

# GÉNESIS Y EVOLUCIÓN DE BARRAS CONGLOMERÁTICAS EN UN RÍO DE BAJA SINUOSIDAD (DEPRESIÓN DE GRANADA, ESPAÑA) <sup>1</sup>

Cristino-José Dabrio <sup>2</sup> y Juan Fernández <sup>3</sup>

## RESUMEN

Los materiales aluviales plio-pleistocénicos de Moraleda de Zafayona se formaron en un sistema trenzado (*braided*) proximal de curso muy estable y llanura de inundación bien desarrollada. El cauce tenía partes activas e inactivas que cambiaban frecuentemente de posición relativa. En este trabajo se estudian e interpretan dos barras de canales activos.

La barra 1 creció confinada en un pequeño canal a partir de un residuo abandonado grosero (*lag*) que creció verticalmente y formó el núcleo con una superficie de avalancha (*foreset*). Luego creció lateralmente por la adición de sucesivas cuñas de sedimento, cuya granulometría y estructuras sedimentarias reflejan las fluctuaciones del flujo, que integran en conjunto una secuencia positiva de disminución lateral y vertical de la energía del flujo. Tras esa etapa de acreción quedó un canal residual cuyo relleno registra el aumento progresivo de la energía de la corriente producido por la disminución de la sección. Las partes altas de la nueva barra muestran los efectos de la instalación de flujo supercrítico a causa de la pequeña profundidad.

La barra 2 creció libremente en un canal y se diferencian en ella el núcleo y varias etapas de crecimiento cuya morfología completa se ha observado gracias, en parte, a la formación de pavimentos. Cada una de las etapas registra, a su vez, varios ciclos de crecida y decrecida del caudal que forman secuencias de tamaños de grano y de estructuras sedimentarias y superficies erosivas y de reactivación. Se formaron, además, depresiones axiales y surcos erosivos marginales que se rellenaron posteriormente.

La estructura interna de las barras muestra una evolución sedimentaria que es similar en todos los casos. El núcleo de la barra se formó en condiciones de alta descarga y alta energía. Luego, durante gran parte de su historia la barra iba ofreciendo un obstáculo cada vez mayor a la corriente y la disminución de la profundidad causó condiciones de alta energía que no están necesariamente ligadas a descargas elevadas. A partir de cierta altura, sin embargo, la barra se convirtió en un obstáculo excesivamente elevado y el agua que la sobrepasaba se movía con poca velocidad a causa del rozamiento sobre el fondo, depositándose fracciones más finas cada vez que integran una secuencia positiva superpuesta a la anterior. La preservación de las partes altas de las secuencias es problemática pues son las primeras en ser eliminadas si se produce erosión posteriormente a causa de la migración de canales.

1.—Este trabajo ha sido subvencionado por la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (C.A.I.C.Y.T) dentro del Proyecto «El borde mediterráneo español: evolución del orógeno y geodinámica de las depresiones neógenas».

2.—Departamento de Estratigrafía, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca.

3.—Departamento de Estratigrafía, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada.

## ABSTRACT

Proximal braided alluvial systems with very stable channels flowed through a well-developed flood plain in the area of Moraleda de Zafayona during Plio-Pleistocene times. There were active and non-active zones within the main braided channel with continuously changing relative positions. Two bars of the alluvial system are studied in this paper.

Bar n.º 1 formed into a small, confined channel from a lag that grew vertically and that eventually developed a slip face (foreset). The bar grew also by lateral accretion of successive sedimentary wedges that recorded the fluctuations of flow and a generalized lateral and vertical decrease of the energy of the flow as changes of grain size and sequences of primary sedimentary structures. The remaining residual channel (slough channel?) was filled with coarsening-upwards gravels due to the increasing flow energy simultaneous to the decreasing size of the channel. Upper flow regime conditions induced by shallow water depth occurred at the top of the newly-formed bar.

Bar n.º 2 was a free bar in the channel. A bar core and several stages of growth with well-preserved morphologies can be recognized. Fluctuations of discharge were recorded as sequences of grain sizes and types of sedimentary structures contained in the various stages and as reactivation surfaces. An axial depression dug down into the bar top and a scour channel marginal to the bar, both of them filled with gravel, were found too.

The internal structure of the bars shows a similar vertical evolution in all the cases, characterized by an initial stage of high energy related to high discharge and deposition of the core of the bar. High-energy conditions are also recorded in part of the sequence formed during the progressive vertical growth, as the bar increasingly interferes with the flow and generalized sweeping of sediment takes place resulting in the formation of pavements and reactivation surfaces. After the bar reaches a critical height (as compared to the continuously-channelling water level) it severely interferes the flow, water depth over the top of the bar is very low and deposition of finer grain sizes occurs. The upper part of the internal structure of the bars shows a fining-upwards trend with common rootling. The preservation of the upper parts of the sequences remains problematic because they are the first that will be removed if erosion by migrating channels occurs.

**PALABRAS CLAVE:** fluvial, barras, conglomerados, Depresión de Granada.

**KEY WORDS:** fluvial, bars, conglomerates, Granada Basin.

## INTRODUCCIÓN

En el borde noroccidental de la depresión de Granada, entre Láchar y Huétor-Tájar (Fig. 1) afloran materiales aluviales de edad Plioceno-Pleistoceno inferior que se sitúan en discordancia sobre los términos más modernos de la unidad evaporítica superior del Messiniense (Messiniense superior-Plioceno) inferior de la depresión (Dabrio et al, 1982).

La serie estratigráfica consiste en cuatro paquetes conglomeráticos, de morfología canalizada y estructura interna compleja, que se hallan

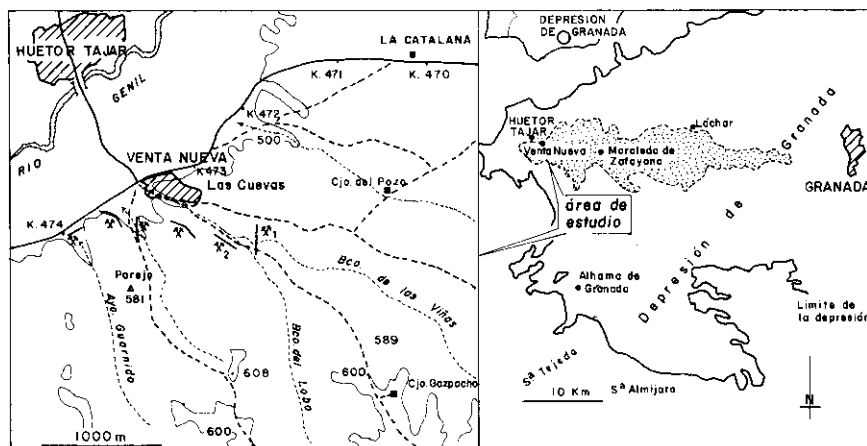


Fig. 1.—Mapas de afloramientos del conglomerado de Moraleda de Zafayona (derecha) y de situación de las canteras de Venta Nueva (izquierda). Los números 1 y 2 indican las canteras donde se estudiaron los ejemplos que se exponen en el texto.

Fig. 1.—Location map of the conglomerate of Moraleda de Zafayona (right) and quarries near Venta Nueva (left). Numbers 1 and 2 indicate the quarries in which the examples shown in the text were studied.

en el seno de materiales areno-arcillosos con bancos carbonatados. Fernández y Dabrio (1982) los interpretan como depósitos aluviales de un sistema trenzado (*braided*) proximal con área fuente en las rocas metamórficas de las sierras de Tejeda y Almjara situadas al sur. El cauce fluvial, muy estable, cambiaba muy raramente de situación en la llanura aluvial vegetada que, en el transcurso del tiempo, pasó de subaérea a encharcada. El cauce aluvial era amplio y complejo, con partes activas e inactivas cuya posición relativa variaba continuamente produciéndose sucesivas erosiones y rellenos que, debido a la gran permanencia de los canales, resultaron en una estructura interna muy complicada. La secuencia ideal es positiva, con disminución hacia el techo de la energía ambiental, reflejada en el tamaño de grano y en las estructuras sedimentarias primarias. De acuerdo con la nomenclatura de Miall (1977, 1978) y Rust (1978), (Tabla I), la secuencia comprende:  $Gm \rightarrow Gm/Sh \rightarrow Gt \rightarrow St \rightarrow Fl$  y se repite varias veces durante la fase de relleno del canal, hasta que éste es abandonado y queda fosilizado por los sedimentos finos de la llanura de inundación.

