

# Conceptos básicos de Estratigrafía

Rosalía Guerrero–Arenas\* & Víctor Manuel Bravo–Cuevas\*\*

## Concepto y fuentes de información estratigráfica

La mayoría de los materiales que componen a nuestro planeta son rocosos y sedimentarios. Si los observamos detenidamente, nos percataremos que se depositan en capas superpuestas, conocidas formalmente como estratos. Su estudio corresponde a la Estratigrafía, palabra compuesta por dos raíces distintas: el latín *stratum* y el griego *graphia*. La Estratigrafía puede definirse como el estudio de las sucesiones de roca y la correlación de eventos y procesos geológicos en tiempo y espacio (Koutsoukos 2005).

A no ser que hayan sufrido alguna deformación posterior a su depósito, los estratos son horizontales y pueden extenderse en grandes áreas geográficas. Es posible distinguir un estrato de otros superiores e inferiores, así como de los que se encuentren a los lados. En la figura 1, podemos visualizar fácilmente diversos estratos, los cuales son evidentes individualmente. De manera convencional, si el estrato mide menos de un centímetro de ancho, se le conoce como lámina.

Un estrato se forma por el depósito de sedimento, es decir, de material acarreado por diversos agentes –agua, viento o la misma gravedad– a lugares más bajos, en donde pueda acumularse. Con el tiempo, el material puede compactarse y litificarse. Como veremos más adelante, las condiciones ambientales en que se forman los estratos determinan sus características.



Figura 1. Estratos depositados paralelamente en Santa María, Sola de Vega, Oaxaca. Fotografía: R. Guerrero–Arenas.

Los estratos pueden ocupar grandes áreas geográficas, ya que su depósito puede ser continuo por la superficie de la Tierra, a menos que se interponga un cuerpo que interrumpa este proceso. En estos casos, un mismo estrato puede estar “cortado” y separado geográficamente de otro equivalente. El procedimiento para establecer la correspondencia entre

\* Laboratorio de Paleobiología, Campus Puerto Escondido, Universidad del Mar. Km. 2.5 Carretera Puerto Escondido-Sola de Vega. San Pedro Mixtepec, Oaxaca. C.P. 71980.

Estudiante de Doctorado en Ciencias en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Carretera Pachuca-Tulancingo Km 4.5, Pachuca, Hidalgo. C.P. 42090

\*\* Museo de Paleontología, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Carretera Pachuca-Tulancingo Km 4.5, Pachuca, Hidalgo. C.P. 42090

partes de una unidad geológica es la correlación (Barragán *et al.* 2010). Esta correlación se demuestra con base en la similitud de la litología, la posición estratigráfica y la fauna fósil, entre otros criterios.

Tradicionalmente, la estratigrafía se divide en dos grandes áreas, aunque como veremos más adelante, esta subdivisión no es suficiente para cubrir el conocimiento que se ha generado en los últimos años. Si se describen los estratos con base en las características de las rocas y sedimentos que los conforman, se utiliza la litoestratigrafía. En cambio, si se atienden las características de la fauna fósil que contienen los estratos, así como sus relaciones cronológicas, se utiliza la bioestratigrafía.

El objetivo de este escrito es revisar la historia de la Estratigrafía, así como sus objetivos, importancia y perspectivas durante los siguientes años.

### Marco histórico de la estratigrafía

El conocimiento de la estratigrafía comenzó a formarse desde las primeras observaciones de la Naturaleza en civilizaciones de Asia Central, Grecia y Egipto (Koutsoukos 2005). Su desarrollo como ciencia es paralelo al de otras ciencias de la Tierra y ciencias naturales. En los siguientes párrafos enumeraremos solamente algunos de los personajes más destacados.

Se atribuye al naturalista y paleontólogo francés Alcide d'Obigny introducir el término "estratigrafía" al léxico geológico durante el siglo XIX (Vera, 1994). Sin embargo, durante el siglo XVII Nicholas Steno desarrolló los principios básicos que fundamentan esta disciplina (Cuadro 1).

