

FUNDAMENTOS CONCEPTUALES Y DIDÁCTICOS

DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS ESTRATIGRÁFICAS

The teaching of the stratigraphic sciences

M. Aurell y B. Bádenas (*)

RESUMEN:

En este trabajo desarrollamos un recurso pedagógico para explicar el objeto y método de las ciencias estratigráficas, que consiste en comparar el registro sedimentario con las páginas de un libro en las que se encuentra escrita la historia de la Tierra. Se trata de una lectura compleja, ya que faltan muchas páginas, y los caracteres de las que se conservan están emborronados. Los estratígrafos ejercen entonces las labores del bibliotecario, clasificando y ordenando las escasas páginas conservadas en sus libros correspondientes, mientras que los sedimentólogos hacen comprensible la escritura mediante su traducción e interpretación. Cada volumen tiene una síntesis final, en la que se reconstruye la geografía de un determinado episodio geológico. Estos volúmenes se encuentran cronológicamente ordenados. La sucesión de las diversas paleogeografías es la Geología Histórica.

ABSTRACT:

The methodology and aims of the stratigraphic sciences are explained based on an example, that compares the sedimentary record to the sheets of a book in which the Earth's history is written. This is a hard reading, because there are a lot of missed sheets, and the characters on the preserved ones are blurred. Then, stratigraphers must do the task of the librarians, arranging the scarce preserved sheets into their correspondent books. Sedimentologists will make the scripture readable, by translating and interpreting their characters. Each volume has a concluding chapter, in which the reconstruction of an ancient geography is proposed. All this volumes are cronologically arranged in the library. Then, the succession of the different palaeogeographies results in the overall reconstruction of the history of the Earth or Historical Geology.

Palabras clave: Estratigrafía, enseñanza, rocas sedimentarias.

Key Words: Stratigraphy, teaching, sedimentary rocks.

INTRODUCCIÓN

El estudio de las rocas sedimentarias permite documentar la historia y evolución de los procesos externos acontecidos desde la formación de la Tierra hasta la actualidad. En el análisis de las rocas sedimentarias están involucradas diversas ciencias estratigráficas. La Estratigrafía, entendida en un sentido amplio, trata no solo de la sucesión y relaciones cronológicas de los estratos, sino también de sus propiedades y atributos, de la interpretación de su ambiente de formación y de su historia geológica (Hedberg, 1980). Según Corrales et al. (1977), la Estratigrafía forma el soporte de la Geología Histórica, en cuya etapa de interpretación destaca el papel de la Sedimentología. El cuerpo de doctrina de las ciencias estratigráficas no termina con la fase descriptiva de la Geología Histórica, sino que permite llegar a una reconstrucción de las interrelaciones entre procesos geológicos simultáneos próximos, que forman la base de la Paleogeografía.

El objetivo de este artículo es mostrar un procedimiento didáctico para introducir, de forma sencilla y gráfica, la metodología y objetivo de las disciplinas involucradas en el estudio de las rocas sedimentarias, o ciencias estratigráficas. De este modo, nos proponemos desarrollar un simulacro clásico en las ciencias estratigráficas, que consiste en comparar las rocas sedimentarias con las páginas de un libro en la que se encuentra escrita la historia de la Tierra.



(*) Dpto. Ciencias de la Tierra (Estratigrafía)-Universidad de Zaragoza-50009-Zaragoza. E-MAIL: maurell@posta.unizar.es

Para conocer la historia de la Tierra, basta leer las páginas en que se encuentra escrita. Pero el asunto no es tan sencillo como leer un libro. La lectura es normalmente compleja, como consecuencia una serie de factores o limitaciones:

- 1- El libro está incompleto: faltan numerosas páginas;
- 2- La escritura está emborronada como consecuencia del paso del tiempo;
- 3- Las páginas del libro están dispersas y desordenadas;
- 4- El libro está escrito en una lengua extranjera.

CARACTERÍSTICAS DEL REGISTRO SEDIMENTARIO

El libro esta incompleto, faltan numerosas páginas. En realidad, faltan muchas más páginas de las que se encuentran de hecho preservadas en el registro sedimentario. Esto responde, fundamentalmente, a tres causas.

