

Document downloaded from:

<http://hdl.handle.net/10251/65237>

This paper must be cited as:

Torrijo, F.; Mandado Collado, JMA. (2010). Nódulos y Concreciones. Investigación y Ciencia: Edición Española de Scientific American. (409):76-83.
<http://hdl.handle.net/10251/65237>.



The final publication is available at

Copyright Nature Publishing Group

Additional Information

Nódulos y concreciones

Amén de ser una curiosidad geológica, estas estructuras constituyen una herramienta de gran utilidad para el estudio de la evolución y la transformación de los sedimentos en rocas

Francisco Javier Torrijo Echarri y Juan Mandado Collado

CONCEPTOS BASICOS

- Texto, texto.
- Texto, texto.
- Texto, texto.
- Texto, texto.

En las rocas sedimentarias es muy frecuente la presencia de cuerpos irregulares o cuerpos concrecionarios (CC). Formados por precipitación o segregación de minerales, suelen denominarse nódulos o concreciones (en geología, “concreción” significa acumulación de materia alrededor de un núcleo o sobre una superficie). Desde los nódulos de sílex, tan vinculados con los albores de la humanidad, hasta las ágatas, pasando por los nódulos de yeso o de carbonato, las concreciones ferruginosas, etcétera, existe un amplio abanico de cuerpos concrecionarios.

Los nódulos y concreciones presentan una gran variedad de formas. Domina la subsférica a elipsoidal, pero hallamos también morfologías alargadas, discoidales o marcadamente irregulares. La estructura interna puede variar desde masiva a finamente bandeada, con todo tipo de términos intermedios.

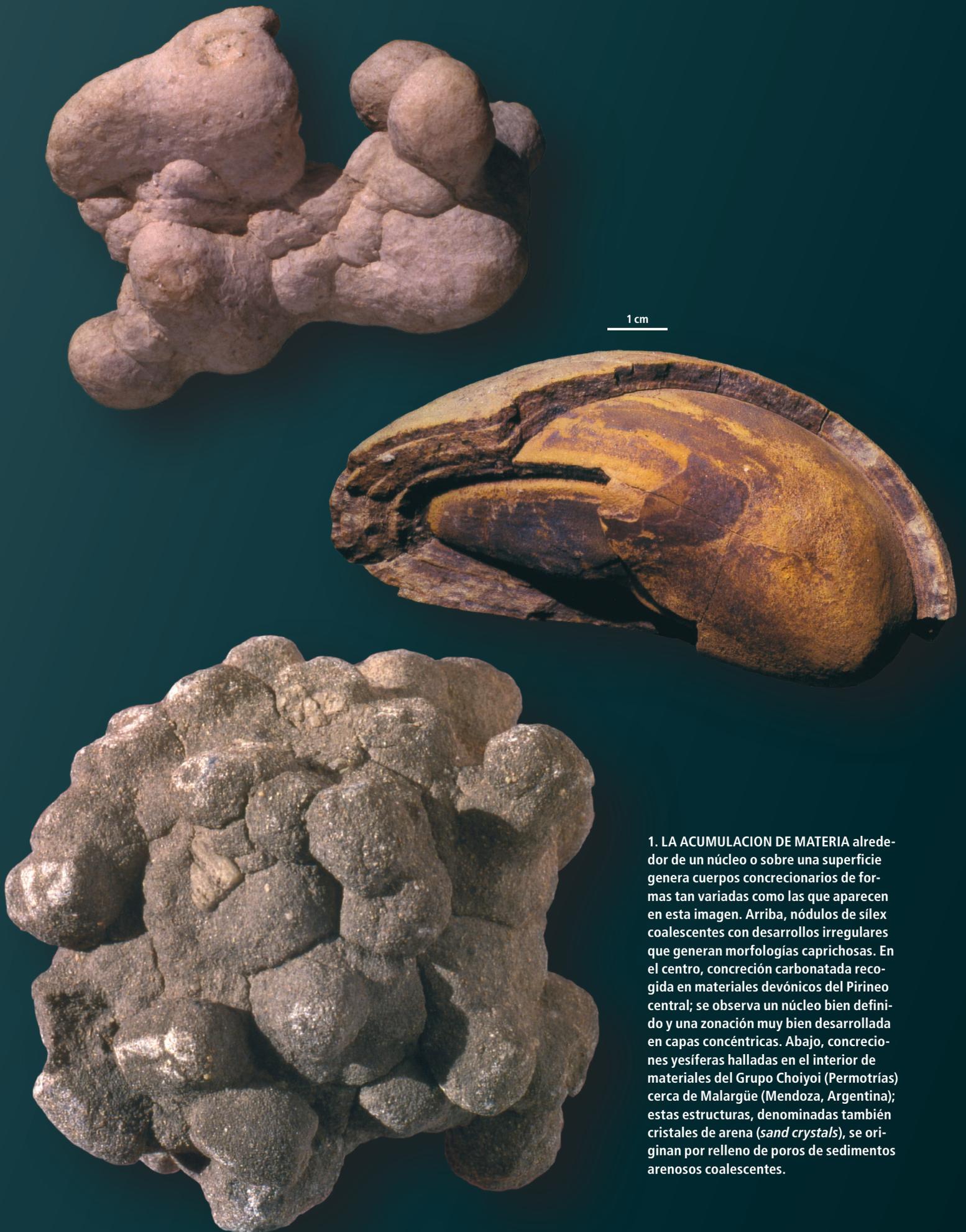
La composición de los cuerpos concrecionarios es muy diversa: pueden ser de la misma naturaleza que la roca en la que están englobados, estar constituidos por alguno de los componentes minoritarios de la misma o, en raras ocasiones, presentar una composición totalmente diferente y ajena al encajante.

