral relationships between the different types of lithofacies which characterize respectively the alluvial fan of low transport efficiency (Association A) and high transport efficiency (Association B).

### Asociación B

La asociación de litofacies es la siguiente: Conglomerático-lutíticas que hacia el interior de la cuenca pasan a litofacies Lutítico-arenosas y Lutíticas, según los diferentes tipos de litofacies relacionados lateralmente tal como se expresa en la figura 6.

Esta asociación representa abanicos aluviales de gran desarrollo longitudinal que en el sentido de los aportes pueden alcanzar hasta 20-30 Km si incluimos las llanuras lutíticas distales. En ellos se da un notable desarrollo de las facies propiamente fluviales (depósitos de cursos entrelazados conglomeráticos y arenosos). En el sentido de los aportes tiene lugar una reducción de la densidad y dimensiones de los canales, así como un aumento en la relación anchura/profundidad de los mismos, existiendo una neta diferenciación en sectores proximales, medios y distales.

Los sectores proximales se caracterizan por sistemas de canales entrelazados en los que se desarrollan barras conglomeráticas de bajo relieve sin frentes de avalancha, (tipo III a<sub>1</sub>) aumentando aguas abajo el relieve de las mismas y comenzando el desarrollo de frentes de avalancha (tipo III a<sub>2</sub>). Los depósitos correspondientes a la llanura de inundación de estos cursos pueden no conservarse o estar escasamente desarrollados.

Los sectores medios de estos abanicos presentan una red menos densa de canales entrelazados, siendo los depósitos dominantes canales conglomeráticos (tipo III b<sub>2</sub>) y arenosos con desarrollos de barras de arena (tipo VI a<sub>1</sub>). Existe una importante representación de depósitos propios de llanura de inundación.

Los sectores distales quedan representadas por extensas llanuras lutíticas (hasta 15 Km de longitud) por las que discurren canales someros y de baja sinuosidad (tipo VI a<sub>2</sub>, tipo VII) que ocasionalmente pueden aumentar su radio de curvatura y desarrollar depósitos de barras de meandro (tipo VI c). En las áreas más distales las redes de canales han desaparecido prácticamente y sólo llegan aportes de lutitas y arenas finas transportadas por flujos no canalizados dando lugar a arroyadas en manto (sheet-flood, tipo VI b). Estas llanuras de barro, con frecuencia afectadas por procesos de evaporación capilar, enlazan con áreas lacustres carbonatadas o evaporíticas. Los abanicos descritos en esta asociación B se pueden corresponder con los denominados como «abanicos aluviales de alta eficacia de transporte» por Colombo (1989).

## EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS ALUVIALES

La interpretación realizada sobre el significado sedimentológico de las facies aluviales, junto con la cartografía de litofacies y la medida de paleocorrientes, permite llevar a cabo una reconstrucción de los dispositivos sedimentarios desarrollados en cada unidad, a partir de los cuales podemos conocer la evolución de los sistemas aluviales a lo largo del tiempo.

Al sur de Tosos afloran calizas con *microcodium* alternando con niveles de conglomerados atribuidos al Paleoceno (UTS T1). La escasa potencia y extensión de afloramiento no permite conocer las relaciones laterales de facies de esta unidad.

En la unidad Oligoceno superior-Ageniense coexisten los dos tipos de sistemas aluviales establecidos para el margen ibérico de la cuenca del Ebro. Los sistemas de corto desarrollo longitudinal (asociación A) presentan aportes del sur y se relacionan lateralmente con litofacies conglomerático-lutíticas que junto con litofacies lutítico-arenosas y lutíticas componen abanicos aluviales de procedencia occidental y que presentan de 10 a 30 Km de extensión en el sentido de los aportes. Estos sistemas funcionan como colectores de los abanicos de corto desarrollo longitudinal. La composición y características de las litofacies de los sistemas de abanicos de procedencia sur, evidencian el desmantelamiento de áreas fuente locales. Estas áreas coinciden con alineaciones de dirección este-oeste (estructuras anticlinales de Belchite-Aguilón y Moneva) que actualmente se observan como cabalgamientos con vergencia norte. Además en esta unidad las variaciones de potencia y la distribución areal de facies están condicionadas por la existencia de tales estructuras, cuyo desarrollo es una consecuencia de la actividad diastrófica sinsedimentaria existente durante el tiempo de sedimentación de la unidad.