Se ha reconstruido el trazado del cauce para los dos niveles superiores de conglomerados entre El Turro (unos 5 kilómetros al sureste

de Moraleda de Zafayona) y Venta Nueva y se aprecia que éste describe una amplia curva en los alrededores de Moraleda de Zafayona pasando su orientación de noroeste a oeste. En las proximidades de Venta Nueva, donde el cauce se dirige hacia el oeste, es posible estudiar detalladamente la estructura interna de las facies de canal correspondientes a los conglomerados del «Tramo C» de Fernández y Dabrio (1982) en varias canteras que muestran secciones normales y paralelas al cauce (fig. 1).

**TABLA 1**

FACIES	DESCRIPCIÓN
Gms	Gravas masivas soportadas por la matriz, sin estructura interna.
Gm	Gravas soportadas por los cantos, masivas o con estratificación cruzada de ángulo bajo e imbricación.
Gt	Gravas soportadas por los cantos, con estratificación cruzada de relleno de canal o en surco (artesa).
Gp	Gravas con estratificación cruzada planar.
Sh	Arenas con laminación paralela horizontal.
St	Arenas con estratificación cruzada de relleno de canal o en surco.
Sp	Arenas con estratificación cruzada planar.
Sr	Arenas con laminación cruzada.
Fl	Arenas, limos o arcillas con laminación fina o <i>ripples</i> muy pequeños.
P	Carbonatos de origen edáfico.

Tabla 1.—Facies sedimentarias del «Conglomerado de Moraleda de Zafayona» expresadas de acuerdo con el código de letras de Miall (1978).

Table 1.—Miall's (1978) nomenclature for the sedimentary facies found in the conglomerate of Moraleda de Zafayona.

En este trabajo se describen dos ejemplos de barras y se analiza su génesis y evolución sedimentaria, diferenciándose las distintas etapas de crecimiento y las facies asociadas con cada una de ellas.

## BARRAS FLUVIALES

Cuando se trata de estudiar algo acerca de barras fluviales la primera dificultad que se plantea es, precisamente, la de aclarar el significado de la palabra «barra». Para dar una idea de la magnitud del pro-

blema baste decir que N. D. Smith (1978) recogió más de 30 términos que se han usado en la bibliografía de habla inglesa para denominarlas en función de su morfología, orientación o situación dentro del canal.

Miall (1981) sugiere que se les defina como «una forma de fondo (*bedform*) cuyo tamaño es comparable al del canal en el que aparece». Las barras interfieren el flujo del canal y lo obligan a dividirse y reunirse de nuevo en un modelo de distribución trenzado (*braided*), con canales más o menos desarrollados a ambos lados de la barra o en uno de ellos. Las barras pueden formarse por erosión o por sedimentación, en cuyo caso tienen gran interés sedimentológico, pero la mayoría de las que se conservan en el registro fósil consisten simplemente en restos erosionados, testigos de una historia larga y compleja anterior a su enterramiento definitivo.

La segunda dificultad estriba en clasificar las barras, lo cual es relativamente fácil en los canales actuales desde un punto de vista geomorfológico (Fig. 2) pero mucho más problemático en las secuencias antiguas. Bluck (1976) las divide en dos grupos: barras laterales, con tres subtipos, y barras medias. Smith (1974) y Hein y Walker (1977) diferencian cuatro tipos de uso muy extendido: longitudinales, transversales, de punta (*point bar*) y diagonales. Miall (1981), consciente de la dificultad de relacionar estos tipos morfológicos con estructuras o secuencias concretas fósiles, adopta una clasificación laxa a primera vista pero muy útil cuando se estudian afloramientos de materiales fluviales fósiles: barras masivas o con estratificación plana, barras con superficies de avalancha (*foresets*) simples y barras compuestas. Las relaciones probables entre éstas y otras terminologías usadas se recogen en la Tabla 2. Una dificultad adicional resulta del diferente concepto que se tienen sobre los diversos tipos de barras; por ejemplo, para Smith (1974) y Hein y Walker (1977) las barras diagonales no desarrollan caras de avalancha mientras que para Miall (1981) sí.

El origen y desarrollo de las barras ha sido también objeto de estudio. Según Leopold y Wolman (1957), la formación de barras longitudinales se inicia cuando se deposita la fracción más gruesa de la carga de tracción, al comenzar a decaer flujo. Sobre este núcleo, o aguas abajo de él (cola de la barra) se van agregando nuevas unidades sedimentarias de grano más fino al disminuir aún más el flujo. La historia deposicional comprende muchos episodios de depósito y erosión relacionados con las crecidas y el estiaje del río aunque esa relación es muy com-

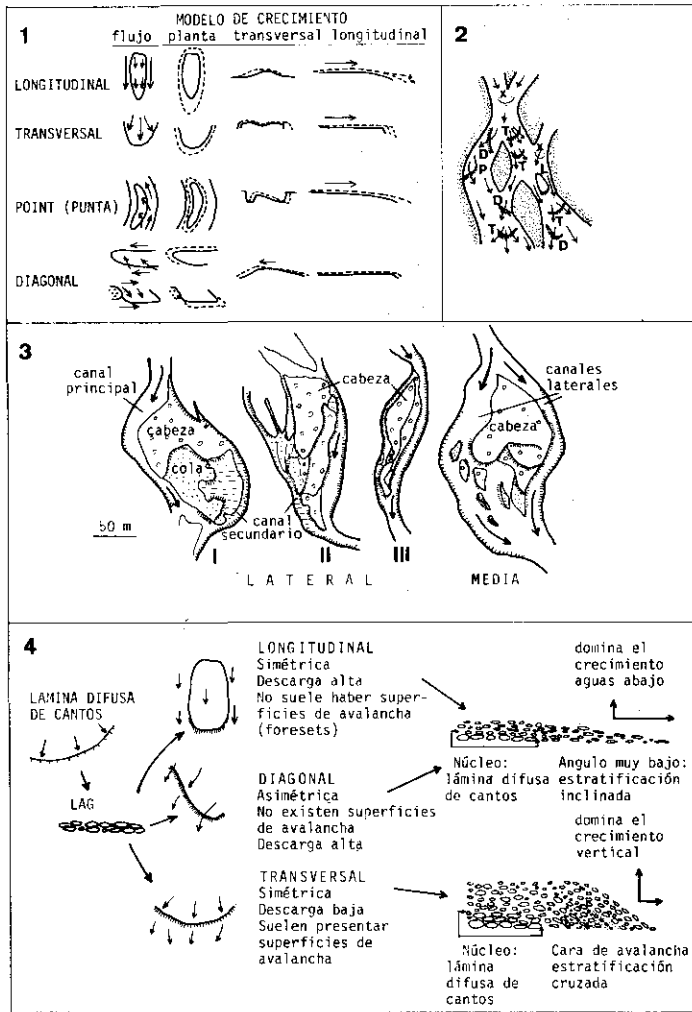


Fig. 2. — (1) Modelos de flujo y crecimiento de barras en ríos trenzados en los que las líneas discontinuas indican la acreción. Nótese que se dá por supuesto que existe una acreción en todos los casos, lo cual puede no suceder (según N. D. Smith, 1974). (2) Tipos de barras en canales trenzados. Las letras significan: L, longitudinal; T, transversal; P, point bar (barra de punta); D, diagonal; x, lámina difusa de cantos (modificado de Hein y Walker, 1977). (3) Tipos de barras en ríos de baja sinuosidad según Bluck (1976, modificado por Ramos y Friend, 1982). (4) Modelos de formación y crecimiento de barras a partir de láminas difusas de cantos dependiendo de la simetría del flujo y de la descarga de agua y sedimento (modificado de Hein y Walker, 1977).

Fig. 2. — (1) Models of flow and accretion of bars in braided rivers; discontinuous lines indicate accretion. A certain vertical accretion has been supposed in all cases (from N. D. Smith, 1974). (2) Types of bars in braided rivers: L, longitudinal; T, transverse; P, point bar; D, diagonal and x, diffuse gravel sheet (modified from Hein and Walker, 1977). (3) Classification of bars in low sinuosity rivers, according to Bluck (1976, modified by Ramos and Friend, 1982). (4) Models of formation and accretion of bars from diffuse gravel sheets, according to flow symmetry and water and sediment discharge (modified from Hein and Walker, 1977).

