

# TEMA DEL DÍA

## LAS RAÍCES DE LA GEOLOGÍA. NICOLAS STENO, LOS ESTRATOS Y EL DILUVIO UNIVERSAL

*The roots of the Geology. Nicolaus Steno, the strata and the Deluge*

Leandro Sequeiros \*

### RESUMEN

*El De Solido intra solido naturaliter contento dissertatinis prodromus, uno de los libros más importantes para los inicios de la geología, fue publicado en Florencia en 1669. Su autor, Niels Steensen (también conocido por su nombre latinizado de Nicolaus Steno), fue un anatomista y naturalista danés nacido en Copenhague (Dinamarca) el 11 de enero de 1638. Estudió primero medicina en su ciudad y anatomía en Holanda y París. En 1660, visitó Roma y en 1666 se había establecido en Florencia donde fue acogido por el Gran Duque de Toscana Fernando II.*

*En Florencia, estudiando los dientes puntiagudos que formaban diversas coronas en las mandíbulas de los tiburones, se sorprendió por su gran número, y sus semejanzas con las llamadas Glossopetrae, objetos de piedra traídos de Malta. Steno pensó que ellos pertenecían a partes anatómicas de animales que habían vivido en otro tiempo, y que habían podido transformarse con facilidad mediante procesos químicos que no habían afectado a la forma. Los resultados llevaron a Steno a extender sus hipótesis a amplios estudios sobre las conchas de los moluscos antiguos, de los que describe su estructura y su origen orgánico, llegando a conclusiones muy cercanas a las aceptadas hoy día.*

### ABSTRACT

*The De Solido intra solido naturaliter contento dissertationis prodromus, one of the most important book in the beginning of geology, was published at Florence in 1669. His author, Niels Steensen (also known as latinized name Nicolaus Steno), was an danish anatomist and naturalist born in Copenhague (Denmark) the January 11<sup>th</sup>, 1638. He studied in his city medecin, and anatomy in Netherland and Paris. In 1660, he visit Roma and in 1666 he has been stablished in Florence, where was sponsored by the Great Duke of Tuscany Ferdinand II.*

*In Florence, studying the pointed teeth staring at him row after row in the shark's jaws, Steno was surprised at their larger number, and similarity with the named Glossopetrae, stone objets from Malta. Steno thought that they consist of matter than living old animals, but this can easily be transformed by chemical processes without affecting the form. The results Steno arrived at were based to a large extent on studies of mussel shell, whose structure and organic origin he described, so thoroughly indeed that his conclusions can nearly all be accepted today.*

**Palabras clave:** *Steno, Geología, Pródromo, Estratos, Fósiles, Montañas, Cristales.*

**Keywords:** *Steno, Geology, Prodromus, Strata, Fossils, Mountains, Crystals.*

### INTRODUCCIÓN

El danés Niels Stensen o Steensen (más conocido por su nombre latinizado de Nicolás Steno) (1638-1686) ha sido en la literatura geológica española uno de “los grandes olvidados”. Prueba de ello es que no existe, que sepamos, ninguna traducción completa de alguna de sus obras. Steno propone los grandes “principios” 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<sup>1</sup>

Steno realizó agudas y acertadas observaciones e interpretaciones de las rocas, las montañas, los minerales y los *glossopetrae* que, junto con otros restos

(1) 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), 151-161.

(\*) Área de Filosofía. Facultad de Teología. Campus de la Cartuja. Universidad de Granada. Apdo. 2002. 18080 Granada  
E-mail: lsequeiros@probesi.org

mineralizados recogidos en las rocas de la Toscana<sup>2</sup> dieron lugar al primer estudio científico en el campo de la geología. Steno mostró que los fósiles eran restos de animales y plantas que habían vivido en el pasado. Mostró que los que ahora se encontraban allí petrificados habían fosilizado en tiempos remotos en un medio acuoso y que algunos fueron transportados desde lejos hasta ese lugar (como les ocurrió a los dientes de tiburón de Malta).

La obra cumbre de Steno, que presentamos por vez primera en castellano completa, el *De Solido intra Solidum Naturaliter Contento Dissertationis Prodrumum* (más conocida por la última de las palabras, que castellanizada es el *Pródromo*<sup>3</sup>), fue publicada en su primera edición en Florencia en 1669 y pretende ser el anticipo de una obra más extensa que, desgraciadamente, como a veces suele suceder, nunca escribió.

Steno distingue en la Toscana un basamento inferior sin fósiles y otro fosilífero formado durante el Diluvio para el que da una explicación racional respaldada en los datos empíricos según el método inductivo de Francis Bacon<sup>4</sup>. Encima de estos materiales (y aquí está la gran novedad) sitúa unas capas de rocas con fósiles. Estos *estratos* se depositaron sucesivamente unos sobre otros a lo largo de mucho tiempo.

En opinión de Steno, estos procesos naturales que se dan en la superficie de la Tierra están de acuerdo con los datos de la Biblia, por lo que no encuentra contradicción “entre la Naturaleza y la Escritura” (*sic*). El gran mérito de Steno, como veremos, 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 pasada del terreno a partir de las capas de roca estratificada, que son los archivos que contienen la historia del planeta. Steno, por tanto, sienta las bases de la Estratigrafía y por ello de la escala geológica del tiempo relativo que se han constituido como uno de los fundamentos científicos de la geología desde el siglo XVIII.

El presente capítulo introductorio pretende orientar al lector en la lectura de la traducción del trabajo más importante de Steno: el *Pródromo* de 1669, que se ofrece en castellano, completo por vez primera, más de tres siglos después de la publicación del texto

original. Como se ha dicho más arriba, el *Pródromo* pertenece a las raíces del gran árbol de las ciencias de la Tierra, al introducir conceptos y principios que constituyen la base del saber de la geología.

## 1. EL PRÓDROMO DE STENO Y LOS INICIOS DE LA GEOLOGÍA

¿En qué contexto científico y geológico se produce la publicación del *Pródromo* de Nicolás Steno? ¿Cuál era el clima cultural y científico de la Europa de mediados del siglo XVII, cuando Steno acomete su obra? ¿Qué nivel de conceptualización tenía la Geología del siglo XVII? Algunos datos iniciales pertenecientes al contexto cultural de mediados del siglo XVII pueden iluminar la obra de Steno: en 1637, Descartes escribe el *Discurso del Método*, y en 1638 Galileo publica en Holanda los *Discorsi (Discursos sobre las dos nuevas ciencias)*<sup>5</sup>. En 1647, Gassendi publica *De vita Epicuri*; y Blas Pascal las *Nuevas experiencias acerca del vacío*. En 1651, von Guericke construye la máquina neumática; y en 1661, Boyle formula la ley de los gases. En 1662 se funda la *Royal Society of London*. En 1665, se inicia en Londres la publicación de la primera revista científica mundial: las *Philosophical Transactions*. Estas son algunas de las coordenadas filosóficas y científicas que orientan la lectura de la obra de Steno.

Pero si nos preguntamos ahora por el papel de Steno como científico de la época barroca, será necesario precisar dos aspectos en esta investigación histórica: el primero de ellos se refiere a cómo situar a Steno dentro del contexto científico de su época. Es peligroso en la Historia del pensamiento tanto científico como filosófico sacar de contexto a los autores del momento en el que viven. A ello nos referiremos ampliamente a continuación.

Pero no debemos obviar el segundo aspecto, que se refiere a las opciones epistemológicas. Partimos aquí de la hipótesis epistemológica de que el conocimiento humano nunca es una producción aséptica e imparcial. En esto soy consciente de que tomo postura (con los riesgos que ello comporta). Entre la postura del racionalismo crítico de Karl R. Popper y las posturas más sociológicas e historicistas de sus “hijos rebeldes” como es, sobre todo, la de Thomas Kuhn, la opción personal (no definitiva pero sí afectiva) adoptada aquí se inclina más por

(2) Para una visión breve de la historia de la Geología y de la Paleontología, ver: LIÑÁN, E. (1998). Los fósiles en el pensamiento paleontológico. La interpretación histórica de los fósiles. *Discurso de Ingreso en la Academia de Ciencias de Zaragoza*, 30 de noviembre de 1998. Los lectores que deseen una información sobre la historia de la paleontología española les recomendamos la lectura de: PEREJÓN, A. (2001). *Aproximación a la historia de la paleontología española*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. *AEPECT*: 9(2): 127-143. SEQUEIROS, L. (en prensa) *Modernidad y tradición en la historia de la paleontología española*. Libro Homenaje a Emiliano Aguirre. Museo Arqueológico Regional de Alcalá de Henares (Madrid)

(3) En las últimas ediciones del Diccionario de la Real Academia ha desaparecido la acepción de *Pródromo* como introducción, prólogo, inicio de un camino. Hemos preferido aquí conservar la palabra por pertenecer al patrimonio de la cultura científica.

(4) SEQUEIROS, L. (1999). *La epistemología oculta de los paleontólogos. Los fósiles “bajo el crisol de Bacon”*. Actas XX Jornadas de Paleontología. Madrid, octubre 1999. Conferencia invitada. Temas Geológico- Mineros ITGE, 26, 36-43.

(5) Hay una edición española accesible: Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias. Editora Nacional, Madrid (1976)

una concepción del conocimiento científico como construcción social, obra de una comunidad científica que pretende elaborar imágenes racionales de la realidad natural y/o social.

Aunque sea de modo muy simplificado será necesario presentar un marco general de las ciencias de la naturaleza (la *filosofía natural*, tal como la entiende Galileo).

### 1.1 Tradición y modernidad en la ciencia europea del siglo XVII

No se puede entender a Steno como un personaje ausente del complejo sistema cultural europeo del siglo XVII. “Tras el tumultuoso período del Renacimiento, -escribe el profesor René Taton<sup>6</sup>- durante el cual occidente entró en íntimo contacto con la ciencia antigua, no sin manifestar, en diversos dominios, una indiscutible voluntad de creación, el siglo XVII ve nacer en la Europa occidental una nueva ciencia, que se desarrollará en los siglos siguientes, y que poco a poco se difundirá por todo el mundo”.

Esta “nueva ciencia” de la que tratan los historiadores se corresponde con un momento de efervescencia de la creatividad humana. Desde Gilbert, Kepler y Galileo hasta el mismo Steno, junto a Huygens, Malebranche, Leibniz y Newton, pasando por Bacon, Harvey y Descartes, los que hoy llamamos “científicos”<sup>7</sup> del siglo XVII en Europa colocan los principios de la ciencia moderna. Mientras sostenían su lucha, a menudo difícil, contra los prejuicios, la tradición y la rutina, esos hombres geniales supieron explicar los grandes principios que todavía hoy se encuentran a menudo en la base de nuestras concepciones. Aquellos *filósofos naturales* tuvieron el mérito inmenso de crear métodos originales y fecundos, de renovar amplios dominios científicos y de dar a la investigación un decisivo impulso.

Suele ser normal en los autores de Historia de las Ciencias de la naturaleza identificar el siglo XVII con el comienzo de la que puede llamarse Ciencia Moderna. Sin embargo, es necesario matizar mucho

esta afirmación. En primer lugar, no todas las áreas del conocimiento racional y organizado de la naturaleza caminaron a un mismo ritmo durante la época de la Revolución Científica. Así, las matemáticas y la física tuvieron un desarrollo epistemológico que no tuvieron las ciencias de la vida y las ciencias de la Tierra. Aún así, se considera, como veremos, que en el siglo XVII aparece la Geología como ciencia natural dotada de su propia racionalidad.

En segundo lugar, y utilizando las metáforas kuhnianas<sup>8</sup> la incipiente comunidad científica de la época barroca se hallaba escindida en dos facciones: la tradicional (que se mantenía fiel a los principios, metodologías y contenidos propios de la tradición aristotélica y escolástica y que, por lo general, se atrincheraba en las Universidades) y la facción “moderna” (o renovadora) que, por lo general, desde la periferia de las instituciones académicas, propiciaba una nueva manera de afrontar el problema del conocimiento del mundo natural y social.

Pero hay un tercer elemento a tener en cuenta en este intento de matización del concepto de nueva ciencia: si se estudia en detalle la obra de los grandes personajes de la filosofía y de la ciencia en este período, puede llegarse a la conclusión sorprendente de que un estudioso, podía ser “renovador” en unos aspectos y en otros campos del saber, y seguir pese a ello acartonado en concepciones arcaicas. El caso más clarificador es el del gran científico Isaac Newton, que alternaba sus estudios sobre física con investigaciones sobre alquimia o sobre astrología. Esta filosofía oculta podrá encontrarse también en Steno.

Pese al lastre filosófico, metodológico, ideológico o teológico, muchos de estos “científicos” del siglo XVII llegaron a conclusiones sorprendentes que pusieron las bases para un nuevo modo de concebir la *imagen* del mundo, del ser humano, de la sociedad o de las relaciones del hombre con Dios. En este sentido, destacamos como avances que han pasado al patrimonio común de la humanidad los siguientes: las leyes de Kepler<sup>9</sup>, la Mecánica de Galileo<sup>10</sup>, el sistema circulatorio de Harvey<sup>11</sup>, la Geometría de Descartes<sup>12</sup>, el *Mundus Subterraneus* del jesuita

(6) Parte de las reflexiones siguientes están tomadas de la monumental obra de R. TATON edit.(1998). Historia General de las Ciencias. Editorial Orbis, Barcelona, tomo 5 (El Siglo XVII), 211-236.

(7) La palabra “científico” es de creación relativamente reciente. Parece ser William Whewell (1794-1866), profesor de Mineralogía y filosofía moral en el Trinity College de Cambridge, quien la divulga a partir de 1840 en su History of Inductive Sciences. En el siglo XVII, la “ciencia” que realizaban los llamados filósofos naturales era muy diferente a lo que hoy se entiende por tal. En esta época apenas existe una institucionalización de la producción y difusión del conocimiento y por ello la atribución de la palabra “científico” es meramente analógica.

(8) T. S. KUHN (1975). La estructura de las Revoluciones científicas. Fondo de Cultura Económica, México, (1975, traducción de la 2ª edición de 1969)

(9) Las tres leyes enunciadas por Johannes Kepler tienen dos etapas de formulación. Las dos primeras leyes, se establecen en 1609, en la Astronomía Nova. La tercera ley debió esperar hasta 1619, en Harmonices Mundi.

(10) La mecánica de Galileo se elabora a partir de Il Saggiatore (1623) y se amplía en los Dialogi (1632) y en los Discorsi (1638). Para más información sobre la mecánica de Galileo, ver [http://www.mpiwg-berlin.mpg.de/Galileo\\_Prototype](http://www.mpiwg-berlin.mpg.de/Galileo_Prototype)

(11) El De motu cordis de William Harvey se publica en 1629.

(12) René Descartes (1596-1650) concibió el mundo como una “Geometría encarnada”. Las bases están puestas en los Principia Philosophiae de 1644.

Athanasius Kircher (1601-1680)<sup>13</sup>, la Óptica astronómica y los *Principia* de Isaac Newton<sup>14</sup>, el mundo de los “pequeños animales” al microscopio de Leeuwenhoek<sup>15</sup>. Muchos errores se mezclan en todo ello con las verdades. Pero, ¿acaso no es esta, en cualquier época, la condición misma de la investigación, de la búsqueda de la verdad sobre el mundo, la vida y los humanos?

Tal vez, el fenómeno desencadenante de la Revolución Científica del siglo XVII es la publicación en 1620 de un libro que transforma el modo de trabajar. Este libro es el *Novum Organum* de Francis Bacon, escrito como alternativa al *Organon* aristotélico y como un intento de superar la vieja especulación estéril por un método de conocimiento sustentado en el “experimento”, en la observación minuciosa y libre de prejuicios de la realidad.

Hechas estas matizaciones, será necesario presentar, aunque sea muy esquemáticamente, lo que el siglo XVII supuso en la construcción de ideas científicas para comprender a Steno dentro de esas coordenadas.

La vida científica de Steno se desarrolla fundamentalmente en la península italiana. Por tanto, serán los autores y las ideas italianas las que más pudieron incidir en sus planteamientos. En el siglo XVI se había establecido aquí una rica burguesía que quería escapar de los maestros tradicionales y favorecía a artistas, filósofos, literatos y pensadores. Los príncipes, como los Médicis, los cardenales y los papas tenían “sabios” a su servicio. Éstos “mecenas” son los que financiaban los trabajos de matemáticos, naturalistas, médicos y anatomistas. Así, por ejemplo, Galileo fue matemático del Gran Duque de Toscana. Las ciudades de vieja tradición autónoma, como Padua, Pisa y Florencia, intentaban acaparar para sí los “científicos” más famosos. De Italia llega la ciencia, lo mismo que el arte, y casi todos los sabios europeos de la primera mitad del siglo XVII sabían italiano, lengua que era, como el latín, el primer idioma de comunicación entre los filósofos y científicos.

