

LA CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS: SUGERENCIAS PARA SU APRENDIZAJE

The classification of sedimentary rocks: suggestions to it's learn

José A. Gallegos (*)

Resumen

La clasificación de las rocas sedimentarias se hace actualmente algo penosa de aprender para los alumnos; y esto, tanto por la multitud de términos que hay que manejar, como por la variedad de criterios existentes y los cambios en los entornos de valores para el mismo criterio. En esta nota se ofrece una clasificación homogénea y coherente de los materiales sedimentarios, y una secuencia progresiva para que el aprendizaje resulte lo más adecuado posible al nivel correspondiente.

Abstract

The classification of sedimentary rocks is nowadays quite hard for students to learn. This is due to the great amount of terminology they need to handle as well as to the variety of existing criteria and the changes in the set of values for the same criteria. In this paper it is offered a homogeneous and coherent classification of sedimentary materials and a progressive sequence so that the learning results as suitable as possible to the corresponding level.

Palabras clave: *Didáctica de la Geología, Didáctica de la Sedimentología, Niveles educativos.*

Keywords: *Geology Didactics, Sedimentology Didactics, Educational levels.*

INTRODUCCION

Los materiales sedimentarios son los más familiares a la generalidad de los alumnos, por la sencilla razón de que son los que cubren la mayor parte de la superficie terrestre. Por ello, cualquier estudio de la geología, de la naturaleza, o del medio ambiente, que quiera partir de una observación atenta del entorno, se tropezará con la necesidad de afrontar el estudio de estos materiales si se quiere profundizar algo en el conocimiento del sustrato.

La taxonomía de los materiales sedimentarios (Grabau, 1904; Wadell, 1938; Pettijohn, 1949, 1980; Rodgers, 1950; Blatt, Middleton y Murray, 1980; Dean, 1985; Arche, 1992; Tucker, 1994; Vera, 1994) abarca una cantidad de términos relativamente abundante, lo que implica ya una dificultad de aprendizaje inicial. Por otra parte, no siempre se ha realizado con una homogeneidad y coherencia suficientes, lo que se aprecia en las clasificaciones y el uso que muchas veces se hace de los términos, incluso en los libros de texto ofrecidos a los estudiantes. Por ello, al menos desde el punto de vista didáctico, se tropieza con dificultades añadidas, que muy bien pueden disminuirse si se estructura la clasificación con unos criterios más uniformes, siguiendo un esquema más homogéneo.

En cualquier caso, resulta sumamente familiar para todo naturalista la dificultad de encontrar clasificaciones de los seres naturales que consigan encuadrar perfectamente a todos los implicados. Ello se debe, tanto a que nuestras ideas no son lo suficiente-

mente completas acerca de ellos, como también a que el margen de variabilidad existente no es fácilmente asumible por ninguno de los criterios manejables. Sin embargo, nos resulta totalmente imprescindible organizar, sistematizar y jerarquizar los objetos de estudio, porque no parece que la mente humana sea capaz de captar la realidad de una forma completa, conjunta y precisa. Esta necesidad ya se hizo patente para Aristóteles (s IV a.C.), apenas se hizo algo grande la cantidad de seres naturales conocidos, y ha seguido siendo una necesidad permanente durante los siglos posteriores. También hoy día nos vemos obligados a seguir realizando clasificaciones aunque subrayemos intensamente la relatividad de su exactitud y, en consecuencia, debemos tener conciencia muy clara de su provisionalidad (mientras no se descubran nuevos detalles o nuevos seres que obliguen a revisarla y actualizarla). También esos dos aspectos (la inexactitud-relatividad y la provisionalidad) pienso que deben constituir objetivos científicos a perseguir con los alumnos de todos los niveles educativos.

Así pues, desde un punto de vista epistemológico, y ya Grabau lo aplicó justamente al tema de las rocas sedimentarias hace casi un siglo (Grabau, 1904), la precisión en las clasificaciones obliga a la precisión en el pensamiento por un lado, mientras, por otro, muestra nuestro conocimiento acerca del campo implicado, de forma sintética. Si esto es realmente así, la elaboración de una clasificación implica, tanto un intento por organizar nuestros conocimientos, como una representación esquemática de nuestras ideas o conceptos sobre esa cuestión.

(*) Dpto. Didáctica Ciencias Experimentales. Univ. de Granada, Virgen Blanca, 8, Cádiz, 18198, Granada

Por lo tanto, aceptando al máximo las clasificaciones más usuales (Pettijohn, 1980; Blatt, Middleton y Murray, 1980; Tucker, 1994; Vera, 1994), se modificará sólo lo imprescindible para eliminar las incoherencias detectadas, o se precisará el uso de los términos para evitar ambigüedades, aunque en la práctica se tropiece con dificultades más o menos importantes para su aplicación “de visu”.

Desde el punto de vista didáctico, se discutirá el momento más adecuado para introducir cada una de las divisiones de la clasificación, sugiriendo ahora solamente la metodología a utilizar y las dificultades prácticas con que se puede tropezar en cada caso. Este es un aspecto que está sometido a estudio en el aula.

I. ESQUEMA GENERAL DE TAXONOMIA SEDIMENTOLOGICA.

Se parte de una división de los materiales sedimentarios en tres grandes grupos que, conceptualmente, quedan muy bien establecidos y netamente diferenciados (Gallegos, 1993). Son:

Materiales Sedimentarios: Materiales originados a partir de otros preexistentes gracias a la acción de los agentes geológicos externos.

Este concepto, como se ve, incluye tanto a los *sedimentos* (materiales sueltos) como a las *rocas sedimentarias* (materiales cohesionados, masivos); en adelante, siempre que se hable de “materiales sedimentarios” se entenderán englobados ambos tipos (Tabla 1).

Tabla 1. Los materiales sedimentarios y sus dos grandes tipos.