La identificación, estudio y valoración de estas estructuras ha sido, y es, objeto de numerosos trabajos científicos y plantea controversias todavía no resueltas. El objetivo básico de la mayoría de estos trabajos es científico, por cuanto el estudio de los CC facilita la reconstrucción de la historia geológica de las rocas en que aparecen. Sin embargo, el conocimiento del mecanismo de movili-

zación de los materiales constituyentes de estas estructuras, momento de emplazamiento y factores genéticos, resultan de suma utilidad para la reconstrucción del entorno y los condicionantes diagenéticos de una formación geológica (la diagénesis corresponde al proceso que, mediante cambios físicoquímicos, transforma un depósito sedimentario en una roca consolidada). De ahí que encontremos también trabajos más técnicos sobre los CC, con aplicaciones en el campo de la hidrogeología, la paleoclimatología y la explotación de recursos energéticos (hidrocarburos, uranio y carbón).

El primer problema con el que nos enfrentamos es terminológico [*véase el recuadro “Terminología”*]. Los conceptos de “nódulo” y “concreción” presentan una gran confusión en cuanto a su uso y significado. Desde antaño se ha denominado “concreciones” a estructuras de características muy diversas; el término ha llegado a poseer un significado tan general que carece de contenido. Además, es frecuente el uso alterno e indiscriminado de ambos términos, que se aplican a conceptos muy variados. Para evitar confusiones, nos basaremos en las siguientes definiciones de los cuerpos concrecionarios.

Denominaremos “concreción” a una estructura diagenética de composición similar o distinta a la de la roca encajante; con núcleo y, en general, zonaciones internas; de forma esférica, subsférica o discoidal; y formada en los poros de la roca encajante por precipitación desde soluciones intersticiales y/o por difusión en estado sólido a través de la misma.



1. LA ACUMULACION DE MATERIA alrededor de un núcleo o sobre una superficie genera cuerpos concrecionarios de formas tan variadas como las que aparecen en esta imagen. Arriba, nódulos de sílex coalescentes con desarrollos irregulares que generan morfologías caprichosas. En el centro, concreción carbonatada recogida en materiales devónicos del Pirineo central; se observa un núcleo bien definido y una zonación muy bien desarrollada en capas concéntricas. Abajo, concreciones yesíferas halladas en el interior de materiales del Grupo Choiyoi (Permotriás) cerca de Malargüe (Mendoza, Argentina); estas estructuras, denominadas también cristales de arena (*sand crystals*), se originan por relleno de poros de sedimentos arenosos coalescentes.

TERMINOLOGIA

Como ocurre con otros campos de la geología, a la hora de establecer clasificaciones de los fenómenos estudiados, existe una ineludible tendencia a mezclar hechos descriptivos e interpretaciones genéticas. Si a ello le añadimos que, con el tiempo, estas interpretaciones sufren modificaciones, las clasificaciones se tornan cada vez más confusas, hasta el punto de poder perder todo su significado.

Los conceptos de “nódulo” y “concreción” no son una excepción. Presentan una gran confusión en cuanto a su uso y significado. Desde antaño se ha denominado concreciones a estructuras de características muy diversas: ooides, pisoides, estromatolitos, ágatas y nódulos, entre otros. Ello explica que este término haya llegado a poseer un significado muy general y carente por ello de contenido. Además, en numerosos trabajos es frecuente el uso alterno e indiscriminado de ambos términos, que se aplican a conceptos muy variados. Por todo ello, cuando “nódulo” y “concreción” aparecen en la bibliografía, el problema es doble: ni se sabe con certeza a qué estructura se refieren ni se concreta qué procesos son exclusivos de cada uno.

