

¿QUÉ PODEMOS SABER DEL PASADO GEOLÓGICO DE RICLA? NICOLÁS STENO Y LOS PRINCIPIOS METODOLÓGICOS DE LA GEOLOGÍA

LEANDRO SEQUEIROS¹ | UNIVERSIDAD DE GRANADA

RESUMEN

Este ensayo tiene relación con la introducción didáctica que ya hicimos en las *V Jornadas Aragonesas de Paleontología* de Ricla (1997). En esta ocasión, partiendo de la celebración de los 25 años de la publicación del libro *Geología de Aragón. Rocas y Fósiles* (LIÑÁN Y SEQUEIROS, 1978) se ofrece una reflexión desde la filosofía de la ciencia sobre lo que podemos saber de la vida del pasado a partir del registro geológico. Y se rinde un homenaje a aquél que puso las bases metodológicas de las ciencias de la Tierra: el naturalista danés Nicolás STENO, autor del *Pródromo* (1669). Los principios de continuidad horizontal y de superposición supusieron los pilares epistemológicos de la Geología y de la Paleontología. Pero la filosofía inductivista baconiana, que cumplió un gran papel en el desarrollo inicial de las ciencias, está hoy siendo sustituida por las epistemologías hipotético-deductivas.

Palabras clave: Ricla, Estratigrafía, Paleontología, Filosofía, Nicolás Steno, Historia de la Geología, Pródromo, Superposición, Estratos, Método científico.

ABSTRACT

The present paper is related with the introduction for science teaching presented in the *V Jornadas Aragonesas de Paleontología* in Ricla (1997). Taking as starting point the 25th years celebration of the publication of the book *Geología de Aragón. Rocas y Fósiles* (LIÑÁN and SEQUEIROS, 1978), offers now from the science philosophy a brief cogitation about what can we learn from the life in the past based on the geological record. And offers also a tribute to Danish naturalist Nicholas STENO, author of the *Prodromus* (1669) who established the

¹ Depto. de Filosofía. Facultad de Teología. Universidad de Granada. Apartado 2002. E-18080 Granada. España. C/e: lsequeiros@probesi.org.

methodological basis in Earth Sciences. The principles of horizontal continuity of beds and strata superposition one, supposed the epistemological pillars of Geology and Palaeontology. But the Baconian inductivist philosophy, carrying out a great role in the early sciences development, it is replace to day for the hypothetical deductive epistemology.

Key words: Ricla, Stratigraphy, Palaeontology, Philosophy, Nicholas Steno, History of Geology, Prodrumus, Superposition, Strata, Scientific method.

INTRODUCCIÓN

Cuando los geólogos y los paleontólogos, profesionales o aficionados, se acercan a los costados de Ricla o a cualquier otro punto de interés geológico y paleontológico de Aragón, ¿qué es lo que pueden saber? ¿Qué conocimientos podemos obtener, a partir de lo que se observa, de lo que ocurrió hace millones de años? Es la pregunta que se hacen los paleontólogos desde hace varios siglos (SEQUEIROS, 2001a, b). Y es la pregunta que se viene haciendo en estas *Jornadas de Ricla*, calificadas como «modélicas» por la ponencia del Ministerio de Educación para la Educación Secundaria (AGUIRRE, 2003).

Por lo general, cuando este saber sobre la naturaleza de Ricla tiene pretensiones científicas, se dice entonces que se obtiene un **conocimiento geológico** científico, objetivo y racional de ese entorno, de sus rocas y de sus fósiles (fig. 1). Estos datos de observación directa con la rocas permiten reconstruir la historia geológica remota de estos entornos y responder a algunas preguntas básicas: ¿cuándo se depositaron los sedimentos que dieron lugar a las rocas estratificadas?, ¿qué organismos vivían en aquellos espacios y cómo dieron lugar a los restos fósiles que hoy observamos y estudiamos?, ¿cómo esos organismos evolucionaron a lo largo de millones de años?, ¿qué sabemos de su modo de

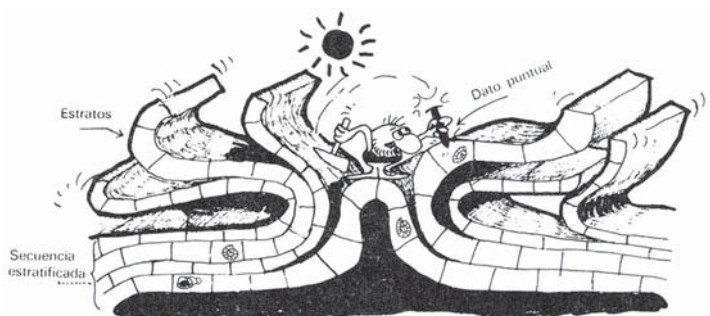


Figura 1. El geólogo no inventa. A partir de los datos científicos observados en las rocas y los fósiles reconstruye la sucesión estratificada. Con la información de muchas sucesiones se reconstruye espacialmente la geología regional. (Tomado de Liñán y Sequeiros, 1978.)

vida, de su alimentación, de la estructura tanto de las poblaciones como de las comunidades, y sobre cómo evolucionaron los ecosistemas?

En definitiva, la Paleontología y los paleontólogos han intentado descifrar estas preguntas a partir del estudio minucioso de lo que ha sido considerado como el «registro geológico». Este es un archivo muy incompleto, pero que se considera suficiente, debido a que alberga una gran cantidad de información para reconstruir muchos procesos geológicos del pasado remoto (PEDRINACI y SEQUEIROS, 1999).