**TABLA 2**

Clasificaciones Morfológicas			Clasificación Sedimentológica Miall, 1981	
BLUCK, 1976	SMITH, 1974 HEIN Y WALKER, 1977	OTROS TERMINOS EQUIVALENTES		FACIES
Media Lateral III	Longitudinal	<i>Braid bar</i> <i>Spool bar</i> Diamante Romboides	Barras con es- tratificación plana o masiva	Gravas (Gm) Imbricación Sin estratificación cruzada
Lateral II (transversal)	Diagonal Transversal	Linguoides Lobuladas <i>Chute bar</i>	Barras con su- perficie de avalancha ( <i>foreset</i> ) simple	Arena y algo de grava (Sp/Gp)
Lateral I	<i>Point bar</i>	Lateral <i>Side bar</i>	Barras <i>compuestas</i>	Grava y arena Estructura muy compleja con varios tipos de estratifica- ción cruzada y cicatrices erosivas

Tabla 2. — Comparación entre las clasificaciones geomorfológicas y sedimentológicas de barras aluviales trenzadas y posibles equivalencias y estructura interna.  
Table 2. — Comparison of geomorphological and sedimentological classifications of braided bars with supposed equivalences and associated internal structures.

pleja. Al migrar, las barras desarrollan caras de avalancha empinadas (*slip faces*) si el sedimento es fino y superficies de ángulo bajo (*riffles*) si el sedimento es de grano grueso.

Hein y Walker (1977) establecen un modelo que relaciona la morfología de las barras con la estructura interna derivada de su crecimiento y migración en el río Kicking Horse (Canadá). Según parece, la mayoría de las barras se inician con el depósito de una capa fina de grava (*diffuse gravel sheet*) que forma un depósito residual abandonado (*lag*) en las fases de flujo más elevado. A partir de esta capa va creciendo verticalmente la barra por adición de más sedimento hasta que llega a hacerse casi emergente. La estructura interna dependerá de la relación que exista entre el crecimiento vertical y la migración aguas abajo. Cuando las descargas de agua y sedimento son elevadas predomina la migración, y el depósito resultante sería masivo o con estratificación cruzada de ángulo bajo inclinada aguas abajo, puesto que no llega a desarrollarse una superficie de avalancha. Este es el caso de la mayoría de las barras diagonales y de la mitad de las longitudinales del río Kicking Horse. Cuando las descargas de agua y sedimento son menores, da tiempo a que el sedimento se apile antes de ser barrido por el agua, y se puede formar una superficie de avalancha sobre la que caiga el sedimento por gravedad. Ello ocurre en la mayoría de las barras transversales del río Kicking Horse (Fig. 2).

Según esto, las zonas proximales del río, que tienen una gran descarga de gravas gruesas, presentarán estratificación horizontal o masi-

va e imbricación, mientras que las zonas distales aguas abajo, donde hay descargas más reducidas y de material más fino, dominará la estratificación cruzada. Ello está de acuerdo con las observaciones de N. D. Smith (1970) en el río Platte en el que la formación de barras longitudinales se favorece cuando el sedimento es grueso y mal seleccionado, y la de barras transversales cuando es más fino y mejor calibrado.

Hay, pues, una clara relación entre la descarga de agua, el tamaño de grano del sedimento transportado, el tipo de barras que se desarrollan y la estructura interna resultante pero, normalmente, es muy difícil diagnosticar el tipo morfológico de barras de las secuencias fósiles, lo cual justifica la aparente indeterminación de la clasificación propuesta por Miall (1981).

Tampoco es el ánimo de este trabajo el diagnosticar tipos de barras, sino analizar en detalle dos ejemplos concretos, establecer las etapas de crecimiento y migración y los mecanismos implicados en ellas y las secuencias características de distinto orden resultantes.

### BARRA N.º 1 (Fig. 3)

Se encuentra en una cantera orientada norte-sur (Fig. 1, n.º 1) casi perpendicular a la dirección del canal en ese punto que es N290E. Se trata de una barra que ha crecido confinada en un canal excavado en las facies finas (F1) del techo de una secuencia fluvial más antigua, hasta acabar colmatándolo. En análisis de los diferentes episodios deposicionales (Fig. 4) permite apreciar los cambios en la dinámica de crecimiento al variar ligeramente los factores implicados.

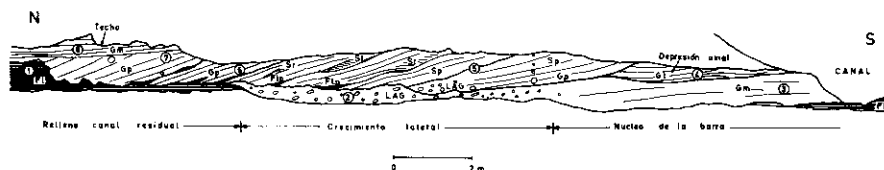


Fig. 3. —Esquema de la distribución de facies en la barra n.º 1 (cantera 1 de la figura 1) en el que se indican los episodios deposicionales, mediante números encerrados en círculos, y la interpretación sedimentaria. El corte es perpendicular a la dirección del sistema fluvial y forma un ángulo de 70° con el canal en el que se desarrolló la barra.

Fig. 3. —Field sketch of facies distribution in bar no 1 (quarry 1, fig. 1). The depositional events are indicated by encircled numbers. The section is normal to the direction of the fluvial system but it forms an angle of 70° with the active channel in which the bar generated. A sedimentary interpretation is included.



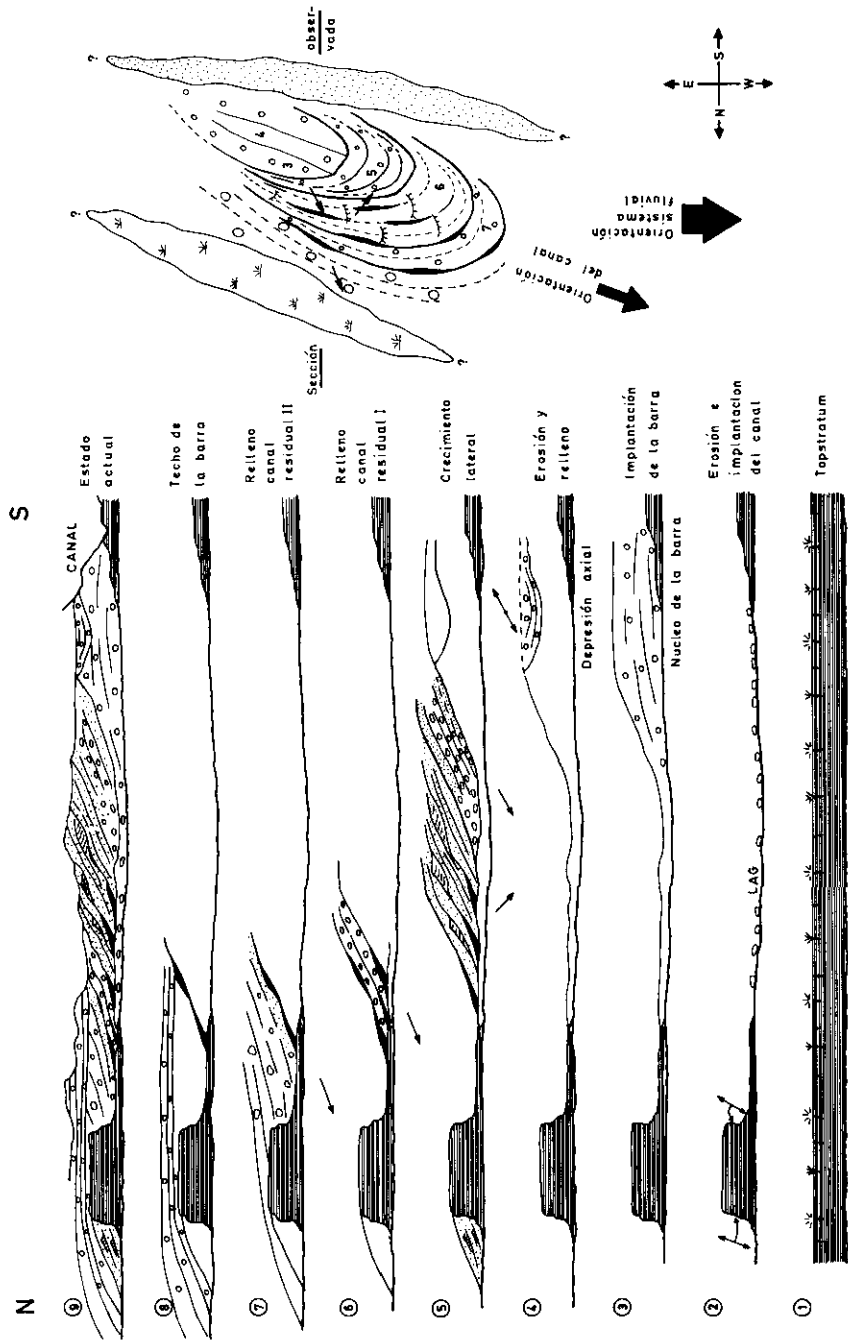


Fig. 4. —Evolución sedimentaria de la barra 1 en sección (izquierda) y en planta (derecha). El significado de los números y siglas es el mismo que en la figura 3.  
 Fig. 4.—Sedimentary evolution of bar no 1 in section (left) and plane (right). Same key as in figure 3.