Sin embargo, en todas las definiciones los CC comparten una característica común: presentan una composición o textura diferente a la

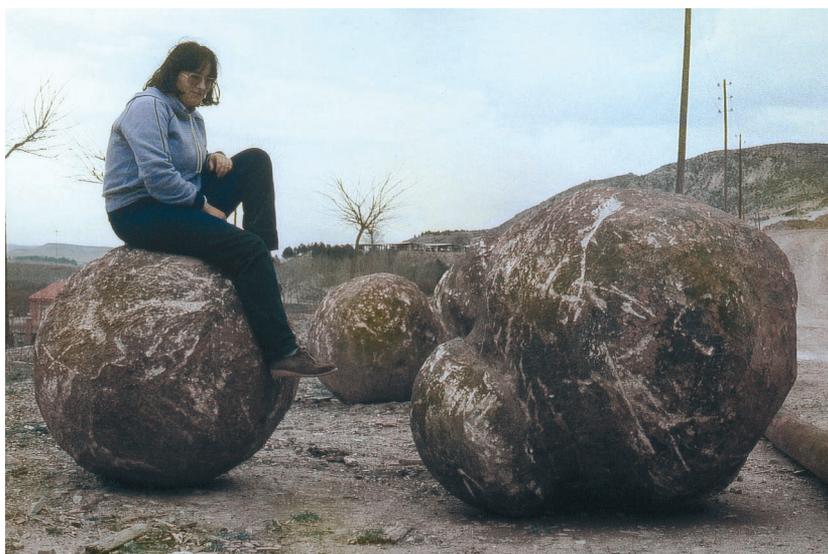
de la roca que los aloja; ello indica que se han formado por precipitación, desde una solución acuosa, o por difusión de material en estado sólido, a través de la roca encajante. Esta constituye, por tanto, una especificación necesaria para distinguir una concreción o nódulo de un canto o cualquier otra estructura, sedimentaria o no, que posea una morfología subsférica.

Debemos tener presente que una identificación equivocada de estas estructuras puede provocar graves errores interpretativos de los ambientes sedimentarios de una formación geológica. En los niveles de conglomerados basales de la formación Bámbole (clásica en el Paleozoico de la cordillera Ibérica), por ejemplo, alineaciones de nódulos silíceos se han considerado como hiladas de cantos; ello conlleva errores de interpretación notables, puesto que los nódulos y las concreciones se forman en el interior de la roca encajante (origen diagenético), mientras que los cantos proceden de rocas preexistentes (origen sedimentario).

Vista la confusión terminológica, estableceremos las siguientes definiciones para que el lector no tenga problemas a la hora de identificar uno u otro cuerpo concrecionario.

	CONCRECION	NODULO
ORIGEN	Diagenético	
COMPOSICION	Similar o distinta a la de la roca encajante	Distinta de la de la roca encajante
NUCLEO	Con núcleo	Sin núcleo
ZONACIONES	Con zonaciones internas	Sin zonaciones internas
FORMA	Esférica, subsférica o discoidal	Ovoide
FORMACION	Formado en los poros de la roca encajante por precipitación desde soluciones intersticiales y/o por difusión en estado sólido a través de la misma.	

Se descartan, por tanto, las formaciones geológicas que, aun siendo similares en forma y estructura a los nódulos y las concreciones, no tengan un origen diagenético. Tampoco encajan en estas definiciones numerosas estructuras consideradas tradicionalmente nódulos. Pensemos en los “nódulos de manganeso”: estas formaciones de los fondos marinos se forman, a partir de un núcleo preexistente, por el aporte directo, mediante flujo lateral, de metales desde la masa de agua (origen no diagenético).



2. MEGANODULOS DE YESO ALABASTRINO, procedentes de nódulos previos de anhídrita, localizados en materiales margoevaporíticos de la depresión terciaria de Calatayud y explotados industrialmente en las canteras de Fuentes de Jiloca (Zaragoza).

“Nódulo” designará toda estructura diagenética de composición generalmente distinta de la de la roca encajante; sin núcleo ni zonaciones internas; de forma ovoide; y formada en los poros de la roca encajante por precipitación desde soluciones intersticiales y/o por difusión en estado sólido a través de la misma.

Distribución en el registro geológico

Los cuerpos concrecionarios muestran una amplia dispersión espacial y temporal (desde el Paleozoico hasta hace escasamente unos pocos miles de años). Con todo, su distribución en las cuencas sedimentarias no es general, sino que se limita a una o varias capas concretas; se forman sólo en condiciones muy específicas del medio. Los dominios más favorables son los del medio marino y los continentales lacustres y fluviolacustres. En el resto de los medios continentales, se describe un buen número de estructuras no diagenéticas de carácter concrecional (no consideradas auténticos CC): ooides

y pisoides, estructuras nodulares edafogénicas y espeleotemas (formadas en cavidades), entre otros. Además, también se pueden identificar otras estructuras no diagenéticas de carácter concrecional que crecen en el interior de organismos vivos. Tal es el caso de las perlas (en el interior de ostreidos) y las piedras nefríticas (en nuestro organismo).

