

Petrología sedimentaria. Notas de teoría.

8. Rocas Carbónicas: Carbonatos marinos y continentales

Ana M. Alonso Zarza

Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas.
Universidad Complutense de Madrid. José Antonio Novais, 2. 28040 Madrid.
alonsoza@geo.ucm.es

Resumen: Este tema se dedica al estudio de las características de las calizas que se forman en distintos contextos sedimentarios. Se parte del análisis de los factores que controlan la sedimentación de carbonatos marinos, para después analizar los rasgos más característicos de las calizas que se forman en ambientes continentales y marinos. Los aspectos detallados sobre los componentes y clasificación de estas calizas se analizan en las clases prácticas y por ello no se incluyen en este tema.

Palabras clave: Calizas marinas y continentales. Producción orgánica. Temperatura. Microfacies.

FACTORES QUE CONTROLAN LA SEDIMENTACIÓN DE CARBONATOS MARINOS

Aunque hay diversos factores que controlan la sedimentación de carbonatos, dos son los fundamentales y los que condicionan los demás; son el contexto tectónico y el clima, ambos controlan el nivel del mar y sus variaciones.

Contexto tectónico

- Contexto deposicional (morfología).
- Aporte de terrígenos.

Clima

Circulación de agua, T^a , salinidad, nutrientes, tormentas, rangos mareales, oleaje...

- **Influencia en la Producción Orgánica**

Latitudes bajas $T^a > 15^{\circ}\text{C}$ Salinidades 32-40‰ **CHLOROZOAN**

Si Δ salinidad **CHLORALGAL** (algas verdes)
 $T^a < 15^{\circ}\text{C}$ **FORAMOL** ¿carbonatos templados?

Foraminíferos, moluscos, equinodermos, briozoos, algas rojas, ostrácodos, etc.

¿Y los no esqueléticos?

Mismas asociaciones oolitos, peloides, también dependientes de la latitud.

Otros factores:

Profundidad (LUZ) 10-15 m Algas verdes (Penicillus, Halimeda)

FACTORÍA DE CARBONATOS

Turbidez

- **Influencia en la producción “inorgánica”: Tª y profundidad: niveles de saturación y de compensación.**

$$\Delta F^0_{(T^a, X)} = 0,0481 \cdot t(^0C) - 1,41 \cdot 10^{-4} \cdot X (m) + 10,1813$$

$$K = 10^{-\Delta F^0 / 2.3RT} \quad t = T^a (^0C) \quad T = T^a (^0K)$$

X = profundidad (m) R = 1,99 · 10⁻³ Kcal/°Kmol

Prof (m)	0	200	600	1000	2000	3000	4000	5000	6000
K	5.01·10 ⁻⁹	6.16·10 ⁻⁹	7.24·10 ⁻⁹	8.51·10 ⁻⁹	11.2·10 ⁻⁹	14.4·10 ⁻⁹	19·10 ⁻⁹	24·10 ⁻⁹	31·10 ⁻⁹
PAI	16.6·10 ⁻⁹	3.8·10 ⁻⁹	3.6·10 ⁻⁹	3.6·10 ⁻⁹	5.1·10 ⁻⁹	7.4·10 ⁻⁹	9.1·10 ⁻⁹	10.4·10 ⁻⁹	10.5·10 ⁻⁹

Ejercicio (muy importante). Haz tu mismo la representación de las curvas de PAI y K en función de la profundidad y extrae tus propias conclusiones.

a) **Lisoclina 0** o **Nivel de saturación**, **PAI = K**, es aquella profundidad por encima de la cual el agua del mar está saturada en calcita, etc. (≈ 200 m).

b) **Lisoclina 100** o **Nivel de compensación** (≈ 4.000 m), por debajo de este nivel los carbonatos se disuelven rápidamente. **PAI << K**

Cuestión 1. ¿Dónde se producirá una mayor precipitación inorgánica de fangos carbonáticos, en las zonas someras de los cinturones tropicales o en las zonas someras polares? ¿Por qué?