Durante el siglo XVIII, el geólogo y naturalista escocés James Hutton reconoció la primera discordancia en una serie estratigráfica expuesta en la localidad Siccard Point, cerca de Edimburgo, Escocia. Una discordancia representa una interrupción en el depósito de sedimentos, ya sea por erosión o por no existir un depósito. A partir de esta observación, Hutton consideró que los procesos que forman a las rocas actuales también originaron a las rocas del pasado. Este principio se conoce

### Cuadro 1

Nicholas Steno es el nombre latinizado del danés Niels Stensen (1638-1686), quien fue anatomista y geólogo. Su obra *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus* (conocida simplemente como Pódromo), es reconocida por varios autores como el primer tratado estratigráfico (MacLeod 2005). En ella estableció tres principios fundamentales, básicos en el quehacer geológico y estratigráfico.

1. Superposición. Postula que los estratos se encuentran dispuestos cronológicamente. Los estratos más antiguos -los primeros en depositarse- son los más basales, mientras que los más recientes son los superiores, a menos que exista algún proceso posterior que deforme los estratos.
2. Continuidad original. El estrato se deposita de manera extendida sobre la superficie de la Tierra, a menos que un cuerpo se interponga.
3. Horizontalidad original. Los estratos se depositan originalmente en posición horizontal. Si están deformados, se debe a un proceso posterior.

como Uniformitarismo, básico para entender el desarrollo y evolución de la Tierra a través del tiempo. Eventualmente, el reconocimiento de discontinuidades se ha convertido en una estrategia metodológica para determinar la edad de diversos cuerpos rocosos.

Una de las contribuciones más importantes fue la realizada por William Smith, ingeniero y constructor de canales inglés, quien introdujo el concepto de sucesión faunística en el siglo XVIII. Gracias a su trabajo en la construcción de los canales, Smith fue el primero en reconocer que hay biotas sucesivas en estratos que pueden estar distantes. La aplicación del concepto de sucesión faunística, desde la década de 1840 permite asignar una edad relativa a diversos cuerpos rocosos con base en diversas faunas y floras fósiles, por tanto, se establece su correlación (Langereis *et al.* 2010). Cabe mencionar que el concepto de sucesión faunística permitió al naturalista Charles Darwin tener una sólida base para proponer el concepto de evolución.

Otra contribución fundamental fue propuesta por Charles Lyell durante el siglo XIX. Su obra monumental *Principles of Geology*, así como el concepto del uniformitarismo, fueron básicos en los estudios estratigráficos de esta época.

Durante el siglo pasado, la propuesta de la teoría de la tectónica de placas y la expansión del suelo oceánico repercutió en el desarrollo de varias disciplinas; específicamente, en la Estratigrafía, introdujo un marco de referencia en el que el arreglo espacial de los estratos cambia a través del tiempo geológico.

### Objetivos de la Estratigrafía

De acuerdo con Brookfield (2004), existen cuatro fases básicas en los estudios estratigráficos. La primera fase consiste en inferir cómo se formaron los estratos. Para ello, es necesario entender los procesos físicos, químicos y biológicos que produjeron la variedad de sedimentos. Entre ellos podemos enumerar la erosión, la disolución química, la fragmentación, los procesos gravitacionales o la bioturbación. Además de ello, existen procesos externos que afectan la formación de los estratos, como cambios en el nivel del mar, clima, movimientos tectónicos, actividad volcánica e incluso cambios a largo plazo en los movimientos de rotación y traslación de la Tierra (ciclos de Milankovitch).

La segunda fase consiste en describir e identificar las rocas. Las unidades litológicas pueden describirse en función de su composición, textura, color, fauna fósil, propiedades geofísicas, relaciones de edad, posición geográfica y distribución. Para ello, existen criterios y procesos estándar para su identificación.

La tercera consiste en reconocer los complejos ambientales en los cuales se formaron los materiales rocosos. Un ambiente se distingue de otras partes de la Tierra física, química y biológicamente (Brookfield 2004). Estas particularidades pueden reflejarse en los materiales rocosos de cada uno de los sitios.

La cuarta etapa es integrativa de la información obtenida en las fases anteriores; una vez que se han reconocido y caracterizado los cuerpos estratificados, es posible clasificarlos de acuerdo a criterios establecidos en el Código Estratigráfico Norteamericano. Para su reconocimiento formal, es necesario mapear las unidades estratigráficas establecidas y publicar la información en publicaciones de alto impacto.