La extensión espacial y temporal de los niveles y capas que contienen CC no puede explicarse con facilidad en la mayoría de los casos. Se desconocen las particularidades del medio que inducen a la formación de estas estructuras. La presencia de restos fósiles en el interior de ciertos CC sugiere que estos cuerpos se habrían formado por precipitación [ACLARAR ESTA FRASE].

En otras ocasiones, los cuerpos concrecionarios parecen asociarse, no a una litología definida o a un tipo de facies, sino a unas condiciones fisicoquímicas que tienen lugar de forma sincrónica en varias zonas o sectores de la cuenca sedimentaria. Algunos de estos CC comienzan a formarse en la capa más superficial del sedimento, prácticamente en la interfase agua-sedimento (estas estructuras no pueden precipitar directamente desde la masa de agua, ya que en ese caso no serían diagenéticas); en otros casos, se han formado bajo cientos, incluso miles, de metros de sedimentos.

En cuanto a su composición, la variabilidad que presentan los CC es amplísima. Muchos de ellos están constituidos, en su mayor parte, por carbonato y se encuentran asociados con horizontes lutíticos (la lutita es una roca sedimentaria de grano muy fino compuesta de minerales de arcilla y otros materiales finamente divididos, con una estratificación muy marcada). Pero los CC también pueden presentar otras mineralogías y hospedarse en horizontes areníticos, limolíticos, carbonatados e incluso volcanoclásticos, de cualquier edad. Por tanto, no hay tampoco factores limitantes claros en este sentido.

¿Cómo estudiamos su origen?

Para describir la formación y el crecimiento de los cuerpos concrecionarios, deben considerarse numerosos factores. Uno de ellos es la forma (morfología) que presentan: irregular, esférica, esferoidal, aplanada (paralelos a la laminación o estratificación) o incluso cilíndrica. La morfología de estas estructuras se asocia a los parámetros mecánicos y fisicoquímicos que han influido en su crecimiento. De hecho, en numerosos afloramientos se observan orientaciones preferentes de sus ejes mayores (anisotropía morfológica). Ello se asocia a dos factores, a menudo íntimamente ligados: las



condiciones de depósito (las fábricas primarias de los sedimentos englobantes) y los parámetros hidráulicos (la existencia de un flujo anisótropo en el interior de los sedimentos circundantes que facilite el aporte direccional de materia y el crecimiento según direcciones dominantes).

Otro de los factores que se incluyen en los modelos que describen la formación de los CC es la relación entre éstos y la roca en que se alojan. Este factor reviste suma importancia a la hora de discernir el mecanismo de crecimiento de estas estructuras, ya que determina el modo de emplazamiento de las mismas. Nos permite conocer si el emplazamiento ha sido por simple relleno de la porosidad del sedimento o si, por el contrario, se ha producido un desplazamiento de éste, y también si ha existido un proceso de reemplazamiento.

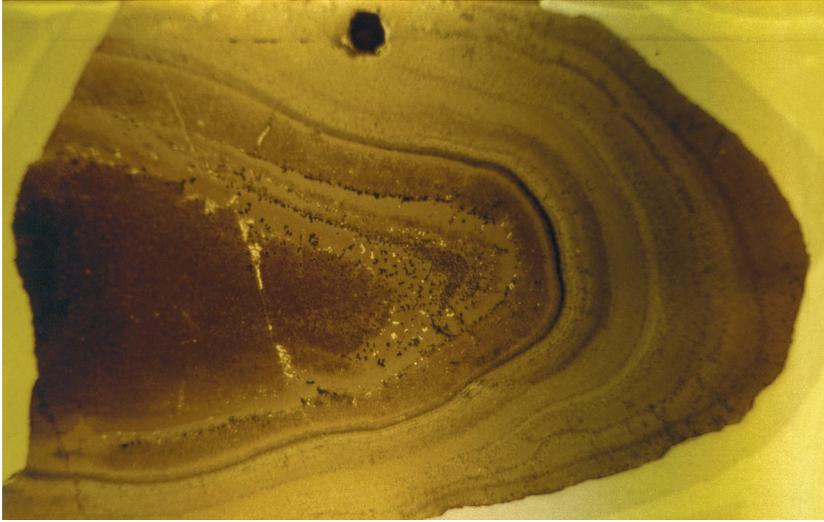
En ese sentido, los argumentos empleados para determinar el origen por simple relleno, crecimiento desplazante o reemplazante son sencillos. Se deducen a partir de la observación, en el campo y mediante el microscopio petrográfico, de las relaciones texturales de los componentes y de las posibles modificaciones de la fábrica primaria del sedimento. Así, la existencia en el interior de los CC de restos fósiles en buen estado de conservación, sin transformaciones provocadas por la compactación (aplastamiento, deformación o fractura de los caparzones), junto con la presencia de dichas transformaciones en la zona del sedimento no afectada por la concreción, indicaría un posible origen de relleno simple en etapas prácticamente sinsedimentarias [¿QUÉ SIGNIFICA “SINSEDIMENTARIO”?]. Este es el caso de las concreciones de naturaleza carbonatada.