1. *La mayor parte de estas páginas nunca fueron escritas.* Efectivamente, en un determinado medio sedimentario, sólo algunos de sus procesos producen sedimentos. Así, por ejemplo, en las zonas marinas someras podemos tener áreas donde predominan los procesos erosivos o destructivos, como es el fondo de una canal mareal, con otras donde predomina la acumulación del sedimento, como es el caso de los deltas formados en las zonas terminales de estos canales. Además, un cambio en las condiciones ambientales puede eliminar los procesos sedimentarios de un área o cuenca de sedimentación formandose lagunas en el registro sedimentario.

Un ejemplo de un proceso generador de lagunas sedimentarias se puede encontrar en la alternancia de periodos glaciares e interglaciares acontecidos en el último millón de años. Un periodo interglacial, como en el que nos encontramos en la actualidad, supone un incremento del volumen del agua en los océanos y como consecuencia la inundación de las plataformas someras adosadas a los continentes. Un periodo glacial supone, por el contrario, un almacenamiento de agua en los casquetes polares, produciéndose caídas del nivel del mar correlativas, superiores al centenar de metros. La consecuencia es la exposición subaérea de las plataformas marinas someras, eliminándose la posibilidad de producción y acumulación de sedimentos. El sedimento se expone y se cementa o bien se erosiona al estar en contacto con la atmósfera.

2. *Muchas páginas han sido arrancadas, rotas y recicladas.* Algunas de las páginas han desaparecido del registro geológico, como consecuencia de los procesos erosivos. Un río, en su curso, erosiona los materiales que se encuentran en su cabecera o en sus zonas medias, transportándolos hacia las zonas marinas de desembocadura, donde tienden a acumularse. En estas zonas marinas se encontrará el proceso constructivo o sedimentario, expresado en un delta. Así, las hojas arrancadas son recicladas por la naturaleza: las nuevas páginas se escribirán a partir del reciclado de otras preexistentes.

3. *La mayor parte de las páginas se encuentran enterradas.* Sólo una mínima proporción de las rocas sedimentarias de la corteza terrestre aparece en condiciones superficiales, ofreciéndonos un acceso directo a través de sus afloramientos. En este sentido, hay zonas de los continentes que son privilegiadas. Tal es el caso de extensas áreas de nuestro país, donde la irregular topografía y la escasa cobertera vegetal produce unas condiciones de afloramiento excepcionales. En el caso opuesto se encuentran zonas de topografía plana y densa cobertera vegetal o urbana, donde la geología se ha realizado tradicionalmente a partir de afloramientos artificiales. Por otra parte, en las últimas décadas se han desarrollado y aplicado una serie de técnicas que permiten conocer los materiales del subsuelo. Estas técnicas han crecido, fundamentalmente, al amparo de la exploración petrolífera y pueden aportar datos directos (como es el caso de los accesibles a partir de testigos de sondeos) o indirectos (caso de los perfiles sísmicos o diagráfias).

EL SEDIMENTO Y SU TRANSFORMACIÓN EN ROCA SEDIMENTARIA

La escritura está emborronada como consecuencia del paso del tiempo. Los años han grabado nuevos caracteres, que emborronan o incluso eliminan los originales. Entonces, si queremos leer el libro, debemos separar aquellos caracteres secundarios o sobreimpuestos. Los rasgos secundarios hacen referencia a aspectos petrogenéticos o de formación de rocas a partir del sedimento inconsolidado. Se trata de procesos tales como los que implican la pérdida de fluidos y de porosidad intersticial en el sedimento original como consecuencia de la compactación, o los de la precipitación de cementos a partir de sustancias contenidas en los fluidos intersticiales. Tales procesos generadores de rocas o procesos diagenéticos son procesos sobreimpuestos al sedimento original.

Para hacer legible estos documentos, hay que destilar los caracteres sedimentarios de los diagenéticos, ya que sólo de los primeros obtendremos la información precisa para la reconstrucción del medio de sedimentación. De este modo, estudiando las características del sedimento original (efecto), podemos remontarnos al proceso sedimentario (causa). El conocimiento de los procesos sedimentarios nos permitirá reconstruir el medio de sedimentación.

LA SUBDIVISIÓN Y DENOMINACIÓN DEL REGISTRO SEDIMENTARIO: LA ESTRATIGRAFÍA

Las páginas del libro están dispersas y desordenadas. Como consecuencia de los procesos tectónicos, las rocas suelen estar plegadas y fracturadas. Además puede existir cierta desconexión física entre los afloramientos, consecuencia de los procesos erosivos superficiales. Así pues, necesitamos alguien que haga las funciones de bibliotecario, alguien que ordene las páginas sueltas, agrupándolas

en libros y volúmenes, colocándolas en su lugar. Sólo entonces estaremos en condiciones de leer, de forma sistemática y ordenada, la historia contenida en estos libros. Estos bibliotecarios son los estratígrafos, cuya principal función consiste en etiquetar y ordenar la información. De este modo, el principal objetivo científico de la Estratigrafía es la ordenación temporal de los materiales estratificados, estableciendo su sucesión cronológica y su repartición geográfica (Teichert, 1958).