### Taxonomía y nomenclatura estratigráfica

La clasificación estratigráfica ordena sistemáticamente y divide los cuerpos de roca o de materiales no consolidados de la corteza terrestre en unidades basadas en sus propiedades o atributos inherentes (Barragán *et al.* 2010).

Con el objetivo de estabilizar la clasificación y nomenclatura estratigráfica se creó la Subcomisión Internacional en Clasificación Estratigráfica (ISSC, por sus siglas en inglés, International Subcommission on Stratigraphic Classification), durante el décimo noveno Congreso Geológico Internacional (MacLeod 2005).

Como en las clasificaciones que se utilizan en las Ciencias Naturales, la clasificación estratigráfica establece una jerarquía en la que las unidades mayores contienen a las menores. Los criterios para establecer esta clasificación se revisan periódicamente y se incluyen en las ediciones posteriores del Código Estratigráfico. Aquí sólo revisaremos la clasificación litoestratigráfica y la bioestratigráfica por ser las más usadas, pero el Código contiene más categorías.

La unidad básica en la litoestratigrafía es la formación. Las formaciones son cuerpos rocosos identificables con las características litológicas que permitan reconocer la formación de las adyacentes. Una formación debe comprender un área que permita mapearla, es decir, debe tener cierta extensión geográfica que permita ubicarla espacialmente con respecto a otras. Una formación está conformada por miembros, los cuales se compone de una capa o más capas que permiten reconocerlos dentro de la formación. Por otro lado, un conjunto de formaciones integran un grupo (Figura 2).

Por otro lado, la unidad básica en la bioestratigrafía es la biozona, la cual es una unidad distinguible de otras con base en su contenido fósil. Al contrario de la formación, una biozona no necesita ser una unidad mapeable (MacLeod 2005). Es importante señalar que las biozonas son entidades que no se distinguen a simple vista, ya que sus límites no coinciden con cambios litológicos o estructurales, sino que se establecen con



**Figura 2.** Panorámica de la Cantera Tlayúa, en Tepexi de Rodríguez, Puebla. El espesor total del Miembro Medio de la Formación Tlayúa, caracterizado por su coloración rojiza, está expuesto en este sitio. Fotografía: R. Guerrero-Arenas.

base en las apariciones o desapariciones de ciertos taxones en el registro fósil. No todos los grupos fósiles se utilizan para establecer las biozonas, sino aquellos que tengan un rango limitado en el tiempo geológico. Estos organismos se conocen como fósiles índice; ejemplos de ellos son los foraminíferos planctónicos, conodontos o nannoplacton.

Como lo mencionamos anteriormente, existen también otras unidades basadas en otros criterios, como la edad o la polaridad magnética; sin embargo, son menos utilizadas ya que para su identificación es indispensable contar con la información litoestratigráfica y bioestratigráfica.

### Relación de la estratigrafía con otras disciplinas

Como hemos visto, el desarrollo de la estratigrafía como ciencia está íntimamente ligado al de otras, como la Química, Física, Matemáticas y la Biología. Gracias al avance de ellas, se han podido desarrollar diversas disciplinas, como la Magnetoestratigrafía, estudio del magnetismo remanente en las rocas (Barragán *et al.* 2010). El hallazgo de que el campo magnético de nuestro planeta cambia periódicamente y que los materiales rocosos marinos registran periodos de polaridad normal o invertida.

Otro ejemplo más refiere a la Estratigrafía Cuantitativa. Esta rama de la Estratigrafía engloba métodos gráficos, numéricos y

experimentales con el fin de refinar la resolución estratigráfica de diversas secuencias rocosas y los estudios de modelado de cuencas (Koutsoukos 2005).

El fechamiento y el control del tiempo son esenciales en todas las disciplinas de las Ciencias de la Tierra, ya que permiten correlacionar secuencias rocosas de localidades diferentes y distantes (marinas y continentales, por ejemplo) (Langereis, *et al.* 2010). Los avances que se han dado en el estudio de materiales radioactivos para calcular la edad de los sedimentos y rocas han dado origen a la Geocronología o Estratigrafía Radiométrica (sensu Koutsoukos, 2005), la cual tiene como objetivo determinar la secuencia temporal de los eventos geológicos en la historia de la Tierra.