Pero un estudio científico (y más aún geológico y paleontológico) siempre tiene límites en su conocimiento (SEQUEIROS, 1991). Por ello, debe tenerse muy presente que el conocimiento científico (y en particular el de la Geología y el de la Paleontología) depende de la cosmovisión dominante en cada momento histórico (SEQUEIROS, 2002a, b, c). Esto hace que las ideas paleontológicas evolucionen con el transcurso del tiempo dando lugar a la persistencia de ideas antiguas junto a la emergencia de nuevas concepciones (SEQUEIROS, 2002c, 2004).

En este trabajo que presentamos a los participantes en estas *VIII Jornadas Aragonesas de Paleontología* (que pretenden ser un homenaje al profesor Peter Carls y a la cooperación internacional en la Paleontología española), ofrecemos una breve síntesis del pensamiento geológico de Nicolás Steno, un anatomista danés del s. XVII, que puso uno de los fundamentos del saber sobre la interpretación de los fósiles. Precisamente, su trabajo fundamental, al que se llama el *Pródromo*, no había sido traducido al castellano hasta ahora (SEQUEIROS, 2003). La obra de Steno, escrita hace casi tres siglos y medio, contiene los principios metodológicos que hoy nos permiten viajar mentalmente hacia atrás en el abismo del tiempo geológico y por ellos podemos esbozar una correcta interpretación de la lejana historia de los fenómenos geológicos pretéritos. Pese a que algunas interpretaciones de Steno están desfasadas (lo cual es explicable), la sustancia de su pensamiento permanece viva hasta nosotros y colabora desde el pasado al conocimiento de lo que aquí en Ricla observamos.

Estas reflexiones se organizan en tres partes: en la primera, procedemos a un acercamiento epistemológico (es decir, desde el prisma de la filosofía de las ciencias) al conocimiento paleontológico del entorno geológico de Ricla. En una segunda parte, recogemos la herencia de Steno para reflexionar sobre los principios que fundamentan las ciencias de la Tierra en general y la Paleontología en particular. Por último, en la tercera parte, avanzamos un poco más en la consideración intentando superar el viejo inductivismo heredado de Bacon y que hoy se expresa en la moderna filosofía de la ciencia.

EL CONOCIMIENTO PALEONTOLÓGICO DE RICLA Y LOS PRINCIPIOS METODOLÓGICOS DE LA GEOLOGÍA

Con ocasión de los 25 años de la publicación de un modesto librito (*Geología de Aragón, rocas y fósiles*) (fig. 2) que vio la luz en la imprenta cuando nacían, casi a la par, la Sección de Geología de Zaragoza y la autonomía aragonesa (LIÑÁN y SEQUEIROS, 1978), ha parecido de interés abundar en los aspectos históricos del conocimiento geológico. Las preguntas y las respuestas

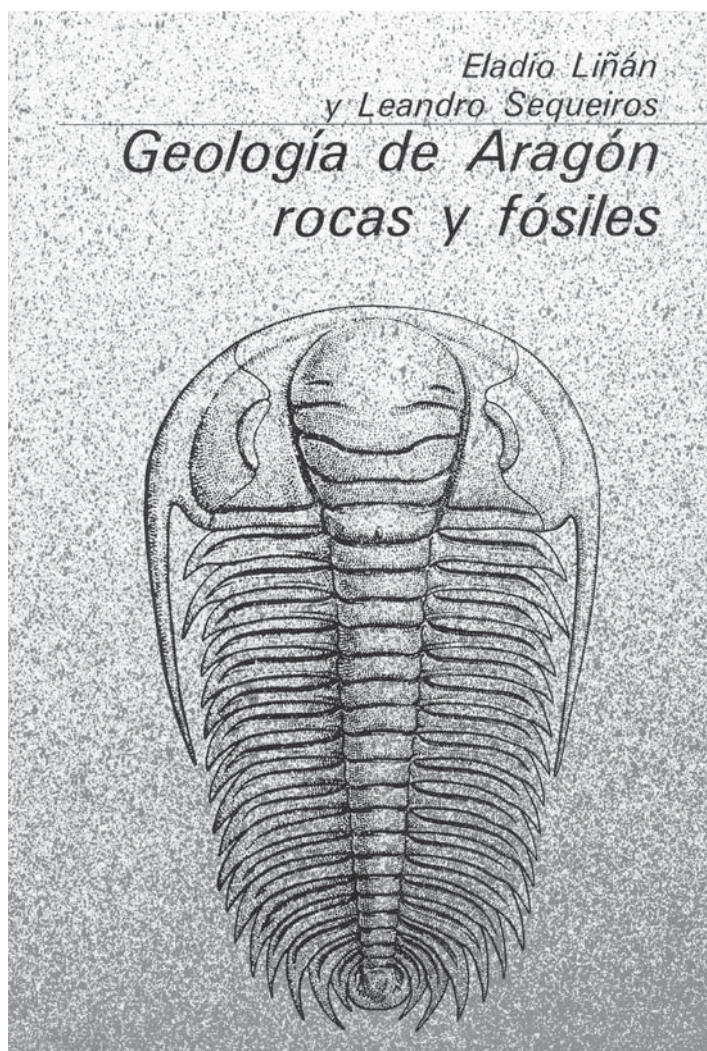


Figura 2. Portada del libro *Geología de Aragón. Rocas y fósiles* de E. LIÑÁN y L. SEQUEIROS, del que se cumplen 25 años.