- **Nivel del mar**

COMPONENTES, RASGOS Y AMBIENTES DE FORMACIÓN DE LAS CALIZAS MARINAS

Microfacies de Wilson

El concepto de microfacies se define como el conjunto de criterios paleontológicos y sedimentológicos que pueden clasificarse en láminas delgadas, peels y láminas pulidas. El primer paso para reconocer los Microfacies Standard, como fueron designadas por Wilson, es la descripción de las microfacies utilizando el sistema de clasificación de Dunham y Embry-Klovan. Los tipos de microfacies de calizas de distintas edades pueden combinarse en grupos mayores que reflejan las condiciones deposicionales y ecológicas de un determinado ambiente sedimentario.

Wilson asigna las 24 SMF a 9 cinturones estándar de facies (SFB), donde los tipos SMF individuales pueden aparecer en varios cinturones de facies. No se trata en este tema de ver uno por uno los distintos tipos de microfacies, pero sí repasaremos los rasgos característicos de los principales cinturones de facies.

Carbonatos mareales (peritidales)

El término peritidal se usa para describir una gran variedad de ambientes de sedimentación asociados a zonas mareales de baja energía (zonas bajo la influencia de las mareas), especialmente llanuras mareales. Se diferencian tres zonas: submareal, intermareal, zona supramareal. El [índice de exposición](#) es una medida cuantitativa del tiempo (expresado en %) que está expuesta cualquier punto de la llanura mareal y condiciona muchos de los rasgos de las calizas depositadas en estos ambientes. Los carbonatos peritidales más característicos incluyen:

- Mudstones y wackestones con peloides y velos algales.
- Carbonatos con fábricas fenestrales y laminación milimétrica.
- Dolomicritas y calizas dolomíticas.
- Grietas de desecación, "tepees" y estructuras fenestrales. a desecación y erosión de los materiales formados a lugar a la formación de brechas de intraclastos.
- Brechas de intraclastos.
- Es muy frecuente que estos carbonatos estén laminados. La laminación puede ser causada por procesos hidrodinámicos o debida a la actividad microbiana. Esta última es la causante de la formación de [oncolitos y estromatolitos](#), que son estructuras organo-sedimentarias producidas por atrapamiento, unión y/o precipitación debidos a la actividad de micro-organismos, principalmente algas y (ciano)bacterias. La fábrica primaria de crecimiento es un complejo de filamentos y tricomas distribuidos dentro de una capa mucilaginosa ([capa](#)

orgánica). Bajo condiciones apropiadas algunas partículas sedimentarias quedan adheridas al mucílago, también en ciertas circunstancias puede precipitar calcita (capa inorgánica).

Mecanismos de calcificación. 1) El filamento es algo pegajoso y puede atrapar partículas sólidas en suspensión. 2) La precipitación del carbonato se produce durante la vida del organismo, en el interior de la vaina. 3) La formación de una costra superficial de carbonato sobre la superficie de la vaina.

Clasificación de las estructuras microbianas

- **Estructuras hemiesferoidales lateralmente unidas LLH**
 - En cercanía C.
 - Lejos S.
- **Individuos no unidos lateralmente SH**
 - Con radio basal constante (C).
 - Variable (V).
- **Estructuras esferoidales (oncolitos) SS**
 - Invertido (I).
 - Concéntrico al azar (R).
 - Concéntrico (C).
- **Planares**

Lagoon

Detrás de la barrera (arrecife o bancales)

La sedimentación en el lagoon depende de: grado de restricción que imponga la barrera y permanencia de ésta.

- **Sedimentos.** Barro carbonático rico en peloides. Barro carbonático con bioclastos y parches recifales. Si la salinidad es normal la bioturbación puede ser intensa. En cualquier caso son siempre sedimentos con mucha micrita.
- **Origen de la micrita del lagoon**
 - a) Precipitado químico.
 - b) Desintegración de algas verdes y rotura de cualquier otro tipo de bioclasto.
 - c) Formación biogénica directa por acumulación de fragmentos esqueléticos de plantas calcáreas como coccolitoforidos.
 - d) Bioerosión por organismos que raspan y perforan sustratos carbonáticos.
 - e) Precipitación bioquímicamente inducida por fotosíntesis microbiana.

Arrecife

Cuerpos calcáreos que tienen un relieve topográfico original y que aparecen contruidos esencialmente por la actividad de organismos.