Por otra parte, la distorsión de las estructuras sedimentarias en las inmediaciones de los cuerpos concrecionarios marca en numerosos casos

3. ESTRUCTURAS CONCRECIONALES, o “concreciones de color”, localizadas en materiales jurásicos aflorantes en las proximidades de Letux (Zaragoza).

Los autores

Fco. Javier Torrijo Echarri, geólogo y gemólogo, es profesor de ingeniería del terreno en la Universidad Politécnica de Valencia. [¿CAMPO DE INVESTIGACIÓN?].
Juan Mandado Collado es profesor petrología y geoquímica en la Universidad de Zaragoza. Su campo de investigación se ha centrado en la petrología de las rocas sedimentarias y la geoquímica de procesos de baja temperatura; asimismo, ha desarrollado proyectos de prospección geoquímica, geoquímica ambiental y estudios petrogenéticos de materiales paleozoicos y terciarios.



4. FINA ZONACION CONCENTRICA en una concreción carbonatada, alojada en materiales del Devónico de la Cordillera Ibérica (Tabuena, Zaragoza). La imagen, obtenida mediante microscopio petrográfico con pocos aumentos, muestra que la zonación viene marcada por un cambio de color y por la existencia de materiales detríticos (cuarzo y minerales opacos) entre las zonaciones.

los posibles orígenes desplazantes de los mismos. Ello se observa en los nódulos yesíferos que se forman en las sebjas del Golfo Pérsico.

Por fin, la existencia en el interior de los cuerpos concrecionarios de pseudomorfos de fósiles u otros componentes primarios del sedimento, de composición ajena al mismo y similar a la de los CC, constituyen un claro indicio de génesis por reemplazamiento. Este proceso guarda semejanza con el que se observa en muchos nódulos de sílex englobados en rocas carbonatadas, que muestran en su interior los moldes o pseudomorfos de los fósiles, ooides y otros componentes primarios del sedimento carbonatado, total o parcialmente reemplazados por sílice.

Asimismo, la relación entre la roca encajante y los CC permite también ubicarlos en un marco temporal (siempre dentro de la secuencia de procesos diagenéticos que ha sufrido el sedimento durante su transformación en roca): una laminación sedimentaria interna relicta y escasamente afectada por la compactación constituye un rasgo característico de los CC más tempranos; en cambio, una laminación igual a la del resto del sedimento es propia de CC más tardíos, generados después de la compactación.

El estudio morfológico, textural y composicional constituye, por tanto, una herramienta de trabajo básica en la evaluación del mecanismo de formación de los CC. Con todo, esta herramienta debe completarse siempre con el estudio geoquímico de los mismos, ya que el análisis de la variación de los constituyentes de los CC desde el interior de éstos hasta la roca encajante inalterada constituye una herramienta de suma utilidad para conocer el modelo de crecimiento que caracteriza la génesis de estas estructuras.

En la actualidad, los rasgos geoquímicos más utilizados para confirmar o refutar el mo-

delo genético propuesto son: el estudio de las variaciones existentes en los CC con respecto a sus componentes mayoritarios y minoritarios; el conocimiento del marco termodinámico y fisicoquímico en que tuvo lugar su formación; los posibles cambios bruscos en la mineralogía, tamaño cristalino y hábito (aspecto macroscópico) de los minerales que los constituyen; y las posibles indicios macroscópicos y microscópicos de la estructura interna concéntrica y sus particularidades.

Dentro de este marco geoquímico, otra de las herramientas más utilizadas para discernir el origen de los CC corresponde al estudio de las relaciones isotópicas que se dan en los minerales constituyentes. Sin embargo, dichos estudios isotópicos arrojan resultados difíciles de interpretar, debido a la mezcla de aguas de distintas procedencias y a una circulación de fluidos compleja. Por todo ello, esta constituye una de las cuestiones de mayor interés para la investigación actual.

Desvelar el mecanismo de crecimiento de los cuerpos concrecionarios sigue siendo uno de los mayores retos para la geología. De los más sencillos a los más complejos, se han ido proponiendo diferentes modelos. Sin embargo, dichos modelos explican sólo las peculiaridades de algunos tipos de CC. No existe una única teoría general aplicable a todo tipo de cuerpos concrecionarios.

Crecimiento por relleno de poros

El modelo más sencillo es el que plantea el crecimiento de los cuerpos concrecionarios por relleno de los poros del sedimento. A partir de un núcleo que favorece el depósito de los componentes disueltos en las aguas intersticiales, se produce la precipitación química de la fase o fases minerales que constituyen los CC. Iniciada la precipitación, se establece un gradiente de concentración entre la zona mineralizada y su entorno, de tal modo que se mantiene un flujo constante de material, bien por simple gradiente químico o favorecido por los flujos direccionales existentes en el sistema.

