



CICLO DE SEMINARIOS DE SEDIMENTOLOGIA. - I. G. M. E.
VOL. 1

I. G. M. E.

SEDIMENTACION FLUVIAL

M. DIAZ MOLINA

SEDIMENTACION LAGUSTRE

P. ANADON MONZON

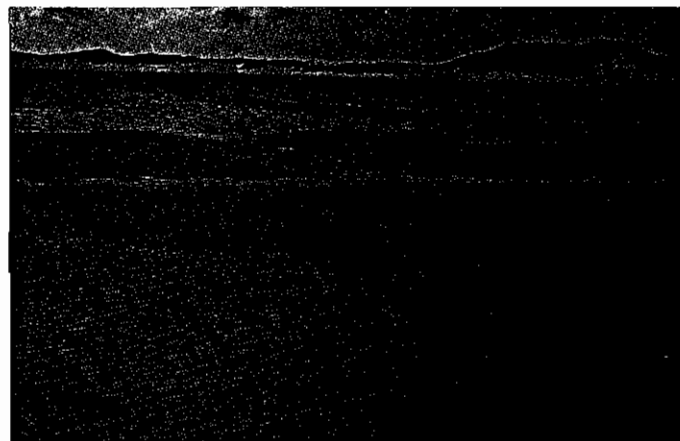
SEDIMENTACION EN COSTAS SILICICLASTICAS, DELTAS Y MARES SOMEROS

C. J. DABRIO GONZALEZ

Coordinado por:

V. GABALDON

División de Geología del
I.G.M.E.



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA



I. G. M. E.

CICLO DE SEMINARIOS DE SEDIMENTOLOGIA. - I. G. M. E.
VOL. 1

SEDIMENTACION FLUVIAL

M. DIAZ MOLINA

SEDIMENTACION LACUSTRE

P. ANADON MONZON

SEDIMENTACION EN COSTAS SILICICLASTICAS, DELTAS Y MARES SOMEROS

C. J. DABRIO GONZALEZ

Coordinado por: V. GABALDON

División de Geología del I.G.M.E.

Servicio de Publicaciones - Ministerio de Industria y Energía - Doctor Fleming, 7 - Madrid 16

Depósito Legal: M - 6.965 - 1984

I. S. B. N.: 84 - 7474 - 237 - 4

Imprenta IDEAL - Chile, 27 - Telef. 259 57 55 - Madrid-16

INDICE

	Páginas
Prólogo	1
1. Ambientes sedimentarios y facies	3
<i>C. J. Dabrio González</i>	
2. Estructuras sedimentarias primarias	13
<i>C. J. Dabrio González</i>	
3. Sedimentación fluvial	27
<i>M. Díaz Molina</i>	
4. Sedimentación lacustre	93
<i>P. Anadón Monzón</i>	
5. Sedimentación en costas siliciclásticas, deltas y mares someros	131
<i>C. J. Dabrio González</i>	
Indice general	193

1. AMBIENTES SEDIMENTARIOS Y FACIES

C. J. Dabrio González (*)

SERIE ESTRATIGRAFICA

El campo de estudio de la Sedimentología lo constituyen unos fenómenos naturales originados por la compleja interacción de cuatro factores: los *procesos sedimentarios* que forman el sedimento, el *espacio* o lugar de la superficie terrestre donde tienen lugar esos procesos, la *movilidad tectónica* o resultante superficial de la geodinámica interna y el *tiempo geológico*.

El resultado de la interacción es una masa de sedimento que se deposita en un ambiente y en un contexto tectónico concretos y cuyas características reflejan de alguna forma las de los factores que intervienen en su formación y sus intensidades relativas. Por ello es esencial estudiar la *serie estratigráfica* considerándola como una sucesión natural de materiales en su orden cronológico, es decir, una masa de sedimentos ordenados dentro de una zona de depósito a la que llamamos *cuenca sedimentaria* y depositada bajo unas condiciones ambientales que definen el *ambiente sedimentario*. Las series estratigráficas son el punto de partida de la interpretación sedimentológica, ya que en ellas se contienen

todos los elementos necesarios para reconocer los factores que intervinieron en su génesis. Estos rasgos son la litología, la polaridad de estratos, las biofacies y los cambios laterales y verticales.