Sedimento	Material suelto procedente de rocas preexistentes, acumulado por la acción de los agentes geológicos externos.
Roca Sedimentaria	Material cohesionado (más o menos masivo) procedente de rocas preexistentes, acumulado por la acción de los agentes geológicos externos.

I.I. Materiales detríticos: Materiales sedimentarios integrados mayoritariamente por partículas que han sido transportadas sólidas.

I.II. Materiales de precipitación: Materiales sedimentarios integrados mayoritariamente por las sustancias que han precipitado de una disolución.

I.III. Materiales orgánicos: Materiales sedimentarios integrados mayoritariamente por restos de seres vivos.

Esta clasificación puede ser esquematizada en una tabla simple (Tabla 2) o en un diagrama triangular como el que se representa en la Tabla 3. Si se quiere matizar algo más, se pueden utilizar las denominaciones que se proponen para los términos intermedios en la Tabla 4.

Tabla 2. Clasificación de los materiales sedimentarios.

Materiales Sedimentarios	
Detríticos	Integrados mayoritariamente por partículas que han sido transportadas sólidas
Precipitados	Integrados mayoritariamente por sustancias que han precipitado de una disolución
Orgánicos	Integrados mayoritariamente por restos de seres vivos

Tabla 3. Clasificación de materiales intermedios:

- I. MM. Detríticos.
- II. MM. Precipitados.
- III. MM. Orgánicos.

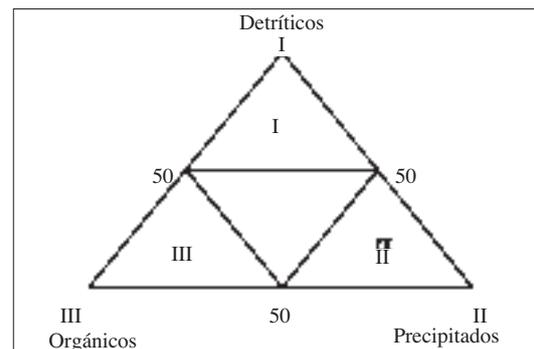
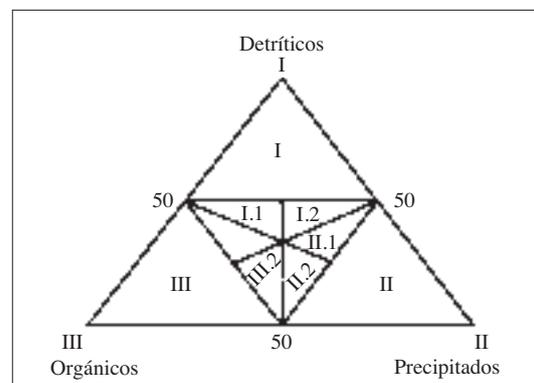


Tabla 4. Diagrama ternario y los materiales sedimentarios:

- I.1. MM DD con restos orgánicos y cemento.
- I.2. MM DD con cemento y restos orgánicos.
- II.1. MM PP con detríticos y restos org.
- II.2. MM PP con restos org. y detríticos.
- III.1. MM OO con detríticos y cemento.
- III.2. MM OO con cemento y detríticos.



Se imponen una serie de comentarios:

a) Los procesos sedimentarios incluyen el depósito simultáneo, casi siempre, de materiales de todos los tipos mencionados. Ello obliga a atender a la naturaleza de la fracción mayoritaria que los integra para incluirlos en uno u otro grupo de los diferenciados.

b) Para el establecimiento de los grupos, se prefiere el criterio de procesos genéticos responsables de la acumulación (transporte como partículas sólidas; transporte en disolución; restos orgánicos). Con ello se pretende resolver de una forma conceptualmente satisfactoria algunas cuestiones espinosas, como la inclusión en el grupo I.II de los "travertinos", por ejemplo; puesto que el proceso que los ha originado es una precipitación de una disolución (como las estalactitas y otras), no hay duda de que deben ser incluidos entre los materiales de precipitación, independientemente del agente responsable de dicha precipitación; si se quiere tener en cuenta este segundo aspecto, se podrán dar nombres distintos para subrayarlo, proponiendo aquí, en ese caso, dejar el término "travertino" para los depósitos sobre coromofitas, y el de "estromatolito" para los de cianobacterias y otros similares (modificando así la opción de Chafetz y Folk, 1984). No es el mismo caso que el de los "coralarios", foraminíferos, etc, que tienen partes de su organismo integradas por carbonato cálcico, depositado en ellas tras un proceso metabólico más o menos complejo; en este segundo caso quedarían integradas entre los materiales orgánicos.

c) En la práctica, quizá no resulte fácil poder decidir, a simple vista, si una determinada roca (una caliza, por ejemplo), debe ser incluida entre los materiales de precipitación o los orgánicos (o incluso entre los detríticos, si es "clástica"). Pero esta dificultad de hecho (que sólo se podrá superar, a veces, con un estudio microscópico adecuado y más o menos complejo) no impide que, conceptualmente al menos, los grupos estén perfectamente definidos y delimitados. También el autor estima con muchos otros (ver Wright, 1992, por ejemplo) que, incluso en el caso de las calizas es posible separar los tres tipos: clásticas, de precipitación y orgánicas; no obstante, ante la postura adoptada por numerosos estudiosos sobre las implicaciones entre los tres procesos, especialmente entre las calizas arrecifales (Dunham, 1962; Ham, 1962; Embry and Klovan, 1971; Scholle, 1983; Tucker and Wright, 1990), se considerarán las rocas carbonatadas como un grupo intermedio, y se describirán atendiendo, fundamentalmente, a sus rasgos texturales.