Se trata de un proceso lento. Debería llevar asociado, por una parte, la evolución simultánea de la porosidad del sedimento (como consecuencia del peso creciente de los materiales que se van acumulando sobre él); y por otra, la modificación de su composición por parte de las soluciones intersticiales (como consecuencia de la precipitación del material de los CC y por reacción con los materiales solubles del sedimento).

En suma, un crecimiento por relleno de poros se caracterizará por una variación en la proporción de material cementante, desde el

¿COMO SE FORMAN LOS CUERPOS CONCRECIONARIOS?

La formación de un cuerpo concrecionario (CC) necesita de un núcleo o germen de crecimiento, un entorno favorable para la precipitación, una fuente de agente cementante y un mecanismo de aporte de éste a la zona de crecimiento. Uno de los mayores retos de la geología consiste en desentrañar el mecanismo que subyace al crecimiento. Se han propuesto varios modelos, pero todos son parciales (explican sólo las peculiaridades de un tipo de CC). No existe todavía una única teoría general.

CRECIMIENTO POR RELLENO DE POROS



Los minerales disueltos en las aguas intersticiales comienzan a depositarse, por precipitación, sobre el núcleo de crecimiento. Se establece un gradiente de concentración entre la zona mineralizada y el entorno, de modo que se mantiene un flujo constante de material. Se trata de un proceso lento. La proporción de material cementante varía desde el núcleo a la periferia del CC, debido a la disminución de los poros del sedimento conforme progresa el enterramiento.



Nódulos de caolinita emplazados entre lutitas y limolitas del Devónico superior de la cordillera Ibérica (Tabuena, Zaragoza). Se disponen paralelos a la estratificación de la roca encajante; no se observa reemplazamiento ni desplazamiento de las capas de ésta, lo que indica un crecimiento por relleno de poros.

CRECIMIENTO DESPLAZANTE



Se produce la precipitación, a partir de una salmuera concentrada, en los poros de un sedimento poroso y no cementado, de modo que los minerales que cristalizan desplazan al material encajante y generan cuerpos subsféricos. La fuerza que ejercen los CC para desplazar al sedimento es consecuencia de la presión de cristalización. Esta presión debe ser superior a las fuerzas cohesivas que operan entre las partículas y a la carga litostática que sufren éstas. Este tipo de crecimientos se produce sólo en condiciones de enterramiento somero.



Nódulos de yeso intercalados entre niveles margoevaporíticos del Terciario del valle del Ebro (Fuentes de Ebro, Zaragoza). La deformación de las capas superiores y, en menor grado, las inferiores, indica un crecimiento desplazante.

CRECIMIENTO REEMPLAZANTE

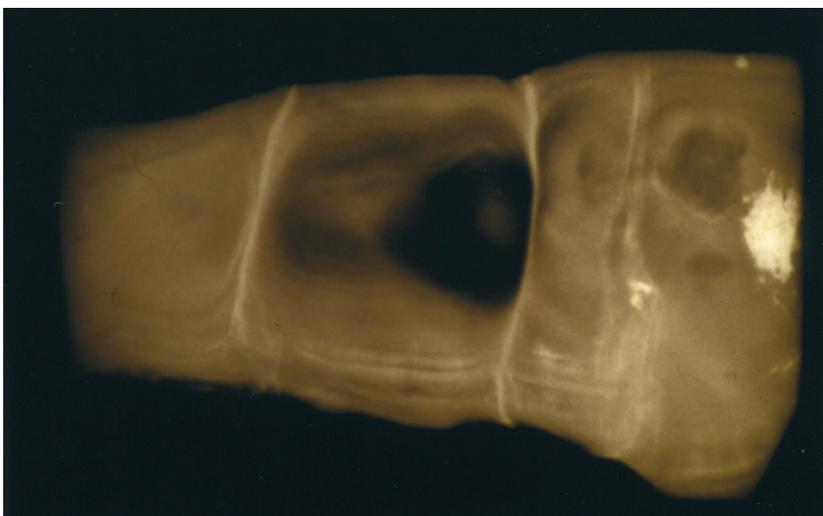


Se producen reacciones químicas entre la solución madre y la roca encajante. El crecimiento se produce por reemplazamiento de cementos tempranos o por corrosión y reemplazamiento del armazón de granos de la roca encajante. Son típicos de este tipo los CC que se obtienen cuando entran en juego sílice y carbonato, ya que ambos compuestos pueden reemplazarse el uno al otro en respuesta a pequeñas variaciones del pH de las aguas intersticiales.