Los sedimentos infrayacentes son de grano fino con bioturbación (Fig. 4, episodio 1 y Fig. 5) y fueron parcialmente erosionados generándose un canal (episodio 2) en el que se depositaron gravas groseras desorganizadas con mucha matriz que constituyen un depósito residual abandonado (*lag*) a partir del cual se desarrolló en núcleo de la barra (episodio 3) integrado por gravas masivas y con estratificación cruzada difusa de bajo ángulo (Fig. 7) e imbricación. Este núcleo creció hacia arriba y desarrolló una superficie de avalancha (*slip face*) en el margen lateral de la barra y, posiblemente, también en el margen situado aguas abajo.

Sobre esta barra se excavó un surco somero (episodio 4) a modo de depresión axial, que se rellenó con gravas con estratificación cruzada en artesa de facies GT (Fig. 7) en la que alternan capas de trama abierta y de trama cerrada (con los huecos rellenos de matriz). La capa de grano más grueso se depositó durante los períodos de flujo alto en los que los finos permanecían en suspensión y eran arrastrados aguas abajo. Al disminuir el flujo se iban depositando gravas más finas hasta que se depositó también el material fino que forma la matriz rellenando los huecos cercanos a la superficie pero sin alcanzar las gravas infrayacentes depositadas en la fase anterior. La matriz quedó atrapada en la grava y resistió la erosión de la fase siguiente de flujo alto formando un pavimento para el próximo episodio de gravas (N. D. Smith, 1974).

El episodio 5 registra una disminución progresiva del flujo en el canal simultánea con la migración lateral de la barra. Está integrado por diferentes facies que van desde Gp/Sp al principio a Sp/St/F1/P al final. La primera parte (Fig. 8) consiste en gravas finas y arenas gruesas que forman una secuencia granodecreciente hacia el margen lateral de la barra. La estructura interna es estratificación cruzada plana (facies Gp) con acumulación de los cantos más gruesos al pie de la superficie de avalancha. Existen secuencias positivas granodecrecientes menores en las láminas de la estratificación cruzada, generadas por fluctuaciones pequeñas del flujo, cuya periodicidad no ha podido determinarse hasta el momento. La segunda parte del episodio 5 está integrada por arenas con estratificación cruzada plana (facies Sp) en las que pueden reconocerse varias etapas de crecimiento separadas por superficies erosivas (Fig. 9). Cada una de esas etapas de crecimiento está formada por una secuencia positiva granodecreciente que comprende: arenas gruesas con estratificación cruzada (St.), arenas finas con *ripples* de corriente (Sr.) y, a techo, limos y arcillas (F1) que han sufrido procesos edáficos

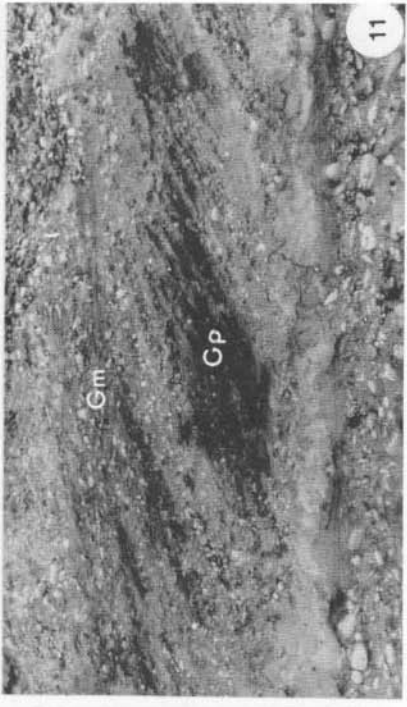
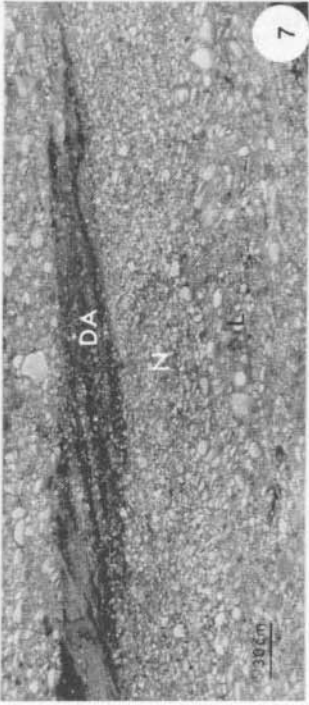
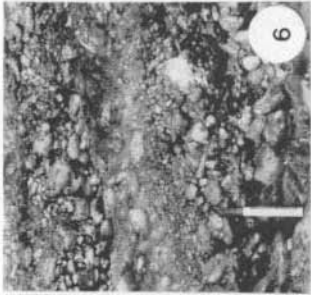


Fig. 5. — Nivel de arenas finas y limos con laminación horizontal (facies Fl) bioturbados por raíces, el cual fue erosionado parcialmente cuando se implantó el canal, y le sirvió temporalmente de margen. En el fondo del canal hay limos cementados y bloques arrancados del margen, todos ellos cementados por carbonatos de aspecto noduloso (facies P).

Fig. 6. — Alternancia de capas de gravas gruesas con trama abierta y de gravas más finas de trama cerrada.

Fig. 7. — Núcleo de la barra (N) que está constituido por gravas que muestran una débil tendencia a la imbricación. En la base queda una zona de cantos más gruesos desorganizados y con matriz arenosa (L). En el techo aparece un surco erosivo que forma la depresión axial (DA) del episodio 4.

Fig. 8. — Gravas finas y arenas con estratificación cruzada plana (facies Gp/Sp de la primera parte del episodio 5) que integran una secuencia positiva granodecreciente hacia el margen lateral de la barra (a la izquierda) debido a la progresiva disminución de la energía de la corriente. Se observan secuencias granodecrecientes menores generadas por fluctuaciones pequeñas del caudal.

Fig. 9. — Arenas con estratificación y laminación cruzada (facies Sp/Sr/Fl/P, del final del episodio 5) dispuestas en varias secuencias positivas de energía decreciente hacia la izquierda, separadas por superficies de reactivación jalonadas por sedimentos finos cementados por carbonatos. Las direcciones de corrientes medidas en las estructuras de gran escala en facies Gp/Sp (Fig. 8) y en las de pequeña escala de facies Sp/Sr, son perpendiculares entre sí pues unas registran la acreción lateral de la barra y las otras la dirección de migración de ripples movidos directamente por la corriente.

Fig. 10. — Relleno del canal residual en los episodios 6 y 7, en dos fases separadas por un nivel de finos cementados (marcado con una flecha) que representa un periodo de inactividad de flujo. En la base del canal queda un depósito abandonado residual (*lag*) cementado por carbonato, con cantos procedentes de la erosión del nivel de finos del techo de la secuencia infrayacente (*topstratum*) que forma el margen pasivo del canal.

Fig. 11. — Fase final de relleno del canal residual (episodio 7) constituida por gravas (Gp) cuyo tamaño de grano aumenta hacia el margen (a la izquierda). Sobre ellas, las gravas con estratificación horizontal irregular (Gm) del episodio 8 depositadas en la plataforma de la barra llegando a cubrir, incluso, el primitivo banco erosivo.

Fig. 5. — Burrowed fine sands and silts with horizontal lamination (facies Fl). This layer was partly eroded during the implantation of the channel and it acted as a stable margin for some time. An erosional lag and cemented silts are visible at the bottom of the channel.

Fig. 6. — Alternating coarse gravel with open frame and finer gravel with closed frame.

Fig. 7. — Bar core (N) made up of gravels with some tendency to imbrication. Note the coarser lag (L) in the lower part and the erosional scour of the axial depression (DA) during episode 4.