que hoy los paleontólogos se hacen sobre los fósiles de Ricla en particular y de cualquier entorno geológico en general suponen unos principios filosóficos básicos que ya no se discuten. Así, dos de los principios metodológicos de la Geología, el de la *continuidad horizontal de los estratos* y el de la *superposición de los estratos* (definidos magistralmente por el danés Nicolás Steno en 1669), contradecían muchas de las formulaciones que se habían hecho hasta entonces por los naturalistas (LIÑÁN y SEQUEIROS, 1978; SEQUEIROS, 2002c). Estos principios geológicos (que hoy aceptamos sin dificultad) suponen que el proceso de sedimentación ha sido gradual (aunque no se excluyen con intermitencias) durante millones de años y que la sucesión de estratos (sobre todo si tienen fósiles) permite reconstruir largas secuencias del tiempo pasado remoto. Lo que sabemos del pasado lo conocemos gracias a este principio metodológico que fue completado varios siglos más tarde por el lúcido abogado y geólogo Charles Lyell (VIRGILI, 2003) que desarrolló el principio actualista de James Hutton transformándolo en el principio de uniformidad (CABEZAS OLMO, 2002; Virgili, 2003).

En un trabajo publicado con ocasión de *las V Jornadas de Paleontología aragonesa de Ricla* (MARTÍNEZ *et al.*, 1997) nos hemos referido a los aspectos didácticos de la geología y de la paleontología de Ricla y Aguilón. En un mensaje dirigido a los educadores que deseen llevar a sus alumnos al campo y que éstos obtengan un conocimiento de procesos y fenómenos ocurridos hace millones de años, se insistía allí en el desarrollo de un método de aprendizaje de la Geología en el campo que hemos denominado constructivista por tratamiento de problemas (PEDRINACI *et al.*, 2002) que nos parecía adecuado para la llamada «alfabetización científica» de la ciudadanía (PORLÁN, 1993; AGUILAR, 1999; LÓPEZ SANCHO, 2003).

NICOLÁS STENO Y LOS PRINCIPIOS METODOLÓGICOS DE LA GEOLOGÍA

El anatomista y naturalista danés Nicolás Steno (1638-1686) ha pasado a la historia de la ciencia porque propuso alguno de los grandes «principios metodológicos» sobre los que se asientan las ciencias de la Tierra. Por ello puede situarse con toda razón en las raíces del árbol del conocimiento sobre el planeta Tierra. Junto con Hutton, Lyell y Darwin puede ser considerado como uno de los fundadores de la Geología como ciencia (RUDWICK, 1987; ELLENBERGER, 1989; SEQUEIROS, 2001a, 2001b; DUQUE, 2002; CABEZAS OLMO, 2002; VIRGILI, 2003).

La obra más citada de Steno, pese a su breve extensión, es el *De Solido intra Solidum Naturaliter Contento Dissertationis Prodromus* (más conocida por la última de las palabras, que castellanizada es el *Pródromo*) (SEQUEIROS, 2003). Steno, oponiéndose a las ideas precientíficas de su tiempo, mostró que los fósiles

les eran restos de animales y plantas que habían vivido en el pasado (LIÑÁN y SEQUEIROS, 1978; SEQUEIROS, 2001b, 2002c; 2003, 2004). Algo que hoy nos parece normal pero que hace tres siglos era difícil de entender.

El gran mérito de Steno es haber definido conceptos nuevos para la Geología, como el concepto de **estrato** y haber enunciado los principios geológicos de **continuidad de los estratos** y de **superposición de los estratos**. Gracias a éstos, la Geología se convierte en una ciencia histórica que pretende reconstruir la historia del pasado.

Breves datos biográficos de Nicolás Steno

Para poder entender en su contexto las ideas de Steno será conveniente situarlo en el marco de su propio itinerario científico. Niels Stensen o Steensen (más conocido por el nombre latinizado de Nicolaus Steno, o Nicolás Steno, en castellano) (fig. 3) nació en Copenhague el 11 de enero (según el calendario gregoriano) de 1638 (SCHERZ, 1969; RUDWICK, 1987; SCHERZ y BECK, 1988; ELLENBERGER, 1989; BUFFETEAUT, 1991). Su padre era orfebre. Su familia era muy religiosa, de estricta observancia luterana, por lo que la interpretación literal de la biblia, la creencia en los siete días físicos de la creación y en el Diluvio Universal eran básicos en su pensamiento.

En 1656, en la Universidad de Copenhague, Steno realiza estudios de medicina. Entre 1660 y 1664, con su nombre ya latinizado de Steno o Stenonius (en Francia firma como Stènon) vive en Holanda, principalmente en Leyden, desde 1660, donde se dedica a fecundas investigaciones anatómicas que le dan a conocer a la incipiente comunidad científica. Regresó a Dinamarca con el deseo de obtener una cátedra universitaria, pero al no lograrlo decidió volver al extranjero. En el año 1665 y principios de 1666, Steno está en París, donde estudia temas relativos al embrión y al cerebro. En 1666 tenemos ya a Steno establecido en la Toscana, en la corte del gran duque Fernando II de Florencia, su protector.