Estas dificultades prácticas se acentúan si se tienen en cuenta las complicaciones que la diagénesis puede introducir en este esquema básico, al remover iones variados y llevar a cabo reajustes mineralógicos; tal es el caso de la "dolomitización" de las calizas o la acumulación y diferenciación de la sílice dispersa en el sedimento hasta formar nódulos u otras estructuras, como ejemplos muy frecuentes.

II. LA SUBDIVISION DE LOS GRANDES GRUPOS.

II.1. Los materiales detríticos.

En este apartado se acepta la clasificación de Grabau (1904) (Tabla 5), aplicándola exactamente con los mismos criterios a los materiales sólidos arrojados por los volcanes (materiales piroclásticos, Tabla 6).

Tabla 5. Clasificación de los materiales detríticos en grupos.

Tamaño de grano	Nombre del grupo
> 2 mm	RUDITAS
2 mm a 1/16 mm	ARENITAS
< 1/16 mm	LUTITAS

Tabla 6. Clasificación de los materiales piroclásticos en grupos.

Tamaño de grano	Nombre del grupo
> 2 mm	RUDITAS PIROCLÁSTICAS
2 mm a 1/16 mm	ARENITAS PIROCLÁSTICAS
< 1/16 mm	LUTITAS PIROCLÁSTICAS

Para una clasificación más detallista, se asumen las propuestas de Wenworth (1922, 1933), si bien introduciendo en esta segunda una pequeña modificación que se refiere a los límites de tamaños superiores a los 2 mm (en el grupo de las "Ruditas" de Grabau). Para conservar la homogeneidad de la clasificación en todo el entorno de valores y la simetría con las potencias negativas de 2 (2^{-4} y 2^{-8}), se sugiere aquí tomar 2^4 y 2^8 ; esto parece más coherente y, desde luego, mucho más aconsejable desde el punto de vista didáctico. Para los granos de tamaños comprendidos entre 16 mm y 256 mm se propone utilizar el término de *cantos*, que corresponde al uso más generalizado de este término en nuestro idioma. Se deja el término de *bloques* para los de tamaño mayor que ese límite (Tabla 7).

En esta propuesta se aprecia claramente que quedan perfectamente asumidas y delimitadas varias cuestiones todavía no recogidas en muchos libros de texto españoles. En primer lugar, el uso sedimentológico, ya de décadas, de eliminar el término 'pudinga' y denominar "conglomerados" a las rocas de determinada granulometría (entre 2 y 256 mm) cuyos granos se presentan redondeados, y "brechas" a aquéllas que

Tabla 7. Clasificación propuesta para los materiales detríticos.

Tamaño mm	Grupo	Nombre Sedimento	Mat. suelto: R. sedimentaria	Mat. consolidado:
> 256	RUDITAS	Bloque	Bloques	Formación de bloques
256 a 16		Canto	Cantos	Conglomerados – Brechas
16 a 2		Grava	Gravas	
2 a 1/16	ARENITAS	Arena	Arenas	Areniscas
1/16 a 1/256	LUTITAS	Limo	Limos	Limolitas
< 1/256		Arcilla	Arcillas	Arcillitas – Pizarras

Tabla 8. Clasificación propuesta para materiales piroclásticos.

Tamaño mm	Grupo	Nombre	Mat. suelto: Tefra	Mat. consolidado: R. piroclástica
> 256	RUDITAS PIROCL	Bloque	T. de bloques	Aglomerado pirocl.
256 a 16		Canto	Tefra de cantos	Brecha piroclástica
16 a 2		Lapilli	T. de lapilli	Toba de lapilli
2 a 1/16	ARENITAS PIR.	Arena	Arena volcánica	Toba arenácea
< 1/16	LUTITAS PIR.	Ceniza	Ceniza volc.	Cinerita

los presentan angulosos. En segundo lugar, utilizar el término *pizarra*, *exclusivamente*, para referirse a una *roca sedimentaria detrítica de tamaño de grano inferior a 1/256 mm con laminación (u hojiosidad) marcada*; las rocas parecidas pero que han sufrido ya metamorfismo, recibirán nombres distintos, en función del grado de metamorfismo alcanzado (si el metamorfismo es de bajo grado, utilizaremos el término “filita”; si el metamorfismo ha sido más intenso, se denominan ya “esquistos”). Finalmente, queda abierta la posibilidad de subdividir los grupos establecidos (especialmente las areniscas) atendiendo a otros criterios (como los de composición) que resultan muy interesantes y que, en mi opinión, se reservarán para el nivel universitario.

Por su parte, los materiales piroclásticos también han venido siendo clasificados de maneras distintas (cf, por ejemplo, Fisher, 1966; Le Bas & Streckeisen, 1991). Estimo que la división por tamaños debe acomodarse enteramente a la de los materiales detríticos para que la homogeneización sea total; no obstante, las denominaciones sí pueden ser distintas, para reflejar su distinta naturaleza. Se asume totalmente la nomenclatura propuesta por Le Bas & Streckeisen (1991), con las modificaciones imprescindibles para tener en cuenta la división de tamaños superiores a 2 mm (Tabla 6). Así, pues, el *lapilli* quedaría comprendido entre 2 y 16 mm, los *cantos volcánicos* serían de tamaño entre 16 y 256 mm y los *bloques volcánicos* serían los que superaran ese límite.

II.2. Los materiales de precipitación.

En este grupo, tal como viene haciéndose desde hace tiempo (Grabau, 1904; Krynine, 1948; Ham, 1962; Blatt, 1980; Scholle, 1983), resulta preferible realizar la subdivisión atendiendo a la naturaleza química de los materiales originados. Las razones fundamentales son dos:

- que es la composición química la principal responsable de la disolución–precipitación que los origina;
- que es éste el criterio comparativamente más fácil para identificarlos.

Así pues, se siguen manteniendo los grupos conocidos (Tabla 9), si bien eliminando de ellos todos aquellos materiales que no respondan mayoritariamente, como ya se ha insistido, a una génesis por precipitación (y las rocas carbonatadas).