Con frecuencia se observa que los cambios litológicos o de otra naturaleza no se producen al azar, sino que muestran una cierta tendencia de variación o agrupamiento. Se denomina *secuencia* a la evolución en la vertical de ciertos caracteres tales como la litología, la composición, las estructuras sedimentarias primarias, algún parámetro estadístico o el espesor de los estratos o grupos de estratos (fig. 1-1). Las secuencias reflejan variaciones de energía ambiental. En una secuencia positiva la energía decrece hacia arriba, lo cual se traduce en un cambio litológico y en la disminución del tamaño de grano, de la escala de las estructuras sedimentarias primarias o del espesor de estratos. En una secuencia negativa ocurre al revés (fig. 1-1).

AMBIENTES, FACIES Y MOVILIDAD. SECUENCIAS DE FACIES :

El estudio de las series, por sí solo, conduce a un callejón sin salida, ya que no es posible interpretar los diversos rasgos que

(*) Departamento de Estratigrafía. Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca.

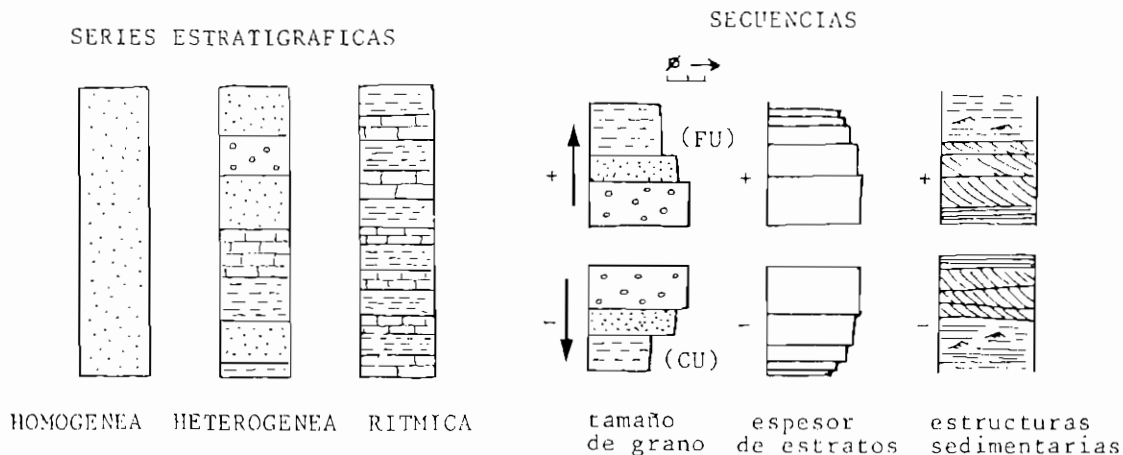


Figura 1-1.—(A) Diferentes tipos de series estratigráficas en función del contenido litológico. (B) Secuencias positivas y negativas definidas por el tamaño de grano (las positivas se denominan en inglés fining upwards, FU, y las negativas coarsening upwards, CU), el espesor de estratos (en inglés thinning and thickening upwards) y estructuras sedimentarias primarias.

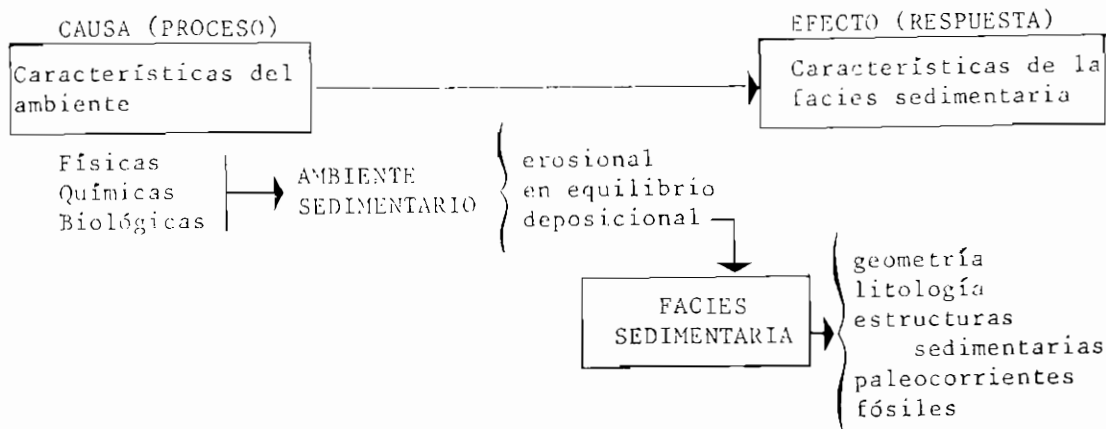


Figura 1-2.—Modelo conceptual proceso-respuesta que relaciona las características de los ambientes sedimentarios y de las facies que se depositan en ellos (modificado de KRUMBEIN y SLOSS, 1963, y de SELLEY, 1970).