En la primera mitad del siglo pasado se empezaron a ordenar en el tiempo las rocas sedimentarias estratificadas. Para esto se tuvo en cuenta el *principio de superposición de los estratos*, según el cual las rocas depositadas en tiempos más recientes se encuentran sobre las que lo hicieron en etapas precedentes. De esta forma se fueron definiendo las eras y la gran mayoría de los periodos geológicos, estableciéndose una división del tiempo geológico a escala mundial basada en los fósiles (Vera, 1994). La clasificación de las rocas en unidades con sentido temporal aportó un primer esquema con edades relativas. Sólo a inicios de este siglo se empezaron a refinar los métodos geocronológicos de datación radiométrica, a partir de las que se pudieron datar de forma absoluta las unidades estratigráficas previamente definidas.

Una determinada roca sedimentaria puede recibir diversas etiquetas o denominaciones estratigráficas. Acabamos de hablar de unidades con sentido temporal, que conocemos como *unidades cronoestratigráficas*. Existen otros tipos de unidades como son las *unidades bioestratigráficas*, definidas en función de su contenido fósil o *litoestratigráficas*, establecidas en virtud de unas determinadas características litológicas que las diferencian de las rocas adyacentes. Las primeras son de interés cronológico ya que, como consecuencia de la evolución de los organismos, en muchos casos la presencia de determinados fósiles limita el marco temporal de la roca que los contiene. Las segundas son de interés cartográfico, ya que las diferentes litologías tienen diferente expresión morfológica en el terreno, de manera que se pueden elaborar mapas con distribución superficial de diversas unidades litoestratigráficas o formaciones.

Otro tipo de unidades que esta siendo objeto de especial interés en las últimas décadas son las denominadas *unidades limitadas por discontinuidades*. Una discontinuidad está en relación con un proceso de detención en la sedimentación y se asocia a las lagunas estratigráficas. Anteriormente hemos hablado de lagunas producidas por caídas del nivel del mar, consecuencia de las glaciaciones. El carácter global de este proceso, implica la génesis de unidades limitadas por discontinuidades que deberían ser reconocidas y correlacionables a escala global. Sin embargo, en el caso de que estas discontinuidades se originen por causas tectónicas de alcance local o regional, tendrán una distribución geográfica limitada (por ejemplo, discontinuidades originadas por el levantamiento o hundimiento del sustrato por esfuerzos compresivos o distensivos).

LA INTERPRETACIÓN DEL REGISTRO GEOLÓGICO: LA SEDIMENTOLOGÍA

El libro está escrito en lengua extranjera. El último obstáculo que debemos superar para la correcta interpretación del registro sedimentario es idiomático. De este modo, necesitamos traductores, gente que conozca el lenguaje y lo pueda interpretar correctamente. Estos traductores son los sedimentólogos. La Sedimentología es el estudio de los sedimentos naturales y rocas sedimentarias, y de los procesos por los cuales han sido formados (Middleton, 1978). Sus conocimientos están basados en el *principio del actualismo* según el cual, en el presente se encuentra la clave para interpretar el pasado. Ciertamente, sólo en los medios actuales encontramos una conexión física entre el proceso sedimentario y su efecto o sedimento. Según el principio del actualismo, estos procesos no se han modificado sustancialmente a lo largo de la historia geológica de manera que, por ejemplo, si encontramos una roca constituida por un arrecife de coral y algas, podemos inferir hacia el pasado el proceso observado en la actualidad (es decir, crecimiento en mares cálidos tropicales a subtropicales, a escasa profundidad, con buena oxigenación y penetración de la luz, etc.).