En la unidad Ageniense-Aragoniense medio se identifican sistemas aluviales que presentan dimensiones de más de 25 Km de longitud, asociación B, con notable desarrollo de los sectores distales arenoso-lutíticos. En el sector oriental se reconocen localmente abanicos de corto desarrollo longitudinal. Los abanicos de esta unidad proceden del sur y suroeste, es decir, de la actual Cordillera Ibérica. Sólo en el sector occidental se ponen de manifiesto aportes del noroeste paralelos al eje de la cuenca.

Para la unidad Aragoniense medio-Aragoniense superior las paleocorrientes proceden mayoritariamente del suroeste con variaciones locales en puntos próximos al borde de la cuenca que indican aportes tanto del sureste como del sur y oeste. El borde de la cuenca suministraba materiales a unos sistemas aluviales cuyas dimensiones radiales oscilaban entre 15 y 30 Km, incluidas las llanuras lutíticas distales. Sólo en el sector oriental se identifican localmente pequeños aparatos de unos 2 Km de radio.

Las unidades Aragoniense superior-Vallesiense y Vallesiense-Turoliense presentan predominantemente facies lacustres. Para la primera unidad estas facies lacustres afloran ampliamente en todo el sector considerado de la cuenca del Ebro, y en concreto en el sector oriental aparecen directamente sobre las facies proximales de los abanicos aluviales desarrollados en la unidad infrayacente, así como sobre los materiales mesozoicos que integran el margen ibérico de la cuenca. Las facies aluviales se reconocen como pequeños y escasos aparatos de corto desarrollo longitudinal y procedencia sur, que se interdigitan con los sistemas lacustres. En la región de Borja se reconocen aportes terrígenos de procedencia del norte y noreste que dan lugar a depósitos de arenas silíceas con macroformas de foreset y canales asociados, y que se relacionan lateralmente con las facies lacustres dando lugar a lóbulos deltaicos.

La unidad más superior sólo presenta facies aluviales en los niveles que marcan el inicio de la misma. Consisten en canales conglomeráticos de procedencia norte que aparecen aislados entre facies lacustres.

De todo lo expuesto se pone de manifiesto que los sistemas aluviales procedentes del margen ibérico de la cuenca del Ebro, reducen su extensión a lo largo del Mioceno. Esta reducción coincide con el desplazamiento de las áreas lacustres hacia el sur (Pérez et al, 1989), indicando la influencia de un margen activo septentrional cuyo levantamiento provoca dicho desplazamiento hasta alcanzar durante el Vallesiense el actual margen norte de la Cordillera Ibérica.

## CONCLUSIONES

Las unidades tectosedimentarias del margen ibérico de la cuenca del Ebro presentan depósitos que obedecen a los procesos que tienen lugar en sistemas de abanicos aluviales y áreas lacustres.

El estudio de las facies aluviales permite caracterizar cuatro litofacies: Conglomeráticas, Conglomerático-lutíticas, Lutítico-arenosas y Lutíticas, y dentro de ellas un total de siete tipos de facies diferenciadas en función de la geometría de los cuerpos detríticos groseros.

A partir del análisis sedimentológico de cada uno de estos tipos de depósito, y apoyados en la distribución areal de facies, se identifican dos asociaciones de facies, denominadas como asociación A y B, que definen otros tantos tipos de sistemas aluviales.