presenta sin saber primero cómo se originan éstos. Es decir, deben conocerse los procesos que tienen lugar actualmente y cómo se traducen en los sedimentos, a fin de acceder a sus homólogos fósiles. Esto nos lleva al concepto de *ambiente sedimentario*, que es un lugar de la superficie terrestre en el que se realizan procesos sedimentarios y que se

diferencia de los circundantes por sus características físicas, químicas y biológicas, que son las que determinan las propiedades de los sedimentos que se depositan en ese ambiente. Es, pues, un doble punto de vista recogido ya por KRUMBEIN y SLOSS (1963) y por SELLEY (1970), en forma de modelo proceso-respuesta: el de los procesos o agentes

dinámicos que actúan en el ambiente y el de los resultados, o sea, los sedimentos o facies sedimentarias. Los primeros están definidos por las características del ambiente y los segundos por las características de la facies sedimentaria (fig. 1-2).

Una *facies sedimentaria* puede definirse como un cuerpo sedimentario, es decir, un estrato o un grupo de estratos, con características propias que lo diferencian de los demás y que son la expresión de un mecanismo

o proceso deposicional. La superposición vertical de facies relacionadas genéticamente constituye una *secuencia de facies*. De acuerdo con la llamada ley de WALTHER, una secuencia vertical concordante de facies se forma a partir de la migración de una secuencia lateral de ambientes (fig. 1-3).

La idea de que la migración de ambientes puede depositar series o secuencias de facies *en un orden predecible* es la clave del análisis de facies, ya que permite identificar el

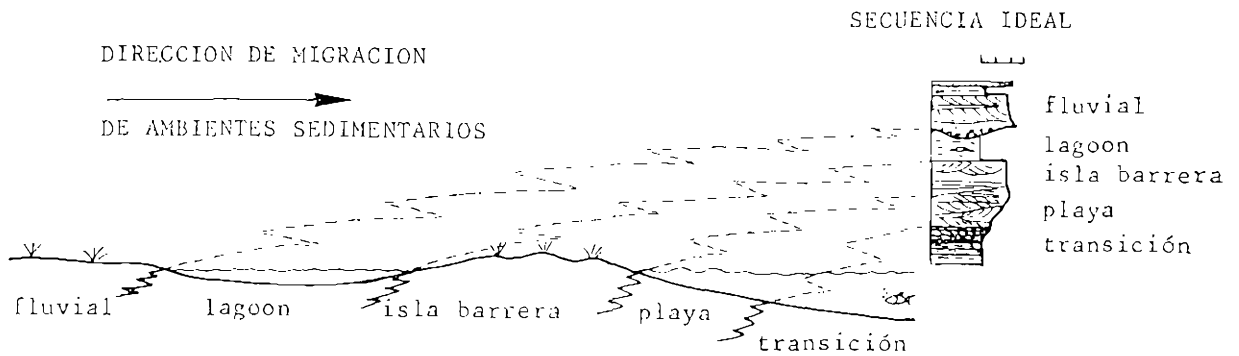


Figura 1-3.—Formación de una secuencia vertical de facies sedimentarias a partir de la migración de ambientes sedimentarios en el espacio y en el tiempo, de acuerdo con la ley de WALTER.