Bajo los auspicios del príncipe Federico Cesi, se constituyó en Roma en 1603 la primera institución que amparaba la comunicación y el trabajo entre los científicos, era la *Accademia dei Lincei*, de la cual será miembro, entre otros, Galileo Galilei. Medio siglo más tarde, en 1657, Fernando II, el gran Duque de la Toscana (mentor de Steno), quiso tener en Florencia su grupo de “sabios”. Así nació la *Accademia del Cimento* (Academia de la Experiencia) a la que pertenecía, entre otros Nicolás Steno, Viviani, Borelli y Redi. Esta Academia tuvo una vida floreciente pero efímera, pues desaparece en 1667, diez años después. Steno perteneció después a la *Accademia della Crusca*, fundada en 1582, para el cultivo de la lengua de la Toscana.

## 1.2 Las ciencias de la Tierra en la época de Steno

Algunos historiadores de la Geología afirman que en el siglo XVII es cuando aparece la Geología como ciencia natural dotada de su propia racionalidad<sup>16</sup>. La naturaleza real de los fósiles había sido comprendida antes, por Leonardo da Vinci o Bernard Palissy. Pero aunque correctas, sus observaciones no se basaban aún en la Geología<sup>17</sup>.

El descubrimiento de las manchas solares hacia 1610 se reveló como una de las aportaciones más espectaculares de la nueva astronomía. A partir de entonces, Galileo y el jesuita Christophorus Scheiner pugnan por la prioridad del descubrimiento y por la interpretación de las mismas. La tesis galileana de la corruptibilidad de los cielos triunfa. Desde esas fechas, la idea recogida luego por Newton de la homogeneidad de la materia del universo, dio lugar a la astronomía y a la geología modernas. La historia del globo terrestre se empezaba a contemplar ligada al desarrollo de todo el conjunto del universo corruptible y mutable.

El término “Geología” ha sufrido muy diversas interpretaciones. Al principio designaba de forma general el estudio de todo lo “terrestre”, por oposición a lo “divino” (la “Teología”). Parece ser que la

(13) La monumental obra del jesuita alemán Athanasius Kircher (1601-1680), y sobre todo, su *Mundus Subterraneus*, tuvo una gran influencia sobre Steno [cfr. SEQUEIROS, L. (2000). El Geocosmos teológico de Athanasius Kircher. *Discurso inaugural de la Facultad de Teología*, 117 pág.; SEQUEIROS, L. (2001). *El Geocosmos de Athanasius Kircher: una imagen organicista del mundo en las Ciencias de la Naturaleza del siglo XVII*. Lull, Soc.Españ. de Historia de las Ciencias y las Técnicas, 24, 755-807]

(14) La obra científica de Isaac Newton (1642-1727) es casi toda ella posterior a Steno, por lo que no pudo influir sobre su pensamiento. Las *Lectiones Opticae*, son de 1670 (la primera versión) y la obra cumbre, los *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis* son de 1687, muerto ya Steno.

(15) Antonius van Leeuwenhoek (1632-1673) forma parte de los grandes microscopistas como Robert Hooke, Jan Swammerdam, Marcello Malpighi y Nehemiah Grew. Leeuwenhoek no era filósofo sino un modesto ujier del tribunal de Delft (Holanda) que construía sus propios aparatos. Sus primeras observaciones son de 1674. En 1676 describe los protozoos. Sus publicaciones son breves aportaciones en las *Philosophical Transactions* (órgano de la Royal Society) desde 1676.

(16) Son numerosos los trabajos históricos sobre la Geología en el siglo XVII. Resaltamos aquí los más accesibles: R. FURON (1988). Nacimiento de la Geología. En: R. TATON, edit. *Historia General de las Ciencias*. Editorial Orbis, Barcelona, tomo 5: el siglo XVII, 453-462; F. ELLENBERGER (1989). *Historia de la Geología. Volumen I: De la antigüedad al siglo XVII*. Editorial Labor, Barcelona, 179-258; F. ELLENBERGER (1994). *Histoire de la Géologie. Volumen 2: La grande éclosion et ses prémices. 1660-1810*. Tec&Doc, París, sobre todo, 16-48. F. PELAYO (1996). *Teorías de la Tierra y Sistemas geológicos: un largo debate en la Historia de la Geología*. *Asclepio*, XLVIII-2, 21-52. También hay muchas referencias en: L. SEQUEIROS (2000). *Teología y Ciencias Naturales: las ideas sobre el Diluvio Universal y la extinción de las especies biológicas hasta el siglo XVIII*. *Archivo Teológico Granadino*, 63, 91-160.

(17) SEQUEIROS, L. (2001). ¿Qué puede aportar la Historia de la Paleontología al profesorado de Ciencias de la Tierra?. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9(2), 100-109.

palabra “Geología” fue utilizada por vez primera en su sentido moderno en 1657 (unos años antes de la publicación del *Pródromo*) en el título de una obra danesa de M. P. Escholt, titulada *Geologia Norvegica*, traducida al inglés en 1663, y que trata de los terremotos y de los minerales.

Algo más tarde, en 1690, Erasmo Warren publicó su libro *Geologia, or a discourse concerning the Earth before the Deluge*, que ya define bastante bien lo que entiende por geología. Más tarde, el descubrimiento de la circulación de la sangre por William Harvey (su *De motu cordis* se publica en 1629) ejerció una influencia notoria en las ideas de aquéllos primeros geólogos, que concebían la Tierra como un cuerpo vivo con su circulación de agua a través de las “venas” de los conductos subterráneos<sup>18</sup>.

Los historiadores de la Geología están muy interesados en el hecho de que diversos filósofos y naturalistas hacen propuestas con pretensión científica sobre las llamadas “*Teorías de la Tierra*”. Los autores de estas primeras grandes síntesis cosmográficas tenían la intención de reconstruir “físicamente” la historia pasada del planeta reinterpretando (sin alejarse de la letra) las ideas bíblicas de la Creación y el Diluvio Universal. Así, encontramos las figuras de Descartes (que en 1644 había presentado una visión “laica” del planeta), Burnet, Whiston, Woodward, los hermanos Scheuchzer y Bourget. Pero un grupo de naturalistas entre 1600 y 1800 mantenían en sus obras la hipótesis de la existencia de una gran cavidad subterránea (Leonardo de Vinci, Burnet, Boulanger) en el interior del globo terráqueo. Adams (1938)<sup>19</sup> cita una larga serie de autores griegos y romanos que apuntan hacia la existencia de cavernas interiores.

Ellenberger<sup>20</sup> centra el estudio de las ideas geológicas en el siglo XVII sobre tres autores muy diferentes entre sí: Descartes, que lanza la gran revolución, pero que es incompetente respecto a una geología basada en la observación y se refugia en especulaciones; Gassendi, su rival de la época, muy interesante por el influjo sobre Steno. Por nuestra parte, añadiremos la figura de Leibniz que, aunque no influye directamente sobre Steno, sí recoge alguna de sus ideas.

### 1.2.1 La geología de Descartes

Steno cita a lo largo del *Pródromo* algunas ideas de Descartes. Siendo muy joven, Steno manifestó su interés por las ideas cartesianas en sus confesiones escritas en su cuaderno *Chaos* (escrito entre 1659 y 1660). Numerosos autores han citado y figurado la famosa ilustración de la estructura del globo te-

rrestre reproducida en los *Principia Philosophiae*<sup>21</sup>. Para Descartes, la Tierra es un astro enfriado, excepto en su centro, donde subsiste encerrada una materia comparable a la del Sol (señalado como I en sus esquemas). (Fig. 1).

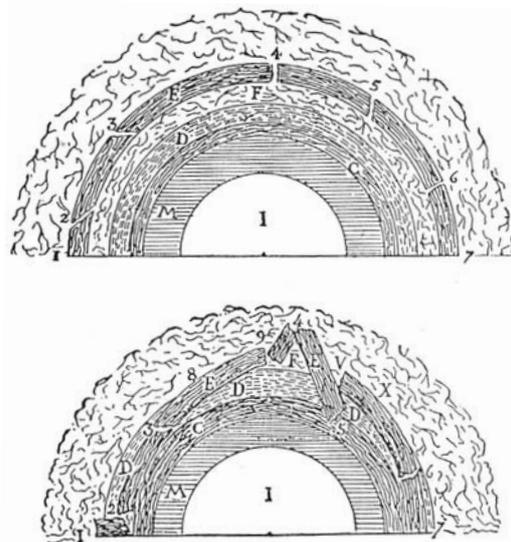


Figura 1. Las dos etapas terminales de la formación de la Tierra según Descartes, correspondiente a la edición de 1644 de las *Oeuvres de Descartes*, VIII, París. La esfera central I está rellena del fuego interior, residuo del astro que fue. B y F son capas de aire; D, representa el agua del planeta; C es la corteza interna, sólida y dura; E es una corteza externa menos maciza; M es la región media de la Tierra compuesta por la misma materia que las manchas solares. El Diluvio se explica por la fractura de la capa E (corteza terrestre) y la salida de las aguas interiores (capa F). Hemos recogido esta imagen de la edición de Ch. Adam y P. Tannery de 1905 (*Oeuvres de Descartes*, volumen VIII, París, página 229).

Descartes tuvo mucho cuidado en repetir al comienzo de la cuarta parte, que toda su hipótesis es “falsa” (no responde exactamente a la realidad histórica) y que “simulamos” todo ello, sabiendo que el mundo fue creado directamente por Dios. Lo esencial es demostrar que todo lo que el mundo contiene

(18) La influencia del pensamiento de Harvey en los geólogos se continuó hasta final de siglo XVIII. El que se considera “padre” de la Geología moderna, Hutton, estudió medicina e hizo la tesis sobre la circulación de la sangre. Estas ideas las recupera para el concepto de “ciclo geológico”. Ver: SEQUEIROS, L., PEDRINACI, E., ALVAREZ SUÁREZ, R.M., VALDIVIA, J. (1997). James Hutton y su Teoría de la Tierra (1795): consideraciones didácticas para Secundaria. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, AEPECT, (1997), 5.1, 11-20.

(19) ADAMS, F. D. (1938). The birth and development of Geological Sciences. Dover Publ. New York, págs. 426-460.

(20) ELLENBERGER, F. (1989). opus cit., 179-194.

(21) Edición latina de 1644, en francés en 1647, cuarta parte, 32-44, lámina XIII-XV de la edición francesa (ELLENBERGER, F. (1989), opus cit., 182).

es de la misma naturaleza y su esquema es “como si” todo se hubiera producido de esa forma. Descartes se atreve a diseñar un dibujo de cómo podía haber sido la Tierra al comienzo y se aventura a esbozar cómo podía haber sido su historia natural.

Nuestro autor desconoce la erosión, la sedimentación y los fósiles, conceptos que desarrollará genialmente Steno. Descartes se guarda muy bien de mezclar su construcción con los textos sagrados. No realiza una concordancia (como luego hará Steno) a quien seguirán después los diluvistas ingleses y los suizos.

Tal vez el mayor mérito de esta construcción de Descartes (de 1644) es haber definido un *método de investigación crítica* racional. La prueba de su valor es haber permitido a los cartesianos instruidos -apunta Ellenberger (1989) - superar al mismo Descartes usando su mismo método. Steno será el ejemplo más característico.

### 1.2.2 La geología de Gassendi

Pierre Gassendi (1592-1655) (más conocido como Gassendi), contemporáneo de Descartes, fue considerado en su época como una de las figuras más importantes en cuanto a la filosofía y a la física, especialmente por su hábil rehabilitación del atomismo de Epicuro<sup>22</sup> y su hostilidad hacia determinadas opiniones de Descartes, como la de los animales-máquina.

Steno lo califica en sus obras de *Galliae Lumen* y menciona sus ideas sobre la producción de las piedras. Su obra geológica se contiene en *De lapidibus ac metallis*, en la sección III de su física<sup>23</sup>. Gassendi empieza por una clasificación de las “piedras” (*lapides*) muy convencional y afirma que las rocas y las piedras continúan formándose en nuestros días. Para que las piedras se sigan reproduciendo hace falta una fuerza petrificante (*vis lapidifica*) e igualmente, una fuerza que hace nacer nuevas piedras (la *vis seminal*). Esta fuerza seminal es la que organiza la intimidad de las piedras, su forma y disposición.

Para Gassendi, los fósiles se formaron por petrificación adquirida. Unos no tienen más que una costra o revestimiento de piedra y se han formado por medio de fuentes minerales petrificantes. Otros, que tienen “cuerpo”, son producto de jugos sutiles que impregna los cuerpos de antiguas plantas o animales. Si su concepto de “jugo lapidificante” se tradujera como “solución mineralizante”, su interpretación de los fósiles sería correcta.

Como todos sus contemporáneos, Gassendi es incapaz de entender el tiempo geológico y opta por una cronología corta sin referencia a la cronología bíblica para no entrar en debates teológicos.

### 1.2.3 La geología de Leibniz

Al filósofo Leibniz (1646-1716) se le conoce poco como creador de una de las *Teorías de la Tierra* que han existido<sup>24</sup>. Su obra geológica fue escrita en 1690, pero permaneció inédita hasta 1749. Pero en vida publicó dos cortas notas, ricas y densas. La primera apareció en 1693 con el título *Protogaea* y gozó de una gran notoriedad. Esta Teoría de la Tierra resume su propia cosmología. La segunda nota es de 1710 y es más anecdótica. La obra geológica citada más arriba, no publicada hasta 1749, estaba escrita en latín y tenía una traducción al alemán.

Leibniz recoge algunas ideas dispersas de Descartes, según el cual la Tierra es un astro incandescente enfriado. El modelo de una estrella apagada fue seguida luego por Buffon y los plutonistas. Para Leibniz, periódicamente hay inundaciones en la Tierra que van depositando poco a poco los distintos sedimentos. Desde esta perspectiva, el Diluvio bíblico queda prácticamente relegado al olvido. En estas inundaciones quedan enterrados seres vivos que pasan a petrificarse.

## 1.3 La elaboración científica y filosófica del paradigma diluvista en los siglos XVI y XVII

Desde un punto de vista personal, el concepto más estructurador del pensamiento geológico en el siglo XVII es el Diluvio Universal<sup>25</sup>. Y no sólo lo ha sido en el pasado más o menos remoto, sino que hoy también es un elemento presente en algunos planteamientos de los grupos religiosos fundamentalistas y también, incluso, de la geología académica contemporánea aunque desde otras perspectivas muy diferentes<sup>26</sup>.

En un trabajo anterior<sup>27</sup> se ha mantenido la hipótesis, compartida por otros autores, de que una de las ideas más polémicas y también más fecundas para el progreso de la geología (y también para su retardo) en los siglos XVII y XVIII fue la del Diluvio Universal. Hasta esa época, los pensadores y naturalistas que se dedicaron a la problemática de los fósiles centraron sus esfuerzos en responder a una primera cuestión fundamental: aquéllos restos petrificados que presentaban una gran semejanza con los seres vivos, bien se tratase de conchas o de osamentas, ¿habían pertenecido realmente en otros tiempos a seres vivientes, hoy

(22) ELLENBERGER, F. (1989). opus cit.,188

(23) GASSENDI, P. (1658). Opera Omnia, Lyon, tomo II, pág. 114-133.

(24) La describe con precisión ELLENBERGER, F. (1994). Histoire de la Géologie. II., pág.137-147.

(25) SEQUEIROS, L. (2000). Teología y Ciencias Naturales: las ideas sobre el Diluvio Universal y la extinción de las especies biológicas hasta el siglo XVIII. Archivo Teológico Granadino, 63, 91-160.

(26) RYAN, W. y PITMAN, W. (1999). El diluvio universal. Nuevos descubrimientos científicos de un acontecimiento que cambió la Historia. Temas de Debate, Madrid, 351 pág.

(27) SEQUEIROS, L. (2000). opus cit.

desaparecidos, “extinguidos”, antes de ser petrificados de una manera o de otra? ¿No se trataba más bien de objetos curiosos, “juegos de la naturaleza”, productos de procesos inorgánicos misteriosos que aparecían por azar en el seno de la tierra?

La segunda de estas dos hipótesis tuvo numerosos partidarios, que a veces no fueron los menos, desde la Edad Media hasta el mismo siglo XVIII. Así, el célebre anatomista italiano Falopio (1523-1562) estaba convencido -y así lo defiende en sus libros- que las supuestas osamentas de elefantes fósiles que se encontraban en Italia (sobre todo en Sicilia) no eran más que concreciones de piedra con forma extraña.