- **Zonación del arrecife**
- **Dinámica del Arrecife**
 - ✓ **Procesos constructivos.** Son los procesos biológicos ss. Los organismos del arrecife contribuyen a su crecimiento de formas distintas en función de su papel sedimentológico.
 - ✓ **Procesos destructivos.** Son de dos tipos:
 - Físicos**, por acción del oleaje y actividad de corrientes (normales o tormentas y huracanes).
 - Biológicos**, Bioerosión.
 - ✓ **Procesos de sedimentación**
 - Rotura mecánica** de la estructura del arrecife por procesos físicos o biológicos.
 - Material procedente de la descomposición y muerte de organismos que viven en el arrecife** (algas, corales, foraminíferos, moluscos, etc.).
 - Material aportado desde fuera del arrecife.**
 - ✓ **Procesos de cementación**

Otros tipos de arrecifes

- **Arrecifes profundos**
- **Mud-mounds**
 - ✓ Precipitación de barro carbonático inducido por bacterias y algas.
 - ✓
 - ✓ Atrapamiento de barro por efecto baffling de briozoos y crinoides.
 - ✓
 - ✓ Concentración de barro por corrientes.

Cinturones de alta energía: grainstones bioclásticos y oolíticos

En zonas de alta energía a profundidades inferiores a 5-10 m: **Grainstones de ooides y de granos esqueléticos.**

- **Los ooides**

Los ooides recientes son granos esféricos-subesféricos formados por una o varias láminas regulares dispuestas concéntricamente alrededor de un núcleo.

- **Microfábrica**

Tangencial.

Radial.

Al azar.

- **Mineralogía**

Aragonito (los actuales marinos); LMC en lagos, ríos y cuevas; HMC raro.

- **Origen**

Generalmente se ha considerado que los ooides son el resultado de procesos puramente físicoquímicos, no obstante algunos estudios experimentales han demostrado que la presencia de algunos componentes orgánicos (ácidos húmicos) favorece su formación.

Calizas pelágicas

Cuando la profundidad es tan alta que no permite la vida de organismos bentónicos, más de 50-100 m, los sedimentos carbonáticos están formados sobre todo por organismos pelágicos que se acumulan en ausencia de arcillas. La máxima profundidad a la que se pueden acumular está controlada por la tasa de disolución.

Los carbonatos pelágicos actuales están formados por barro micrítico que incluye pterópodos (gasterópodos con conchas cónicas muy finas de aragonito), coccolitos (algas calcáreas, calcita) y foraminíferos (calcita). Se habla de ooze si hay más del 30% de fósiles de ese tipo, ej. ooze de globigerinas, ooze de pterópodos, etc.

Carbonatos resedimentados de aguas profundas

Contienen fragmentos de tamaño variado (milímetros a hectómetros) de carbonatos que se formaron en zonas más someras de la plataforma. En muchas secuencias de carbonatos antiguos se puede observar cómo ha habido procesos de resedimentación de materiales sedimentados en aguas más someras y que se han redepositado en zonas más profundas.

COMPONENTES, RASGOS Y AMBIENTES DE FORMACIÓN DE LAS CALIZAS CONTINENTALES

El presente tema se dedica al estudio de los carbonatos formados en ambientes continentales. Los carbonatos generados en estos medios varían desde espeleotemas asociados a formaciones kársticas a carbonatos depositados en lagos más o menos profundos, pasando por sistemas fluviales, ambientes edáficos y las transiciones posibles entre estos ambientes. Es decir, los tipos y rasgos de los carbonatos que vamos a estudiar a continuación van a ser tan variados y específicos como lo son sus ambientes de formación, existiendo términos que al generarse en ambientes muy próximos o transicionales presentan características de uno o más de los ambientes mayores ya señalados. En general, se distingue entre carbonatos formados bajo lámina de agua y los formados en condiciones de exposición subáerea.

El interés del estudio de los carbonatos continentales es científico y económico como lo demuestra su frecuente asociación con "oil shales", siendo el ejemplo más representativo el de la Formación Green River. Los depósitos terciarios de lignitos de Europa Central aparecen también asociados a formaciones lacustres carbonáticas. Por otra parte, la porosidad que se crea durante el desarrollo de procesos de karstificación favorece que estas zonas puedan ser importantes almacenes para petróleo.