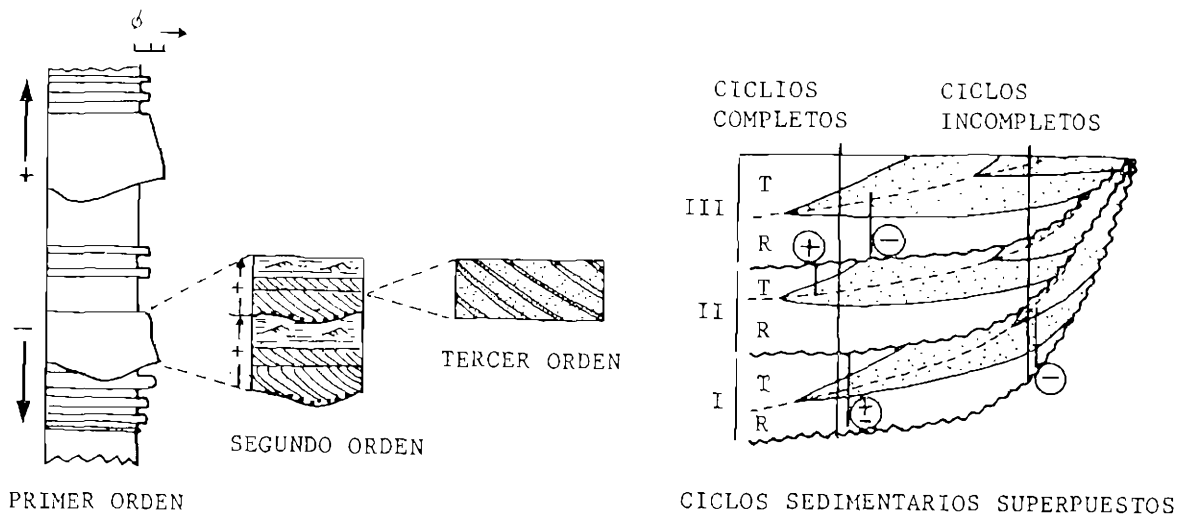


Figura 1-4.—(A) Secuencias de distinto orden y escala en una sucesión estratigráfica. (B) Superposición de ciclos sedimentarios regresión/transgresión y diferentes secuencias que pueden encontrarse según la parte del ciclo que se considere. Nótese que una secuencia con una polaridad determinada puede contener secuencias menores de polaridad contraria.

ambiente en que se formó una facies mediante el estudio de las facies supra e infrayacentes y la deducción de la secuencia lógica de acontecimientos. Si en una serie se encuentra un material cuyo origen se desconoce y que forma parte de una megasecuencia negativa que comprende sedimentos marinos someros en la base sobre los que se apoyan los que se desea interpretar, que están seguidos por depósitos de lagoon y, finalmente, depósitos fluviales a techo de la megasecuencia, la aplicación del razonamiento anterior permitiría atribuirlo a un ambiente costero, presumiblemente de playa. De este modo se tendría una base para abordar el estudio de la facies cuya génesis se desea determinar. Un argumento adicional a favor de este origen vendría del estudio de las relaciones laterales: en las series comparables deberán aparecer sedimentos de ambientes costeros o, al menos, de transición.

Existen secuencias de muchos tipos y de escalas muy variables en función del criterio que se utilice para definir las y de su origen. Unas se deben a mecanismos de pequeña escala, por ejemplo, un proceso sedimentario actuando en un subambiente y producen microsecuencias tales como la alternancia de láminas o la superposición de *ripples*. Otras son de mayor orden, pues se definen como secuencias o megasecuencias a nivel de es-

trato o grupo de estratos y se deben a procesos geológicos más amplios, como sería la migración de un subambiente o un ambiente. Otras, en fin, se deben a cambios en la cuenca sedimentaria debido a los cuales se depositan ciclos sedimentarios en los que se superponen series transgresivas y regresivas que engloban a su vez muchas otras secuencias de órdenes menores (fig. 1-4).

Muchos de los sedimentos que se depositan en un ambiente se erosionan nuevamente. En realidad, la probabilidad que tienen de conservarse en el registro fósil, a la cual se denomina *potencial de preservación*, es muy pequeña y es función de la intensidad con que actúen los procesos erosivos y de la energía ambiental. Ello no significa que un sedimento pierde valor para el sedimentólogo cuando se erosiona, pues aun así puede proporcionar datos. Un canal fluvial, por ejemplo, puede mirarse desde varios puntos de vista y se obtienen deducciones de muchos tipos:

- 1) El perfil del fondo refleja un proceso erosivo y la migración de un ambiente sedimentario.
- 2) El sedimento que rellena el canal proporciona la naturaleza del área madre, de la cual fue erosionado.
- 3) Su estructura interna revela las condiciones hidráulicas del transporte.