Los años 1666-1669 habrán de ser extraordinariamente fecundos para Steno. Desde hacía mucho tiempo, realizaba disecciones de animales, incluidos los peces (hay una carta de 1664 muy interesante sobre la anatomía de la raya). Unos tiburones embarrancados en la costa de Toscana le proporcionarán la ocasión de continuar estos estudios. Poco después, inicia la redacción de una gran obra de síntesis. Sin embargo, la magnitud del proyecto lo desbordaba por lo que sólo llegó a publicar un extracto, un anticipo, una entrada: el *Pródromo*. Éste vio la luz en 1669. No se conoce con exactitud por qué Steno suspendió su gran proyecto intelectual. No parece que fuera por razones de censura, pues el *Pródromo* lleva dos *Imprimatur* del Santo Oficio. Tal vez pueda estar rela-



Figura 3. Uno de los escasos retratos de Nicolás Steno.

cionado con su conversión al catolicismo unos años antes (en 1667) o con algunos asuntos desagradables que, al parecer, le sucedieron y de los que sabemos muy poco. Steno falleció el 5 de diciembre de 1686 en Schewerin, sin haber cumplido aún los 49 años.

Nicolás Steno como científico

La obra científica de Steno es de una gran amplitud, pese a que su actividad científica culmina cuando tiene 35 años. Sus escritos científicos muestran que a Steno se deben, entre otros, la primicia de ser el primero en establecer la ley de constancia de los ángulos diedros en los cristales; descubrió el conducto excretor (el «conducto de Steno») de las glándulas parótidas, que desembocan en la cavidad bucal (SEQUEIROS, 2003).

A él se debe la formulación del concepto de estrato, y los principios de sucesión de los estratos y de la superposición de los estratos. Realizó notables investigaciones embriológicas y experimentó en animales una oclusión de la aorta, a través de las paredes abdominales, con lo cual se quedan paralizadas las extremidades inferiores por anemia de la médula espinal.

Fruto de su trabajo investigador como anatomista y geólogo en Florencia hacia 1666 es uno de los dos trabajos más concienzudos de Steno: el estudio de la cabeza del tiburón que le encargó Fernando II y que lleva por título *Elementorum myologiae specimen, seu musculi descriptio geometrica. Cui accedunt Canis Carchariae dissectum caput et dissectis piscis ex canum genere...* Fue publicado en Florencia en 1667. Tiene 123 páginas y 7 láminas que se han

hecho famosas. Consta de tres partes: la primera de ella se refiere a las observaciones sobre la Anatomía del tiburón (llamado entonces *Canis Carchariae*). La segunda parte contiene las observaciones sobre los dientes del tiburón y su comparación con las *Glossopetrae* de la Isla de Malta, interpretados como restos de seres vivos y no como objetos curiosos. La tercera parte es el estudio pormenorizado de estos dientes desde el punto de vista que hoy llamaríamos paleontológico, y que le abrirán al proyecto más ambicioso, como es el del estudio de las rocas y los fósiles de Toscana.

El final de esta memoria anatómica sobre la cabeza de *Canis Carchariae* está dedicado al problema del origen de los fósiles e introduce una idea capital: «*las capas de la tierra por debajo de nosotros son "estratos", antiguos sedimentos sucesivos*» (conjeturas 1,2, 3, 4, 5, 6). Las palabras *estratos* y *sedimentos* son utilizados ya en sentido moderno, lo que será recogido en el *Pródromo*.

Steno pensaba escribir un gran tratado sobre el significado de esos cuerpos rocosos incluidos dentro de otros cuerpos y que encontraba una y otra vez en los campos de Volterra. Su protector, el Gran Duque Fernando II, le apremia a terminar sus investigaciones. Por ello, decide escribir un anticipo, una síntesis del estado de su pensamiento. Es el *De Solido intra Solidum Naturaliter Contento Dissertationis Pródromo*. Fue editado a cargo del propio Nicolás Steno en Florencia, y vio la luz en abril del año 1669.

Los principios metodológicos del *Pródromo* de Nicolás Steno (1669)

Ya se ha dicho más arriba que los principios metodológicos contenidos en el *Pródromo* de Steno, abrieron las puertas a la posibilidad de interpretar y reconstruir la historia pasada de la Tierra a partir de los datos que se observan en la superficie rocosa considerada como *registro geológico* (PEDRINACI y SEQUEIROS, 1999).

Tanto SCHERZ (1969: 25-28) como ELLENBERGER (1989: 206-213) han presentado esquemas de los contenidos del *De Solido intra Solidum Naturaliter Contento Dissertationis Prodrromus* de Nicolás Steno. Estas son las partes principales tal como se han adoptado aquí. Las primeras páginas se suelen considerar como una exhortación inicial. En ellas, Steno tras dedicar su obra al Gran Duque de Florencia, Fernando II, manifiesta que él parte de sus propias observaciones en las montañas de Toscana. Lo describe minuciosamente:

«*Visitadas una y otra vez las tierras donde salen a la luz las conchas y otros tipos de restos marinos, hice notar que estos suelos fueron sedimentos originados por un mar de aguas turbias, y que era posible calcular hace cuánto tiempo estuvo en cada lugar el mar de aguas turbias; en un primer momento, me pareció que todo lo que allí interpretaba iba a ser una investigación que llevaría breve*

tiempo. Pero en ello me engañaba, e incluso se engañaban otros que sacaban conclusiones prematuras».

Por tanto, la obra de Steno sigue los dictados de la filosofía natural de Francis Bacon (SEQUEIROS, 1999) quien en 1620 había publicado su *Novum Organon*, la alternativa a la vieja lógica formal aristotélica. Para Bacon, el conocimiento verdadero proviene de la observación y de la experimentación. Lo cual está implícito en el texto siguiente de Steno:

«No conociendo, por tanto, qué otros experimentos y estudios me estarán esperando, pienso que es mejor pararse ahora en estas cosas referentes a un cuerpo rocoso sólido encerrado en otro cuerpo rocoso sólido, que son una señal para vos de mi gratitud por los favores que he recibido, y me dan la oportunidad para otros trabajos relacionados con el cultivo de los estudios de física y geografía, que según mis deseos he llevado a cabo para mi descanso y con gran provecho y con dedicación».