### ¿Por qué son importantes los estudios estratigráficos?

Como hemos visto, la estratigrafía es un área del conocimiento multidisciplinaria, cuyo estudio aporta información relevante acerca de diversos tópicos. Al igual que el resto de las Ciencias de la Tierra, la Estratigrafía permite la reconstrucción de los eventos geológicos, y por tanto, la historia geológica de nuestro planeta. Gracias a ella, es posible establecer relaciones de tiempo y continuidad, y como hemos mencionado, correlacionar depósitos en lugares geográficamente distantes. Más aún, los procedimientos estratigráficos se utilizan para reconstruir la historia de cuerpos extraterrestres (Barragán *et al.* 2010).

Además de ello, con la Estratigrafía es posible realizar prospecciones exitosas de sitios con materiales económicamente importantes, como el petróleo y el gas. El entendimiento de las condiciones que originan los materiales, así como su disposición temporal y espacial permiten predecir zonas en las que se contengan éstos. Un ejemplo es la Planicie Costera del Golfo de México, la cual aloja secuencias sedimentarias con una alta concentración de combustibles fósiles (gas y petróleo). El estudio de las primeras prospecciones permitió localizar posteriormente diversos depósitos importantes económicamente.

Durante las décadas siguientes, ante la escasez por la explotación de los hidrocarburos y otros materiales alojados en la Tierra, como los minerales, el trabajo estratigráfico estará enfocado en el descubrimiento de reservas susceptibles de explotarse que cubran una producción suficiente para satisfacer las necesidades de la sociedad. Desde hace varios años, en China, por ejemplo, la correcta interpretación de datos estratigráficos predijo la ubicación de reservas de hidrocarburos de origen no marino en la Formación Dongying, ubicada en Fujian (Tailiang 1999).

A pesar de su importancia y su tradición histórica, la Estratigrafía no es una disciplina que forme parte comúnmente de los planes de estudio en carreras científicas, ni que goce de una popularidad entre la sociedad. Sin embargo, la información estratigráfica permite la generación del conocimiento científico de nuestro planeta y repercute en la economía de los países, por lo que urge su crecimiento, principalmente en aquellas naciones que cuenten con recursos minerales e hidrocarburos que puedan contribuir a su desarrollo.

### Agradecimientos

A Eduardo Jiménez Hidalgo (Universidad del Mar) por la revisión crítica a la primera versión de este manuscrito, así como a Raúl Carrillo López (Universidad de Guadalajara) por sus comentarios y sugerencias.

### Referencias

- Barragán, R., E. Campos-Madriral, I. Ferrusquía-Villafranca, I. López-Palomino & G. Tolson (traductores). 2010. Código Estratigráfico Norteamericano. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Boletín 117: 1-48.
- Brookfield, M.E. 2004. Principles of Stratigraphy. Blackwell Publishing, United Kingdom, 256 pp.
- Koutsoukos, E.A.M. 2005. Stratigraphy: Evolution of a Concept. Pp: 3-19 In: Koutsoukos, E.A.M. (ed). Applied Stratigraphy. Springer, the Netherlands.
- Langereis, C.G., W. Krijgsman, G. Muttoni y M. Mennig. 2010. Magnetostratigraphy- Concepts, definitions and applications. Newsletter on Stratigraphy 43 (3): 207-233.
- MacLeod, N. 2005. Stratigraphic principles. In Selley, R.C., L.R.M. Cocks y I.R. Plimer (eds.). Encyclopedia of Geology. London, Academic Press. 295-307 pp.
- Vera-Torres, J.A. 1994. Estratigrafía: Principios y Métodos. Ed. Rueda. Madrid. 806 pp.
- Tailing, F. 1999. A successful case on sequence stratigraphy applied to the prediction of non marine oil reservoir. Consultado el 28 de octubre de 2011: [en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-SYXB902.002.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-SYXB902.002.htm)

**Recibido:** 7 de noviembre de 2011

**Aceptado:** 19 de diciembre de 2012