Por lo que respecta a las rocas carbonatadas, está claro que algunas de ellas son, indudablemente, de este grupo, como es el caso de las calizas estalactíticas; otras también son claramente incluíbles aquí, aunque pueda haber alguna colaboración bioquímica (los “travertinos”, ya comentados, y las calizas de algas, aunque estas últimas, por conservar restos de las estructuras orgánicas, podrían ser consideradas como orgánicas). Pero en el resto, la presencia de ciertas cantidades de otros componentes tanto orgánicos como detríticos, junto con la matriz micrítica y variables cantidades de cemento esparítico u otras sustancias diferenciadas durante la diagénesis, es lo que inclina a considerarlas como grupo híbrido.

Tabla 9. Clasificación de los materiales de precipitación.

Composición	R. Sedimentaria
Carbonatada	Calizas y Dolomías ⁽¹⁾
Silíceas	Sílex ⁽²⁾
Ferruginosa	Limonitas ⁽³⁾
Alumínica	Bauxitas ⁽⁴⁾
Fosfatada	Fosforitas
Sulfatos + Cloruros ⁽⁵⁾	“Evaporitas” ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Para los sedimentos carbonatados de precipitación se ha utilizado con frecuencia el término “barros calizos” (¿y dolomíticos?); pero como suelen estar mezclados con caparzones de globigerinas, el término “ooze” corresponde, más bien, a un depósito híbrido.

⁽²⁾ Se asume el uso de reservar el término “calcedonia” para las variedades de sílice criptocristalina más puras y caracterizables (ágata, ónice, “ópalo de fuego”, “jaspe”, “crisoprassa”).

⁽³⁾ Roca sedimentaria integrada mayoritariamente por óxidos e hidróxidos de hierro (las especies minerales Goethita: $FeO.OH$; Lepidocrocita: $FeO.OH\beta$; Ferrihidrita: $Fe(OH)_3$, y Hematites: Fe_2O_3).

⁽⁴⁾ Roca sedimentaria integrada mayoritariamente por óxidos e hidróxidos de aluminio (las especies minerales Diásporo: $AlO.OH$; Bohemita: $AlO.OH\beta$; Gibsita: $Al(OH)_3$, y Corindón: Al_2O_3). De hecho éstos van acompañados, prácticamente siempre, de una cantidad variable de limonitas y, muchas veces, de cantidades apreciables de sílice.

⁽⁵⁾ Es un nombre genérico de grupo para todas aquellas sustancias que, en condiciones naturales, sólo precipitan de la disolución que las contiene si se evapora el disolvente. Entre las muchas especies minerales que se incluyen en este grupo, las más conocidas son el yeso, y los halogenuros halita, silvina y carnalita.

II.3. Los materiales orgánicos.

También para estos materiales sigue pareciendo acertado el criterio de distinguirlos por su composición, aunque convendrá tener en cuenta el tipo de

Tabla 10. Clasificación de las rocas orgánicas

Compuestas por partes mineralizadas de seres vivos	Carbonatadas (Calizas y Dolomías): creta, de foraminíferos, de equinodermos (crinoiditas, si son de crinoides), de moluscos (lumaquelas),, arrecifales (Tablas 12 y 13) Silíceas: Radiolaritas, Diatomitas, Otras (Espongiolitas).
Compuestas por la propia materia orgánica (más o menos modificada)	Enriquecida en C: Carbones (Tabla 11) Integradas por hidrocarburos: Petróleos
Otras	Fosfatadas: Guano

organismo que los integra en cada caso.

Por lo tanto, sin perjuicio de que cada uno de estos grupos se pueda subdividir y denominar con más precisión, se propone el siguiente esquema (Tabla 10).

II.3.1. La clasificación de los carbones.

Por lo que a la clasificación de los carbones se refiere, se viene realizando con diferentes criterios (Tomkeieff, 1954; Francis, 1961; Krevelen, 1961), entre los que son dignos de tener en cuenta los basados en los usos industriales.

No obstante, desde el punto de vista didáctico, parece más conveniente conservar el que se deduce de la riqueza en Carbono (Tabla 11); éste es un criterio fácilmente inteligible y teóricamente muy preciso, con independencia de que su determinación sea más o menos penosa, aunque no lo es tanto como el de la determinación del rendimiento energético.

Tabla 11. Clasificación de los carbones por su riqueza en C.

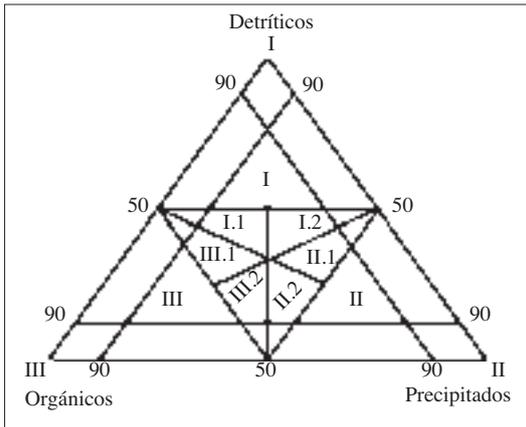
% en C	Nombre
50 – 60 %	TURBA
60 – 75 %	LIGNITO
75 – 90 %	HULLA
> 90 %	ANTRACITA

III. LOS MATERIALES INTERMEDIOS ENTRE LOS GRANDES GRUPOS.

Como ya se dijo al comienzo, es muy frecuente que las rocas sedimentarias estén compuestas por mezclas de componentes distintos, tanto detríticos como de precipitación, o contengan diversos restos orgánicos. En algunos casos, la frecuencia de algunos de esos materiales intermedios, o las aplicaciones prácticas que han encontrado, ha conducido a estudiarlos con detenimiento e incluso a denominarlos con nombres específicos; el caso más elocuente de esto segundo es el de las “margas”, rocas compuestas en proporciones variables por carbonatos y arcillas.