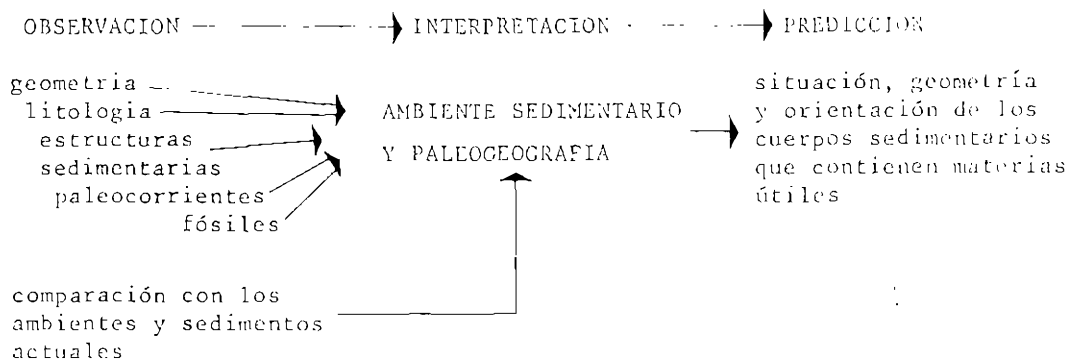


Figura 1-5.—Cuadro resumen de los pasos que componen el estudio sedimentológico (modificado de SELLEY, 1970).

4) Las huellas orgánicas hablan de la actividad biológica dentro del canal.

5) Muchos de los fósiles (huesos, restos vegetales) proceden de fuera del canal y dan indicaciones sobre el contexto geográfico en que éste se situaba.

MODELOS SEDIMENTARIOS Y PREDICCIÓN

La aplicación de las ideas anteriores abre la posibilidad de predecir a partir de los datos interpretativos. Una vez se conoce un proceso, ha de especularse sobre lo que sucedería si cambiasen las condiciones en que se realiza. Esto nos permitiría evaluar, por ejemplo, si en estas nuevas condiciones aumentaría o disminuiría el interés económico del proceso. Para ello es muy útil el concepto de *modelo sedimentario* que puede definirse como una réplica más o menos perfecta de

En resumen, el trabajo sedimentológico se orienta en una doble vertiente: la primera, el análisis de las características de las rocas sedimentarias, que es el punto de partida del reconocimiento de ambientes sedimentarios, y la segunda, el estudio de medios actuales, de los procesos que actúan en ellos y de su traducción en los sedimentos. Con estos datos pueden elaborarse modelos que recojan los hechos y su interpretación y que tengan un carácter predictivo (fig. 1-5).

CARACTERÍSTICAS DE LAS FACIES SEDIMENTARIAS: VALOR EN LA RECONSTRUCCIÓN DE AMBIENTES

Geometría

La morfología del cuerpo sedimentario depende de la topografía de la cuenca, de la morfología del ambiente y de la historia postdeposicional. La geometría o forma del cuerpo sedimentario de origen sinsedimentario establecida en superficie o a partir de

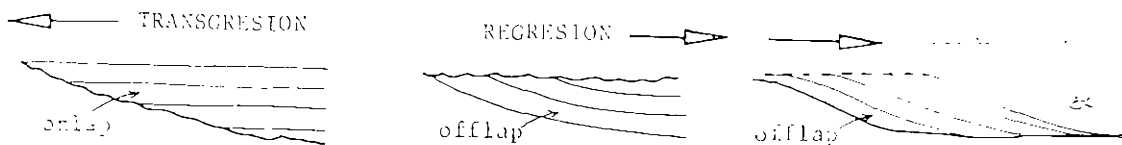


Figura 1-6.—Disposición geométrica de las unidades litoestratigráficas en series transgresivas, regresivas y progradantes.

una cosa o fenómeno. Básicamente, un modelo representa y describe una pauta de sedimentación que se repite en el tiempo y ofrece una estructura que permite visualizarla fácilmente para organizar mejor el estudio geológico y la transmisión de información. No debe olvidarse, sin embargo, que un modelo no es la realidad, sino tan sólo una expresión de la realidad. Se explica así que un mismo hecho pueda recogerse y reflejarse en modelos distintos según el aspecto que se considere.

datos de sondeos o sísmicos tiene un gran interés a varias escalas.

La forma del cuerpo sedimentario refleja a veces la del ambiente deposicional. Este es el caso de los abanicos aluviales.