Carbonatos formados bajo lámina de agua

Incluimos aquí tanto carbonatos lacustres como fluviales. Quedan algunos otros tipos como los formados surgencias frías o calientes, que debido al carácter introductorio de esta asignatura y a su escasez no se desarrollarán en este tema.

- **Carbonatos lacustres**

Mineralogía e hidroquímica de los sistemas lacustres carbonáticos

El dominio de la sedimentación carbonática en un lago requiere que las aguas sean diluidas, en este caso los minerales más frecuentes son LMC, HMC y aragonito. La precipitación de uno u otro depende de la relación Mg/Ca.

Procedencia y mecanismos de precipitación

Procedencia

Calcio: aguas fluviales y subterráneas, material detrítico.

Carbonato: reducción de MO, atmosfera, etc.

Mecanismos de precipitación: F-Q.
Biogénicos.

Tipos de lagos

- ✓ **Lagos hidrológicamente abiertos.** La entrada de agua de la cuenca de drenaje adyacente y las precipitaciones están compensadas con la salida de agua y por evaporación.
- ✓ **Lagos hidrológicamente cerrados.** No tienen una salida de agua regular y tanto el nivel del lago como su química están controlados por el balance entre la entrada de agua de la cuenca de drenaje adyacente, las precipitaciones y la evaporación.

Calentamiento diferencial del cuerpo de agua: **estratificación** térmica y/o química.

Carbonatos en sistemas lacustres de agua dulce

a) Zonas profundas

Si hay estratificación permanente formación de laminitas o varvas. Alternancia de láminas claras ricas en carbonato con láminas oscuras ricas en M.O.

En lagos someros o no estratificados permanentemente, predominan las facies no laminadas o con laminación mal definida ya que la oxigenación periódica del fondo da lugar a la bioturbación de los sedimentos y a la oxidación de la materia orgánica.

b) Zonas marginales

Lagos con márgenes escarpados de alta energía (dominados por la acción del oleaje).

Lagos con márgenes escarpados de baja energía.

Lagos con márgenes muy tendidos de alta energía (dominados por el oleaje).

Lagos con márgenes muy tendidos de baja energía.

Lagos con márgenes muy tendidos de baja energía

Calizas micríticas desde mudstones a packstones, con distintos tipos de bioclastos, como ostrácodos, caráceas, moluscos,... No suelen estar bioturbadas

Calizas palustres. Son depósitos carbonáticos que muestran rasgos de los sedimentos formados bajo lámina de agua y rasgos indicativos de procesos de diagénesis subaérea

- ✓ **Calizas con tubos de raíces.** Son micritas y biomicritas que presentan escasa fauna y restos de caráceas, así como grietas de desecación y estructuras alveolares y fenestrales. Son frecuentes las cavidades verticales debidas a la presencia inicial de raíces y también suelen presentar estructuras prismáticas.
- ✓ **Calizas marmorizadas y nodulosas.** El moteado o la marmorización se manifiesta microscópicamente como halos difusos enrojecidos o ennegrecidos. El moteado indica una removilización del hierro debido a la alternancia de condiciones oxidantes-reductoras.
- ✓ **Calizas brechoides.** Están formadas por clastos angulosos que son el resultado de retrabajamiento mecánico y desecación dando lugar a la fragmentación del barro micrítico.
- ✓ **Calizas granulares y con pseudo-microkarst.** Están formadas por granos micríticos que están bien diferenciados de la pasta micrítica que los engloba o del cemento interpartícula. El pseudo-microkarst consiste en la presencia de cavidades irregulares, generadas por raíces y posteriormente rellenas por fragmentos carbonáticos y distintos tipos de cemento.

Diferencias carbonatos palustres/calcretas: Discusión sobre el sustrato y el tiempo de exposición en estos dos tipos de carbonatos. Significado de estos carbonatos como indicadores de rupturas sedimentarias en el registro geológico.

- **Carbonatos fluviales**

Los carbonatos fluviales se depositan, al igual que los lacustres, bajo una lámina de agua más o menos permanente. Estos carbonatos aparecen escasamente representados tanto en el registro geológico como en medios fluviales actuales. No obstante, en el Península Ibérica este tipo de carbonatos aparece con relativa frecuencia en materiales neógenos y cuaternarios y son frecuentes los ríos actuales en los que hay sedimentación de carbonatos.