Fig. 8. — Fine gravel and sand with planar cross lamination (facies Gp and Sp in the first part of episode 5) arranged in a sequence that fines towards the lateral margin of the bar (left) due to the progressive decrease of the energy of the current. Note the minor sequences fining towards the left in response to small fluctuations of water and sediment discharge.

Fig. 9. — Cross-bedded and cross-laminated sands (Sp/Sr/Fl/P, upper part of sequence 5) arranged in several sequences that fine towards the left. The sequences are separated by reactivation surfaces and cemented muddy sediments. Directions of cross-bedding measured in sediments of facies Gp-Sp correspond to accretion of the bar and point approximately at right angle to those measured from facies Sp-Sr that are related to migration of smaller bedforms.

Fig. 10. — The infilling of the residual channel is accomplished during the depositional episodes 6 and 7 which are separated by a stand-still surface with deposition of fines (arrow). At the bottom of the channel there is a lag made up of fragments and blocks eroded from the substratum forming the margin of the channel.

Fig. 11. — The final episode of the infilling of the channel (7) consists of coarsening upwards gravels (Gp). The overlying gravels (facies Gm) deposited on the bar platform (episode 8) covering even the erosional margin.

y cementación (facies P). La secuencia registra el paso de flujo a estiaje y la superficie de erosión es una superficie de reactivación a partir de la cual continúa el crecimiento de la barra. Las direcciones de corrientes medias en las gravas apuntan hacia N 330 E mientras que las correspondientes a los *ripples* indican N 220 E, es decir, son perpendiculares entre sí. Este hecho se debe a que las gravas registran el crecimiento lateral de la barra en las épocas de flujo alto mientras que las arenas forman un lóbulo lateral y frontal construido por migración de *ripples* en el sentido de la corriente durante las épocas de disminución del flujo. La gran duración de esta fase de flujo muy bajo o nulo sugiere, en este caso concreto, una tendencia clara al abandono del canal que queda relegado a un papel secundario, funcionando como un canal residual situado entre la barra en construcción y el margen erosivo del canal.

El relleno de este canal residual se lleva a cabo en dos fases (Fig. 4, episodios 6 y 7 y Fig. 10) separados por un período de abandono o estiaje prolongado en el que hubo depósito de la fracción fina y edafización. En el episodio 6 se depositaron gravas finas con estratificación cruzada plana (facies Gp) y en el episodio 7 gravas cuyo tamaño de grano crece hacia el techo, con estratificación cruzada plana (facies Gp), (Fig. 11). Los episodios 6 y 7 integran una secuencia negativa granocreciente hacia el techo y el margen de la barra (coarsening upwards) que refleja condiciones de flujo progresivamente más alto debido a que al cerrarse el canal disminuye la sección y ello hace que aumente la velocidad y la competencia de la corriente, es decir la descarga, hasta que el canal acabó por cegarse completamente. La parte más alta de la barra quedó sujeta a régimen de flujo alto (flujo supercrítico) debido a la disminución de profundidad y se depositaron gravas con estratificación horizontal (episodio 8) de facies Gm (Fig. 11) que son depósitos de techo de barra y que cubrían, incluso, el antiguo margen erosivo del canal que fue tallado en el sustrato cohesivo durante el episodio 2.

El último acto de la historia (episodio 9) consistió en la erosión parcial del techo de la barra causada por la migración de canales más modernos.

En resumen, la evolución del canal y de la barra que lo rellena puede esquematizarse en varias fases sucesivas (Fig. 12). Primero la excavación de un canal somero y el depósito de un residuo abandonado grueso (*lag*) que creció verticalmente formando el núcleo de una barra en la que se desarrolló una superficie de avalancha. Después la barra cre-

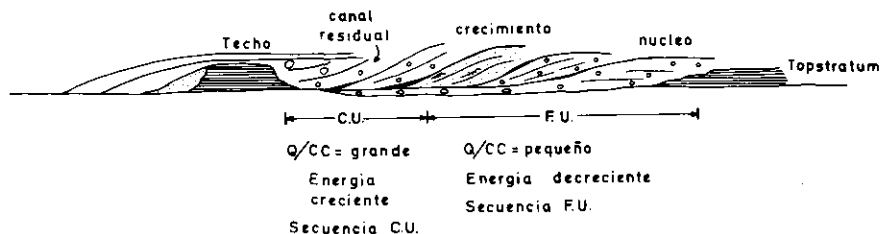


Fig. 12.—Modelo conceptual que resumen la evolución sedimentaria del conjunto canal-barra de la cantera 1, con la siguiente clave: F. U. secuencia positiva granodecreciente (*fining-upwards*); C. U. secuencia negativa granocreciente (*coarsening upwards*); Q caudal y C. C. capacidad del cauce. Fig. 12.—Conceptual model of the sedimentary evolution of the couple channel/bar found in quarry no 1. Key: F. U., fining-up sequence; C. U., coarsening-up sequence; Q, water and sediment discharge; C. C., channel capacity.

ció lateralmente por adición de sucesivas cuñas de sedimento que reflejan las fluctuaciones del flujo y que en conjunto forman una secuencia positiva. La disminución de energía es apreciable, tanto en la vertical como lateralmente, en el mismo tamaño de grano y en la estructura interna.

El relleno del canal residual registra el aumento progresivo de la descarga debido a la disminución de la sección y se origina una secuencia negativa. Finalmente el techo de la barra registra las condiciones de flujo supercrítico y el cepillado por erosión posterior.

## BARRA N.º 2 (Fig. 13)

Se encuentra en una cantera con orientación N300E (Fig. 1, n.º 2) y aparece en dos afloramientos separados por una zona cubierta de unos cuatro metros de anchura. El sentido dominante del flujo, deducido a partir de estructuras sedimentarias, es N220-240E, con direcciones subordinadas cuyo origen se verá más adelante.

A partir del análisis detallado de la estructura interna, auxiliado por panorámicas fotográficas (Fig. 13) se ha podido establecer un modelo de las fases de crecimiento (números romanos I a VI) y su disposición espacial (Fig. 14). la barra muestra una estructura compleja con superposición de fases de crecimiento vertical y fases de desarrollo de superficies de avalancha (*foresets*) simples o compuestas que originan diversos tipos de estratificación cruzada en los que, a su vez se reconocen muchos episodios de crecimiento. Los datos deducidos del estudio de esta barra se exponen de una forma más general que los de la barra

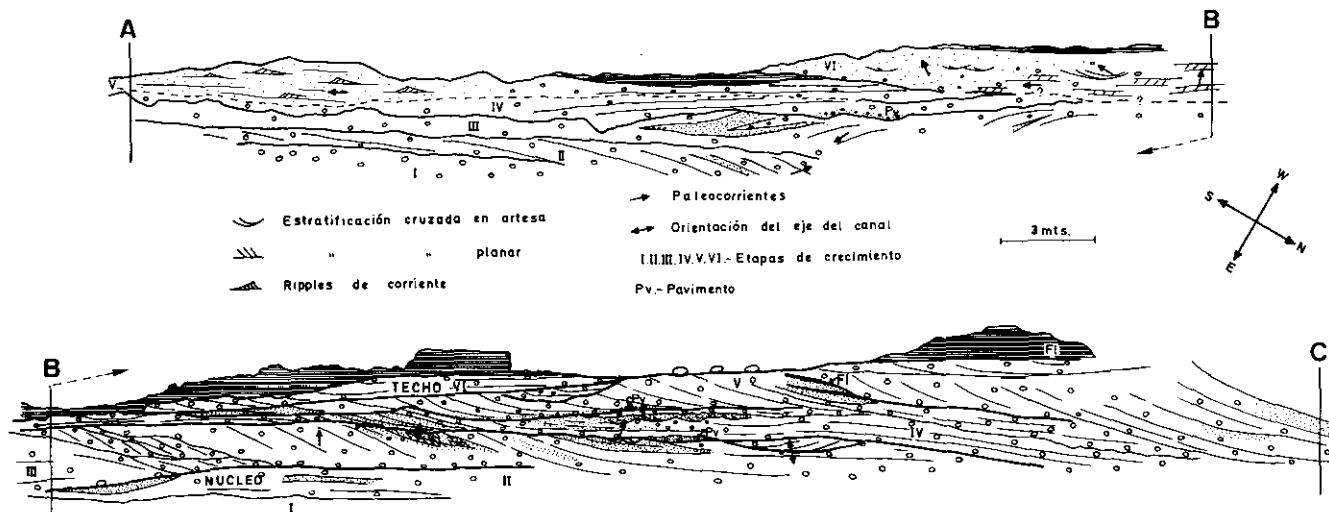


Fig. 13.—Esquema de la distribución de facies en la barra 2 (cantera 2 de la figura 1) en el que se indican con números romanos las etapas de crecimiento. La barra aparece en dos trozos separados por una zona no explotada de unos cuantos metros de anchura. La parte de arriba del esquema se sitúa a la izquierda (sureste) y la de abajo a la derecha (noroeste) del observador que mire a la cantera.