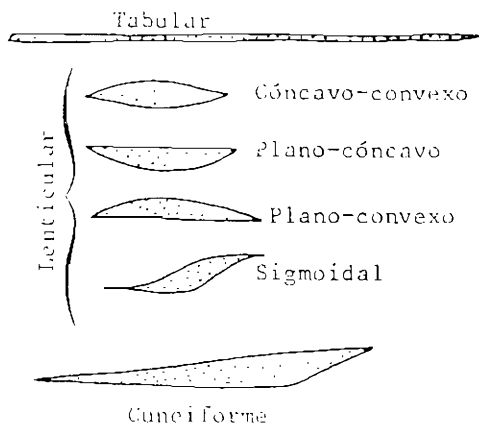
La disposición geométrica de las unidades indica el sentido del desplazamiento de los ambientes de sedimentación. Se diferencia entre solapamiento expansivo (*onlap*), de naturaleza transgresiva, y solapamiento retractivo (*offlap*), de naturaleza regresiva. Un tipo particular de este último es la progradación

que representa el crecimiento de unidades lateralmente hacia la cuenca (fig. 1-6).

La geometría de la estratificación es de gran valor desde varios puntos de vista (figura 1-7). La extensión lateral indica la de la facies sedimentaria, o sea, la del subambiente donde se formó. El espesor de los estratos refleja en principio la constancia de los procesos deposicionales. Las recurrencias de

facies o procesos son también de gran valor y pueden deberse a factores intrínsecos a la cuenca a los que se denomina mecanismos autocíclicos, tales como la migración de un canal, o bien a factores ajenos a la cuenca que se denominan mecanismos alocíclicos, un ejemplo de los cuales podría ser un cambio climático generalizado.

MORFOLOGIA DE LOS ESTRATOS



TIPO DE ESTRATIFICACION	LITOLOGIA	CAPAS	GRUPOS DE CAPAS (SETS)
arena laminada		3	simple 1 lámina
		2	
		1	
estratificación cruzada		3	simple set de láminas
		2	
		1	
alternancia arena/arcilla		5	compuesto (rítmico)
		6	
		7	
megasecuencia		4	compuesto (graduado)
		3	
		2	
		1	

Figura 1-7.—(A) Morfología y nomenclatura de estratos. (B) Esquema que ilustra la terminología de la estratificación (modificado de REINECK y SINGH, 1980, y de RICCI-LUCCHI, 1980).

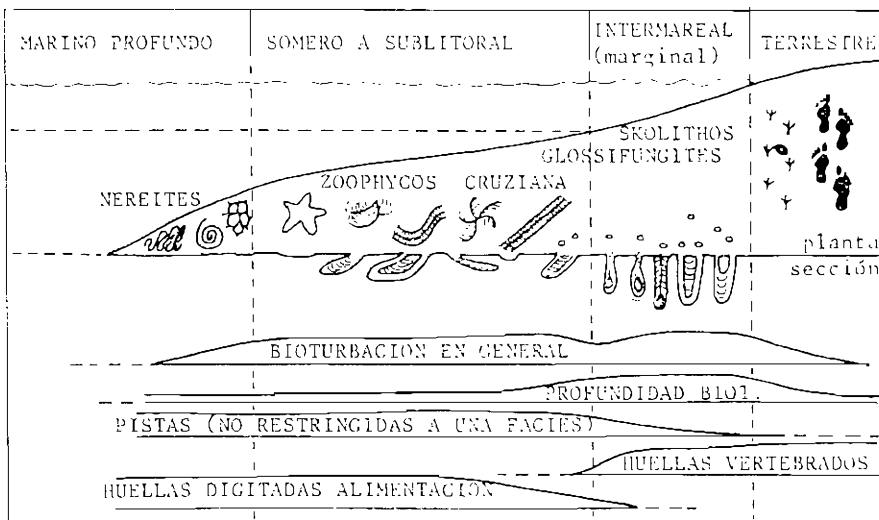


Figura 1-8.—Ichnofacies, sus caracteres generales y distribución (modificado de SELLEY, 1976, y SEILACHER, 1967).

Litología

La litología es un dato muy interesante en la descripción del sedimento y da una idea general de las condiciones de formación, pero no necesariamente del ambiente sedimentario.

En la mayoría de los casos, la *composición* de los sedimentos siliciclásticos carece prácticamente de valor como indicador ambiental, aunque los estudios de *Geoquímica* aportan mayores precisiones. La *Petrografía* es función del área madre, del proceso de transporte y del ambiente sedimentario, por lo que su valor diagnóstico no suele ser muy elevado. La *textura* se ha usado repetidamente como indicador ambiental, pero con resultados poco convincentes. En la actualidad se trabaja con texturas superficiales de granos con la ayuda del microscopio electrónico, pero las interpretaciones son contradictorias con demasiada frecuencia. Se ha insistido mucho en los análisis de la *granulometría*, de los que puede obtenerse una medida de la energía del proceso de transporte, pero sin excesivo valor diagnóstico ambiental. El estudio de la *matriz* mediante diversas técnicas plantea el problema de determinar el grado de coetaneidad con los granos, pues con frecuencia se añade posteriormente. Algo parecido ocurre con los estudios sobre el *cemento*.