Durante la segunda mitad del siglo XVII y los inicios del siglo XVIII, las ideas antiguas, de inspiración aristotélica, sobre las piedras figuradas, van quedando desfasadas ante las nuevas evidencias. Se va a ir abriendo paso con celeridad una concepción elaborada del diluvismo que no podemos por menos de denominar de modo provocador como “*paradigma diluvista*”<sup>28</sup> El diluvismo científico, como conjunto de teorías explicativas del origen biológico de los fósiles acudiendo al Diluvio Universal se constituye como un paradigma de gran poder explicativo. Hay una construcción social de explicaciones racionales sobre la naturaleza de los fósiles, basada en observaciones y generalizaciones empíricas.

Es muy discutible la interpretación del papel de las ideas diluvistas en el progreso de las ideas científicas sobre la geología. Sin duda supuso un fuerte obstáculo a la introducción de las ideas científicas sobre la dinámica de la Tierra. Pero en el siglo XVII, supuso, para otros autores, la introducción de una explicación más consistente que la de las “piedras figuradas”. El Diluvio se convirtió, desde el siglo XVII en el argumento científico y teológico que justificaba y explicaba los datos encontrados por los naturalistas. El autor al que nos dedicamos en este libro, Nicolás Steno, creía a pie juntillas en la historicidad del fenómeno del Diluvio. En los siglos XVI y XVII las ideas del Diluvio (asociadas en parte a la Reforma religiosa) van a calar hondo en la conciencia moral de los ciudadanos. Los historiadores de la geología<sup>29</sup> diferencian dos posturas: la postura del diluvismo “duro” (cuyo máximo representante es Martín Lutero) y el diluvismo “blando” (como el de Alessandro degli Alessandri). Lutero, en 1544, en su libro *In primum librum Mose enarrationes*, en el comentario a Génesis 2, 11 y 12, hace del Diluvio bíblico una catástrofe aniquiladora debido al pecado

de los hombres. Dice, entre otras cosas: “[La tierra hoy] produce árboles, hierbas, etc., pero en comparación con la tierra aún no corrompida no son más que los restos miserables de las riquezas que tuvo la tierra establecida entonces”.

El diluvismo “blando” de Alessandri es el que fue seguido por los naturalistas, viendo en éste un fenómeno acuático de alcance mundial y el origen de los fósiles que hoy encontramos. En el siglo XVII, la lectura literal de la Biblia va a intentar buscar concordismos con los datos de la naturaleza. Para ello, se apoyaron en los datos del Antiguo Testamento para presentar una cronología bíblica de los fenómenos geológicos. Así, James Ussher, obispo de Armagh, en Irlanda, pudo afirmar en 1654 que la Tierra había sido creada el 23 de octubre del año 4004 antes de Jesucristo a las 9 de la noche<sup>30</sup>.

En el marco de la cronología bíblica (de la que Ussher es un ejemplo, pero no el único) el Diluvio bíblico va a comenzar a tener importancia para explicar el fenómeno de los fósiles y también la aparente “extinción” de ciertos organismos (como los *cuernos de Ammon*<sup>31</sup>, los ammonites, que no tenían representantes actuales). Si se encontraban restos de organismos marinos en el interior de la tierra o en la cima de las montañas, era porque habían sido transportados por las aguas del Diluvio bíblico, que habían cubierto incluso las altas montañas. Desde este paradigma emergente, el *diluvista*, los fósiles y las rocas que los contenían habían sido formados por el Diluvio, por lo que no era necesario recurrir a la acción misteriosa de la *vis plastica* para explicarlos. El Diluvio se convertía así en un “*deus ex machina*” que tenía gran poder explicativo para el origen biológico de los fósiles y de las *extinciones* de fauna, sin tener que contradecir por ello a la Biblia ni a la Teología de la creación de una obra perfecta salida de las manos de Dios sabio y todopoderoso.

Visto así, por tanto, el llamado *paradigma diluvista* marcará un avance científico relativo con respecto a aquellas explicaciones que no veían en los fósiles más que meros *juegos de la naturaleza*. Al menos, durante cierto tiempo, el Diluvio, considerado como el único y el mayor de los acontecimientos catastróficos del pasado remoto era suficiente para explicar muchas de las observaciones que se realizaban. Un conocimiento mejor de la naturaleza, reforzado por los fósiles, fue poniendo en evidencia a final del siglo XVIII las insuficiencias del *paradigma diluvista*. Pero aún así, muchos naturalistas siguieron viendo hasta finales del siglo XIX que el Di-

(28) SEQUEIROS, L. (2000). opus cit.

(29) Por ejemplo, ELLENBERGER, F., (1989), opus cit., páginas 142-165.

(30) HALLAM, A. (1986). Grandes controversias geológicas. Edit. Labor, Barcelona. La voluminosa e interesantísima obra de Ussher puede consultarse en la red: [www.revelationwebsite.co.uk/index1/ussher/ussher.htm](http://www.revelationwebsite.co.uk/index1/ussher/ussher.htm)

(31) Sobre la historia de la investigación sobre los cuernos de Ammon, ver: L. SEQUEIROS y otros (1998). Historia del conocimiento de los Ammonites (Moluscos fósiles) del Jurásico de España. Lull, Sociedad Española de Historia de las Ciencias, Zaragoza, vol. 20, nº 40, pág. 517-545.

ludio era un acontecimiento geológico de gran importancia para explicar la extinción de las especies.

Desde 1558, el naturalista Conrad Gesner<sup>32</sup> (1516-1565) (latinizado, Gesnerius) había estado llamando la atención sobre las semejanzas entre las *Glossopetrae* (piedras figuradas con aspecto de lengua) y los dientes de tiburón, presentando también ilustraciones en apoyo de sus argumentos. Esta interpretación fue corroborada de modo firme a lo largo del siglo XVII por diversos autores que trabajaban en Italia. El primero en hacerlo fue Fabio Colonna<sup>33</sup> (1567-1650), quien en 1616 publicó una obra conocida como *De Glossopetris*, en la que afirmaba que las “lenguas petrificadas” eran en realidad dientes de tiburones, que se encontraban mezclados con frecuencia con otros restos de organismos marinos. Sin embargo, aún se mantiene prudente a la hora de aventurar alguna hipótesis de cómo llegaron hasta allí. Pero el camino al que llamamos con el apelativo de “diluvismo científico” se va a abrir pronto. Steno, como veremos, tendrá en ello un papel relevante.

#### 1.4 Las primeras “Teorías diluvianas de la Tierra”

Hasta finales del siglo XVII, la explicación diluvista estuvo particularmente de moda entre los eruditos ingleses, la mayor parte de los cuales eran miembros de la *Royal Society*, que se interesaba mucho por la historia de la Tierra. Muchos de ellos elaboraron lo que se ha dado en llamar “Teorías de la Tierra”<sup>34</sup>. Estas especulaciones estaban basadas en una interpretación del libro del Génesis antes que en las deducciones obtenidas de la observación rigurosa de la Naturaleza. Debido a su base bíblica, aquellos ensayos otorgaban, como es lógico, un gran espacio al Diluvio universal, que estaba considerado como el acontecimiento más importante de la Historia de la Tierra después de la Creación. Con estos autores está situado el marco epistemológico, científico, filosófico y teológico del que podría denominarse el *paradigma diluvista*, que, como se ha afirmado más arriba, tuvo un gran impacto e influencia en la construcción de las primeras Teorías de la Tierra.

Los excelentes argumentos de Colonna no llegaron a gozar de la adhesión general. Así que medio siglo más tarde, la demostración tuvo que ser llevada a cabo de nuevo por Steno. El *Pródromo* (de 1669), como comentaremos más adelante, fue la introducción a una gran obra que no se realizó nunca en el que intenta una reconstrucción geológica de la re-

gión de la Toscana. Para ello, propone una serie de “principios” que han pasado ya a la Geología, como es el *principio de superposición de los estratos*. Por anatomía comparada, muestra que los dientes de los tiburones actuales son idénticos a las *Glossopetrae*, por lo que defiende la naturaleza orgánica de éstas. Parece ser que encontró algunas dificultades para armonizar sus descubrimientos con la geología bíblica. En esos años se realizó su conversión al catolicismo, por lo que decidió dejar para siempre la investigación científica dedicándose desde entonces a la Teología y a la vida espiritual.

Las ideas de Colonna y Steno sobre las *Glossopetrae* tuvieron cada vez más adeptos conforme finalizaba el siglo XVII. En terminología kuhniiana, el paradigma se iba consolidando al ser mantenido por una incipiente comunidad científica cada vez más numerosa. Un año después de la publicación del *Pródromo* de Steno, el pintor y naturalista siciliano Agostino Scilla (1639-1700) publicó un libro titulado *La Vana Speculazione disingnata dal Senso* (1670), en el que hacía uso del sentido común para combatir las falsas especulaciones, tan difundidas en la época, sobre el tema de los organismos marinos petrificados encontrados en tierra firme. En esta obra se oponía a la idea de que se hubieran formado por una *vis plastica* de la naturaleza. En su opinión no podían ser otra cosa que restos de seres vivos. Sus razonamientos se apoyaban en los fósiles terciarios del sur de Italia y de Malta.

Al otro lado del canal de la Mancha, en Inglaterra, la problemática sobre los fósiles inquietaba también a los filósofos naturales. Además, se habían establecido contactos entre los eruditos ingleses y los sabios que vivían en Italia. Se sabe que Steno, durante una estancia en Montpellier, se había encontrado con Martin Lister y John Ray, dos estudiosos que se interesaban por los fósiles. La misma *Royal Society* (fundada en 1660) proporcionó un foro de debate sobre estos temas. En esos tiempos, los debates científicos sobre los fósiles, la extinción de las especies y el Diluvio como explicación están teñidos de filosofía y teología.

Martin Lister (1639-1712), médico en York, había descrito numerosas conchas que encontró en el campo e interpretó incorrectamente como objetos con parecido con los animales, pues no creía que tuviesen un origen orgánico sino que los interpretó como producto de los efectos de la *vis plastica*. Por su parte, Robert Hooke (1635-1703), miembro eminente de la *Royal Society*, fue uno de los primeros en

(32) Gesner era natural de Zurich y amigo de Zwinglio, autor de la *Historia Animalium* [ver: ELLENBERGER, F., (1989). opus. cit. pág. 138-139; RUDWICK, M.J.S. (1987). El significado de los Fósiles. Blume, Barcelona, 1-45]

(33) Fabio Colonna era napolitano, botánico y zoólogo de talento, miembro de la *Accademia dei Lincei*, en la que se reunían personajes con “ideas modernas”. Fue autor de la memoria titulada: *Fabio Columna Lyncei de Glossopteris Dissertatio...*: ELLENBERGER, F. (1989). op. cit., págs. 160-161.

(34) ELLENBERGER, F. (1994). *Histoire de la Géologie. II. Vuivert, Paris, dedica una buena parte de este volumen (entre las páginas 12 a 68) a exponer diversas “Teorías de la Tierra”, propuestas en el siglo XVII. También dedica mucho espacio a ello, ADAMS, F. D. (1938). The Birth and Development of the Geological Sciences. Dover, New York, sobre todo, pág. 329-488.*

utilizar el microscopio para el estudio de los fósiles, y mantenía puntos de vista totalmente “modernos”.

Un paso importante va a ser dado por John Ray (1627-1705)<sup>35</sup>, hombre muy sensible a las ideas “modernas” sobre los fósiles. Pero le llamó poderosamente la atención el hecho de que muchos fósiles (conchas y huesos) no parecían corresponder a seres vivos actuales. La hipótesis de que esos organismos estuviesen “extinguidos” le parecía escandalosa y contraria a la perfección de la creación y a una idea de Dios sabio que no podía permitir el “fracaso biológico” de los seres vivos. Esta objeción retrasó durante mucho tiempo la aceptación de que había especies *extinguidas*, concepto que fue imprescindible para el desarrollo de la Paleontología.

Para “salvar las apariencias” del problema, postulaba que esas especies aparentemente “extinguidas” no lo eran en realidad, sino que pervivían todavía en algún lugar remoto de la Tierra. John Ray quiso conciliar las ideas antiguas con las modernas. Para ello, creía ver en algunos fósiles (entre ellos los *ammonites*) simples productos naturales inorgánicos, y en otros fósiles restos petrificados de la vida pasada.

Desde el siglo XVII y adentrándose en el siglo XVIII toma cada vez más protagonismo la idea (que se suele justificar filosófica y científicamente por los naturalistas y teólogos) de que, tras el pecado de los primeros padres y el Diluvio, la creación entera ha entrado en un proceso de *degradación, de decadencia y de ruina*.

En Inglaterra y en Europa, las ideas de *degradación, decadencia y ruina* del mundo tras el Diluvio estuvieron presentes en los trabajos de los filósofos naturales (sobre todo, estudiosos de los fósiles, considerados ahora vestigios de la ruina) que proyectaron sus ideas teológicas sobre el estudio de la naturaleza. En especial, las ideas de los teólogos y naturalistas Burnet y Woodward tuvieron mucha influencia sobre los naturalistas del continente europeo. Será necesario aludir brevemente a ellos, aunque sus obras son ligeramente posteriores a la de Steno. De todas formas, recogen el estado de la *ciencia normal* del *paradigma* imperante durante el siglo XVII.

### 1.5 La Teoría Sacra de la Tierra (1681) de Thomas Burnet

En los años posteriores a la obra de Steno, vieron la luz dos grandes síntesis globales de la Tierra. Dentro del contexto de las grandes *Teorías de la*

*Tierra* contemporáneas a los estudios de Nicolás Steno, es necesario citar una de las síntesis más influyentes en la segunda mitad del siglo XVII y en los primeros años del siglo XVIII. Se trata de la obra del clérigo Thomas Burnet<sup>36</sup>, que escribe en latín su *Telluris Theoria Sacra (Teoría Sagrada de la Tierra)*, publicada en 1681, un año después de la muerte de Steno. Su título ya es revelador de los contenidos y orientación epistemológica.

En ella describe, y además lo expresa en una conocida lámina que ya se ha hecho clásica, la imagen de un cosmos presidido por el Pantocrator, alrededor del cual se organizan varias etapas del mundo. Bajo el indispensable marco de querubines (dada la época barroca de Burnet), aparece la figura de Jesucristo glorioso, en lo alto de un círculo de esferas. Su pie izquierdo se asienta sobre el inicio, y el derecho sobre la culminación de la historia de nuestro planeta. Es un esquema “circular” del tiempo, en el que todo empieza y termina. Sobre la cabeza del Pantocrator se muestra la frase “*Yo soy el Alfa y la Omega*” (el principio y el fin).

Siguiendo las convenciones de los relojeros y de la escatología (con los malos días del pasado, lado izquierdo de la divinidad, anteriores a la salvación) la historia se mueve siguiendo la dirección de las agujas del reloj, de medianoche a mediodía.

En primer lugar, se presenta (bajo el pie izquierdo de Cristo) el caótico planeta original “vacío y sin forma”, una jungla de partículas y oscuridad en la superficie de lo profundo. A continuación, después de la resolución del caos en una serie de capas uniformes y concéntricas, se ve la Tierra perfecta del Edén, con su paraíso original, una esfera uniforme y lisa.

Pero llega el momento de castigar nuestros pecados con el Diluvio, y la Tierra aparece sumergida en una total inundación. En la imagen se ha dibujado la pequeña nave de Noé navegando sobre las aguas. Entonces se retiran las aguas, dejando agrietada la corteza terrestre de nuestro planeta tal como se presenta actualmente, “un quebrado y confuso montón de estructuras”.

En los tiempos futuros, tal como ya lo anunciaron los profetas -según Burnet-, la Tierra será consumida por el fuego; de nuevo será lisa y uniforme, por su degradación en hollín y cenizas se recuperará la perfección concéntrica. Cristo, con sus santos resucitados, reinará sobre esta nueva esfera (“el cielo nuevo y la tierra nueva” del Apocalipsis) durante miles de años hasta que, finalmente, después de la última batalla victoriosa contra las fuerzas del dia-

(35) Una excelente introducción al pensamiento de John Ray puede encontrarse en: YOUNG, D. (1998). El descubrimiento de la Evolución. Ediciones del Serbal, Barcelona, pág. 28-57; También en: RUDWICK, M. J. S. (1987). op. cit., pág. 93-131; SEQUEIROS, L. (2000). opus cit.

(36) Sobre la interesante figura científico-teológica de Thomas Burnet, pueden consultarse: GOULD, S. J. (1992). La flecha del Tiempo, Mitos y metáforas en el descubrimiento del tiempo geológico. Alianza Universidad, Madrid, pág. 39-78; ELLENBERGER, F. (1994). op. cit., pág. 115-116; CAPEL, H. (1985) La física sagrada. Creencias religiosas y teorías científicas en los orígenes de la Geomorfología española. Ediciones del Serbal, Barcelona, 223 pág.; RUDWICK, M. J. S. (1987). opus cit., pág. 111-120.

blo, el juicio final destinará a cada cuerpo para que baje a su lugar adecuado. Los justos ascenderán al cielo, y la Tierra (bajo el pie derecho de Cristo), no necesaria por más tiempo como morada humana, se convertirá en una estrella.