Fig. 13.—Facies distribution along bar no 2 (quarry 2 in figure 1) and depositional events marked by roman numbers. The bar crops out in two parts separated by a covered zone several meters wide. The upper sketch is placed to the left (southeast) and the lower one to the right (northwest) of an observer looking to the wall of the quarry.

n.º 1 lo cual permite comparar dos niveles de aplicación de una misma técnica de trabajo.

Los depósitos correspondientes a la fase I se observan con dificultad en unos pocos puntos aislados y consisten en gravas desorganizadas que se interpretan como la capa de grava (*diffuse grave sheet*) que actúa como embrión de la barra.

La etapa II consiste en el depósito de gravas con estratificación horizontal e imbricación (facies Gm) y algunas pasadas de arena con la-

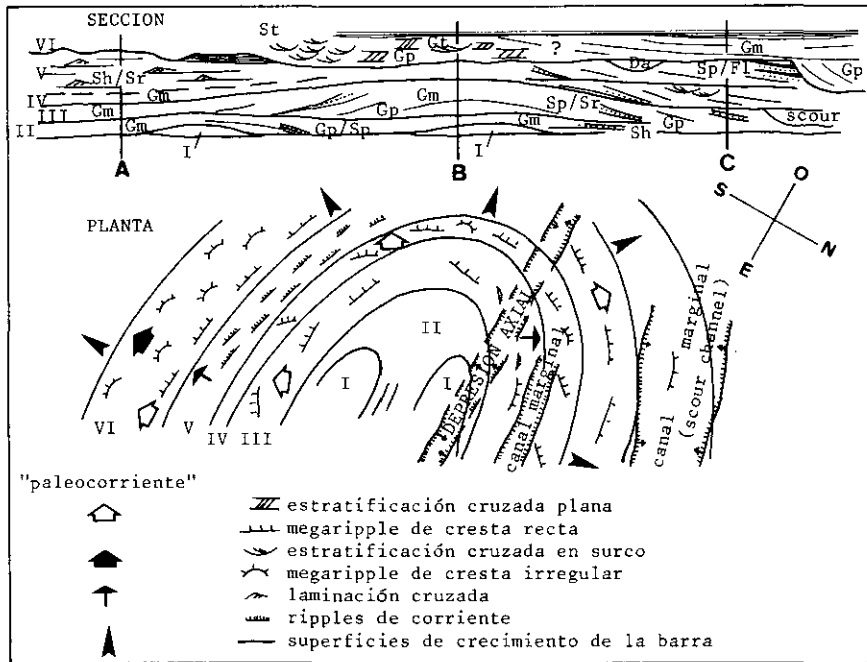


Fig. 14. —En la parte de arriba, modelo conceptual de las fases de crecimiento y facies asociadas en la barra n.º 2. En la de abajo, mapa idealizado de la disposición de las formas de fondo (bedforms) y sus respectivas direcciones de movimiento. Nótese la divergencia entre las direcciones de acreción (formas de gran escala) y las de migración de formas menores (estructuras de pequeña escala) y el escaso valor que tendría un diagrama de paleocorrientes si no va precedido de una cuidadosa interpretación.





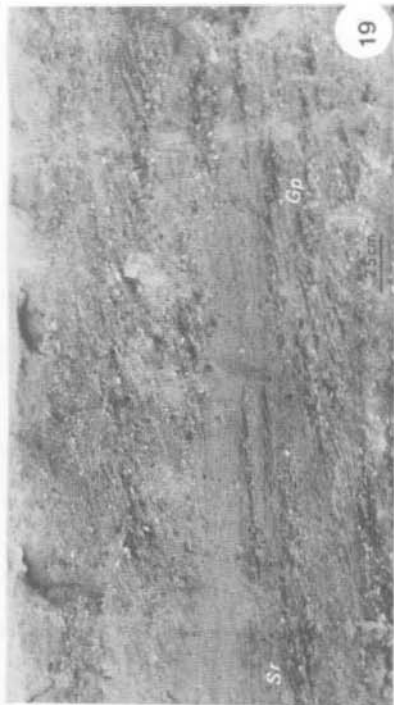
15



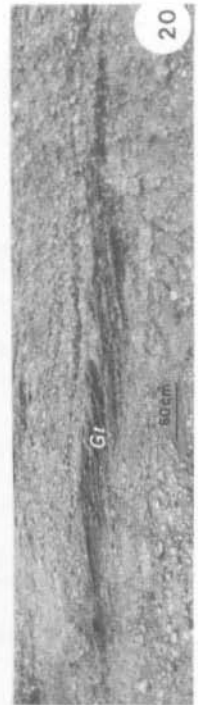
16



18



19



20

Fig. 15.—Etapas de crecimiento de la barra 2. Se aprecian las facies de núcleo Gm/Sh, etapas I y II), de crecimiento (III, IV y V, separadas por superficies erosivas que reflejan la morfología de la barra al final de cada una de ellas), de la depresión axial (D. A.) rellena por Gt y el techo o plataforma (VI).

Fig. 16.—Detalle de la anterior en el que se aprecia que los sedimentos de cada una de las etapas consisten en unidades de grava y arena en respuesta a la sucesión de episodios de crecida y disminución del flujo.

Figs. 17, 18 y 19.—El aumento de la profundidad desde el techo al flanco de una barra produce una disminución de la velocidad del flujo que se registra en la granulometría y en la estructura interna, tanto en los periodos de crecida (Figs. 17 y 18) como en los de disminución de flujo (Fig. 19).

Fig. 17.—Conglomerados groseros depositados en la fase de crecida en los que se observa el cambio lateral de laminación paralela de bajo ángulo a estratificación cruzada.

Fig. 18.—Detalle de la anterior donde se aprecia el tamaño de grano y el alto grado de selección del sedimento.

Fig. 19.—Cambio lateral desde gravas finas con estratificación cruzada planar (Gp) a arenas con laminación cruzada (Sr) en periodos de disminución de la descarga.

Fig. 20.—Surco erosivo marginal (*scour channel*) relleno por gravas finas de facies Gt.

Fig. 15.—Accretional stages of bar no 2: bar core with facies Gm-Sh (stages I and II), vertical accretion (III, IV and V, separated by erosional surfaces recording the individual morphology of the bar at the end of the various stages), axial depression filled with Gt (D. A.) and bar top or platform (VI).

Fig. 16.—Close up of figure 15. Sediments in every stage consist of gravelly and sandy units that record the succeeding stages of high and low discharge.

Figs. 17, 18 and 19.—The increase of depth from the top to the flank of a bar causes a decrease of flow velocity that is recorded in the grain-size and the internal structure of the sediment both during high-water (Figs. 17 and 18) and low-water (Fig. 19) periods.

Fig. 17.—Coarse gravel deposited during high discharge showing the lateral change from low-angle parallel lamination to cross-bedding.

Fig 18.—Close-up of Fig 17 to show the grain size and the very good sorting of the sediment.

Fig. 19.—Lateral change from cross-bedded fine gravel (Gp) to cross-laminated sands (Sr) deposited during periods of low discharge.

Fig. 20.—Marginal scour channel filled up with fine gravels of facies Gt.

minación paralela horizontal (facies Sh) que localmente desarrollan superficies de avalancha en los márgenes de las acumulaciones de grava preexistentes dando lugar a estratificación cruzada plana (facies Gp y Sp). El depósito se llevó a cabo en condiciones de energía elevada en régimen supercrítico con disminuciones temporales del régimen de flujo atestiguadas por las arenas laminadas y los depósitos de avalancha.

Las etapas II a VI registran el crecimiento y la migración de la barra a partir del núcleo inicial y en cada una de ellas se distinguen a su vez secuencias menores constituidas por gravas con estratificación horizontal o cruzada y una cuña arenosa adosada cuya estructura interna consiste en estratificación o laminación cruzada o ambas (Figs. 15 y 16). De acuerdo con el código de Miall (1981) sería Gm/Gp → Sp/Sr, y se interpretan como el resultado de la sucesión de episodios de crecida y disminución del flujo.