Los sistemas de la asociación A presentan reducido desarrollo longitudinal, con longitudes radiales inferiores a 4 Km, las facies son propiamente aluviales y el transporte se realiza por corrientes acuosa y flujos de gravedad. No existe una clara diferenciación en zonas proximales, medias y distales, siendo posible el paso directo desde las facies conglomeráticas más proximales a las litofacies lutíticas.

Para la asociación B se definen abanicos aluviales de gran desarrollo longitudinal que en el sentido de los aportes pueden alcanzar hasta 30 Km. En ellos se da un notable desarrollo de las facies propiamente fluviales. En el sentido de los aportes tiene lugar una reducción de la densidad y dimensiones de los canales, así como un aumento en la relación anchura/profundidad de los mismos, existiendo una neta diferenciación en sectores proximales, medios y distales, y enlazan con áreas lacustres carbonatadas o evaporíticas.

Ambos tipos de sistemas aluviales coexisten en el tiempo, siendo dominantes los sistemas aluviales de largo desarrollo longitudinal en la unidad del tránsito Oligoceno-Mioceno y en la unidad Ageniense. En la primera unidad la evolución de los sistemas de la asociación A está condicionada por la existencia de altos estructurales activos durante la sedimentación de la unidad.

Para el resto de las unidades neógenas se pone de manifiesto una reducción de las dimensiones de los abanicos a lo largo del tiempo, que se corresponde con una expansión de los sistemas lacustres hacia el sur.

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo realizado dentro del proyecto de la DGICYT n.º PB 93-580.

## BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, J. R. L. (1964), «Studies in fluvial sedimentation: Six cyclothem from the Lower Old Red Sandstone. Anglo Welsh Basin», *Sedimentology*, 3, 163-198.
- ARENAS, C., PARDO, G., GONZÁLEZ, A. y VILLENA, J. (1989), «El sistema aluvial de Cobatillas (Teruel): análisis de facies y evolución del estilo fluvial», *Rev. Soc. Geol. España* 2 (1-2), 41-54.
- BIRNBAUM, S. J. (1976), *Non-marine evaporite and carbonate deposition, Ebro Basin, Spain*. Diss. Doc. Phil. Univ. Cambridge, 146 pp. Inédito.
- BLUCK, B. J. (1976), «Sedimentation in some Scottish Rivers of Low Sinuosity», *Transactions. Royal Society of Edinburgh*, 69, 425-456.
- BULL, W. B. (1972), «Recognition of Alluvial-fan», *Deposits in the stratigraphic Record. SEPM*, Special Publication, 16, 63-83.
- CANT, D. J. y WALKER, R. G. (1978), «Fluvial processes and facies sequences in the sandy braided South Saskatchewan River, Canadá», *Sedimentology*, 2, 625-648.
- COLOMBO, F. (1989), «Abanicos aluviales», en A. Arche (coord.), *Sedimentología*, vol. I, 143-218. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
- FREYET, P. y PLAZIAT, J. C. (1965), «Importance des constructions algaires dues a des Cyanophycées dans les formations continentales du Crétacé supérieur et de l'Eocène du Languedoc», *Bull. Soc. Geol. France*, 7, 679-694.
- FRIEND, P. F. (1978), «Distinctive features of some ancient river systems», en A. D. Miall (ed.), *Fluvial Sedimentology*, Can. Soc. Petrol. Geol. Mem., 5, 531-542.
- (1983), «Towards the field classification of alluvial architecture of sequence», en J. D. Collinson y J. Lewin (eds.), *Modern and ancient fluvial system*, *Spc. publ. Ass. Sedim.*, 6, 354-354.
- HARMS, J. C., MACKENZIE, B. y MCCUBBIN, D. G. (1963), «Stratification in modern sands of the Red River. Louisiana», *Journal Geol.*, 71, 566-580.
- HOOKE, R. Le B. (1967), «Processes on arid-region alluvial fans», *Jour. Geol.*, 75, 438-460.
- JOHNSON, A. M. (1970), *Physical Process in Geology*, Freeman, Cooper & Co., San Francisco, 577 pp.
- LAWRENCE, D. y WILLIAMS, B. (1987), «Evolution of drainage systems in response to acadian deformation: the Devonian Battery Point Formation, Eastern Canada», en F. Ethridge et al. (eds.), *Recent developments in fluvial sedimentology. Society of Economic Paleont. and Mineral*, *Spc. Pub.*, 39, 288-300.
- MCGOWEN, J. M. y GARNER, L. E. (1970), «Physiographic features and stratification ty-