Aunque no todas las situaciones híbridas han sido estudiadas con el mismo detalle, para presentar una visión completa de este aspecto, se consideran aquí las tres combinaciones binarias posibles entre los tres tipos de componentes diferenciados; se pueden ver añadidas al diagrama ternario básico de la Tabla 4, y que constituye la Tabla 12. No obstante, dada la importancia de las rocas carbonatadas en el registro sedimentario, se estudiarán en primer lugar.

Tabla 12. Materiales intermedios entre cada dos grandes grupos



III.1. Materiales carbonatados (Calizas y Dolomías).

La subdivisión de las calizas se puede hacer siguiendo los criterios propuestos por Dunham (1962) (es la que se muestra en la Tabla 13, ligeramente reorganizada y sustituyendo el término “textura visible orgánica” por “bioconstruida”) que es, al parecer, la clasificación más generalmente seguida (probablemente debido a la mayor simplicidad respecto de sus alternativas, como las de Folk, 1959 y 1962).

Las calizas arrecifales (“Boundstone”) se subdividen como lo han hecho Embry and Klovan (1971) con las modificaciones de James (1984); esta propuesta tiene la ventaja de incluir las variedades clásicas que suelen originarse en estos casos.

Por lo tanto, la clasificación quedaría como se muestra en las Tablas 13 y 14; en ella, el término “granos” incluye tanto a los de procedencia detrítica (arenas, gravas, etc.), como a los restos de seres vivos (valvas, artejos, caparazones, etc.).

Tabla 13. Clasificación de las calizas.

Textura visible bioconstruida		Boundstone	
Textura visible inorgánica	Armazón esparítico (cristales)	Calizas recristalizadas	
	Armazón micrítico	Sobre cormofitas	Travertinos
		Sobre cianobacterias y otros	Estromatolitos
		<10% granos	Mudstone
		>10% granos	Wackestone
	Armazón de granos	Con matriz	Packestone
Sin matriz		Grainstone	

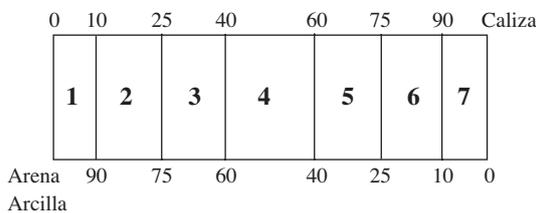
Tabla 14. Clasificación de las calizas arrecifales (BOUNDSTONE y sedimentos asociados) (tomada de Embry and Klovan, 1971; modif. por James, 1984).

Con estructuras de crecimiento orgánico	Organismos que atrapan sedimentos	Bafflestone
	Organismos incrustantes que fijan los sedimentos cubriéndolos	Binstone
	Organismos que construyen estructuras rígidas	Framestone
Con granos (fragmentos de seres vivos)	Armazón de granos	Rudstone
	Armazón micrítico	Floatstone

III.2. Materiales mixtos detrítico–precipitados.

La situaciones más frecuentes en que coexisten los materiales detríticos y los de precipitación en cantidades significativas, sin que vayan acompañados de restos orgánicos en la misma proporción corresponden a arenitas y lutitas con carbonatos. Son los dos casos que se esquematizan en el diagrama binario de la Tabla 15, que se puede generalizar a otras granulometrías; en el caso de la areniscas–carbonatos se sugiere utilizar algunos términos familiares (“calcarenitas” sobre todo, pero también otros: areniscas calcáreas, areniscas calizas, etc.) con un sentido restringido (el que corresponde al entorno reflejado en el diagrama).

Tabla 15. Diagrama binario para materiales detrítico–calizos.



a) Areniscas–Calizas

- 1– Areniscas
- 2– Arenisca calcárea
- 3– Arenisca caliza
- 4– Calcarenita s. st.
- 5– Caliza areniscosa
- 6– Caliza arenosa
- 7– Caliza

b) Arcillas–Calizas (“Margas” s.l.)

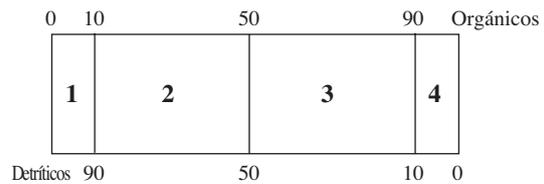
- 1– Arcilla
- 2– Arcilla calcárea
- 3– Margocaliza
- 4– Marga s. st.
- 5– Caliza margosa
- 6– Caliza arcillosa
- 7– Caliza

III.3. Materiales mixtos detríticos–orgánicos.

Entre los materiales con componentes detríticos y orgánicos no se encuentran tan detalladas las diferentes posibilidades de combinación, por lo que los intervalos a establecer en el diagrama correspondiente pueden ser más amplios. Es lo que muestra la Tabla 16.

En cualquier caso, resulta evidente que los datos explicativos del pie del diagrama no deben entenderse en el sentido de que existan todas las combinaciones posibles entre los términos ahí mencionados (o los implícitos en los puntos suspensivos); solo se indica que los que se encuentren realmente en el campo se denominen siguiendo esos criterios.

Tabla 16. Diagrama binario para materiales detrítico–orgánicos.



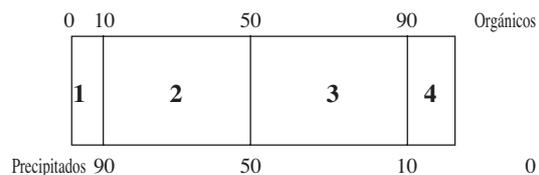
1– R. Detrítica (conglomerado, arenisca, etc)	
Conglomerado	nummulítica
2– Arenisca	ammonítica
Limolita	conchífera
...	etc.
3– Creta	arenosa
Lumaquela	limosa
Crinoidita	arcillosa
....	etc.
4– Roca orgánica (creta, caliza coralina, etc)	

III.4. Materiales mixtos orgánico–precipitados.