La primera parte puede considerarse (SEQUEIROS, 2003) como una fundamentación histórico-filosófica del problema de los cuerpos rocosos con aspecto de conchas que están incluidos dentro de otros. En ella, Steno resume las posturas de los naturalistas sobre la interpretación de la naturaleza y origen de los cuerpos sólidos incluidos dentro de otros sólidos: ¿qué hacen tan lejos del mar?, ¿cómo se han producido de forma natural? De alguna manera, Steno expone el estado de la cuestión, elemento fundamental en toda investigación científica.

Y más adelante dice:

«Pero otros muchos cuerpos se encuentran dentro de las rocas y están dotados de formas particulares. Si alguien dijera que se han producido por una fuerza que existe en el terreno, es necesario admitir que todos estos restos se podrían haber producido por la misma fuerza. Por tanto deduje que si son producidos por la misma fuerza del terreno, hay que admitir necesariamente que se han formado en ese mismo lugar en que han sido encontrados. Esto es, que debería tomarse en consideración tanto la naturaleza del lugar donde se encuentran como la naturaleza del lugar en donde se han producido. Pero nadie puede determinar el lugar de producción si desconoce el modo de producción; y todas las discusiones sobre el modo de producción son inútiles a menos que tengamos un conocimiento cierto de la naturaleza de la materia [rocosa]. De aquí se deduce que es patente la gran cantidad de problemas que deben ser resueltos antes para poder llevar a término esta línea de investigación.»

Supuestas estas hipótesis de trabajo, Steno propone en la segunda parte del *Pródromo* cuáles deben ser los principios metodológicos necesarios para una recta investigación geológica y paleontológica. Reproducimos algunos textos más significativos:

«En la segunda parte se resuelve un problema general del que depende la explicación de dificultades particulares, como es: dado un cuerpo dotado de cier-

ta figura y originado según las leyes de la naturaleza, poder encontrar en la misma sustancia argumentos para explicar el por qué está ahí y la manera cómo se ha producido. *Aquí, antes de acometer el problema que debe conducir a la solución, me esforzaré en exponer los significados de todos los términos para que no haya disputas entre las escuelas de filósofos y para no dejar duda alguna sobre ellos.*

Steno intenta abordar la resolución de un problema universal:

«Dado un cuerpo dotado de una forma y producida según las leyes de la naturaleza, hallar en el cuerpo mismo las pruebas que establecen el lugar y el modo de producción.»

Tras precisar algunos términos básicos (cuerpo natural, partículas, fluidos, movimiento, causa primera) propone los principios metodológicos, de inspiración baconiana, que guían su investigación. Estos principios metodológicos son tres: el primero de ellos es: *«Si un cuerpo sólido está rodeado por todas partes por otro cuerpo sólido, el que se ha endurecido en primer lugar es aquél que en el contacto mutuo esculpe por sí mismo los caracteres de su forma superficial en la superficie del otro.»*

El segundo principio: *«Si un cuerpo sólido es desde todos los puntos de vista semejante a otro cuerpo sólido, no sólo en los caracteres superficiales sino también en la organización interna de cada parte y de las partículas, también es semejante a él en lo que se refiere al modo y lugar de producción, si se exceptúan aquellas condiciones del lugar en que ha sido encontrado en algunos lugares, que se encuentran con frecuencia en un lugar dado, y que no presentan ni ventajas ni inconvenientes en cuanto a la producción del cuerpo.»*

Y el tercero: *«Si un cuerpo sólido ha sido producido de acuerdo con las leyes de la Naturaleza, éste ha sido producido por un fluido. En la producción de un cuerpo sólido debe tenerse en cuenta no sólo sus caracteres generales, sino también sus caracteres específicos; yo confieso, pues, abiertamente que la interpretación de la producción de la mayor parte de los cuerpos no sólo es para mí motivo de duda, sino que incluso me es muchas veces desconocida.»*

Con estos principios, Steno aborda en la tercera parte la correcta interpretación de los cuerpos rocosos (SEQUEIROS, 2003). Steno pasa revista a las incrustaciones, los estratos, las montañas, los minerales y rocas y los cristales. Y a continuación estudia los «fósiles» de origen biológico. Es un breve y preciso tratado de Geología, de Cristalografía y de Paleontología.

La pregunta radical que se hace es: ¿cómo se forman los estratos? Esta es su propuesta:

«Los sedimentos se forman, pues, cuando los contenidos de un fluido caen por su propio peso al fondo, bien porque éstos están contenidos en el fluido o bien por-

que son secretados gradualmente a partir de las partículas del mismo fluido; y esto tanto en la superficie superior como igualmente en todas las partículas del fluido.»

Tras esto, ya puede afirmar cosas sobre la posición de los estratos:

«Sobre la interpretación de la posición de los estratos, pueden considerarse como afirmaciones ciertas las que van a continuación:

1. En el momento en el que se estaba formando un estrato cualquiera, bajo éste existía ya antes otro cuerpo, que impedía a los materiales que se presentan en forma de polvo descender más abajo. Por este hecho, en el momento en que se formaba el estrato situado más abajo, había bajo él, o bien otro cuerpo sólido, o bien, un fluido. Pero si se trataba de un fluido, éste era de naturaleza diferente a la del fluido situado en posición superior y era más pesado que el sedimento sólido de este fluido superior.