- pes of coarse-grained point-bars: modern and ancient examples», *Sedimentology*, núm. 1/2, 77-111.
- MIALI, A. D. (1978), «Litofacies types and vertical profile models in braided rivers: a summary», en A. D. Miall (ed.), *Fluvial sedimentology. Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.*, 5, 597-604.
- (1985), «Architectural-Element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits», *Earth Sci. Rev.*, 22, 261-308.
- (1996), *The geology of fluvial deposits*, Springer-Verlag, 582 pp.
- MOODY-STUART, M. (1966), «High — and low — simosity stream deposits, with examples from the Devonian of Spitzbergen», *Journal Sedimentary Petrology*, 36, 1102-1117.
- PÉREZ, A. (1989), *Estratigrafía y Sedimentología del Terciario del borde meridional de la Depresión del Ebro (sector riojano-aragonés) y cubetas de Muniés y Montalbán*, Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 525 pp.
- PÉREZ, A., MUÑOZ, A., PARDO, G. y VILLENNA, J. (1994), «Lacustrine Neogene deposits Ebro basin (Southern margin). NE. Spain», en K. Kelts y Gierlowski-Kordesch (eds.), *Global Geological Record of Lake Basin*, World and Regional Geology, 4, Cambridge University Press, 325-330.
- (1989), «Evolución de los sistemas lacustres del margen ibérico de la Depresión del Ebro (sectores central y occidental) durante el Mioceno», *Acta Geológica Hispánica*, 24, 243-257.
- PÉREZ, A., AZANZA, B., CUENCA, G. y VILLENNA, J. (1985), «Nuevos datos estratigráficos y paleontológicos sobre el Terciario del borde meridional de la depresión del Ebro (Provincia de Zaragoza)», *Estudios Geol.*, 41, 405-411.
- PÉREZ, A., VILLENNA, J. y PARDO, G. (1987), «Presencia de estratificación cruzada Hummocky en depósitos lacustres de la depresión del Ebro», *Acta Geológica Hispánica*, 21-22, 27-33.
- QUIRANTES, J. (1969-1978), *Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de los Monegros*, Inst. Fernando el Católico, CSIC, Zaragoza, Tesis Doctoral, 200 pp.
- SALVANY, J. M., MUÑOZ, A. y PÉREZ, A. (1994), «Nonmarine evaporitic sedimentation and associated diagenetic processes of the SW margin of the Ebro Basin. (Lower Miocene) Spain», *Journal of Sedimentary Research*, 64 (2), 190-203.
- STEEL, R. J. (1974), «New Red Sandstone Floodplain and piedmont sedimentation in the Hebridean province, Scotland», *Jour. Sedimen. Petrol.*, 4, 336-357.
- VILLENNA, J., GONZÁLEZ, A., MUÑOZ, A., PARDO, G. y PÉREZ, A. (1992), «Síntesis estratigráfica del Terciario del borde Sur de la Cuenca del Ebro: Unidades genéticas», *Acta Geológica Hispánica*, 27 (1-2), 225-245.
- VILLENNA, J., PARDO, G., PÉREZ, A., MUÑOZ, A. y GONZÁLEZ, A. (1996), «The Tertiary of the Iberian margin of the Ebro Basin: 2) Paleogeography and Tectonic control», en P. Friend y C. Dabrio (eds.), *Tertiary Basins of Spain*, World and Regional Geology, 6, Cambridge University Press, 83-88.

*Manuscrito recibido: 8-4-1996*

*Manuscrito aceptado: 8-7-1996*