N. D. Smith (1974) describe rasgos similares en el río Kicking Horse. Allí, el agua cubre la barra durante las fases de crecida y barre su superficie de modo que el sedimento grueso se acumula sólo en el frente con una estructura interna que depende de la velocidad. Si ésta es elevada, domina el barrido sobre la acreción vertical, la superficie de la cola y del margen de la barra es muy tendida (*riffle*) y se depositan facies Gm. Si la velocidad es algo más baja, hay crecimiento vertical, se desarrolla una cara de avalancha (*foreset*) y se depositan facies Gp. En las fases de flujo bajo se depositan las fracciones más finas en el techo y en los márgenes de la barra formando lóbulos arenosos que, en sección, aparecen como cuñas arenosas de facies Sp y St sobre las que puede llegar a depositarse material fino de facies FI que, ocasionalmente, sufre bioturbación por raíces y edafización si esa parte queda emergida.

En las partes altas de las barras la estructura interna dominante es la estratificación horizontal o cruzada de ángulo bajo y cambia a estratificación cruzada en los márgenes y en el frente (Figs. 17 y 18) debido al incremento de la profundidad de una a otra zona y a la consiguiente reducción de la velocidad de la corriente de una parte a otra de la barra. En períodos de estiaje se producen, asimismo, estructuras diferentes: en el techo se pueden originar pavimentos que protegen el techo de la barra y limitan el efecto erosivo de las fases ulteriores de crecida y flujo supercrítico; en las zonas marginales se depositan arenas y lutitas con *ripples* que suelen mostrar un modelo radial de migración.

En esta historia deposicional se encuentran también episodios erosivos. Unos son amplios y de poco relieve vertical y otros tienen un carácter más localizado a la escala del afloramiento pero se encajan más en los depósitos infrayacentes. Al primer tipo pertenecen las superficies erosivas que separan las distintas etapas de crecimiento de la barra (Figs. 13, 14 y 15) y se forman por cambios importantes de la descarga que resultan en cepillados generales de las formas del fondo. En el segundo tipo se incluyen las depresiones axiales y los canales erosivos marginales. Las depresiones axiales son surcos erosivos que suelen formarse en las partes altas de las barras en los primeros momentos de la fase de disminución del flujo. A partir de ese momento pueden seguir encajándose hasta disecar la barra formando un nuevo elemento trenzado o *braided* (Ore 1964, N. D. Smith 1971, 1974) o bien se rellenan, como en el caso que nos ocupa, por gravas con estratificación cruzada de facies Gt. Los canales erosivos marginales se forman cuando el caudal decae y el flujo va quedando confinado en las áreas deprimidas existentes a uno o ambos lados de la barra donde produce erosión y retrabajado parcial. Estos surcos pueden mantenerse activos en sucesivas fases de fluctuaciones del flujo, migrando lateralmente hasta retrabajar los sedimentos de la barra, o bien pueden actuar como trampa de sedimento rellenándose con gravas de facies Gt y Gp en posteriores etapas de crecimiento de la barra (Fig. 20).

En las etapas V y VI el flujo es asimétrico a ambos lados de la barra: al noroeste se depositan gravas de facies Gp con estructuras de gran escala ligadas a condiciones de energía elevada, mientras que al sureste quedan áreas protegidas con menor energía y sedimentación de gravas finas y arenas con estratificación y laminación cruzada y horizontal de facies Sp, Sr y Sh (Figs. 13, 14 y 19).

El techo de la barra está constituido por un paquete de gravas de facies Gm separado de todos los materiales descritos por una superficie erosiva, y por otro suprayacente de materiales finos de facies F1 que representa la parte más elevada de la barra que estuvo esencialmente emergida (supra-plataforma), colonizada por la vegetación e incipientemente edafizada.

## CONCLUSIONES

La historia de las barras trenzadas (*braided*) del sistema fluvial de Moraleda de Zafayona-Venta Nueva pasa por muchos episodios de de-

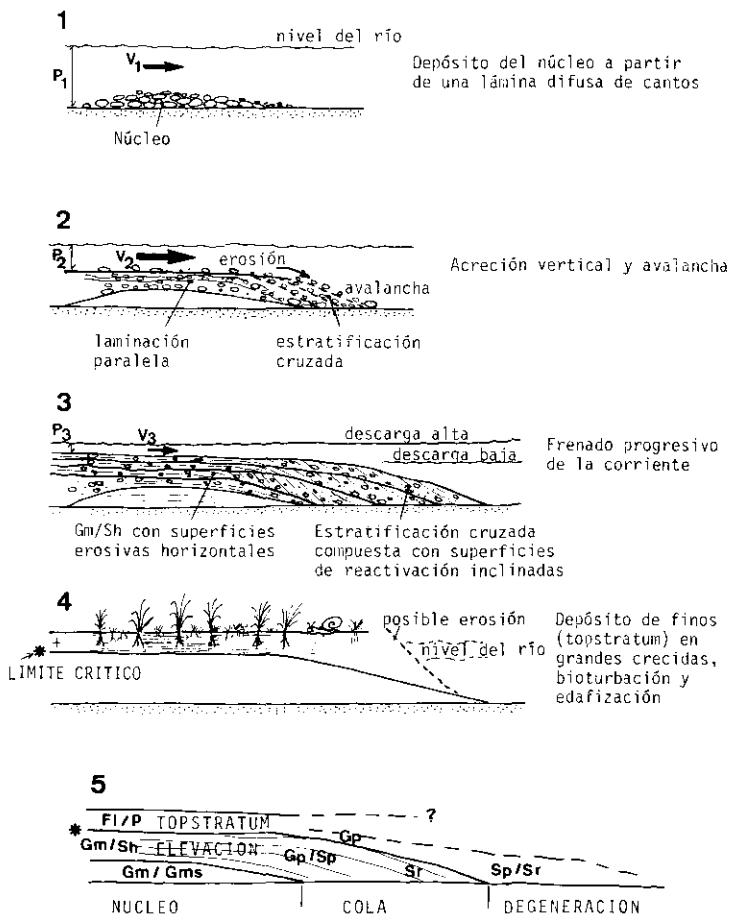


Fig. 21. — Génesis de la estructura interna de las barras trenzadas de grava de Moraleda de Zafayona. (1) A partir de una lámina difusa de cantos se deposita un residuo abandonado (*lag*) que forma el núcleo de la barra a cierta profundidad ( $P_1$ ) y para determinada velocidad de la corriente ( $V_1$ ). (2) Las fluctuaciones del flujo provocan el crecimiento vertical y el desarrollo de una superficie de avalancha pero la disminución de la profundidad sobre la barra ( $P_2$ ) origina un incremento de la velocidad ( $V_2$ ) que favorece el transporte y la erosión parcial del fondo, con formación de superficies erosivas y pavimentos de cantos. (3) El proceso de acreción continúa lateral y verticalmente y se deposita la mayor parte del material que constituye la barra. A partir de cierta altura (límite crítico a la profundidad relativa  $P_3$ ), la lámina de agua que cubre la barra es pequeña y se produce un frenado progresivo de la corriente (velocidad  $V_3$ ) que permite el asentamiento de materiales de grano más fino (4) que forma el techo de la secuencia (*topstratum*) por encima del nivel «normal» del agua. Esta parte puede ser colonizada por organismos. Lateralmente, o con posterioridad, pueden producirse erosiones parciales que remueven parte de la secuencia. (5) Modelo conceptual de distribución de facies en las barras estudiadas.

Fig. 21. — Genesis of the internal structure of the braided bars in Moraleda de Zafayona. (1) Deposition of a lag from a diffuse gravel sheet which forms the core of the bar at a certain depth ( $P_1$ ) and current velocity ( $V_1$ ). (2) Fluctuations of flow allow vertical accretion and development of a foreset but the decreasing depth over the top of the bar ( $P_2$ ) produces increased current velocities ( $V_2$ ) with active transport of sediment towards the front of the bar and partial erosion recorded as flat erosional surfaces and pavements. (3) Continuation of lateral and vertical accretion allows the deposition of the major part of the sediment incorporated into the bar. When a certain bar height (called critical limit at the relative water depth  $P_3$ ) is reached, the thickness of the laminae of water that covers the bar is small and a progressive damping occurs ( $V_3$ ) with deposition of the finer fractions (4) that form the topstratum of the sequence above the «normal» water level. This part of the bar can be colonized by organisms. Partial erosion can occur. (5) Conceptual model showing the arrangements of facies along the studied bars.

pósito y de erosión sucesivos que se producen como resultado de los altibajos de la descarga. Estas fluctuaciones de la energía ambiental son muy variables y quedan registradas en secuencias de tamaño de grano y estructuras sedimentarias primarias de una amplia gama de escalas.