Burnet llegó a esta formulación teórica a partir de un problema planteado por la aceptación del relato bíblico. Se trata de lo siguiente: admitir que la inundación del Diluvio cubría toda la Tierra, obligaba a plantearse la cuestión del origen de todas esas aguas, ya que según sus cálculos, para cubrir toda la Tierra haría falta una cantidad ocho veces superior a la de los océanos.

Si la explicación debía ser racional (sin acudir a milagros) la única solución era considerar que antes del Diluvio la Tierra era lisa, sin montes ni valles. Así se llegó a la tesis de un globo prediluvial sin montañas. A partir de esta conclusión, Burnet propuso una interpretación racional de las etapas de formación del mundo, desde la creación, una interpretación en la que tuvieran cabida ideas científicas modernas, como la de la gravedad newtoniana.

El mundo, según Burnet, se formó a partir del caos primitivo, transformado por voluntad de Dios. Estos elementos y la aceptación del fuego interior de Steno explican una estructura en capas concéntricas para el globo terrestre. Al inicio, pues, la Tierra es totalmente lisa, sin montañas ni océanos. El Diluvio habría sido el resultado de una fractura y de un desmoronamiento de la corteza exterior de la Tierra, con lo que se habrían liberado grandes masas de agua, que anteriormente habrían sido subterráneas.

El relato y la interpretación de Burnet (1680) sobre la historia de la Tierra encarna a la perfección la flecha del tiempo<sup>37</sup>. Se trata de una amplia y apoteósica narración acerca de las secuencias específicas de estadios con un principio concreto y definido, una clara trayectoria y un final particular. Las esferas están dispuestas en círculo y no en línea; y la figura de Cristo, la Palabra de Dios que estuvo con Dios desde el principio de la creación, se sitúa a caballo entre el inicio y la culminación.

También cabe destacar la simetría de los acontecimientos: el planeta actual está colocado en el centro, entre los dos flancos simétricos. Las figuras del planeta perfecto (liso y esférico) aparecen a ambos lados de un plano medio. En otras palabras: Burnet expone su narrativa (la flecha del tiempo) en el contexto del ciclo del tiempo: una eterna presencia divina en lo alto, una disposición regular de las esferas que empiezan y terminan en inmanencia, y un complejo juego de correspondencias entre nuestro pasado y nuestro futuro.

Burnet consideró el Diluvio como el centro de su programa metodológico. La *Theoria Sacra*, así pues, no camina en un orden cosmológico, sino que se mueve desde el Diluvio al Paraíso. Las aguas inundaron la Tierra porque la superficie de ésta se rompió como una cáscara de huevo, y dejó salir al agua interior. Esta interpretación del Diluvio permitió a Burnet especificar los estadios anteriores y posteriores. Desde el Diluvio no ha vuelto a suceder nada importante, únicamente una erosión sin consecuencias para la topografía postdiluviana.

La geología de Burnet carecía de una teoría de la “reconstrucción y de la reparación”. Los procesos normales del tiempo deben seguir los dictados del profeta Isaías capítulo 40, y erosionar las montañas hasta llenar los valles, para allanar y nivelar la superficie. Así pues, la superficie actual de la Tierra fue forjada por el Diluvio. Y después de todo esto no es más que la gigantesca ruina de los fragmentos rotos de la corteza original. Las cuencas de los océanos son huecos que quedaron entre los fragmentos, y las cordilleras son los bordes de los fragmentos de corteza.

Todas las metáforas y descripciones de Burnet registran su opinión de que nuestro planeta actual no es más que la consecuencia de una destrucción: “una horrible ruina”, “un quebrado y confuso montón de escombros”, “un pequeño y mugriento planeta”.

El calor del fuego central (idea tomada de Descartes y Kircher) provocó la expansión de los vapores de agua en el interior, los cuales rompen la corteza lisa exterior. La corteza rota da lugar a las montañas (entendidas como ruina de la corteza inicial).

Las montañas son la ruina de la Tierra tras el Diluvio. Por otra parte, según esta concepción los fósiles no podían ser los restos de animales que hubiesen vivido en un Océano “antediluviano”, ya que no había mares sobre la superficie de la Tierra original.

## 1.6 John Woodward y su *Essay toward a Natural History of the Earth* (1695)

Otro de los autores *diluvistas* más influyentes herederos del pensamiento de Steno es John Woodward<sup>38</sup> (1665-1728). Éste ha pasado a la historia del pensamiento filosófico-científico-teológico por ser el autor de *Essay toward a Natural History of the Earth* (*Ensayo en torno a una Historia Natural de la Tierra*), publicado en 1695, y escrita cuando contaba 30 años de edad, quince años después de la muerte de Steno.

Para Woodward, los fósiles eran, desde luego, los restos de animales “antediluvianos”. Según este autor, en el momento del Diluvio todas las materias

(37) McINTYRE, D. B. (1970). James Hutton y la filosofía de la Geología. En: C.C. ALBRITTON Jr.: La filosofía de la Geología. CECSA, México, pág. 11-24; GOULD, S.J. (1992). opus cit., pág. 39-77.

(38) La “Teoría de la Tierra” de Woodward tuvo un gran influjo y popularidad en el siglo XVIII. El mismo Torrubia lo cita en su *Aparato* (1754) como uno de los autores que “prueban” científicamente el Diluvio. Para la figura de Woodward, consultar: ELLENBERGER, F. (1994). op.cit. sobre todo, páginas 119-124.

sólidas, incluyendo los restos de los seres vivientes, se encontraban en el agua en estado de suspensión, después de lo cual fueron depositándose conforme al orden establecido por sus respectivos pesos específicos (los más pesados, se hundirían en el fango y los más ligeros quedarían en la superficie del fondo) formando “capas” o lechos donde se encuentran hoy petrificados. Pero todos los estratos son de la misma época: el Diluvio Universal.

Esta concepción tuvo mucha influencia en la geología bíblica del siglo XVIII, y supuso un obstáculo epistemológico muy poderoso para construir una escala de tiempo geológico basadas en el registro fósil. También es muy importante para entender el significado de las extinciones de especies, como ya veremos más adelante. Woodward, de origen modesto, llegó a ser encargado de Física en el Grasham College de Londres, pese a su carácter excéntrico y vanidoso. Se interesó por la medicina, la arqueología y la fisiología vegetal. Desde el punto de vista de su concepción de la Tierra, rompe con el esquema de Descartes y maximaliza hasta el extremo los efectos supuestos del Diluvio. Pero lo que se ha dado en llamar su “metamorfosis diluviana” es de otra naturaleza. Woodward se reclamó siempre defensor de la nueva filosofía baconiana<sup>39</sup>. El título de su primera obra es significativo: *An Essay toward a Natural History of the Earth: and Terrestrial Bodies, Especially Minerals...* etc. y añade: *With a Account of the Universal Deluge: and of the Effects that it had upon the Earth (con una narración sobre el Diluvio Universal y sobre los efectos que ha tenido sobre la Tierra)*.

En el pensamiento de Woodward, el Diluvio no es el acontecimiento central. Esta idea estará desarrollada más adelante en una obra publicada entre 1726 y 1727 (con 560 páginas en folio) titulada *An Attempt towards a Natural History of the Fossils of England (Un intento de una Historia Natural de los fósiles de Inglaterra)*. Es un catálogo de su inmensa colección de restos fósiles de animales y plantas, así como de otras curiosidades, y que, por un singular privilegio, se conserva casi entera en Cambridge<sup>40</sup>. Esta colección comprende 6.800 ejemplares británicos, de los que más de 2.500 son ejemplares extranjeros (entre ellos, la colección de Scilla que Woodward adquirió en 1707).

Los puntos esenciales de su Teoría de la Tierra (y por ello, sus ideas sobre las extinciones de especies biológicas en el pasado) son:

- a) los fósiles tienen un origen natural (no son *piedras figuradas* ni *Glossopetrae*).
- b) los fósiles se han acumulado en el Diluvio.

c) La estructura interna del globo explica perfectamente el origen de las aguas del Diluvio.

d) Después del Diluvio todo ha sido degradación y destrucción.

El *Essay* de Woodward tuvo una gran difusión por Europa. Se hicieron reediciones en inglés en 1702 y 1723; una traducción al latín en 1704, hecha por J.J. Scheuchzer; una traducción al francés en 1735, al italiano y al alemán. El gran naturalista G. Buffon no pudo por menos que analizar el sistema de Woodward y crítica que sea posible desde el punto de vista físico.

Para Woodward, al cesar el castigo divino del Diluvio, las partículas disueltas en el agua y las conchas fueron cayendo al fondo del mar. Primero, las más grandes y pesadas y luego las más pequeñas y livianas. De este modo, toda la Tierra se cubrió de sedimentos dispuestos en capas concéntricas. Una vez solidificados, los estratos se han roto y dislocado, hundidos aquí y levantados allá. Woodward no explica qué fuerzas causaron este estropicio. Desde entonces, la Tierra no ha hecho más que degradarse y erosionarse pero este proceso es tan lento que apenas ha dejado huellas apreciables. De acuerdo con las teorías de tipo de las de Woodward, los fósiles serían así preciosos “testigos” del Diluvio, que testimoniarían, si fuera preciso, la realidad de este fenómeno capital, tanto desde el punto de vista religioso como desde el punto de vista científico.

Pero su amplio conocimiento de los fósiles recogidos en sus colecciones le obligaba a dar alguna explicación al hecho de que había fósiles que no tenían organismos vivos similares, eran fósiles sin representantes actuales. Por ejemplo, los *cuernos de Ammón*, tan abundantes en sus vitrinas, ya no existen. ¿Cómo explicar su extinción? Este problema no le preocupaba: considerando lo poco que se sabe de las faunas de aguas abisales, resulta “muy razonable”, concluía, “que no existe especie alguna de animales con concha que haya existido y hoy haya perecido”.

## 1.7 Las ideas sobre el interior de la Tierra en el siglo XVII

La obra cumbre de Steno, el *Pródromo*, intenta buscar “dentro” de la esfera de la Tierra, la respuesta a los problemas que se detectan en la superficie de la misma. Entre 1650 y 1800, los primitivos geólogos propusieron diversas hipótesis sobre la composición y estructura del interior del globo terráqueo<sup>41</sup>. Desde los tiempos de Galileo, los filósofos se preguntan sobre lo que hay en el interior de la Tierra. Con anterioridad, en la época medieval, los autores no dudaban

(39) SEQUEIROS, L. (1999). *La epistemología oculta de los paleontólogos. Los fósiles bajo “el crisol de Bacon”*. *Temas Geológico-Mineros, ITGE., Madrid, 26, pág. 36-43.*

(40) PRICE, D. (1989). *John Woodward and a surviving British geological collection from the early eighteenth century*. *Journal of the History of Collections, Londres, I, pág. 79-95.*

(41) ELLENBERGER, F. (1994). *Histoire de la Géologie. Volumen 2: La grande éclosion et ses prémices. 1660-1810. Tec&Doc, París, 16-23.*

en situar el infierno en el interior del planeta, en un lugar donde hay fuego. El mismo Dante Alighieri, en *La Divina Comedia*, escrita entre 1307 y 1321, trata del viaje que hace el poeta, primero al infierno, luego al purgatorio y por último al cielo. En los dos primeros le sirve de guía el poeta Virgilio y, en el último, su enamorada Beatriz. Imagina un mundo compuesto por esferas concéntricas, con la Tierra en posición central (el clásico modelo geocéntrico de Aristóteles y Tolomeo), y alrededor de ella, en siete círculos concéntricos los siete planetas. Envolviéndolos a éstos, la esfera de las estrellas fijas en la que están las figuras del Zodiaco. Y más arriba, la llamada esfera cristalina del *primum mobile*, más allá de la cual está el *Paraíso empíreo*. El purgatorio lo sitúa en una capa intermedia entre la Tierra y la Luna. Y en lo más hondo de las cavernas de la Tierra, por las bocas vomitando fuego, el infierno. Este es el imaginario que se ha perpetuado durante siglos y que fue en su momento un punto de conflicto entre ciencia y teología.

Pero volvamos ahora a las explicaciones “racionales” del interior de la Tierra que se fueron acuñando a partir de mediados del siglo XVII, precisamente en la época en que Steno está escribiendo su obra.

El cuadro siguiente, tomado de diversos autores, sistematiza las diversas opiniones dominantes en ese período:

#### **El globo terrestre está hueco por dentro**

\* el globo terrestre pétreo está hueco pero aparece relleno de un líquido más o menos denso

\*el globo terrestre pétreo está hueco pero aparece relleno de un fluido aeriforme

#### **El globo terrestre está lleno por dentro**

\*el interior de la Tierra es homogéneo y sólido

\*La corteza de la Tierra es sólida con un interior relleno por un material rocoso más o menos fundido

#### **El globo terrestre está parcialmente hueco**

\*el interior de la Tierra está atravesado por canales, cavidades y cavernas.

Para la mejor inteligencia de la obra de Steno presentamos unas pinceladas de estas hipótesis sin poder entrar en detalles. De los cinco modelos históricos en que pueden agruparse la más clásica (por sus referencias bíblicas) es la que considera que la Tierra es un globo. Pero el interior es hueco y está relleno por un fluido acuoso. El prototipo de esta hipótesis es el “Gran Abismo Bíblico”, tal como se interpretaba en el siglo XVII.

El ejemplo más perfeccionado es el presentado por Woodward (1695). Para él, el aspecto de la Tierra antes del Diluvio debía ser parecido al de hoy. Por una intervención sobrenatural, la masa de las tie-

rras sufrió una “disolución”, por la que todas las rocas se redujeron a corpúsculos que quedaron en suspensión en las aguas. Pero sin embargo, las conchas y otros restos de organismos resistieron al proceso. Burnet (1681) y Whiston (1696) presentan formulaciones similares. Éste último defendía que la corteza terrestre “flotaba” sobre el líquido interior.

Sin embargo, son pocos los autores que se inclinan por un modelo del interior de la Tierra hueco y este espacio ocupado por un fluido similar al aire atmosférico, un interior aeriforme. Por lo general, se presenta en algunos autores poco significativos del siglo XVIII.

La creencia de un planeta Tierra en cuyo interior se aloja una enorme masa incandescente de rocas y de fuego, situada en posición central y que el fuego llega al exterior a través de explosiones volcánicas, estuvo también muy extendida desde muy pronto. En la Edad Media se aceptaba la existencia de fuego interior en la Tierra que surgía violento en los volcanes y era el dominio del lugar de castigo eterno para los pecadores. Pero estas ideas tienen un origen precristiano y están ya en Platón y Virgilio.

La creencia en el fuego central es defendida con ardor por los autores del siglo XVII. Citamos a Descartes, Hooke (1668), Kircher, Woodward (1695), así como muchos autores del siglo XVIII. En 1788, James Hutton seguía con entusiasmo la defensa del modelo *plutonista* frente al *Neptunista* de Werner<sup>42</sup>.

La cuarta posibilidad, considera que el interior de la Tierra es homogéneo, y que lo que existe es una masa de material sólido. Un interior sólido de la Tierra era defendido antes y después de Steno. Esta hipótesis es ridiculizada por Athanasius Kircher, el autor de *Mundus Subterraneus*, que descalifica a los que creen que la Tierra es un queso. Ataca a algunos autores antiguos para los cuales en el interior de la Tierra se produce una *fermentación mineral* que dará lugar a las minas y a los metales. Para Paracelso existía este proceso fermentador de piedras. Varenius (1660)<sup>43</sup> se refiere a una “*fermentación de vapores*” los que producen los terremotos. Las ideas, en este aspecto, son muy confusas. La concepción de una corteza sólida y un interior de material fundido se desarrollará a partir del siglo XIX. Se conservan numerosas cartas de Steno dirigidas a Kircher en las que comenta y critica algunas de las ideas del autor de *Mundus Subterraneus*.

La quinta hipótesis sobre el interior de la Tierra: que el globo terrestre esté parcialmente hueco y ocupado por cavernas y canales es la defendida por Kircher y parcialmente por Steno.

Casi todos los autores que se referían al interior de la Tierra entre 1600 y 1800 admitían la existencia de cavernas, cuevas y galerías por debajo de la corteza sólida. Leonardo da Vinci y Burnet postulaban una ca-

(42) Ver el interesante capítulo que dedica HALLAN, A. (1985). Grandes controversias geológicas. Editorial Labor, Barcelona.