La formación de carbonatos en estos ambientes requiere:

- a) Aguas con presiones parciales de CO₂ inferiores a 10⁻³.
- b) Aguas ricas en carbonato y bicarbonato, y calcio.
- c) Aguas someras de menos de 1 m de profundidad.
- d) Ausencia de carga en suspensión, es decir de turbidez.

La tipología de los carbonatos depende de factores como el tipo de soporte que colonizan las algas, la energía del agua, el mecanismo de desgasificación dominante (ORDÓÑEZ y GARCÍA DEL CURA, 1983). Los soportes de colonización pueden ser:

plantas vivas, objetos erráticos o el fondo del canal. En el caso de que el mecanismo de desgasificación sea biológico, si el soporte son plantas vivas, las facies que se reconocen son las de tubos verticales si la energía es baja y tubos cruzados cuando la energía es mayor. La colonización del fondo da lugar a la formación de distintas facies estromatolíticas (mamelares si la energía es media y planas si es alta). Por último, si lo que se colonizan son objetos erráticos, obtendremos, en función del tiempo de residencia del objeto en el lecho, desde granos con cubiertas hasta oncoides. Cuando el mecanismo de desgasificación es mecánico (agitación) se forman: tobas de cascada, oolitos, etc, dependiendo del tipo de soporte. Las facies hasta aquí descritas pueden reconocerse tanto en sistemas meandriformes (ORDÓÑEZ y GARCÍA DEL CURA, 1983) como "braided" (PEDLEY, 1990).

Carbonatos formados en ambientes de exposición subaérea

Representan ambientes diagenéticos más que deposicionales.

Interés: 1) las superficies de exposición subaérea aportan datos importantes para el conocimiento de la historia geológica de una zona, 2) pueden ser útiles como superficies guía que sirvan para correlacionar y 3) las superficies de exposición son lugares en los que se pueden acumular importantes recursos naturales (gas, petróleo, agua, metales, etc.).

- **Carbonatos edáficos: las calcretas.** Veasé el trabajo dedicado a la Meteorización (ALONSO-ZARZA 2010).
- **Carbonatos kársticos**

Un karst es una facies diagenética, una impronta en carbonatos expuestos subaéreamente, producida y controlada por disolución y migración de carbonato cálcico en las aguas meteóricas, tiene lugar en una amplia variedad de climas y contextos tectónicos y da lugar a un paisaje característico" (ESTEBAN y KLAPPA, 1983).

Factores que controlan el desarrollo del karst

Intrínsecos (litología, grado de permeabilidad de la roca, presencia de fracturas, etc.).

Extrínsecos (clima, relieve, presencia de vegetación, etc.)

Rasgos característicos de los karsts-paleokarst

- ✓ **Formas superficiales** de disolución de pequeña escala. Las formas más claras son los lapiares. En general, son formas redondeadas, canales

suaves, surcos y pináculos de dimensiones comprendidas entre 10 cm y 1 m.

- ✓ **Dolinas y estructuras de colapso.**
- ✓ **Espeleotemas.** Son los carbonatos que se forman en las cuevas. Son precipitados sobre todo de calcita o aragonito, pero la mineralogía puede ser más compleja. Se forman sobre el suelo y las paredes de las cavernas, bloques colapsados o espeleotemas más antiguos. Sus formas son nodulares, en montículos o en forma de ramas. Se caracterizan por la presencia de cristales prismáticos que se orientan perpendicularmente al sustrato sobre el que se apoyan.
- ✓ **Edificios tobáceos.** Se generan cuando las aguas subterráneas afloran en superficie formando manantiales. La desgasificación y la presencia de distintos organismos favorecen la formación de estos edificios que presentan morfologías típicas de cuñas verticales, formadas por la incrustación de musgos por calcita.
- ✓ Por último, un rasgo de los sistemas kársticos es la alta porosidad que presentan y que es característicamente de tipo caverna. La porosidad puede concentrarse en planos subhorizontales pero comúnmente se puede distribuir en varios horizontes interconectados.