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS PRIMARIAS

Son un parámetro muy importante en la descripción de las rocas, pues indican el nivel energético y la hidrodinámica del medio y, en muchos casos, aportan datos decisivos para la interpretación ambiental. Una estructura sedimentaria es el resultado de un proceso sedimentario, lo cual quiere decir que pueden aparecer en cualquier ambiente donde este proceso actúe (HECKEL, 1972).

Cuando se estudian las estructuras han de tenerse en cuenta la *Morfología*, que proporciona datos sobre la dinámica del medio, la *contemporaneidad* con la sedimentación (ya

que las hay predeposicionales, como los canales y los *flute casts*; sindeposicionales, como la estratificación cruzada, y postdeposicionales, bien de componente vertical, como las deformaciones de carga, o bien de componente horizontal como los desplomes), el *carácter reológico del material*, según sea o no cohesivo o plástico, y la *Dirección del vector de desplazamiento*, que puede ser horizontal, vertical o nulo.

Aisladamente, las estructuras no suelen tener mucho valor diagnóstico, pues no siempre existe una relación biunívoca entre el mecanismo genético y la estructura resultante y es frecuente que se produzca convergencia, es decir, que existan varios mecanismos capaces de generar una misma estructura sedimentaria. Por el contrario, las agrupaciones de estructuras y en especial las *secuencias de estructuras* tienen un valor diagnóstico muy alto, ya que representan una asociación de procesos del mismo modo que los números aislados carecen de valor, pero agrupados en determinado orden constituyen la combinación de una cerradura.

RED DE PALEOCORRIENTES

El análisis e interpretación de las propiedades direccionales es esencial para la reconstrucción, pues proporciona la distribución superficial de sedimentos; la red de paleocorrientes en los distintos medios y su evolución temporal, ayuda a determinar la posición de la línea de costas y ayuda al mejor conocimiento de los procesos sedimentarios. No obstante, debe tenerse en cuenta que el análisis de paleocorrientes se hace con un criterio interpretativo y no descriptivo, de modo que se necesita un estudio cuidadoso del rasgo sedimentario sobre el que se basa a fin de precisar la magnitud y significado ambiental del proceso generador y dar mayor coherencia a los valores medidos y a su representación.

Ampliando un poco el campo, pueden incluirse aquí las determinaciones de paleo-

pendientes deducidas de deslizamientos (*slides*) y desplomes (*slumps*) o de deformaciones de carga con componente horizontal.

FOSILES

Los fósiles aportan datos para la identificación de medios sedimentarios, que son definitivos en muchos casos. Una biota variada y abundante es el mejor medio para el reconocimiento de ambientes y establecer secuencias, pero su utilización requiere un estudio ecológico previo. En líneas muy generales la biota bentónica indica medios someros o costeros y la planctónica indica mar abierto más o menos profundo. Ciertos grupos, como los ostrácodos y los moluscos, soportan condiciones anormales de salinidad y pueden servir para precisar los ambientes y su migración en el tiempo. Otros están restringidos a ciertas profundidades, normalmente a causa de su dependencia de la luz, como en el caso de las algas verdes.

Los fósiles son útiles también por los resultados de su actividad vital, que en muchos casos los lleva a construir rocas tales como estromatolitos o arrecifes y en otros a producir estructuras sedimentarias. Entre estas últimas las más frecuentes son las *perforaciones (borings)*, que se realizan sobre un sustrato duro, y las *pistas (tracks)* o huellas superficiales, y las *galerías (burrows)* o huellas internas que se localizan en sustratos blandos. Los organismos producen estas estructuras con el fin de alimentarse, reposar o habitar en ellas o al desplazarse, y su formación está controlada por los mismos factores que condicionan sus vidas, entre los que cabe destacar la naturaleza del sustrato, la energía del medio y la disponibilidad de alimento.

Se denomina *ichnofacies* (SEILACHER, 1967) a las asociaciones de estructuras orgánicas que se originan como respuesta a las condiciones ambientales. Las ichnofacies son siempre autóctonas, puesto que si se remueven se destruyen y ello les confiere un gran valor

ambiental. Su utilización se basa en dos premisas: la primera establece que el comportamiento de los organismos ante unas determinadas condiciones ambientales ha sido siempre el mismo, y la segunda, que los organismos, aunque sean diferentes entre sí, reaccionan de una forma parecida ante las mismas condiciones.