(43) Bernard Varen, más conocido como Varenius, es considerado como uno de los fundadores de la moderna Geografía física. Nacido en Amsterdam, estudió medicina y matemáticas. Publicó en Amsterdam en 1650 un libro en que defendía la fermentación: *Geographia Generalis, in qua affectiones generales telluris explicantur*, 786 pág. De esta obra publicó Newton un resumen en latín.

vidad global interior, mientras otros defendían la existencia también de canales y galerías subterráneas que unían entre sí diversas cavernas. Estos canales y galerías explicaban la existencia de las fuentes lejos de los ríos y en las partes elevadas de las montañas y explicaban también el hallazgo de agua en el fondo de los pozos. Incluso, para algunos (como Steno y Kircher) esos canales y galerías llegaban hasta el mar y llevaban agua hacia zonas profundas de la corteza.

Puestos a situar a Steno dentro de una corriente de opinión sobre el interior de la Tierra, sin caer en los excesos organicistas de Kircher, podemos encuadrarlo en esta opinión.

### 1.8 La medicina en el siglo XVII

Un capítulo especial merecen las ciencias de la salud. Steno estudió medicina y muchos de sus trabajos se refieren a anatomía y fisiología. ¿Está el saber médico de Steno a la altura de su época?

De acuerdo con los historiadores de la Medicina<sup>44</sup>, mientras el siglo XVI fue la centuria de la Anatomía, el siglo XVII fue el siglo de la Fisiología. Si bien hubo médicos muy notables en terrenos distintos, el siglo XVII fue, ante todo, el siglo de William Harvey<sup>45</sup> por las implicaciones médicas, científicas, filosóficas y teológicas de sus investigaciones sobre la circulación de la sangre.

Está por estudiar el influjo directo o indirecto (por medio de otros fisiólogos) de Harvey sobre el pensamiento y la obra de Steno. Posiblemente, conoció su obra aunque no haya citas explícitas de la misma en el *Pródromo*.

Gracias a Harvey, la Neurología fue una de las partes de la Anatomía que más apasionaron al mundo médico de la época del Barroco. Se estudió con interés el cerebro y su neuroeje, así como los tejidos que lo envuelven, por no hablar de los eternos debates sobre la “sede del alma” humana. Thomas Willis se interesó por el cerebro y los nervios craneales. Era una época en la que éstos no eran todavía totalmente conocidos, y sus nombres diferían de los actuales. Raymond Vieussens se interesó también por esos órganos y por el sistema nervioso periférico. Los órganos de los sentidos fueron objeto de las investigaciones de numerosos anatomistas y fisiólogos.

Los grandes órganos del cuerpo humano fueron estudiados con más detalle, esforzándose cada cual por aportar algunas precisiones. Así hicieron A. van

Spiegel con el hígado; Lorenzo Bellini con el riñón; J. C. Peyer y J.C. Brunner con los intestinos; nuestro Nicolás Steno, con J. G. Wirsung, y Thomas Wharton con las glándulas.

En el siglo XVII, en el campo de la medicina, los estudiosos se agrupan en dos grandes sistemas globales de referencia paradigmática. Por una parte, está el sistema basado en la *Yatroquímica*, según la cual la química es la clave para interpretar el funcionamiento fisiológico de los seres vivos y por ello las enfermedades y su curación. Aunque el empleo de la química en medicina se remonta a Paracelso y a sus discípulos, esta revolución médica no está completada ni muchos menos. Algunos paracelsistas del siglo XVII tuvieron como objeto de sus investigaciones la llamada “piedra filosofal”. El debate sobre la piedra filosofal opuso a la Universidad de París (adversaria del nuevo medicamento) a los médicos de Montpellier (que monopolizaban los cargos de honor en la Corte real).

Los excesos de los yatroquímicos, movieron a ciertos científicos de la época a reaccionar y considerar otras teorías alternativas más seductoras. La Física había tomado en aquella época gran impulso gracias a la experimentación, al desarrollo de las Matemáticas y a la aplicación de éstas. Se pensó entonces que se podía asimilar el funcionamiento del cuerpo humano al de una máquina. De ahí surge el sistema paradigmático de la *Yatromecánica*, por la que el ser humano podía explicarse mecánicamente.

El camino que llevaba a esas nuevas teorías fue inaugurado por Descartes, el cual en su *Traité de l'homme* (redactado hacia 1632 pero publicado treinta años más tarde) describió lo que denominan los mecanicistas el *hombre-máquina*. La fisiología y la patología cartesianas eran ingeniosas, pero pecaban de un carácter puramente deductivo, en el que sobraba razonamiento y faltaba la base experimental. En Italia, la escuela de Galileo llegó a conclusiones semejantes a las de la biomecánica cartesiana, pero utilizando para ello el camino del método experimental. La introducción del experimento cuantitativo en las ciencias médicas fue obra, sobre todo, de Santorio Santorio (1561-1636), el cual pasó una parte de su vida sentado ante una balanza pesando rigurosamente sus alimentos y excrementos.

El principal representante de la doctrina yatromecánica fue Giovanni-Alfonso Borelli (1608-1679)<sup>46</sup>, aunque muchos otros antes que él habían

(44) DULIEU, L. (1988). *La medicina en el siglo XVII*. En: R. TATON coord.: *Historia General de las Ciencias*. Editorial Orbis, Barcelona, Tomo 7, el siglo XVII. pág. 421-436. También, LAIN ENTRALGO, P. (1979). *Historia de la Medicina*. Editorial Salvat, Barcelona; LÓPEZ PIÑERO, J. M. (1979). *Ciencia y Técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*. Labor Edic., Barcelona (Sobre todo, páginas 308-370).

(45) William Harvey (1578-1657) nació en Folkstone, y estudió en Cambridge y en Padua. A su regreso a Londres impartió clases de anatomía en el Royal College of Physicians. Durante ellas, ya en 1615-1616, vino a su mente la idea de la circulación de la sangre. Pero hasta doce años más tarde no se atrevió a publicar su descubrimiento en el inmortal opúsculo *Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus* (1628).

(46) En *Canis Carchariae*, Steno hace referencias a Borelli (1608-1679), miembro de la Accademia del Cimento y autor de importantes trabajos sobre el movimiento de los animales siguiendo la doctrina Aristotélico-Galénica.

asimilado ya los órganos del cuerpo humano a objetos usuales, como fuelles, tijeras, bombas, prensa, etc. Borelli dirigió su atención a la contracción muscular y a los movimientos. Los yatro mecánicos no limitaban sus investigaciones a la anatomía y a la fisiología. Intentaban, como médicos, hallar las causas de las enfermedades y aplicarles una terapia eficaz. En Italia tuvo como continuadores a Giorgio Babilini y a Lorenzo Bellini.

## 2. NICOLAS STENO, EL HOMBRE QUE ESTABLECIÓ LOS PRINCIPIOS DE UNA NUEVA CIENCIA

Pero ¿qué sabemos del autor del *Pródromo*? ¿Cuándo y por qué publicó esta obra? ¿Cuál es el valor de Steno como científico y geólogo?

### 2.1 Biografía de un hombre singular

Niels Stensen o Steensen (más conocido por el nombre latinizado de Nicolaus Steno, o Nicolás Steno, en castellano) nació en Copenhague el 11 de enero (según el calendario gregoriano) de 1638<sup>47</sup>. Su padre era orfebre. Su familia era muy religiosa, de estricta observancia luterana. Desde pequeño tuvo una salud quebradiza, y una tendencia natural a la meditación y al ensimismamiento reflexivo. Estudia humanidades y tiene entre sus profesores a Ole Borch (más conocido como Borricchius), humanista, químico y boticario, al que volverá a encontrar después en Holanda y en París.

En 1656, en la Universidad de Copenhague, Steno realiza estudios de medicina, dirigido especialmente por el anatomista Thomas Bartholin<sup>48</sup>, hermano del pionero de la cristalografía Erasmus Bartholin<sup>49</sup>, e hijo del célebre anatomista Gaspard Bartholin. 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.

Su carácter afable le abre a la amistad con numerosas personalidades científicas de la época, entre las que se cuentan Swammerdam, de Reinier de Graaf, Sylvius (de la Boe, el influyente yatroquímico), Spinoza, etc. Allí tiene ocasión de discutir sobre el valor



Figura 2. Nicolaus Steno. Retrato correspondiente a sus tiempos de estudiante, depositado en el Palazzo degli Uffizi de Florencia. Es el único retrato que es ciertamente contemporáneo, aunque el autor nos es desconocido.

de la metodología mecanicista cartesiana en física y en anatomía. El 7 de abril de 1660 realizó ya su primer descubrimiento científico sobre el tiroides al que siguió otros relativos a los músculos y al corazón. En la primavera de 1660, Steno viaja a Roma donde toma contacto con los jesuitas del Colegio Romano y especialmente con el padre Athanasius Kircher (1601-1680) y pudo visitar su famoso Museo.

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, como invitado personal de Thévenot, cuyo círculo, heredero del de Mersenne, sería el núcleo inicial de la Academia de Ciencias de París. Allí estudia temas relativos al embrión y al cerebro. Mientras prosigue sus trabajos de anatomía, sacó mucho provecho de este ambiente intelectual y sigue, en

(47) Al final de este capítulo puede encontrar una amplia bibliografía sobre Steno. Tal vez la biografía más completa sea la de SCHERZ, G. (1969) Steno. Geological papers. Odense University Press. Una síntesis de interés sobre la vida y obra de Steno se encuentra en: SCHERZ, G. y BECK, P. (1988). Niels Steensen (Nicolaus Steno) (1638-1686). Royal Danish Ministry of Foreign Affairs, Copenhagen, 95 páginas.

(48) Thomas Bartholin (1616-1680) era médico y anatomista. Fue preceptor científico de Steno y casi un segundo padre [AMORÓS, J.L. (1978) La gran aventura del cristal. Editorial Universidad Complutense, 324 pág.]. Posiblemente es quien aconsejó a Steno que saliese al extranjero, a Holanda, para estudiar. Bartholin tendrá más tarde una gran influencia sobre Steno, pues en 1644 visitó la isla de Malta y trajo los famosos glossopetrae, dientes de tiburones del terciario.

(49) Erasmus Bartholin (1625-1698) [AMORÓS, J. L. (1978) opus cit., pág. 97 ss.] dedicó gran parte de su vida al estudio del espato de Islandia y a la doble refracción, citado por Steno en el Pródromo. Bartholin publicó sus descubrimientos en un libro de 60 páginas titulado Experimenta crystalli islandici disdiastastici, aparecido en 1670, un año después del Pródromo de Steno.

tre otros, los experimentos de Pierre Borel<sup>50</sup>. Éste había reunido en Castres un gabinete que comprendía fósiles verdaderos o falsos, como los priapolitos, interpretados con un interés por lo maravilloso que perpetuaba el espíritu de los siglos anteriores<sup>51</sup>.

Posiblemente en París o en Montpellier (las opiniones no son unánimes), Steno encuentra eminentes miembros de la Royal Society de Londres: William Croone, Martin Lister y John Ray. Se discute si a través de ellos pudo conocer los trabajos de Hooke, pero el problema sigue sin ser resuelto. En cualquier caso, desde esta fecha e incluso antes, John Ray se interesa mucho por los fósiles (Su gran viaje de 1663 a 1666 lo habría de llevar a la isla de Malta<sup>52</sup>. Los autores investigan sobre la posibilidad de que John Ray comunicase a Steno sus observaciones sobre los fósiles malteses.

En 1666 tenemos ya a Steno establecido en la Toscana, en la corte del gran duque Fernando II de Florencia, su protector. Los biógrafos tienen dificultad para explicar las circunstancias de este traslado a la península italiana. De todas formas, se sabe que fue muy bien acogido, especialmente por Redi (entomólogo y “ovista”, como Steno)<sup>53</sup> y Viviani (el biógrafo de Galileo) entre otros hombres ilustres de la *Accademia del Cimento*.

A finales de 1667, con 29 años, Steno se convierte al catolicismo, pero esto no se debe al parecer ni a presiones ni a un cálculo. Según Negri (1986)<sup>54</sup>, había iniciado su cambio de dirección en París, quizá influido en parte por Bossuet. Hombre de moralidad estricta, tanto en París como en Florencia, algunas almas nobles femeninas pudieron tener un papel en esto. Al parecer, en junio de 1667 asistió en Liorna a la procesión del *Corpus Christi*, experiencia que le fue decisiva. Desde 1667 Steno se da al estudio de la Teología y el 2 de noviembre del mismo año decide hacerse católico. Coincidencia o consecuencia: desde 1673, con 35 años, Steno abandona el mundo de la ciencia y ya no escribirá más que textos teológicos y espirituales.

Sin embargo, 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 pro-

porcionarán la ocasión de continuar estos estudios, que estuvieron dedicados a la musculatura y los órganos genitales (como al origen de los huevos), y a los dientes (estudios iniciados por la disección de la cabeza)<sup>55</sup>.

Fruto de este estudio fue la obra publicada en Florencia en 1667 con el título: *Elementorum myologiae specimen*, que incluye el famoso *Canis Carchariae dissectum caput* del que hablamos más adelante. La parte del libro dedicada a la cabeza del tiburón Carcharias se subdivide, a su vez, en un estudio de anatomía comparada del conjunto, un examen más particular del sistema dentario y un paréntesis (pág. 90-116) de un considerable interés geológico sobre el problema de las grandes *Glossopetrae*.

Hacia 1660 parece que todavía seguían vivas en Florencia algunas de las ideas de Leonardo da Vinci (1452-1519) referentes a la interpretación de los depósitos de conchas marinas. El caso es que Steno en su estudio sobre las *Glossopetrae* dedica todo un año (según él mismo narra) al problema de los depósitos de conchas. A éste sigue una explicación de lo que hoy llamaríamos la historia geológica de la Toscana. Aunque en algunos puntos Leonardo fue mucho más adelante y en otros Steno llevó a sus últimas consecuencias sus observaciones, sobre todo cuando aborda la redacción del *Pródromo* (1669) como introducción a una obra monumental que nunca fue publicada.

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 relacionado 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. Tras la publicación del *Pródromo*, Steno inicia una serie de viajes por Europa. Entre 1672 y 1674, está en su país, en Copenhague, invitado por el rey de Dinamarca pero dimite a causa de verse involucrado en controversias religiosas que le causaron viva desazón.

De vuelta a Toscana, decide ordenarse sacerdote católico (14 de abril de 1675) y posteriormente es consagrado obispo (19 de septiembre de 1677). Reside como vicario apostólico en Hannover desde finales de 1677 hasta el año 1679. Allí entra en contacto con el filósofo Leibniz (1646-1716), que ya es-

(50) Pierre Borel (1620-1689) llegó a París en 1653 donde llegó a ser Consejero y Médico Ordinario del Rey. Steno había leído en Copenhague sus *Historiarum et Observatiunum medicophysicarum centurariae IV* (París, 1656) e hizo un resumen del mismo en lo referente a los fósiles.

(51) ROGER, J. (1971). Les sciences de la vie dans la pensée française du XVIIe siècle. París.

(52) WAGNER, P. (1986). Nicolaus Steno. 1638-1686. Odense University Press., sobre todo, pp. 155-157.

(53) Francesco Redi (1626-1697) fue un eminente físico en Florencia y en la corte desde 1666. Miembro de la *Accademia del Cimento* y trabajó en el diccionario de la *Accademia della Crusca*, a la que pertenecía Steno.

(54) En: BUSSI, A. coordinador (1986). Niccolò Stenone e la scienza in Toscana alla fine del '600- Mostra documentaria e iconografica. Florencia.

(55) Cfr. MORELLO, N. (1989). La nascita. p.37.

taba preocupado por la geología. Téngase en cuenta que la *Protogaea* fue escrita en 1690, aunque permaneció inédita hasta 1749. Más tarde, Leibniz reconoció su deuda con Steno pero lamentó que a causa de su conversión al catolicismo “un gran físico se convirtiera en un teólogo mediocre”<sup>56</sup>

Los últimos años de Steno transcurren en Alemania como obispo, con una vida cada vez más ascética y una austeridad de vida no comprendida por muchos. Demacrado, pobremente vestido y sufriendo heroicamente del estómago, el obispo Steno falleció el 5 de diciembre de 1686 en Schewerin, sin haber cumplido aún los 49 años.

## 2.2 La obra científica de Nicolás Steno

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.

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.