2. En el momento en que se formaba uno de los estratos situados encima, el estrato inferior habría ya adquirido una consistencia sólida.

3. En el momento en que se formaba un estrato cualquiera: o bien éste estaba limitado por sus lados por otros cuerpos sólidos, o bien el estrato cubría todo el globo de la Tierra. De aquí se sigue que en cualquier lugar de la tierra que se considere, cuando se observan los lados desnudos de los estratos, hay que, o bien buscar la continuación de estos mismos estratos, o bien encontrar este otro cuerpo sólido que ha frenado la materia rocosa de los estratos impidiéndoles extenderse más lejos.

4. En el momento en que se formaba cualquier estrato, la materia que estaba situada por encima de él era toda ella fluida; debido a este hecho, en el momento en que se formaba el estrato más bajo no se había formado aún ninguno de los estratos superiores.»

Aquí tenemos condensadas las definiciones de los principios geológicos de *continuidad* y *superposición de los estratos*. Una vez propuestas algunas hipótesis sobre la formación natural de los estratos y de las montañas, resta pasar revista a la naturaleza de las conchas fósiles:

«La producción de todas ellas la explico de la siguiente manera: allí donde la fuerza de penetración de los jugos disolvió la sustancia de las conchas y, o bien hubiera absorbido la tierra de su interior, éstos mismos fluidos dejaron espacios vacíos dentro de las conchas (lo que aquí llamo conchas 'de aire'); o bien han cambiado de composición cuando acontece que llega una nueva materia, y han llenado dichos espacios de la concha ya sea con cristales o con mármol o con piedras, de acuerdo con la variedad del material; aunque la clase más bella de mármol, el que llaman Nefrini, tiene su origen de esta manera; y no habiendo otra cosa más que el sedimento del mar, que llena toda clase de conchas de todo tipo, de aquí que el material rocoso ha reemplazado la sustancia descompuesta de las conchas.»

Para concluir el *Pródromo*, Steno aborda en la cuarta parte el problema de la reconstrucción histórica de la Toscana desde el origen de los tiempos hasta

la actualidad para lo que aplica el método y los principios anteriores. Como buen creyente, insiste en que sus ideas científicas de la Naturaleza están en concordancia con los datos revelados en las Escrituras. Es el primer trabajo bien fundamentado de Geología histórica que se conoce.

Este esquema, como puede verse, revela de algún modo, la intuición epistemológica de Steno, de acuerdo con la lógica clásica y con el método inductivista baconiano: en primer lugar, establece el marco de referencia histórico y filosófico en el que va a desarrollarse el proyecto de investigación. Propone Steno en la segunda parte el marco metodológico para poder llegar a interpretar correctamente, de acuerdo con la fundamentación y la metodología, qué significado tienen los «sólidos dentro de otros sólidos». Y todo lo anterior, lo aplica al conocimiento geológico de la Toscana, de modo que tenemos aquí, bien asentada científicamente, la historia geológica de un entorno geográfico natural, y en su opinión, esta reconstrucción no se opone a la doctrina de las Escrituras.

MÁS ALLÁ DE LAS IDEAS DE STENO: EMERGENCIA DE UN MÉTODO CIENTÍFICO QUE SUPERA EL INDUCTIVISMO

Nadie duda del papel de Steno en la construcción de los principios básicos de las ciencias de la Tierra y de la Paleontología. Mediante los principios de *continuidad horizontal* y de *superposición de los estratos* los geólogos y los paleontólogos podemos considerar que las secuencias de estratos de Ricla y de otros entornos geológicos son auténticos «archivos» (PEDRINACI y SEQUEIROS, 1999) que encierran una preciosa información sobre la historia pasada de la Tierra. Esos estratos provienen de unos sedimentos que se han ido depositando horizontalmente en el fondo de un medio marino. Siguen una secuencia temporal que por lo general está ordenada (a menos que la tectónica los haya dislocado). Se continúan lateralmente (lo que permite hacer correlaciones temporales) y que contienen unos restos fósiles que son los restos mineralizados de seres vivos del pasado cuyas partes duras se depositaron por lo general contemporáneamente a la sedimentación.

Estas son las tesis más esenciales del *Pródromo* de Steno, y que han sido esenciales para el desarrollo de la Estratigrafía y de la Paleontología en estos tres siglos anteriores. Pero las tesis de Steno no son inflexibles. Modernamente, ha emergido una nueva disciplina científica que cobra cada vez más fuerza: la **Tafonomía** (una buena síntesis de ella puede encontrarse en FERNÁNDEZ LÓPEZ, 2000). Según sus planteamientos, el camino que lleva desde el resto fósil que hoy nos encontramos hasta la reconstrucción del lugar, tiempo y modo de vida hace millones de años es muy complejo y tortuoso (SEQUEIROS, 1991, 1999).

El fósil nos nos habla «directamente» sino que es necesario someter la información inmediata a la criba de los métodos tafonómicos. La información inmediata puede estar deformada por muy diferentes procesos. Téngase en cuenta que desde que un ser vivo muere hasta que los restos mineralizados son encontrados en los estratos, no sólo han transcurrido millones de años sino también procesos activos que modifican y enmascaran la información original.