Nódulos de yeso reemplazado parcialmente por sílex, procedente de materiales miocenos de la Cuenca del Ebro (Ablitas, Navarra). Inicialmente de anhidrita, los nódulos crecieron en niveles también evaporíticos de yeso lenticular; la anhidrita fue luego reemplazada por yeso alabastrino; soluciones ricas en sílice reemplazaron parcialmente los nódulos.

5. CONCRECIONES CARBONATADAS COALESCENTES. Sección pulida (*izquierda*) y radiografía (*derecha*). Las radiografías permiten observar subestructuras no apreciables a simple vista. Ello facilita el estudio de estas estructuras y favorece el desarrollo de modelos genéticos. Muestra localizada en materiales paleozoicos de la Cordillera Ibérica (Fuendejalón, Zaragoza).



núcleo a la periferia de los CC, resultado de la progresiva disminución de los poros del sedimento conforme progresa el enterramiento, y por una pauta de variación composicional, del centro al borde de los CC. Aunque esta variación puede ser mineralógica o textural --de ahí los bandeados internos que se aprecian en numerosos CC--, suele observarse sólo a partir del contenido de elementos minoritarios que coprecipitan como elementos dispersos en la fase mineral dominante.

Un aspecto complementario para la comprensión de éste y otros modelos de crecimiento es la procedencia del material que constituye los cuerpos concrecionarios. En el modelo anterior, hay que situar la fuente en la solución intersticial. Sin embargo, ciertos CC presentan particularidades que sugieren modelos más complejos: nos referimos a los CC que muestran una zona empobrecida a su alrededor, zona de la que podrían proceder los aportes que configuran el nódulo o concreción. En otros casos, es el centro de la concreción el que aparece empobrecido,

lo que incide que el crecimiento de los CC se ha producido por aportes desde el centro al exterior.

Por último, debe considerarse la naturaleza del mecanismo de precipitación del agente cementante. Los análisis mineralógicos y texturales mediante fluorescencia azul y ultravioleta, y petrografía de alta resolución permiten observar, en algunas concreciones, zonaciones internas de pequeña escala, del rango de 10 micrometros o menos, que sólo son posibles mediante procesos de cementación irregular durante el crecimiento de los CC.

Crecimiento desplazante

Un segundo modelo de formación de los cuerpos concrecionarios es el del crecimiento desplazante. Se aplica cuando el nódulo o concreción ha desplazado al material encajante. Ocurre cuando el crecimiento se debe a la precipitación, a partir de una salmuera concentrada, en los poros de un sedimento poroso y no cementado, de tal modo que los minerales que cristalizan desplazan al sedimento y generan cuerpos subsféricos. La fuerza que ejercen los CC para desplazar al sedimento es consecuencia de la presión de cristalización. Esta presión debe ser, lógicamente, superior a las fuerzas cohesivas que operan entre las partículas y a la carga litostática que sufren éstas. Por tanto, este tipo de crecimientos se produce sólo en condiciones de enterramiento somero.

Los ejemplos más característicos de este modelo de crecimiento corresponden a los nódulos de yeso lenticular o de anhidrita prismática que se forman en medios evaporíticos de sebja como los hallados en el golfo Pérsico, mar Muerto o los chotts tunecinos, o los que se formaron en ambientes similares durante el Terciario en la cuenca del Valle del Ebro o en la cuenca de Calatayud, donde alcanzan dimensiones de escala métrica.

El mecanismo de formación de esos nódulos es sencillo. En los medios de aridez extrema, las aguas superficiales así como las subterráneas presentan una salinidad muy elevada. En los períodos áridos, el agua puede ascender, mediante bombeo por evaporación, del nivel freático a la superficie, de modo que se producen en la zona capilar sobresaturaciones aún mayores, alcanzándose el punto de precipitación de los sulfatos cálcicos. Los cristales que se forman en esas condiciones suelen ser de yeso lenticular (rosas del desierto); y si el proceso se mantiene y se estabiliza durante lapsos de tiempo prolongado, llegan a formarse nódulos e incluso niveles continuos de yeso de estas características. La forma característica de los cristales de yeso lenticular impide que



6. ANILLOS DE LIESENGANG. Estructuras de color resultantes de procesos de movilización y dispersión de hierro en rocas detríticas, que generan falsas concreciones. La génesis de este tipo de estructuras se explica mediante modelos de autoorganización geoquímica. Ejemplar localizado en materiales areníticos del Cámbrico de Huérmeda (Zaragoza).

la porosidad se cierre en el punto de precipitación y favorece el desarrollo de nódulos de gran tamaño.

Crecimiento reemplazante

El tercer, y último, mecanismo de crecimiento de los cuerpos concrecionarios es el reemplazante. Según este modelo, los CC se emplazan por reacciones químicas entre la solución madre y la roca encajante. Su crecimiento se produce por reemplazamiento de cementos tempranos o por corrosión y reemplazamiento del armazón de granos de la roca encajante.