En este tipo de materiales sí ha habido mayor diversidad de tratamiento de las rocas correspondientes debido, fundamentalmente, a la diversa valoración de la actividad vital de algunos seres vivos (arqueobacterias, cianobacterias, algas y plantas vasculares acuáticas sobre todo) en la precipitación de algunas sustancias disueltas (carbonato cálcico, sobre todo, pero también hidróxidos de hierro, azufre y otros). En estos casos, como ya comentamos al principio, se prima el criterio de proceso (precipitación) sobre el del agente responsable del mismo.

De todas formas, desde un punto de vista general, para todas aquellas rocas en que los componentes mayoritarios sean precipitados o restos orgánicos, se mantiene un diagrama similar al anterior evitando una excesiva proliferación de términos (Tabla 17). También aquí resulta claro que, entre las alternativas posibles citadas en el pie de la tabla 17, no se defiende que se den todas las combinaciones posibles entre los términos mencionados, sino que los ejemplares reales reciban sus nombres siguiendo esos criterios.

Tabla 17. Diagrama binario para materiales orgánico–precipitados.



1- R. Pp (caliza, dolomía, sílex, etc)	
Caliza	nummulítica
2- Dolomía	ammonítica
Fosforita	conchífera
...	etc.
Creta	caliza
3- Lumaquela	ferruginosa
Encrinita	silícea
...	etc.
4- Roca orgánica (creta, caliza coralina, etc)	

IV. SUGERENCIAS SOBRE LA SECUENCIA-CIÓN DIDÁCTICA.

Para establecer la secuencia de aprendizaje en los distintos niveles curriculares, se hace necesario partir de las conclusiones sobre la epistemología genética de Piaget (1938, 1947, 1957) y de los autores constructivistas más recientes, incorporando también las aportaciones de la Psicología.

Es pues necesario utilizar este punto de partida para discutir y establecer una hipótesis de trabajo sobre la edad más conveniente para iniciar las discusiones sobre el tema que nos ocupa: la clasificación de los materiales sedimentarios. De acuerdo con ellas, parece necesario esperar, como mínimo, a los 10 años para iniciarla, si bien nada impide que, con anterioridad, se vaya desarrollando la capacidad de observación y de comparación entre materiales, sin preocuparse por otros aspectos.

En segundo lugar, hay que tener en cuenta todo lo que se ha consolidado en estos últimos años sobre el "aprendizaje significativo" de Ausubel (1968 y 1986). Por un lado, recordando los aspectos que él potenció como reacción frente al aprendizaje por descubrimiento de Bruner (1966), al que opuso como objeciones más sobresalientes: a) que se apoya en un "inductivismo ingenuo" (cf. Chalmers, 1980); b) que no es así como aprendemos usualmente; c) que no es necesariamente más eficaz; d) que es lento; e) que no es posible en la mayoría de los casos. Por otro lado, recogiendo la idea de Ausubel de que el nuevo material sólo podrá integrarse en lo que ya se sabe, si: 1) es "potencialmente significativo" (con significación tanto lógica como psicológica), y 2) si el alumno está motivado a aprender (lo cual dependerá en buena medida de que los conocimientos ofrecidos sean funcionales). Además, teniendo en cuenta que la información recibida modificará la estructura cognoscitiva del aprendiz; en este aspecto, la preferencia otorgada por Ausubel al aprendizaje "subordinado" permite suponer que, para él, el aprendizaje va, generalmente, de lo general a lo específico (en contra de lo que sostiene el asociacionismo y muestran la mayoría de los trabajos de Piaget, que será lo que se va a preferir aquí como

procedimiento metodológico). Finalmente, utilizando lo que para nuestro caso puedan tener de aprovechable los "organizadores previos", que son incluyentes que hacen de puente entre el material nuevo y las estructuras cognoscitivas en que dicho material puede integrarse.

En este contexto es en el que adquieren mayor realce los análisis sobre las "estrategias de aprendizaje", tanto cognitivas (procesos y técnicas de estudio, incluido el análisis de situaciones problemáticas; cf. Prawat, 1993) como metacognitivas (autorreflexión sobre el uso que personalmente se hace de esas técnicas y procesos, y análisis de cómo se reacciona y actúa ante un problema o tarea; cf. Flavell, 1976; Flavell & Wellmann, 1977).

Por último, hay que tener en cuenta los múltiples aspectos sociales implicados en el aprendizaje (fundamentalmente porque se aprende "en sociedad" y porque se aprende "lo que la sociedad" aprecia), integrando los aspectos subrayados en los estudios de Vigotsky (1977), sobre todo los que se refieren a factores interpersonales. Se tiene en cuenta así el concepto de "Zona de Desarrollo Próximo" del alumno (distancia entre el nivel real de desarrollo, determinado por la capacidad de resolver independientemente un problema, y el nivel de desarrollo potencial, determinado por la resolución de un problema bajo la guía de un adulto o en colaboración con otro compañero más capaz), zona en la que la acción educativa alcanza su máxima incidencia (cf. Vigotsky, 1979; y la síntesis más reciente de Newman, Griffin & Cole, 1991).