Si exceptuamos su discutido cuaderno manuscrito denominado por él mismo como *Chaos* en el que reseña sus primeras reflexiones de la época de estudiante (desde el 8 de marzo de 1659, cuando tiene 21 años, hasta el 3 de julio de 1660)<sup>57</sup>, su primer trabajo científico es su memoria de final de estudios en Holanda en 1660, algo así como nuestra Tesina. Bajo la dirección del profesor del Ateneo de Amsterdam, Arnold Senguerd (1610-1667) defendió su trabajo sobre el origen de la temperatura y la descripción de las fuentes termales, análisis de las aguas, los minerales que contiene y los gases desprendidos. Este opúsculo lleva como título *Disputatio Physica de Thermis* (Amsterdam, 1660) (publicada por G. Scherz, 1969).

Fruto de su trabajo investigador como anatomista y geólogo en Florencia hacia 1666 es uno de los dos trabajos más concienzudos de Steno: es 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 dis-*

*sectis 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<sup>58</sup>. 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*.

El texto siguiente de *Canis Carchariae* (modificado de M. Rubió en Ellenberger, 1989: 200-201) es significativo de su pensamiento que será luego desarrollado en el *Pródromo*: “Las numerosas conchas de ostras aglomeradas en una masa única, que se desentierran en determinados lugares, no se diferencian en nada de los que se crían en el mar, de donde también se extraen masas enormes de ostras de diversos tamaños, aglutinadas juntas de manera asombrosa”. Y más adelante: “En cuanto a las *Glossopetrae*, se puede ver a muchas unidas, solidarias de una misma matriz, no todas enteras, y de variados tamaños; ahora bien, se observa lo mismo en la mandíbula del animal vivo, que todos los dientes no son del mismo tamaño y que los de las filas inferiores no están endurecidos en todas sus partes”.

El *Canis Carchariae* viene acompañado por tres magníficas láminas que se han hecho clásicas: la lámina I, presenta una excelente reproducción de la cabeza de un tiburón vivo (“*Lamiae Piscis caput*”, la cabeza del pez *Lamia*) y dos dientes del mismo (“*Eisdem Lamiae dentes*”). La lámina II muestra un detallado dibujo de las estructuras cerebrales del tiburón. Y la lámina III, dibuja seis dientes de las *Glossopetrae* que son idénticas a los dientes del tiburón antes descrito.

Tras la publicación de *Myologiae* que incluye *Canis Carchariae*, Steno recibió una pensión de 25 escudos al mes para proseguir sus trabajos. Parece ser que en esta época tiene lugar su profunda crisis religiosa, mientras prosigue la investigación en las rocas de la Toscana, y su mente se ocupa también de poner orden entre los conocimientos tradicionales

(56) LEIBNIZ, Theodicea, 1ª parte, p. 100, citado por ELLENBERGER, F. (1989). opus cit., pág.195-196.

(57) SCHERZ, G. (1969). opus cit.,13 ss

(58) ELLENBERGER, F. (1989). Opus cit., pág. 196-202.

adquiridos y las nuevas e inquietantes observaciones que entran en contradicción no solo con la ciencia oficial sino también con sus creencias religiosas. 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 Prodrumus*. Fue editado a cargo del propio Nicolás Steno en Florencia, y vio la luz en abril del año 1669.

### 2.3 Introducción a la lectura del *Pródromo* de Nicolás Steno (1669)

Nos ha parecido que es necesario aportar aquí algunas orientaciones para que el lector no especialista comprenda el sentido global del *Pródromo* de Steno. Tanto Scherz (1969: 25-28) como Ellenberger (1989:206-213) presentan sendos esquemas amplios que comprenden los contenidos del *De solido intra solidum naturaliter contento Dissertationis Prodrumus* de Nicolás Steno. Éste consideró su trabajo más bien como una pieza oratoria y no parece que pretendiera darle una estructura sistematizada tal como se suele hacer para un “libro”, dado que en su tiempo no existía la geología como

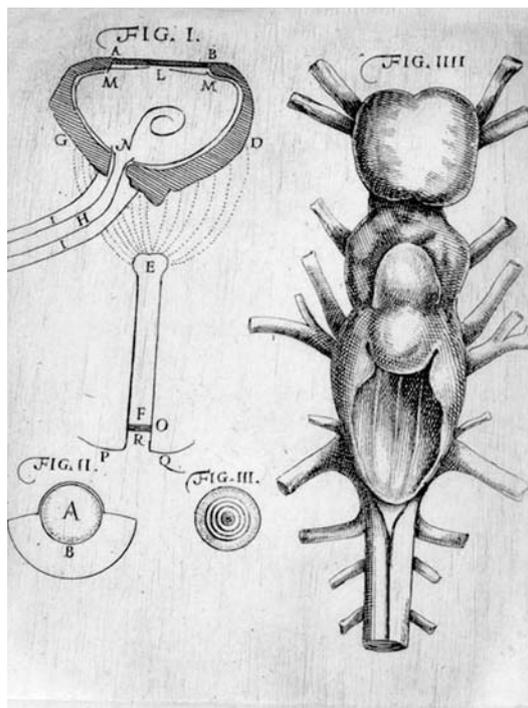


Figura 4: reproducción de la Tabla II de “*Canis Carchariae*” (1667). Anatomía del cerebro del tiburón *Lamia*.

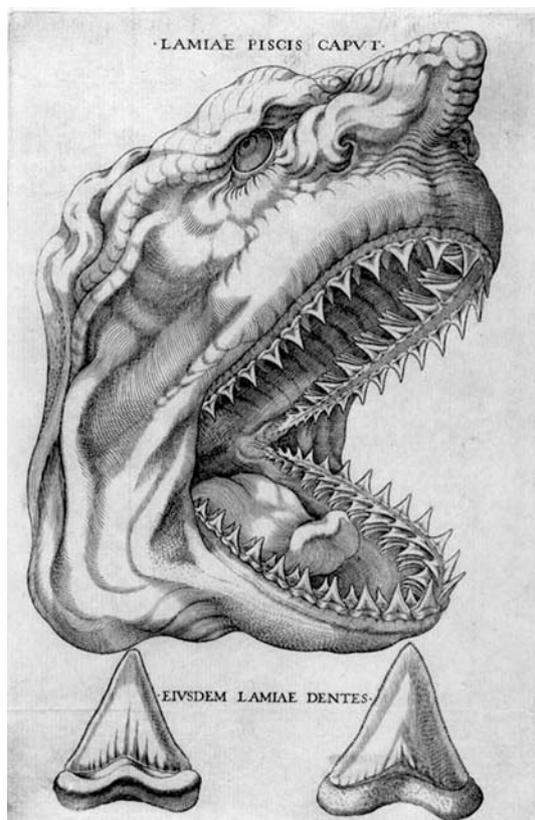


Figura 3: reproducción de la Tabla I de “*Canis Carchariae*” (1667). Es la lámina clásica con la cabeza y los dientes del tiburón *Lamia*.

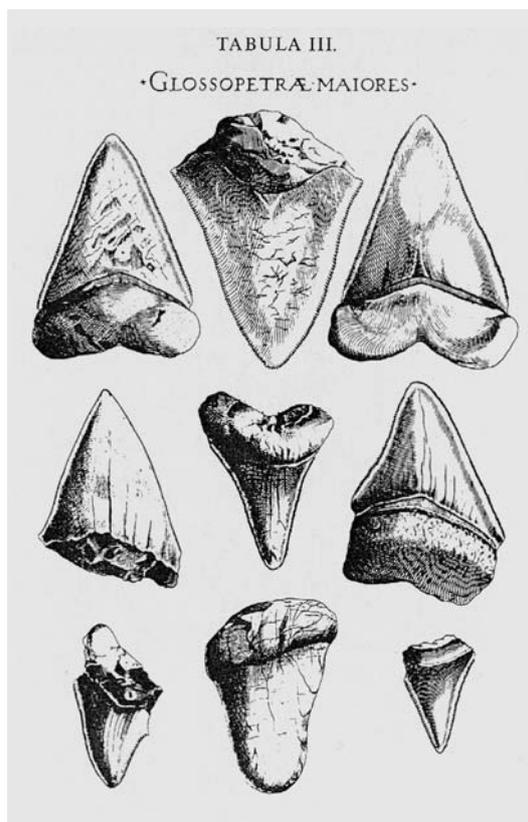


Figura 5: reproducción de la Tabla III de “*Canis Carchariae*” (1667). Dibujo de las *Glossopetrae maiores*, los dientes de tiburón de mayor tamaño encontrados en los sedimentos.

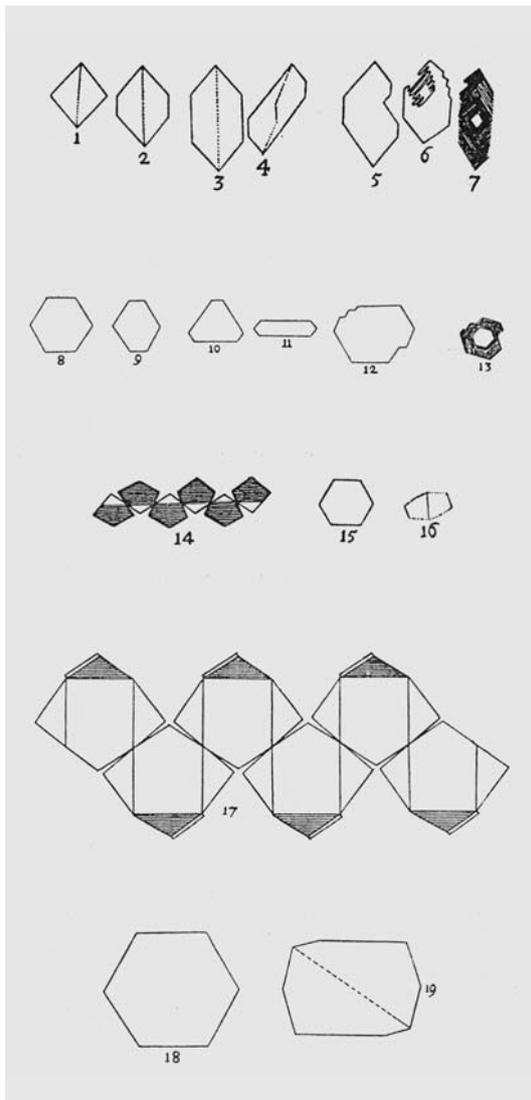


Figura 6: Las 19 primeras figuras del Prodrómo de Steno, con las formas de los cristales descritos en el texto.

cuerpo de conocimientos organizados. Pero en la introducción del *Pródromo*, ya Steno indica que tiene cuatro partes que tanto Scherz como Ellenberger respetan. Por ello, dividen el *Pródromo* en las cuatro partes precedidas de una introducción, que es más bien lo que se suele entender como *exordio* en la retórica tradicional. Las subdivisiones y los epígrafes de Ellenberger y Scherz son subjetivos y, como veremos, en el presente trabajo se han modificado. Estas son las partes principales tal como se han adoptado aquí:

0. **Exordio**: dedicatoria, excusas y plan de la obra en cuatro partes.

Parte I: **Fundamentación histórico-filosófica** sobre los cuerpos rocosos incluidos dentro de otros. En esta primera parte, Steno resume las posturas de los naturalistas sobre la interpretación de la naturale-

za y origen de los cuerpos sólidos incluidos dentro de otros sólidos: ¿qué hace 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.

Parte II: **Los principios metodológicos para una recta investigación geológica y paleontológica**. 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.

Parte III: **Interpretación de los cuerpos individuales incluidos en otros sólidos**. Una vez asentados los principios científicos, Steno aplica los mismos a diversos sólidos extraídos de la tierra. 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, cristalografía y paleontología.

Parte IV: **Un ejemplo de aplicación de todo lo dicho a la geología de la Toscana**. Por último, Steno aborda el problema de la reconstrucción histórica de la Toscana desde el origen de los tiempos hasta la actualidad. 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: 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.

Los autores citados (Scherz, 1969, y Ellenberger, 1989) presentan después una compleja y completa sinopsis del texto. En la traducción que se presenta más adelante se han elegido sólo algunas subdivisiones arbitrarias con el objeto de que sirvan como guía práctica de la lectura. Como podrá comprobarse, tales subdivisiones se han consignado entre corchetes ([]) para que conste que no pertenecen al texto original.

No es este el lugar para desarrollar con la amplitud que se merece la influencia de la obra de Nicolás Steno sobre los geólogos y naturalistas posteriores. Citemos como ejemplo que Steno tiene un gran in-

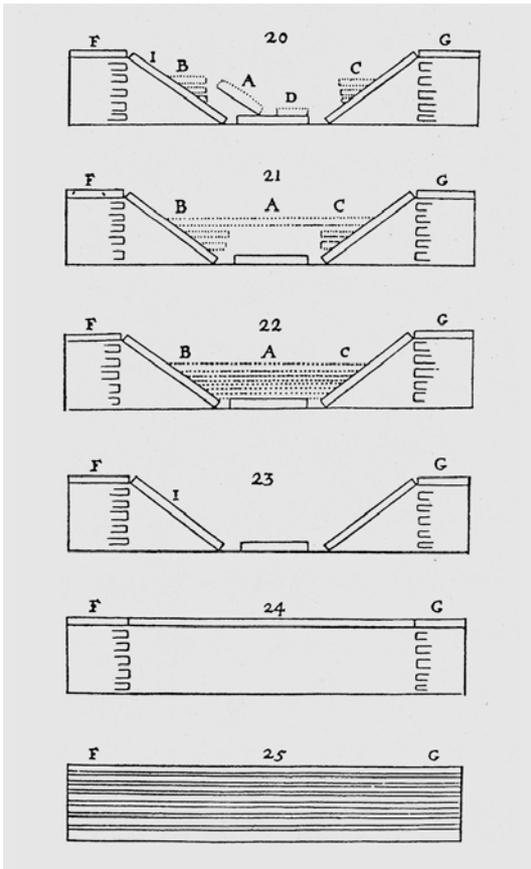


Figura 7: Las figuras 20 a 25 del *Pródromo*, con la evolución de los estratos en la Toscana según Steno, tal como describe en el texto.

flujo sobre uno de los padres de la geología italiana, Giovanni Arduino (1714-1795)<sup>59</sup>. En su período científico, entre 1758 y 1769, lee los trabajos de Buffon, Valerius, de Maillet y Steno que le dan la base para sus investigaciones sobre la geología del norte del Véneto.

Ellenberger<sup>60</sup> ha descrito minuciosamente el itinerario del razonamiento basado en las observaciones de Steno. Resulta sorprendente, 330 años más tarde, la fina observación y el agudo razonamiento regido por una gran prudencia para no afirmar nada que no pueda ser justificado. Posiblemente, Steno era consciente de lo revolucionario de sus planteamientos respecto a la ciencia oficial de su tiempo y en un momento en el que las Iglesias, tanto católica como protestante, tenían un oído muy fino hacia la disidencia. No en vano, desde que escribió el *Chaos* entre 1659 y 1660, Steno piensa en su vida “actuar de manera muy exacta y ordenada según el método de Descartes”.

### 3. EL PRÓDROMO DE STENO:

#### ALGUNAS IMPLICACIONES DIDÁCTICAS Y SUGERENCIAS PARA EL AULA DE SECUNDARIA Y DE LA UNIVERSIDAD

Esta traducción del *Pródromo* de Nicolás Steno no sólo tiene el valor científico e histórico que se ha puesto de manifiesto más arriba. También tiene un pretensión didáctica. Nuestro objetivo es que el *Pródromo* de Steno, en manos del profesorado, pueda convertirse en una herramienta didáctica de interés para la construcción en la mente de los alumnos de algunos de los principios fundamentales de las ciencias de la Tierra. En los programas educativos se cita en ocasiones la figura de Steno como uno de los “padres” del conocimiento geológico. Pero apenas se suministra a los profesores y a los estudiantes una información básica o al menos biográfica; y menos aún, se facilita el contacto directo con las fuentes escritas. Sobre todo, al tratar de la estratigrafía, los manuales aluden a Steno pero sin una conexión histórica. (Fig. 8).

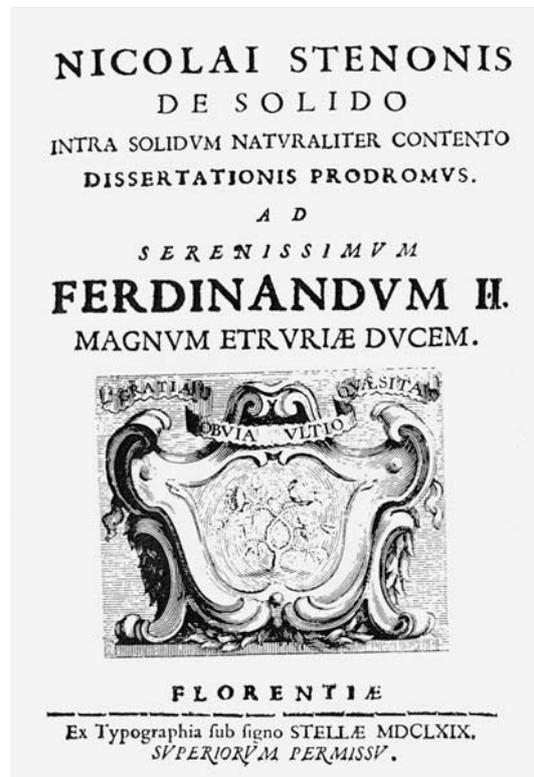


Figura 8: Reproducción de la portada original del *Prodomo* de Steno (Florenca, 1669)

(59) VACCARI, E. (1993). Giovanni Arduino (1714-1795). Il contributo di uno scienziato veneto al dibattito settecentesco sulle scienze della Terra. *Biblioteca di Nunciatus, Studi i Testi*, Leo S. Olschki editor, Florenca, 407 páginas.