En ambientes marginales muy someros, la actividad orgánica está condicionada por la elevada energía ambiental que llega a suponer un peligro para la vida y que pone en suspensión el alimento. Los animales se defienden enterrándose y sacando a la superficie unos sifones a través de los cuales respiran y se alimentan. La asociación de estructuras orgánicas está dominada por galerías de habitación verticales que integran las ichnofacies de *skolithos* y *glossifungites*.

En ambientes someros, que se extienden desde el nivel de base del oleaje hasta una profundidad variable, el alimento se deposita en el fondo, donde se mezcla con el sedimento y los organismos cambian su modo de alimentación y de vida. En estos medios las huellas orgánicas se producen por la necesidad de protección pero, cada vez más, por las actividades alimenticias y de reposo sobre el fondo. Son las asociaciones que definen las ichnofacies de *cruziana* caracterizadas por estructuras oblicuas u horizontales y de *zoophycos* con estructuras esencialmente horizontales.

En ambientes profundos la baja velocidad de sedimentación induce un nuevo cambio en la conducta de los animales bentónicos, muchos de los cuales se alimentan de la materia orgánica contenida en el sedimento aprovechando el espacio al máximo y originando estructuras horizontales de diseño muy complicado que integran las ichnofacies de *neretites* (fig. 1-8).

Los cambios de ichnofacies no se deben necesariamente a cambios de profundidad, sino que frecuentemente reflejan cambios litológicos o de la velocidad de sedimentación o la energía ambiental que, como es natural, suelen estar relacionadas entre sí.

SECUENCIAS

Como se vio anteriormente, uno de los atributos más interesantes de muchas sucesiones es que están constituidas por secuencias verticales de facies, dispuestas en forma ordenada y predecible, que se forman a causa de la movilidad de los ambientes en el tiempo. El estudio de las secuencias debe abordarse, de acuerdo con la ley de la correlación de facies de WALTHER, en una doble dimensión. La primera es el análisis de las relaciones verticales de facies en la serie o sucesión estratigráfica y la segunda sus relaciones laterales, es decir, su desarrollo superficial. Estas tendencias a la variación son, sin duda, el criterio de reconocimiento más firme y debe prestarse mucha atención para detectarlas cuando se levantan las series estratigráficas y en el trabajo posterior de gabinete. En especial, las secuencias generadas por mecanismos autocíclicos son muy interesantes por su alto valor diagnóstico.

BIBLIOGRAFIA

- BASAN, P. B. (ed.) (*).—«Trace Fossil Concepts». *SEPM Short Course*, núm. 5, 201 pp.
- CORRALES, I., et al (1977) (*).—*Estratigrafía*. Ed. Rueda, 718 pp.
- HECKEL, P. H. (1972).—«Recognition of shallow marine environments». En J. K. Rigby y W. K. Hamblin (ed.). *Recognition of Ancient Sedimentary Environments. SEPM Spec. Pub.*, núm. 16, pp. 226-296.
- KRUMBEIN, W. C., y SLOSS, L. L. (1963).—*Stratigraphy and Sedimentation*. Ed. Freeman, 660 pp.
- READING, H. G. (1978) (*).—*Facies*. En H. G. Reading (ed.). *Sedimentary Environments and facies. Blackwell Sci. Pub.*, 557 pp.
- REINECK, H. E., y SINGH, I. B. (1980).—«Depositional Sedimentary Environments» (2.ª ed.). Springer Verlag, 549 pp.
- RICCI-LUCCHI, F. (1980).—*Sedimentología*. C.L.U.E.B., 3 vols.
- RIGBY, J. K., y HAMBLIN, W. K. (ed.) (1972).—*Recognition of Ancient Sedimentary Environments. SEPM Spec. Pub.*, núm. 16, 340 pp.
- SEILACHER, A. (1967).—«Bathymetry of trace fossils». *Mar. Geol.*, 5, pp. 413-428.
- SELLEY, R. C. (1970).—*Ancient Sedimentary Environments*. Chapman & Hall, 237 pp.
- (1976).—«An Introduction to Sedimentology». *Acad. Press*, 408 pp.

Recibido: Diciembre de 1982

(*) Las citas indicadas con un asterisco no se incluyen en el texto pero se consideran de interés general.