Es aquí donde la ayuda de otro más experto (el profesor) juega un papel imprescindible, porque permite al alumno percibir las diferencias entre lo que se sabe y lo que se quiere saber, porque contribuye a que el alumno se vea capaz de recorrer ese camino, porque se lo plantea como un reto interesante cuya resolución va a ser gratificante, y porque interviene de forma ajustada a los progresos y dificultades del alumno, ayudándole con la mirada puesta en el final de todo el proceso: su realización autónoma. El papel del profesor, por lo tanto, en esta perspectiva, es de ayuda a que el alumno no sólo aprenda unos contenidos, sino a que aprenda a aprender y a que aprenda que puede aprender; su repercusión, entonces, no se limita a lo que el alumno sabe, sino también a lo que sabe hacer y a cómo se ve a sí mismo. En realidad, podríamos afirmar que esta ayuda, la orientación que ofrece y la autonomía que permite, es la que hace posible la construcción de significados por parte del alumno (Viennot & Kaminski, 1991; Novak, 1991).

De todas formas, para terminar, quizá convenga tener en cuenta una observación nacida de la experiencia docente, que supera ya el ámbito concreto del tema discutido en esta aportación. La mente de nuestros alumnos puede que esté "desestructurada", como piensa Ausubel; pero cabe una situación más grave, y es que *esté estructurada con estructuras claramente inadecuadas*. En ese caso, el modelo de

enseñanza deberá pretender conseguir que el alumno lleve a cabo un proceso de “acomodación” de sus esquemas previos a las nuevas experiencias (Piaget), la “inclusión” de las novedades en las estructuras cognoscitivas previas, y la “reestructuración” de esas estructuras cognoscitivas previas (Ausubel), pero tendrá que incluir también el trabajo previo de “detectar”, “eliminar” y “sustituir” esquemas y estructuras cognoscitivas inadecuadas.

De acuerdo con todo esto, es posible plantear distintas alternativas de secuenciación teóricamente aceptables, en principio, sobre todo dependiendo del valor que se les dé a los desfases verticales que se vienen detectando en nuestra población escolar y que he valorado en las líneas anteriores. La última palabra para elegir entre ellas la tendrá el análisis de los resultados que se obtengan de la aplicación en el aula de cada una. Para la valoración de esos resultados habrá que eliminar la posible influencia de otros factores didácticos que intersecten con el que se refiere exclusivamente a su dificultad de comprensión.

En consecuencia, y teniendo en cuenta la propia experiencia del autor sobre esta cuestión (aunque no cuantificada todavía), se sugiere la siguiente distribución de contenidos a lo largo de los distintos ciclos educativos (que puede tener consecuencias curriculares), que se muestra en la Tabla 18.

En él se establecen cinco estadios de desarrollo de los alumnos como referencia, atendiendo a criterios cronológicos, aun a sabiendas de que la edad cronológica sólo tiene valor orientativo. Se evita así el uso de términos que implican un determinado diseño curricular (EGB, Primaria, E.S.O. etc.) que responden más a criterios administrativos, y que cambian frecuentemente con las orientaciones políticas de turno.

En cada estadio se hacen constar los contenidos correspondientes, que se han representado en el diseño teórico previo en forma de tablas, justamente para poder reseñarlos aquí más fácilmente. Además, con interrogación, se ofrece una alternativa de ampliación para aquellos alumnos que sean más maduros o puedan avanzar más rápidamente.

Otra cuestión distinta es la de la metodología más idónea para conseguir los objetivos que la secuenciación ofrecida pretende alcanzar en cada nivel. Ahora, sólo incidentalmente y muy resumidamente quiero mencionar este aspecto porque entiendo que tiene una entidad de importancia suficiente como para dedicarle una reflexión especial.

En primer lugar pienso que será necesario introducir a los alumnos (o, en los niveles medios, coordinar con los profesores de asignaturas que también re-

Tabla 18. Propuesta de distribución secuencial para la clasificación de materiales sedimentarios

3B: 10–12 años	3B: 12–14 años	4A: 14–16 años	4B: 16–18 años	> 18 años
Tabla 1 Tabla 2?	++++	++++	++++	++++
	Tabla 2 Tabla 5 Tabla 3?	++++	++++	++++
		Tabla 3 Tabla 4? Tabla 5 Tabla 6 Tabla 8? Tabla 11	++++	++++
			Tabla 4 Tabla 7 Tabla 8 Tabla 9 Tabla 10 Tabla 12?	++++
				Tabla 12 Tabla 13 Tabla 14 Tabla 15 Tabla 16 Tabla 17

quieran estos accesorios instrumentales, especialmente los de Matemáticas, Dibujo y Geografía) en la representación, interpretación y elaboración (en ese orden progresivo) de los diferentes tipos de diagramas (incluidos los ternarios a partir ya de los 15–16 años), para que puedan comprender lo que significan e interpretar lo que en ellos se quiere reflejar.

En segundo lugar, me parece que la metodología más coherente para introducir todos y cada uno de los aspectos a perseguir en este tema debe ser lo más activa posible diseñando actividades sencillas al alcance de los alumnos a los que van dirigidas y realizables sin necesidad de aparatos sofisticados (similares a las que se pueden encontrar en los capítulos dedicados a temas geológicos en Gallegos et al, 1993; o a las propuestas por Carrillo y Gisbert, 1993).