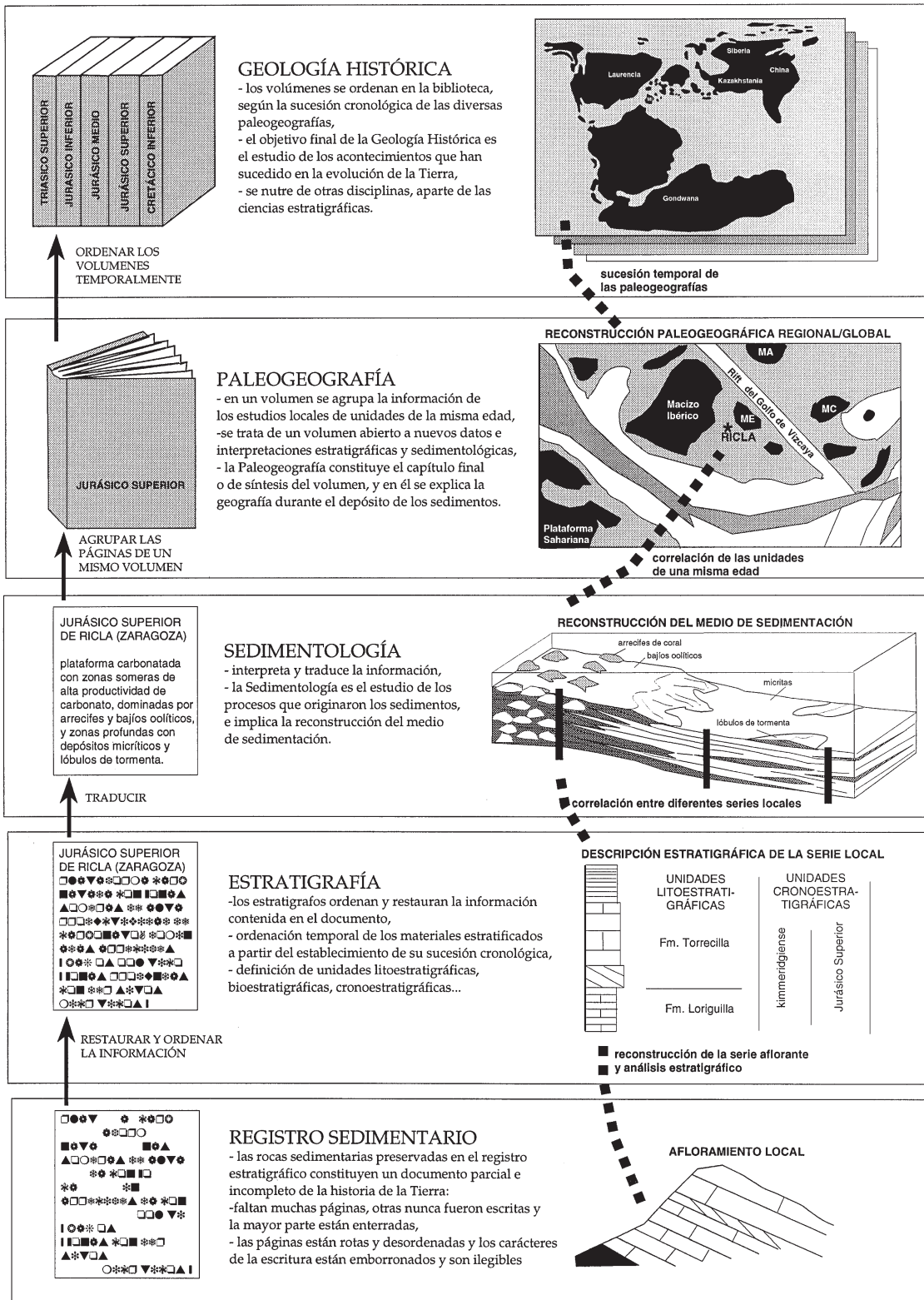
Las rocas sedimentarias se clasifican en función del idioma en que están escritas. De este modo, las rocas sedimentarias se pueden clasificar en función del medio de sedimentación en el que se originaron (p.ej., rocas marinas, continentales y transicionales). Las escuelas de idiomas se encuentran en diversos lugares del planeta en las que se observa en directo la relación entre el proceso y el efecto. A partir de estas observaciones se han escrito diversos manuales, útiles para la interpretación o lectura del registro fósil. Los sedimentólogos solemos especializarnos en un determinado lenguaje o tipo de roca, como pueden ser las calizas depositadas en mares someros o las rocas siliciclásticas sedimentadas a partir de procesos fluviales, si bien hay sabios que conocen varios idiomas. Para su aprendizaje acudimos a los manuales o, lo que es mejor, hacemos una estancia en el país de origen. Por ejemplo, en el caso de las rocas carbonatadas marinas acumuladas en mares cálidos y someros, los ejemplos recientes mejor conocidos se concentran en zonas como las plataformas del archipiélago de las Bahamas o la Gran Barrera Arrecifal de Australia.