(60) ELLENBERGER, F. (1989), opus cit., pág. 202-258

Sin embargo, muchos son los temas de interés para educación secundaria y para la universidad que pueden abordarse desde la lectura y comentario de los textos de Steno. Algunos de estos grandes temas de interés didáctico son los siguientes:

- La formación de las montañas.
- La formación de los estratos.
- La formación de los fósiles y su interpretación como restos de la vida del pasado.
- Los grandes principios de la geología: el principio de la continuidad de los estratos y el principio de la superposición de los estratos.
- Los estratos, como los archivos de la historia de la Tierra
- Los cambios de posición de los estratos (inicio de la tectónica)
- Nociones sobre alteración, destrucción, erosión y transporte de las rocas.
- Nociones sobre el origen del paisaje por la acción de los agentes externos.
- Nociones de cristalografía geométrica.

Esta relación se podría continuar más... Pero antes de trabajar con los alumnos conviene que el profesor tenga algunos principios básicos suficientemente asimilados.

#### Historia de las ciencias y enseñanza de las ciencias

Se ha partido de la hipótesis en este trabajo de que la historia de las ciencias (y en particular la historia de las ciencias de la Tierra) puede ser una potente herramienta didáctica para la formación humanística y científica del alumnado<sup>61</sup>.

En estos últimos años son abundantes los trabajos de investigación relativos a la didáctica de las ciencias, de modo que éstas se han constituido en una disciplina con su propio estatuto epistemológico que convoca una auténtica comunidad científica.

Al analizar las principales reformas del currículum de ciencias de la naturaleza en las últimas décadas, Hodson<sup>62</sup> señala que algunos de los objetivos en los que el fracaso es más notorio están relacionados con la visión de los estudiantes sobre las ciencias. Para este autor dos son las causas de dicho fracaso: por una lado, la visión inadecuada que tienen los propios profesores sobre la naturaleza de la ciencia, y por otro, la confusión (contradicción o desfase) existente en la filosofía de la ciencia que subyace en muchos de esos currículos.

No es extraño que así sea, pues la ciencia que se muestra en el aula es generalmente estática, cerrada, acabada. Al alumnado se le ocultan tanto las incertidumbres e interrogantes que existieron en el pasado, como los que pueden encontrarse hoy. Es una ciencia que niega su propia historia (Pedrinaci, 1994).

En ocasiones se entiende la Historia de la Ciencia como una exposición cronológica de los principales logros que han ido acumulándose a lo largo del tiempo. Se trata de una historia descriptiva que tiene en el progreso científico su criterio expositivo. No es ésta la Historia de la Ciencia de la que cabe esperar contribuciones relevantes a la enseñanza.

En manos del profesorado, la historia de la ciencia puede ser una herramienta de gran poder transformador de ideas previas y de construcción de unas capacidades de análisis científico. Lo veremos más en detalle. Pero antes consideramos de interés presentar algunas sugerencias para la lectura crítica de un texto científico como el de Steno.

¿Cómo leer y entender un texto de un científico antiguo? El punto de inicio de esta tarea consistente en trabajar con los alumnos diversos textos científicos es adquirir un método adaptado a su situación para leer, entender y comentar cada texto científico. Leer directamente un texto científico antiguo presenta no pocas dificultades. Presentamos este esquema:

#### OBJETIVOS EDUCATIVOS DEL COMENTARIO DE TEXTOS DE NICOLÁS STENO

El comentario de un texto científico y/o filosófico, y en nuestro caso del *Pródromo* de Nicolás Steno, supone siempre un doble esfuerzo: por una lado, un esfuerzo de comprensión de las ideas expuestas por un autor y por otro lado, un esfuerzo de interpretación crítica de lo que realmente quiere decir, de la epistemología oculta, sus imágenes racionales de la realidad.

Esta interpretación puede realizarse conforme a patrones clásicos - como es la interpretación al uso innovadores - las interpretaciones no convencionales con carácter de propuesta, siempre bien argumentadas-. En cualquier caso, el objetivo es tratar de ofrecer una visión comprehensiva sobre el tema, apoyándose en el texto y tratando de ir más allá desde una perspectiva personal. Brevemente, el comentario de texto es una explicación y una comprensión del sentido del texto en la que se analiza lo que en él se dice, cómo se dice, desde dónde, etc.

(61) Soy deudor en este aspecto de Emilio Pedrinaci, compañero y amigo en las tareas educativas. Ver: PEDRINACI, E. (1993). *Utilidad de la Historia de la Geología*. En: ALDABA ET AL., Educación Abierta. ICE, Zaragoza, 10, 111-146; PEDRINACI, E. (1994). *La Historia de la Geología como herramienta didáctica*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, AEPECT, 2(2-3), 332-339. Una propuesta concreta está en: PEDRINACI, E. (2001). Los procesos geológicos internos. DCE, n1 3, Editorial Síntesis, Madrid, 222. Aunque este autor se refiere casi exclusivamente a la historia de la geología, las hipótesis de trabajo son extensibles a todas las ramas del conocimiento científico.

(62) HODSON, D. (1988). *Toward a philosophically more valid science curriculum*: Science Education, vol 72, p. 19-40.

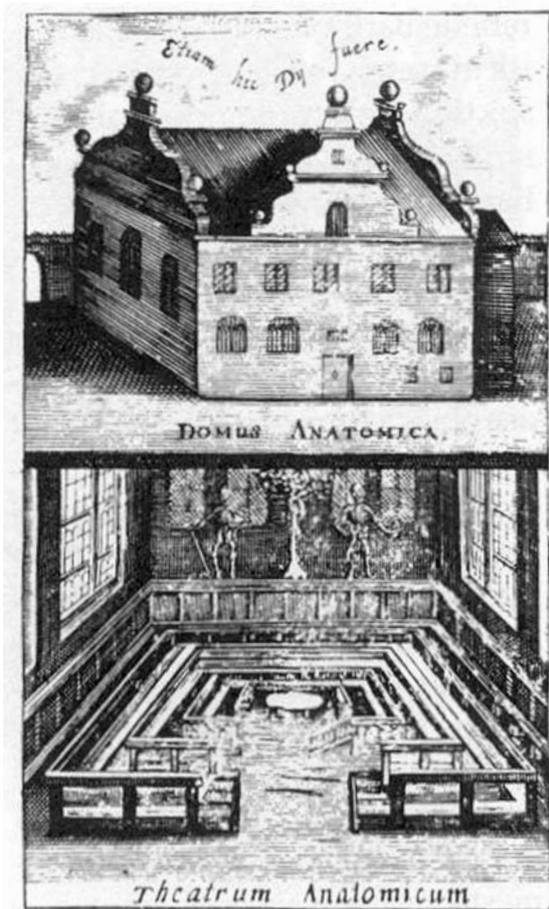


Figura 9: La Casa Anatómica (*Domus Anatomica*) y el Auditorio Anatómico (*Theatrum Anatomicum*) de Copenhague, donde Steno realizó sus primeros estudios.

Supuesto esto, pueden establecerse algunos pasos orientativos que estructuran el trabajo de comentario:

### 1. Lectura atenta y comprensiva del texto.

Con frecuencia, los estudiantes tienen dificultad de comprensión de la lectura de un texto escrito en castellano. Cuánto más cuando se trata de un texto escrito en otra lengua. Y aunque presentamos una traducción castellana, se ha intentado respetar la sintaxis muchas veces farragosa. A esto se añade la dificultad para la comprensión de un texto que contiene conceptos que no son familiares al lector medio. El intento de lectura comprensiva, en la que los estudiantes intentan exponer con sus propias palabras las ideas del texto, es esencial y a ello habrá que dedicarle su tiempo y un esfuerzo.

**2. Situar el texto en su contexto:** para entender un texto de Steno es necesario situarlo dentro del contexto general de la obra completa del autor y en el contexto cultural y científico del siglo XVII en Italia. Para ello, se aconseja que con ayuda de lo que se contiene en este capítulo introductorio se trabajen en el aula estos aspectos:

2.1 Situar el texto dentro de la obra de la que forma parte, en nuestro caso, el *Pródromo* de 1669.

2.2 Situarlo en el contexto de la producción total de Nicolás Steno.

2.3 Situarlo en la corriente de pensamiento filosófico o científico en que se sitúa el autor.

2.4 Situarlo en el contexto sociocultural de la época en que fue escrito: desde qué cultura y desde qué lugar epistemológico se está hablando (desde qué comprensión del mundo, desde qué presupuestos filosóficos, desde qué comprensión del valor de lo que es el conocimiento filosófico y científico etc.).

Se trata de expresar la temática y el contenido del texto. Evitar en un primer momento la introducción de juicios personales. Expresar el tema central brevemente. Presentar un esquema de las ideas fundamentales.

**3. Destacar las ideas fundamentales:** Releer otra vez el texto de Steno e intentar ceñirse a estos aspectos:

3.1 resumir los contenidos básicos y descubrir la estructura interna que sustenta el texto.

3.2 Si es posible elaborar un mapa conceptual del texto que estructure los procesos de argumentación contenidos en el texto.

Se trata de evidenciar presupuestos, reconocer los tipos de definición empleados, identificar las premisas explícitas, las tesis defendidas, así como los modos de argumentación utilizados.

**4. Relacionar las ideas expresadas en el texto con:**

4.1 Describir otras ideas del autor expresadas en la misma obra,

4.2 Describir otras ideas del autor expresadas en otras obras (¿ha habido cambio histórico en algunas concepciones del autor?)

4.3 el conjunto de la obra o sistema del autor.

4.4 otras ideas de autores, afines o contradictorias con las ideas del texto, comparando, diferenciando y extrayendo algunas conclusiones preliminares que permitan el comentario.

### 5. Interpretación y conclusiones:

5.1 Valoración personal crítica del texto.

5.2 Determinar su importancia y la de las ideas expuestas.

5.3 Relevancia respecto a los temas tratados y del contexto en que se sitúa: ¿es innovador o conservador? Influencia en otros autores, corrientes o el lector presente.

5.4 Temas abiertos, temas que son objeto de debate en su época y ahora, temas que quedan por resolver.

5.5 Conclusiones personales básicas.

Para la moderna historiografía de la ciencia, tan interesante resulta estudiar los avances producidos en la construcción del saber relacionados con la in-

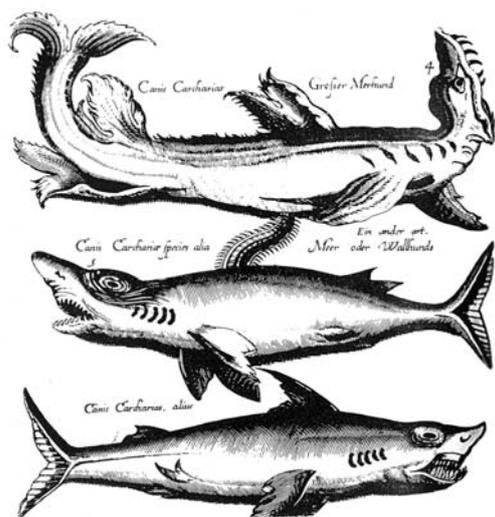


Figura 10: dibujos contemporáneos de Steno de diversos tiburones. Tomados de J. Jonston (1767). De piscibus et cetis (Heilbronn, lámina VI).

roducción de un procedimiento, un concepto o un sistema conceptual, como analizar las razones de un estancamiento, una progresión dificultosa o de un retroceso. Desde esta perspectiva historiográfica habrá de entenderse lo que sigue.

Las aportaciones de la Historia de las Ciencias que justifican su consideración como fuente de selección del curriculum se abordan desde cuatro perspectivas, tal como propone Pedrinaci en los trabajos ya citados: a) la detección de los obstáculos epistemológicos que se han encontrado en la construcción del conocimiento, b) la utilidad de la introducción de ciertos conceptos, procedimientos o actitudes para la superación de dichos obstáculos, c) el desarrollo de la capacidad mental para poder abordar nuevos problemas geológicos<sup>63</sup>.

**a) La lectura y el comentario de algunos textos de Steno nos pueden revelar las ideas previas de los alumnos sobre algunos conceptos geológicos**

Los estudios sobre las ideas previas de los alumnos han sido considerados durante años el punto de arranque de toda programación didáctica. La explicitación de las ideas previas de los alumnos ayuda a desentrañar los obstáculos epistemoló-

gicos que mantienen muchos estudiantes. Desde los años 30 del siglo pasado, el profesor y epistemólogo Gaston Bachelard<sup>64</sup> estaba convencido de la importancia que el conocimiento de la Historia de las ciencias tiene para el análisis epistemológico y el aprendizaje de la ciencia: “Cuando se investigan las condiciones psicológicas del progreso de la ciencia, se llega muy pronto a la convicción de que *hay que plantear el problema del conocimiento científico en términos de obstáculos*. (...) Es ahí donde mostraremos causas de estancamiento, es ahí donde discerniremos causas de inercia que llamaremos obstáculos epistemológicos” (Citado por Pedrinaci, 1994).

Consideramos que los textos de Steno sobre la formación de los estratos pueden ser un buen recurso didáctico para llevar a cabo este cometido. Los profesores deben intentar hacer explícitas las representaciones que sobre los estratos, su composición y su formación tienen los estudiantes. De los muchos textos posibles recomendamos los siguientes:

**Leer y comentar estos textos:**

*Los estratos de la tierra*

[42] Los estratos de la tierra están relacionados con depósitos de fluidos, porque:

1. La materia pulverulenta de los estratos no se puede nunca convertir en otra figura, a no ser que, arrancada de su lugar por el mismo movimiento del fluido, al perder su propio peso se mezclara otra vez en el fluido.

2. Los cuerpos más grandes que se contienen en el mismo estrato obedecen en su mayor parte a las leyes de la gravedad, no solo con respecto a la posición final de un cuerpo considerado en sí mismo, sino también respecto a la posición relativa de los distintos cuerpos entre sí.

3. La materia pulverulenta de los estratos de tal manera se ha acomodado a la forma de los cuerpos contenidos en ella, que no sólo llena algunas mínimas cavidades del cuerpo contenido sino que ha tomado de estos cuerpos el pulimento y el brillo de la parte de la superficie que está en contacto, aunque la aspereza del polvo no se corresponda con el pulimento y el brillo del estrato.

**Cuestionario para debate en el aula:** se sugieren algunas cuestiones para centrar el trabajo sobre estos textos para el objetivo citado más arriba. De todas formas, el profesorado puede trabajar en grupos con los alumnos para que ellos mismos pongan

(63) PEDRINACI, E. (1987). Representaciones de los alumnos sobre los cambios geológicos: Investigación en la Escuela, n1 2, p. 65-74. PEDRINACI, E., (1992). Catastrofismo versus actualismo. Implicaciones didácticas: Enseñanza de las Ciencias, vol 10, (2), p. 216-222.

(64) BACHELARD, G. (1938). La formation de l'esprit scientifique, Vrin: Paris. Traducción española: (1993). La formación del espíritu científico. Contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo. Siglo XXI, Madrid (190 edición de la traducción española de 1948), 302 pág.

al descubierto sus propias ideas. Estas preguntas son un punto de partida puramente indicativo. De ellas pueden derivarse otras muchas que pueden relacionarse con ellas:

- 1) ¿Qué es lo que entiende Steno por “estrato”?
- 2) ¿Cómo cree que se han formado esos estratos? ¿Estás de acuerdo con lo que dice?
- 3) ¿Qué pasa con las arenas y las piedras pequeñas arrastradas por la corriente de los ríos?
- 4) ¿Cómo pueden ser transportadas por el agua las piedras grandes? ¿qué les ocurre?

**Aquí tenemos otro texto para usar en el aula:**

[44] Acerca de la materia de los estratos se podría determinar lo siguiente:

1) Si en el estrato rocoso existen partículas de la misma naturaleza, y de tamaño fino, por ninguna razón se podría negar que este estrato se ha producido en el momento de la creación a partir de un fluido que entonces lo envolvía todo, tal como Descartes explica la producción de los estratos de la tierra<sup>65</sup>.