Perfil kárstico

- ✓ **Zona de infiltración (zona vadosa superior).** Presenta las morfologías típicas de las zonas kárstica y por la presencia de cavidades esencialmente verticales. El proceso dominante en esta zona es la disolución fisicoquímica y la corrosión biológica relacionadas con una intensa actividad orgánica. Las brechas de colapso pueden formarse en las zonas más superficiales (< 20 m).
- ✓ 2. **Zona de percolación (zona vadosa inferior).** Se caracteriza por un movimiento vertical del agua a través de cavidades preexistentes. Esta zona no se define muy claramente en cuanto a facies y espesor. La parte inferior cercana a la zona freática es la zona más favorable para la formación de espeleotemas y la zona donde éstos presentan mayor variedad dentro del perfil kárstico. La presencia de una zona de **ascenso capilar**, situada hasta unos 2 m por encima del nivel freático, condiciona claramente la amplia precipitación de carbonato en esta zona inferior de percolación.
- ✓ 3.- **Zona lenticular (superior freática).** En ella tiene lugar una intensa formación de cavidades subhorizontales que se producen tanto por erosión hidráulica como por disolución debida a corrosión y al incremento de la

presión hidrostática. La formación de espeleotemas puede ser muy importante en estadios avanzados del desarrollo del karst, sobre todo en la zona más próxima al nivel freático. Las brechas de colapso y los depósitos de corriente pueden ser abundantes localmente

Evolución del perfil

Los perfiles Kársticos son generalmente muy complejos debido a las oscilaciones del nivel freático (controlados por cambios tectónicos, climáticos o del nivel de base). Así, los productos de la zona freática pueden ser modificados por los procesos de la zona vadosa y viceversa. Los factores que más hacen modificar el perfil kárstico son: las variaciones del nivel freático, el clima y el tiempo de desarrollo. Los tres condicionan que se forme un perfil freático "simple" u otro más evolucionado.

BIBLIOGRAFÍA

Alonso-Zarza, A.M. 2010. Petrología sedimentaria. Notas de teoría. 3. Procesos en ambientes exógenos I: Meteorización. *Reduca (Geología)*, 2 (3): 18-32.

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

Alonso-Zarza, A.M. y Tanner, L.H. 2010. Carbonates in continental settings. Facies, environments and processes. *Developments in Sedimentology*, v. 61, 378 pp.

Bathurst, F.G. C. 1975. *Carbonate sediments and their diagenesis*. Developments In Sedimentology, 47. Elsevier. Amsterdam, 658 pp.

Drever, J.I. 1997. *The Geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments*. Prentice-Hall, New Jersey, 436 pp. 3ª. Edic.

Esteban, M. y Klappa, C.F. 1983. Subaerial exposure environments. En: Scholle, P.A., Bebout, C.G. y Moore, C.H. (Eds). *Carbonate Depositional Environments*. A.A.P.G. Mem, 33, 1-96.

Ordóñez, S. y García del Cura, M.A. 1983. Recent and Tertiary fluvial carbonates in Central Spain. En: Collinson, J.D. y Lewin, J. (Eds). *Ancient and modern fluvial systems*. Int. Ass. Sedimentologists, Spec. Pub., 6, 485-497.

Pedley, H.M., 1990. Classification and environmental models for cool freshwater tufas. *Sedimentary Geology*, 68, 143-154.

Scholle, P.A., Bebout, C.G. y Moore, C.H. (Eds) 1983. *Carbonate Depositional Environments*. A.A.P.G. Mem, 33, 708 pp.

Scholle, P. A. y Ulmer-Scholle, D. S. 2006. *A color guide to the petrography of carbonate rocks: grains, textures, porosity, diagenesis*. American Association of Petroleum Geologists, AAPG memoir; 77, 474 pp.

Tucker, M.E. 1991. *Sedimentary Petrology. An Introduction to the origin of sedimentary rocks*. (2ª Ed). Blackwell Sci. Publ, Oxford, 269 pp.

Tucker, M.E. 2001. *Sedimentary Petrology. An Introduction to the origin of sedimentary rocks*. (3ª Ed). Blackwell Sci. Publ, Oxford, 262 pp.

Tucker, M.E. y Wright, V.P. 1991. *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Sci. Publ. Oxford, 482 pp.

Recibido: 11 marzo 2010.

Aceptado: 27 abril 2010.