Son numerosos los ejemplos de CC que pueden explicarse mediante un modelo de estas características. Pero los más representativos son, sin duda, los que se dan cuando entran en juego sílice y carbonato, ya que ambos compuestos pueden reemplazarse en respuesta a pequeñas variaciones del pH de las aguas intersticiales. El carbonato se disuelve en medios con pH inferior a 7,8 y precipita para valores superiores; la sílice, en cambio, muestra una solubilidad baja para pH inferiores a 9 y muy elevada para valores superiores. Así, un medio muy básico (pH superior a 9) presenta carbonato y transporta sílice en solución; pero si el pH desciende bruscamente por debajo de 7,8 el carbonato se disuelve y la sílice precipita, con lo que se produce el reemplazamiento del carbonato por la sílice.

La persistencia de un proceso de ese tipo en un medio con una fuente de sílice produciría el desarrollo de un nódulo o concreción silíceo en medio de la masa de carbonato. En este caso, se utilizan las condiciones locales de variación del pH para justificar la distribución irregular de los CC en el sedimento, siendo la materia orgánica la responsable principal de las oscilaciones del pH, ya que durante su descomposición genera microambientes ácidos.

A modo de síntesis, la formación de un cuerpo concrecionario necesita de un núcleo o

germen de crecimiento, un entorno favorable para la precipitación, una fuente de agente cementante y un mecanismo de aporte de éste a la zona de crecimiento. La variabilidad espacial y temporal de estos cuatro factores básicos determinará la distribución y los aspectos morfológicos, estructurales y temporales de los cuerpos concrecionarios.

Autoorganización geoquímica

En la actualidad, existe una corriente de investigación que intenta dar una explicación global a la génesis y el crecimiento de los cuerpos concrecionarios mediante modelos de autoorganización geoquímica. La autoorganización describe el proceso por el cual un sistema que no se encuentra en equilibrio adopta por sí mismo, mediante su propia dinámica y evolución hacia ese equilibrio, estructuras espaciales repetidas.

Hallamos en nuestro entorno cotidiano numerosos sistemas que responden a procesos de autoorganización: ondulaciones en la arena de la playa y en desiertos (*ripples*), campos de dunas, meandros en los cursos fluviales, nubes y células de convección de fluidos, entre otros.

Centrándonos en la autoorganización geoquímica aplicada a la génesis de los cuerpos concrecionarios, destacan por su belleza y relativa simplicidad las ágatas. Estas estructuras, de composición silíceo (variedad de calcedonia), presentan unas texturas de tipo repetitivo y asociado, que resultan en un bandeado concéntrico, de colores diversos, que les confiere un atractivo singular en joyería. Otras estructuras que responden a este modelo de crecimiento son los cementos en bandas, pedernales (*cherts*) y hierros bandeados precámbricos, estilolitos en rocas sedimentarias monominerálicas, las bandas minerales características de las menas de tipo valle del Mississippi y la esquistosidad y foliación típica de las rocas metamórficas.

Bibliografía complementaria

CALCIUM CARBONATE CONCRETION FORMED BY THE DESCOMPOSITION OF ORGANIC MATTER. R. A. Berner en *Science*, vol. 159, págs. 195-197; 1968.

THE GROWTH OF CAMBRIAN AND LIASSIC CONCRETIONS. R. Raiswell, en *Sedimentology*, vol. 17, págs. 147-171; 1971.

CONCRETION MORPHOLOGY, CLASSIFICATION AND GENESIS. J. Sellés-Martínez, en *Earth-Science Reviews*, vol. 41, págs. 177-210; 1996.

NODULOS Y CONCRECIONES. MODELOS GENÉTICOS. Francisco J. Torrijo, Juan Mandado, R. B. Joven y F. J. Sanz, en *Rev. Acad. Ciencias Zaragoza*, vol. 52, págs. 159-169; 1997.

NOTAS EDITORA

- Revisar la procedencia de las imágenes.
- Actualizar bibliografía y todo lo que el autor considere necesario (los últimos párrafos sobre “nuevos campos de investigación” se han suprimido ante la posibilidad de que hayan quedado desfasados).
- Elaborar un esbozo (a mano, ppt... cualquier cosa sirva) para los dibujos que faltan en el recuadro “¿Cómo se forman los cuerpos concrecionarios?”. Nuestro departamento de producción ya se encargará de rehacer dichos esbozos según el estilo gráfico de la revista. Le enviamos un recuadro de un artículo del año pasado para que se haga una idea del tipo de información gráfica que debe contener.
- Aclarar las frases o términos que se indican en el texto.
- Redactar el recuadro “Conceptos básicos” de la primera página. (Se trata de redactar 3 o 4 párrafos cortos que resuman el contenido del artículo.)