Finalmente, insistir en la extremada conveniencia (por no decir la ineludible necesidad), de hacer todo este tipo de estudios con ejemplares naturales en la mano; esos ejemplares deben mostrar las características necesarias de una forma suficientemente clara y observable por los alumnos del nivel correspondiente; y el profesor tendrá que orientar las observaciones y las reflexiones pertinentes de forma que los alumnos puedan relacionar algunas de las características visibles con los rasgos o valores que se han tomado teóricamente para establecer la clasificación (piénsese, por ejemplo, en los carbones, cuyo contenido en carbono no es un rasgo macroscópicamente observable, y que habrá que inducir de la coherencia, la densidad, el brillo, la permanencia de restos o de estructuras vegetales, etc.).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- * Arche, A. (coord) (1992). *Sedimentología*, 2t. CSIC. Madrid.
- * Ausubel, D.P. (1968). *Educational Psychology: A cognitive view*. Holt-Rinehart-Winston. New York.
- * Ausubel, D.P., Novak, J.D. y Hanesian, H. (1986): *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Trillas. Méjico.
- * Blatt, M. et al. (1980). *Origin of Sedimentary rocks*. Prentice Hall, New Jersey.
- * Bruner, J.S. (1966): On cognitive growth. (In Bruner, J.S., Olver, R.R. & Greenfield, P.M. (eds): *Studies in Cognitive growth*. Wiley. New York).
- * Carrillo, L. y Gisbert, J. (1993): *Pero... ¿hay rocas en la calle?* Ayuntamiento Zaragoza. Zaragoza.
- * Chafetz, H.S. y Folk, R.L. (1984): "Travertines:..." *Jour. Sediment. Petr.* 54, 289–316.
- * Chalmers, C. (1990): *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*. Siglo XXI. Madrid.
- * Dean, W. E. et al. (1985). "Classification of deep-sea, fine-grained sediments" *Jour. Sediment. Petr.* 55, 250–256.
- * Dunhan, R.J. (1962). "Classification of Carbonate rocks according to depositional texture". (In Ham, W.E. 108–121).
- * Embry, A.F. y Klovan, J.E. (1971). "A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, NW Territories". *Bull. Can. Petrol. Geol.*, 19, 730–781.
- * Fisher, R.V. (1966): "Rocks composed of volcanic fragments and their classification". *Earth Sc. Rev.* 1, 287–298.
- * Flavell, J.H. (1976): "Metacognitive Aspects of Problem Solving". (In Resnick, L.B. (ed): *The Nature of Intelligence*. Erlbaum. Hillsdale. N.J.).
- * Flavell, J.H. & Wellman, H.M. (1977): "Metamemory" (In Kail, R.V. & Hagen, J.W. (eds): *Perspectives on the Development of Memory and Cognition*. Erlbaum. Hillsdale. N.J.).
- * Folk, R.L. (1959): "Practical Petrographic classification of Limestone". *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.* 43, 1–38.
- * Folk, R.L. (1962) "Spectral subdivision of limestones types". (In Ham, W.E. 62–84).
- * Francis, W. (1961): *Coals: Its formation and composition*. St. Martin's. New York.
- * Gallegos, J.A. (1993). *Claves Litológicas*. Public. Univ. Granada.
- * Gallegos, J.A. et al. (1993): *Ciencias de la Naturaleza: Biología-Geología 4º E.S.O.* Algaida. Sevilla.
- * Grabau, A.W. (1904): "On the classification of sedimentary rocks". *Am. Geol.* 33, 238–247.
- * Ham, W.E. (1962). *Classification of Carbonate Rocks*. Mem. Ass. Petrol. Geol. 1. Tulsa. Oklahoma.
- * Krevelen, D.W. Van (1961): *Coal: Typology, chemistry, physics and constitution*. Elsevier. Amsterdam.
- * Krynine, P.D. (1948): "The megascopic study and field classification of the sedimentary rocks". *J. Geol.* 56, 130–165.
- * Le Bas, M.J. and Streckeisen, A.L. (1991): "The IUGS systematics of igneous rocks". *Journ Geol Soc. London*, 148, 825–833.
- * Newman, D., Griffin, P. & Cole, M. (1989): *The construction zone: working for cognitive change in school*. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- * Novak, J.D. (1991): "Ayudar a los alumnos a aprender cómo aprender". *Ens. Ciencias*, 9(3), 215–228.
- * Pettijohn, F.J. (1949): *Sedimentary rocks*. Harper. New York.
- * Pettijohn, F.J. (1980). *Rocas sedimentarias*. Eudeba. Buenos Aires.
- * Piaget, J. (1938): *La représentation du monde chez l'enfant*. París. F. Alcan.
- * Piaget, J. (1947): *La psychologie de l'intelligence*. A. Colin. París.
- * Piaget, J. (1957): *Epistemologie génétique et recherche psychologique*. P.U.F. París.
- * Prawat, R.S. (1993): "The value of Ideas: Problems versus Possibilities in learning" *Ed. Researcher*, 22(6), 5–16.
- * Rodgers, J. (1950): "The nomenclature and classification of sedimentary rocks". *Am. J. Sc.* 248, 297–311.
- * Scholle, P.A. et al. (1983). *Carbonate depositional Environments*. AAPG, Mem 33. Tulsa, Oklahoma.
- * Tomkeieff, S.I. (1954): *Coals and bitumes and related fossil carbonaceous substances: Nomenclature and classification*. Pergamon. London.
- * Tucker, M.E. (1994): *The fields description of sedimentary rocks*. Wiley. London.
- * Tucker, M.E. and Wright, V.P. (1990): *Carbonate Sedimentology*. Blackwell. Oxford.
- * Vera, J.A. (1994). *Estratigrafía*. Rueda. Madrid.
- * Viennot, L. & Kaminski, W (1991): Participation des maîtres aux modes de raisonnement des élèves. *Ens. Ciencias* 9(1), 3–9.
- * Vigotsky, L.S. (1977): *Pensamiento y lenguaje*. La Pléyade. Barcelona.
- * Vygotsky, L.S. (1979): *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Crítica. Barcelona.
- * Wadell, H. (1938): "Proper names nomenclature and classification". *J. Geol.* 46, 546–568.
- * Walker, R.G. (1984). "Facies models". *Geoscience Canada*.
- * Wentworth, C.K. (1922): "A scale of grade and class terms for clastic sediments". *Journ Geol*, 30, 377–392.
- * Wentworth, C.K. (1933): "Fundamental limits to the sizes of clastic grains". *Science*, 77, 633–634.
- * Wright, V.P. (1992): "A revised classification of limestones". *Sed. Geol.* 76. ■