La estructura interna de las barras y las secuencias observadas en sus distintas partes pueden ser muy diferentes en detalle pero todas reflejan un incremento de la energía hacia arriba debido a que la progresiva disminución de la profundidad produce un aumento paralelo de la velocidad de la corriente y de su competencia. Al crecer la barra interfiere más y más con el flujo de la corriente. La alta energía del agua sobre el techo barre el sedimento y cepilla la estructura interna produciendo superficies erosivas. El material arrastrado cae por los bordes y produce estratificación cruzada de gran escala. Las variaciones de descarga quedan registradas en diferencias granulométricas y del tamaño de los bedforms que eventualmente migran sobre la barra o sus flancos produciendo las secuencias internas de menor escala. Cuando la barra alcanza cierta altura se convierte en un obstáculo demasiado severo para la corriente y el rozamiento frena el agua que pasa sobre ella permitiendo durante las fases de caída del flujo, el asentamiento de fracciones más finas con estructuras que indican régimen de flujo bajo (facies Sr y Fl del *topstratum*. De esta forma hay una parte de la barra que va quedando expuesta al aire durante períodos cada vez más largos y es fácil que la vegetación se asiente sobre ella bioturbándola y favoreciendo los procesos pedogenéticos.

Así pues, las secuencias de la parte alta de las barras son positivas con tamaño de grano y nivel de energía decrecientes hacia el techo y pueden llevar asociadas bioturbación por raíces y edafización. (Fig. 21, pero no todas las barras siguen la evolución completa.

El potencial de preservación de estas formas de fondo es muy variable y depende de la relación entre el tiempo que transcurra hasta que el cauce activo vuelva a discurrir sobre esa zona y la subsistencia o enterramiento conseguidos hasta ese momento. Si la relación es alta, los depósitos de barra se conservarán con su estructura interna en buen estado: en caso contrario la estructura resultante consistirá en las facies de las zonas más internas (núcleo) de la barra separadas por superficies erosivas y faltarán las facies finas del techo de la misma.

Se ha reconstruido el trazado del canal en el que se situaban las

barras estudiadas a partir de los datos de paleocorrientes y de las superficies erosivas producidas al encajarse el canal en las facies de grano fino y se obtiene un trazado ondulado dentro del cauce fluvial trenzado de mayor escala (fig. 22). Como no hay continuidad lateral entre las canteras estudiadas, no se puede afirmar categóricamente que las barras que se han presentado fueran coetáneas y que se encontrasen en el mismo canal, aunque en nuestra opinión sí que lo eran. En caso de no serlo, no se modificarían las conclusiones de este trabajo aunque sí el trazado exacto del canal activo.

Las dos barras estudiadas encajan en diferentes categorías de la clasificación de Miall (1981): la número 1 es una barra con superficie de avalancha simple y la número 2 es una barra compuesta. Aunque no sea ese el objetivo de este trabajo, es difícil sustraerse a la tentación de buscar análogos actuales en las clasificaciones morfológicas. De acuerdo con la estructura interna, el modelo axial de distribución de flujo, y la existencia de canales erosivos marginales, es muy sugestivo asimilarlas a las barras laterales del tipo II de Bluck (1976) o a las transversales (¿y quizá también diagonales?) de Hein y Walker (1977).

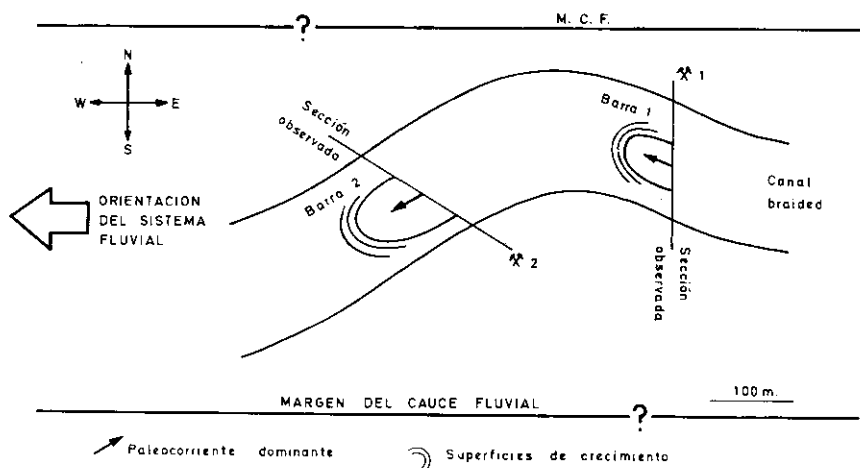


Fig. 22. —Reconstrucción paleogeográfica del cauce fluvial y del canal en el que se formaron las barras que aparecen en las canteras 1 y 2 de Venta Nueva. Se ha supuesto un canal único para las dos barras pero, al no existir continuidad lateral entre las canteras no puede afirmarse con certeza. Fig. 22.—Reconstruction of the fluvial reach and the active channel in which bars 1 and 2 developed. A single channel has been inferred but doubts exist as far as there is no physical connection between quarries 1 and 2.

Un estudio muy atractivo, actualmente en su fase inicial, consiste en relacionar las secuencias de distinto orden observadas en los depósitos de canal con el paleoclima, a través del análisis de las secuencias de llanura de inundación que están muy bien expuestas en los alrededores. Los resultados de este proyecto pueden arrojar mucha luz sobre la dinámica sedimentaria y los controles externos en un sistema fluvial trenzado completo y no sólo sobre las facies gruesas que son las únicas que se estudian normalmente con más detalle.

## BIBLIOGRAFÍA

- BLUCK, B. J. 1976. Sedimentation en some Scottish Rivers of low sinuosity. *Trans. R.S.E.*, 69; 425-456.
- DABRIO, C. J., MARTÍN, J. M. Y MEGÍAS, A. G., 1982. Signification sédimentaire des evaporites de la depression de Grenade (Espagne). *Bull. Soc. Géol. France*, 24; 705-715.
- FERNÁNDEZ J. Y DABRIO, C. J., 1982. Los conglomerados de Moraleda: un modelo de sistema fluvial de tipo *braided* (Depresión de Granada, España). *Est. Geol.* (en prensa).
- HEIN, F. J. Y WALKER, R. G., 1977. Bar evolution and development of stratification in the gravelly, braided, Kicking Horse River, British Columbia. *Can. Jour. Earth Sci.*, 562-570.
- LEOPOLD, L. B. Y WOLMAN, M. G., 1957. River channel patterns: bridged, meandering and straight. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper* 282-B pp.
- MIALL, A. D., 1978. Lithofacies types and vertical profiles models in braided river deposits: A summary. In A. D. Miall (ed) *Fluvial Sedimentology*. *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.* 5; 597-604.
- MIALL, A. D., 1981. Analysis of Fluvial Depositional Systems. *A.A.P.G. Educ. Course Notes Series*, n.º 20, 75 p.
- ORE, H. T., 1964. Some criteria for recognition of braided stream deposits. *Wyoming Univ. Geol. Contr.* n.º 3, 1-14.



- RAMOS A. Y FRIEND, P., 1982. Upper Old Red Sandstone sedimentation near the unconformity at Arbroath. *Scot. J. Geol.* 18; 297-315.
- RUST, B. R., 1978. A classification of alluvial channel system. En A. D. Miall (ed) *Fluvial Sedimentology. Can. Soc. Petrol. Geol Mem.* 5; 187-198.
- SMITH, N. D., 1970. The braided stream depositional environment: a comparison of the Platte River with some silurian clastic rocks, North-Central Appalachians. *Geol. Soc. America Bull.* 81; 2.992-3.014.
- SMITH, N. D., 1971. Transverse bars and braiding in the lower Platte River, Nebraska. *Geol. Soc, America Bull.* 82; 3.407-3.420.
- SMITH, N. D., 1974. Sedimentology and bar formation in the upper Kicking Horse River, a braided outwash stream. *J. Geol.* 82; 205-223.
- SMITH, N. D., 1978. Some comments on terminology for bars in shallow rivers. en A. D. Miall (ed) *Fluvial Sedimentology. Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.* 5; 187-198.