Pero hay un segundo elemento a destacar en este intento de matización y de superación de algunas las ideas de Steno: el método científico baconiano de observación, de toma de datos, de tabulación de los mismos y de generalización empírica por inducción debe ser hoy purificado por las nuevas epistemologías. La moderna teoría del conocimiento es consciente de la subjetividad de todo conocimiento aunque exista una adecuación entre el objeto conocido y la imagen que se construye en la mente del científico (SEQUEIROS, 1999). El camino que lleva de la simple *observación* a las *conclusiones* pasa necesariamente por procesos cognitivos más complejos que invalidan muchas de las tesis del empirismo vulgar, como ha mostrado el método hipotético-deductivo (SEQUEIROS, 1991, 1999). El científico, el geólogo y el paleontólogo no *deducen* directamente de sus observaciones la conclusión definitiva, como postulaba el ideal inductivista. El científico, el geólogo y el paleontólogo se acercan a la realidad, observan, emiten hipótesis que someten a su «falsación» y con todo ello *construyen modelos explicativos* (lo que Karl Popper llamó *teorías* en un sentido mucho más técnico) (SEQUEIROS, 2001c) que pretenden sólo *interpretar* provisionalmente esos datos proponiendo *explicaciones racionales* que tienen vigencia en tanto no se encuentre otra alternativa que tenga un mayor poder explicativo.

Esto no quiere decir en absoluto que las tesis de Nicolás Steno hayan perdido vigencia. Muy recientemente el prestigioso físico Stephen Hawking ha publicado un libro cuyo título parafrasea a Newton: *A hombros de gigantes* (HAWKING, 2003). De igual modo podemos decir que los grandes paradigmas de las ciencias (SEQUEIROS, 2002a; 2002b; 2002c; 2004; SEQUEIROS y ANGUITA, 2003), y en particular los de las ciencias de la Tierra, de la Geología y de la Paleontología, se construyen sobre los hombros de los gigantes del pasado, como Nicolás Steno, pero desde esa altura se puede vislumbrar el horizonte más amplio.

CONCLUSIONES

Nos preguntábamos al inicio de este trabajo qué es lo que podemos saber del pasado geológico (y por ello paleontológico) de Ricla. Y en continuidad con la introducción didáctica que ya hicimos (MARTÍNEZ *et al.*, 1997) en las *V Jornadas Aragonesas de Paleontología* de Ricla. En esta ocasión, partiendo de

la celebración de los 25 años del libro *Geología de Aragón. Rocas y Fósiles* (LIÑÁN y SEQUEIROS, 1978) se ha ofrecido una reflexión desde la filosofía de la ciencia.

En gran anatomista y naturalista danés Nicolás Steno, puso las bases metodológicas. Fue autor, entre otras, de una obra pequeña que quiso ser anticipo de otra mayor que nunca publicó: el *De Solido intra Solidum Naturaliter Contento Dissertationis Prodromus*, más conocida como el *Pródromo*, que fue publicada en 1669. En ella se establecieron los principios de continuidad horizontal y de superposición que supusieron los pilares epistemológicos de la Geología y de la Paleontología.

Se ha mostrado también que los principios de una ciencia emergente, la Tafonomía, van más allá de la filosofía inductivista baconiana, en la que se basa la obra de Steno. Éste cumplió un gran papel en el desarrollo inicial de las ciencias de la Tierra. Pero hoy sus principios, sus métodos y la filosofía oculta están siendo sustituidos por las epistemologías hipotético deductivas, tal como las describe Karl Popper. Esto no minusvalora ni invalida en absoluto la obra de Steno que continúa vigente en sus principios generales.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, T. 1999. *Alfabetización científica y educación para la ciudadanía*. Narcea, Madrid. 115 pp.
- AGUIRRE, E. 2003. Enseñanza de la Biología. Diversas ayudas institucionales. *In: Informe de la Ponencia sobre la situación de las Enseñanzas Científicas en la Educación Secundaria. Boletín Oficial de las Cortes Generales, Senado, Serie 1, 660* (22 de mayo de 2003), pp. 30-33.
- BUFFETEAUT, E. 1991. *Fósiles y Hombres*. Plaza y Janés, Barcelona. 356 pp. [Sobre todo, pp. 50-67.]
- CABEZAS OLMO, E. 2002. *La Tierra, un debate interminable. Una historia de las ideas sobre el origen de la Tierra y el principio de Uniformidad*. Prensas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza. 204 pp.
- DUQUE, J. 2002. La edad de la Tierra: evolución cronológica de una controversia en referencia a sus principales protagonistas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra [AEPECT]*, **10** (2), pp. 151-161.
- ELLENBERGER, F. 1989. *Historia de la Geología. Volumen 1. De la Antigüedad al siglo XVII*. MEC-Editorial Labor, Barcelona. 282 pp. [Sobre todo, pp. 194-258.]
- FERNÁNDEZ LÓPEZ, S. 2000. *Temas de Tafonomía*. Universidad Complutense, Madrid. 167 pp.
- HAWKING, S. 2003. *A hombros de gigantes. Las grandes obras de la Física y de la Astronomía*. Crítica, Barcelona. 1135 pp.