LAS DISCIPLINAS SINTETIZADORAS: LA PALEOGEOGRAFÍA Y LA GEOLOGÍA HISTÓRICA

Mediante los estudios de la Estratigrafía hemos ordenado las hojas, de manera que sabemos cuales pertenecen a un mismo libro, o lo que es lo mismo, conocemos cuales tienen la capacidad de ser correlacionadas entre sí, pues se depositaron contemporáneamente. Mediante la Sedimentología hemos hecho comprensible la escritura, la hemos traducido e interpretado. Podemos ahora escribir el capítulo fi-

nal de este volumen. Se trata de un capítulo de discusión de los datos o interpretativo, en el que, a partir de los elementos de análisis, se propone una reconstrucción de la geografía existente en el momento del depósito de estos sedimentos: se elab

bora una paleogeografía. Esta interpretación queda momentaneamente escrita, a la espera de recibir nuevos datos desde las disciplinas básicas: el libro está abierto, pues se pueden incorporar nuevas hojas (descubrimiento de nuevos afloramientos o ac-



Transcripción e integración de los estudios estratigráficos y su comparación con las labores de recogida de datos en la confección de un libro.

ceso a nuevos datos del subsuelo) o bien se pueden cambiar las hojas de sitio, poniéndolas en otro volumen o recibiendo hojas de otros volúmenes, consecuencia de las reinterpretaciones estratigráficas.

Este volumen, con su síntesis paleogeográfica final, corresponde a un determinado instante de la historia geológica: un volumen para una determinada época de la historia geológica y una biblioteca con todos estos volúmenes. Los volúmenes se encuentran cronológicamente ordenados. La sucesión de las diversas paleogeografías es la Geología Histórica, que constituye el objetivo final del estudio de las rocas sedimentarias. Su fin es explicar, de forma ordenada, los acontecimientos que se han sucedido en la evolución de la Tierra, desde su individualización como planeta hasta la actualidad. De acuerdo con lo dicho, se trata de una ciencia abierta a los nuevos conocimientos y reinterpretaciones: la biblioteca ni esta completa ni esta convenientemente ordenada, a pesar del esfuerzo de muchos científicos desde hace más de dos centenares de años.

CONCLUSIÓN

Mediante el símil entre las rocas sedimentarias y las páginas de un libro, hemos sintetizado y expuesto los objetivos y el método utilizado por las disciplinas implicadas en el estudio de la génesis de las rocas sedimentarias. Hemos hablado de las labores básicas de clasificación y ordenamiento ejercidas por la Estratigrafía, así como de la traducción o interpretación desarrollada por la Sedimentología. Estos datos son integrados por la Paleogeografía, proponiendo su síntesis a través de diversas recons-

trucciones de la geografía del pasado. La sucesión de las diversas paleogeografías es la Geología Histórica.

Las disciplinas más globalizantes e interpretativas, como la Paleogeografía o la Geología Histórica, se nutren de las aportaciones locales realizadas desde un determinado marco espacio-temporal por la Estratigrafía y Sedimentología. Estas son las contribuciones que solemos hacer los geólogos que trabajamos en rocas sedimentarias. A veces descubrimos o tenemos acceso a nuevos datos. Normalmente no describimos nuevos datos, sino que hacemos una nueva lectura de los conocidos con anterioridad ya que, dada la ambigüedad del lenguaje en que se encuentran con frecuencia escritas, las traducciones disponibles son susceptibles de revisión y reinterpretación. Así, como escribió un científico, “investigar es observar aquello que otros ya observaron, pero pensando algo que antes nadie pensó”.

BIBLIOGRAFÍA

Corrales, I.; Rosell, J.; Sánchez de la Torre, L.; Vera, J.A. y Vilas, L. (1977). *Estratigrafía*. Editorial Rueda, Madrid.

Hedberg, H.D. (editor) (1976). *International stratigraphic guide*. Jhon Willey & Sons, Nueva York.

Middleton, G.V. (1978). Faices. In: *Encyclopedia of Sedimentology* (R.W. Fairbridge y J. Bourgois, Eds.), Dowden, Hutchinson, Ross & Stroudsburg, Pen., 323-325.

Teichert, C. (1958): *Some biostratigraphical concepts*. *Bul. Geol. Soc. Amer.*, 69,99-120.

Vera, J.A. (1994). *Estratigrafía: principios y métodos*. Editorial Rueda, Madrid. ■