- LIÑÁN, E. y SEQUEIROS, L. 1978. *Geología de Aragón. Rocas y fósiles*. Colección Básica Aragonesa, 8, Editorial Guara, Zaragoza. 128 pp.
- LÓPEZ SANCHO, J. M. 2003. La alfabetización científica, una revolución pendiente en la enseñanza. In: Informe de la Ponencia sobre la situación de las Enseñanzas Científicas en la Educación Secundaria. *Boletín Oficial de las Cortes Generales, Senado*, Serie 1, **660** (22 de mayo de 2003), pp. 47-56.
- MARTÍNEZ, G.; MELÉNDEZ, G., y SEQUEIROS, L. 1997. Excursión al Jurásico de Aguilón y Ricla-La Almunia: aspectos didácticos y geológicos. In: *Memorias de las V Jornadas Aragonesas de Paleontología: «Vida y ambientes del Jurásico». Homenaje científico a la Prof. Asunción Linares*. (Eds. J. A. GÁMEZ VINTANED y E. LIÑÁN.) Institución «Fernando el Católico», Zaragoza, pp. 91-132.
- PEDRINACI, E. y SEQUEIROS, L. 1999. Conocer los archivos de la Tierra. *Alambique* [Graó], **22** (Octubre), pp. 9-16.
- PEDRINACI, E.; SEQUEIROS, L., y GARCÍA DE LA TORRE, E. 2002. El trabajo de campo en la enseñanza de la geología. In: *Las ciencias en la escuela. Teorías y prácticas*. (VV. AA.) Editorial Graó, Barcelona, pp. 125-137.
- PORLÁN, R. 1993. *Constructivismo y Escuela. Hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación*. Díada Editoras, Sevilla. 194 pp.
- RUDWICK, M. J. S. 1987. *El significado de los fósiles. Episodios de la Historia de la Paleontología*. Hermann Blume, Madrid. 352 pp. [Sobre todo, pp. 76-80, 84-86, 89-98, 104-112, 127-129.]
- SCHERZ, G. (ed.) 1969. Steno. Geological papers. *Bibliotheca Universitatis Hauniense, Acta Historica Scienciarum Naturalium et Medicinalium*, **20**, pp. 1-370. København.
- SCHERZ, G. and BECK, P. 1988. *Niels Steensen (Nicolaus Steno) (1638-1686)*. Royal Danish Ministry of Foreign Affairs, Copenhagen. 95 pp.
- SEQUEIROS, L. 1991. Los límites del registro fósil como fuente de conocimiento paleobiológico. Algunos ejemplos del Jurásico de España. *VII Jornadas de Paleontología* [de la Sociedad Española de Paleontología], *Resúmenes de Comunicaciones, Oviedo, 24-26 de octubre de 1991*, p. 53.
- SEQUEIROS, L. 1999. La epistemología oculta de los paleontólogos. Los fósiles «bajo el crisol de Bacon». [Conferencia invitada.] In: *XV Jornadas de Paleontología y simposios de los proyectos PICG 393, 410 y 421. Actas (Tomo D)*. (Ed.: I. Rábano.) Madrid, octubre 1999. *Temas Geológico-Mineros*, 26, Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, pp. 36-43.
- SEQUEIROS, L. 2001a. Paleontología. In: *Enciclopedia de España. Tomo 16*. Enciclopedia de España, Barcelona, pp. 7578-7579.
- SEQUEIROS, L. 2001b. Los fósiles «hablan»: ¿Qué aporta la Paleontología al conocimiento del planeta Tierra? In: *Memorias de las VII Jornadas Aragonesas de Paleontología: «La Era Paleozoica. El desarrollo de la vida marina»*. Homenaje al Prof. Jaime Truyols.

- (Eds. J. A. GÁMEZ VINTANED y E. LIÑÁN.) Institución «Fernando el Católico» (C.S.I.C.), Zaragoza, pp. 27-59.
- SEQUEIROS, L. 2001c. Popper y Kuhn: veinte años después. Reflexión didáctica en el centenario del nacimiento (1902) de Karl R. Popper. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* [AEPECT], **9** (1), 2-12.
- SEQUEIROS, L. 2002a. Las cosmovisiones científicas o macroparadigmas: su impacto en la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* [AEPECT], **10** (1), 17-25.
- SEQUEIROS, L. 2002b. *De la ira de los dioses a la Tectónica de Placas. Un enfoque histórico de las energías de la Tierra. Curso UIMP, Santander, septiembre de 2002*. UIMP, Santander. 20 pp.
- SEQUEIROS, L. 2002c. La extinción de las especies biológicas. Construcción de un paradigma científico. *Monografías de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza*, **21**, [Discurso de Ingreso en la Academia de Ciencias de Zaragoza], pp. 1-85.
- SEQUEIROS, L. 2003. Las raíces de la Geología. Nicolás Steno, los estratos y el Diluvio Universal. [Introducción a la traducción castellana del *Pródromo* (1669) de Nicolás Steno, a cargo de Leandro Sequeiros.] *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* [AEPECT], **10** (3) [Monográfico: El Pródromo de Nicolás Steno], pp. 217-242.
- SEQUEIROS, L. 2004. Modernidad y tradición en la historia de la paleontología española. *In: Miscelánea en homenaje a Emiliano Aguirre. Volumen II. Paleontología*. (Eds. E. BAQUEDANO y S. RUBIO JARA). Zona Arqueológica, 4, Museo Arqueológico Regional, Alcalá de Henares, pp. 558-573.
- SEQUEIROS, L. y ANGUITA, F. 2003. *Nuevos saberes y nuevos paradigmas en Geología. Historia de las nuevas propuestas en las ciencias de la Tierra en España entre 1978 y 2003*. Lull, Zaragoza. [En prensa.]
- VIRGILI, C. 2003. *El fin de los mitos geológicos. Charles Lyell*. Colección Científicos para la Historia, 13, Editorial Nivola, Madrid. 318 pp.