2) Si se encuentran en algún estrato fragmentos de otro o partes de animales o de plantas, ciertamente puede decirse que el estrato no puede ser incluido entre los estratos que fueron formados por el primer fluido en los tiempos de la creación.

3) Si en algún estrato observamos indicios de sal marina, restos de animales marinos, tablas de barcos y sustancias similares a los del fondo del mar, se puede aducir ciertamente que el mar estuvo alguna vez en ese lugar, ya se debiera a diversas causas, como son la de la inundación de la tierra o la de los vómitos de las montañas.

4) Si en algún estrato encontramos gran abundancia de juncos, semillas, piñas, troncos y ramas de árboles y objetos similares, podemos deducir con todo derecho que dichos materiales han sido llevados allí por la inundación del río o por el arrastre de un torrente.

5) Si en algún estrato se encontraron carbones, cenizas, piedra pómez, asfalto y cuerpos calcinados, ciertamente que hubo un incendio en las proximidades del fluido; y sobre todo, si el estrato se compone casi exclusivamente de ceniza y de carbón, tal como yo mismo observé a las afueras de la ciudad de Roma, donde los materiales se extraen como ladrillos cocidos.

6) Si en el mismo lugar la materia de todos los estratos fuera la misma, con seguridad que aquel

fluido no ha recibido los fluidos de diversas naturalezas que confluyeron en aquel lugar en diferentes épocas.

7) Si en el mismo sitio hubiera estratos de diversa materia, o bien se trata de que en momentos diferentes confluyeron allí diversas clases de fluidos (ya debido a la variedad de los vientos, o a que la caída de las lluvias fuera más impetuosa según las localidades) o bien que en el mismo sedimento hubo materia de diverso peso de modo que los más pesados se dirigen primero hacia el fondo y luego los más livianos; los cambios en las condiciones del tiempo podrían haber causado tal diversidad, especialmente en las regiones donde se observa una desigualdad similar en el suelo.

8) Si se encuentran estratos de piedra entre estratos terrosos, ello indica que existe una fuente o aguas petrificantes<sup>66</sup> en las cercanías; o a veces existen erupciones ocasionales de vapores subterráneos; o bien que un fluido, que había abandonado el sedimento cuando ya se había depositado, vuelve otra vez cuando la costra superior se ha endurecido con el calor del sol.

**Cuestionario para debate en el aula:** se sugieren algunas cuestiones para centrar el trabajo sobre estos textos para el objetivo citado más arriba:

- 1) ¿De qué están compuestos los estratos?
- 2) ¿Dónde has visto estratos?
- 3) ¿De qué estaban compuestos?
- 4) ¿Cómo crees que se han formado?
- 5) ¿Puede un mismo estrato cubrir toda la Tierra?
- 6) ¿Cómo se ponen duros los estratos?

**b) La lectura y el comentario de algunos textos de Steno nos pueden revelar el modo en que pueden superarse los obstáculos epistemológicos.**

Posiblemente habremos llegado a la conclusión de que muchas de las dificultades que los estudiantes tienen para comprender adecuadamente algunos conceptos geológicos de Steno provienen de determinadas barreras mentales que les impiden analizar críticamente esos problemas. Son los “obstáculos epistemológicos”.

En otro lugar me he referido al caso de Diluvio Universal<sup>67</sup>, representación de la naturaleza muy difundida en todas las culturas y que ha supuesto un obstáculo que impidió el avance de las ciencias de la Tierra y de las ciencias de la vida durante siglos.

(65) Steno se refiere aquí a Descartes, a los Principia Philosophiae (parte cuarta, párrafos XXXVIII-XXXIX) donde se alude a las costras de la Tierra y a los cuerpos rocosos. Para Descartes, al enfriarse el viejo astro incandescente éste fue dando lugar a las distintas rocas.

(66) La creencia en unos “jugos” o “fuerzas” petrificantes están presentes desde muy pronto en la historia de la Geología [cfr. ELLENBERGER, F. (1989). opus cit., 188 ss]. Tal vez, Steno haya recogido estas ideas de Gassendi (1592-1655) que habla largamente de la vis lapidifica guiada por una vis seminal. Esta fuerza seminal organiza la intimidad de la sustancia de las piedras, y no difiere de la que organiza los huevos y las simientes. Algunas sustancias, como la sal, son agentes de coagulación de las piedras.

(67) L. SEQUEIROS (2000). Teología y Ciencias Naturales: las ideas sobre el diluvio universal y la extinción de las especies biológicas hasta el siglo XVIII. Archivo Teológico Granadino, 63, pág. 91-160.

Un caso paradigmático en este sentido es el del oxígeno, estudiado por la profesora Anna Estany<sup>68</sup>. La revolución científica en química consistió en el paso de la química del flogisto a la química del oxígeno durante el siglo XVIII. Georg Ernst Stahl (1600-1735) sistematizó la química del flogisto, y Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) la del oxígeno. Lavoisier no fue el único autor de la revolución química, ni Stahl el único que colaboró en la unificación de la química en el siglo XVII. Pero han pasado a la historia como los representantes de la química del flogisto y de la química del oxígeno. La transición entre una concepción química a la otra no estuvo exenta de dificultades. No “cabía” dentro de determinadas concepciones del mundo.

Otro caso similar ocurre en la revolución científica con las imágenes mecánicas del mundo planetario. El paso de las concepciones de los aristotélicos y de Claudio Tolomeo a las concepciones de Nicolás Copérnico (1473-1543) y Galileo Galilei (1564-1642) no estuvieron libres de incompreensión, rechazo y de condenas debido muchas veces a cuestiones extracientíficas. Los alumnos y alumnas, con frecuencia, mantienen posiciones extracientíficas que hacen muy difícil la construcción de nuevos conocimientos. Y estos obstáculos, a veces, coinciden con los que han existido históricamente. Conocer la historia puede ayudar a comprender cómo los estudiantes pueden superar esos obstáculos.

**El texto siguiente puede ser de interés para esta tarea:**

[85] Lo que aquí se ha dicho sobre las conchas se podría haber dicho también sobre las partes de los animales e incluso de los mismos animales enterrados bajo tierra, entre los cuales, entre los cuales pueden ser reseñados los dientes de tiburones, los dientes de pez diablo, las vértebras de peces, y todo tipo de peces enteros, cráneos, cuernos, dientes, fémures y otros huesos de animales terrestres, casi todos ellos parecidos a las partes de animales de hoy día o que difieren de ellos sólo en el color y el peso, o que no tienen en común con ellos nada excepto la forma externa.

**Cuestionario para debate en el aula:** se sugieren algunas cuestiones para centrar el trabajo sobre estos textos para el objetivo citado más arriba:

- 1) ¿Has visitado algún yacimiento de fósiles?
- 2) ¿Cómo interpreta Steno la formación de los fósiles?
- 3) ¿Cómo crees que se forman las acumulaciones de conchas en las playas?

4) ¿Cómo pueden conservarse después de tantos miles o millones de años?

5) ¿Los animales que encontramos fósiles, vivían allí, en ese mismo lugar?

6) ¿Cómo explicas que haya fósiles marinos en lo alto de una montaña alta y lejos del mar?

**c) La lectura y el comentario de algunos textos de Steno nos pueden ayudar al desarrollo de la capacidad mental para poder abordar nuevos problemas geológicos**

Pedrinaci<sup>69</sup> insiste en que se trata de que los estudiantes valoren adecuadamente que determinados conceptos geológicos les van a permitir interpretar las cosas de otra manera. Para Gagliardi<sup>70</sup> existen conocimientos que una vez que han sido construidos por los alumnos determinan una transformación y reestructuración de su sistema conceptual. Son los que denomina conceptos estructurantes. Por otra parte Gagliardi y Giordan<sup>71</sup> señalan tres herramientas que pueden ayudar a definir cuáles son esos conceptos estructurantes: el análisis de las representaciones sociales, el análisis de los momentos de transformación de la ciencia y el análisis de las teorías científicas actuales.

De manera similar la construcción por los alumnos del concepto de roca como documento histórico, significa enfocar la enseñanza de las Ciencias como el aprendizaje de los procedimientos (y las teorías que los sustentan) para interpretar dichos archivos. O expresado en otros términos, la enseñanza de las Ciencias tendría como objetivo que los alumnos aprendieran a “leer las rocas” (Pedrinaci, 1993).

**Se pueden trabajar algunos de estos textos:**

[86]. Presenta gran dificultad explicar la presencia del incontable número de dientes que cada año se traen desde la isla de Malta, cuando apenas ningún navío llega hasta allí, ¡a no ser que fuesen transportados allí por medios milagrosos! Pero a esta dificultad yo no encuentro otras respuestas más que éstas:

- 1.- El que cada uno de los tiburones posee más de seiscientos dientes, y que a lo largo de la vida del tiburón parece que le nacen nuevos dientes.
- 2.- Que el mar agitado por los vientos tienda a arrastrar los cuerpos hacia un lugar determinado y que luego los suela reunir allí.
- 3.- Que los tiburones acudan en manada, por lo que pudieran dejar muchos dientes en el mismo lugar.
- 4.- También que en aquellas tierras cercanas a Malta, aparte de las diversas clases de los dientes de

(68) ESTANY, A. (1990). Modelos de cambio científico. *Editorial Crítica, Barcelona*, 233 pág.

(69) PEDRINACI, E. (1994). *La Historia de la Geología como herramienta didáctica*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, *AEPECT*, 2(2-3), 332-339.

(70) GAGLIARDI, R. (1986). *Los conceptos estructurantes en el aprendizaje por investigación*, Enseñanza de la Ciencia, 4, pág. 30- 35.

(71) GAGLIARDI, R. Y GIORDAN, A. (1986). opus cit. Enseñanza de las Ciencias, *vol.4*, pp 253-258.

los tiburones se encuentran también diversas clases de conchas; por ello, si el número de dientes nos podría convencer de que hay que adscribir su producción a la tierra, sin embargo el modo de acumulación de los dientes y la abundancia de animales individuales que debió existir, la existencia de una tierra semejante a la del fondo del mar, y la presencia de los otros cuerpos marinos en el mismo sitio parecen favorecer la opinión contraria.

**Cuestionario para debate en el aula:** se sugieren algunas cuestiones para centrar el trabajo sobre estos textos para el objetivo citado más arriba:

- 1) ¿Cuáles son las ideas más relevantes de este texto de Steno?
- 2) ¿Estás de acuerdo con todo lo que dice Steno?
- 3) ¿Cómo explicas que haya dientes de tiburones hoy muy lejos de la costa? ¿Quién los llevó allí? ¿Podrías hacer un esquema de ese mar, desde que estaba lleno de tiburones hasta hoy?
- 4) ¿Cuál crees que puede ser la utilidad en Geología de los fósiles?
- 5) ¿Qué puede haber pasado si debajo de un estrato con dientes de tiburones te encuentras troncos de árboles?

En estas sugerencias para el aula sólo hemos elegido algunos textos sencillos. Igualmente se podrían haber trabajado las ideas de Steno sobre lo que hoy llamaríamos procesos tectónicos y también los erosivos.

La formación de los estratos es descrita por Steno como un proceso histórico en el que el orden de superposición nos indica la secuencia de formación. Dos años antes, en *Canis Carchariae* había señalado que los estratos son antiguos depósitos acumulados poco a poco. Como señala Pedrinaci (2001), aquí Steno formula una inferencia más en su hipótesis: si las rocas no datan del momento en que se originó la Tierra sino que han ido formándose poco a poco, unas tendrán más antigüedad que otras y deberá ser posible secuenciarlas u ordenarlas de acuerdo con un criterio espacio-temporal, el criterio de superposición.

Las Ciencias hoy ha introducido importantes limitaciones y correcciones a estos tres principios. En efecto, en los complejos subductivos el apilamiento se produce por el muro y no por el techo de la serie y, aunque cabría señalar que no hay violación del principio de superposición al tratarse de una serie tectonizada, debe tenerse en cuenta de una parte que el proceso de tectonización es simultáneo a la construcción de la secuencia sedimentaria y, de otra, que los complejos subductivos comprenden los mayores volúmenes de sedimentos que se depositan, por lo que resulta difícil considerarlos una excepción. Igualmente el principio de horizontalidad es sólo parcialmente válido (en los bordes de cuenca la pendiente original puede ser importante, etc.). Lo mismo podría indicarse del principio de continuidad lateral que olvida la existencia de transgresiones, etc.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

No queremos aquí ser exhaustivos, ya que no se trata de un trabajo de alta investigación. Por ello, se reseñan aquellos trabajos más relevantes que ayudarán, sin duda, a quienes deseen profundizar más. En Internet es posible encontrar, en las palabras “Steno” y “Stensen” mucha más información. Nos ceñimos a citar las que siguen:

##### I. Ediciones completas de las obras de Steno:

Existen algunas ediciones (poco asequibles en España) de las obras de Steno. Citamos las siguientes:

Larsen, K. Y Scherz, G. edit. (1941-1947). *Nicolai Stenonis Opera theologica*. I y II. Hafniae.

Maar, V. Edit. (1910). *Nicolai Stenonis Opera philosophica*, I y II. Copenhagen. Se incluyen aquí los escritos científicos.

Scherz, G. (1952). *Nicolai Stenonis Epistolae*. Hafniae/Friburg.

Scherz, G., edit. (1958). *Nicolaus Steno and his Indice*. Recopilación de varios trabajos sobre Steno. En: *Acta Historica Scientiarum et Medicinalium*, Copenhagen, nº 15.

Scherz, G., edit. (1969). *Steno. Geological papers*. Bibliotheca Universitatis Hauniense, *Acta Historica Scientiarum Naturalium et Medicinalium*, Copenhagen, volumen 20, 370 pág. De este texto es del que nos hemos servido en la traducción.

##### II. Ediciones del Pródromo

No son muchas las ediciones que se hicieron del *Pródromo* de Steno. Citamos algunas de las ediciones antiguas:

*Nicolai Stenonis De Solido Intra Solidum Naturaliter Contento Dissertationis Prodrum. Ad Serenissimum Ferdinandum II. Magnum Etruriam Ducem*. Florentiae, 4<sup>o</sup>, pág. 1-78, 1 lámina y explicaciones de las figuras.

Hubo reediciones en 1679, en 1763, en 1904 (facsimilar) y 1910.

##### III. Traducciones y extractos

Hay reseñadas nueve ediciones del *Pródromo* traducido a seis lenguas. De ellas no hemos encontrado ninguna traducción completa al español. Hay tres traducciones al inglés (1671, 1916, 1968); una al francés (1757); dos al alemán (1923, 1967), y una al danés (1902), al italiano (1928) y al ruso (1957).

También hay dos ediciones de fragmentos: las publicadas por Elie de Beaumont en francés en 1832, y otra edición de extractos de la versión latina (Florencia, 1842).

##### IV. Estudios sobre Nicolás Steno y su tiempo

Adams, F. D. (1938). *The birth and development of the Geological Sciences*. Dover Publications, Inc., New York, 506 páginas (sobre todo, 358-363)

Amorós, J. L. (1978). *La gran aventura del cristal*. Editorial de la Universidad Complutense, Madrid, 327 páginas (sobre todo, páginas 121-153).

- Buffeteaut, E. (1991). *Fósiles y Hombres*. Plaza y Janés, Barcelona, sobre todo, páginas 50-67.
- Bussi, A., coordinador (1986). *Niccolo Stenone e la scienza in Toscana alla fine del '600.- Mostra documentaria ed iconografica - Catalogo a cura di Lionello Negri, Niccolleta Morello, Paolo Galluzzi*. Florencia, Biblioteca Medicea Laurenziana (Lujoso catálogo de una exposición dedicada a Steno, comprende varios artículos originales de I. Negri, N. Morello y P. Galluzzi).
- 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), 151-161.
- Ellenberger, F. (1988). *Histoire de la Géologie. Tome I. Des Anciens à la première moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle*. Technique et Documentation, Lavoisier, Paris. (Edición castellana: (1989) *Historia de la Geología. Volumen I. De la Antigüedad al siglo XVII*. MEC-Editorial Labor, Barcelona, 282 pág (sobre todo, pág. 194-258).
- Furon, R. (1988). Nacimiento de la Geología. En: Taton, R. Edit. *Historia General de las Ciencias*. Editorial Orbis, Barcelona, tomo 5, pág. 453-463.
- Garret, J. G. (1916). *The Prodrumus of Nicolaus Steno's Dissertation...* University of Michigan Studies, Human. Series, vol. XI.
- Geikie, A. (1905). *The founders of Geology* (2<sup>a</sup> edic.). Macmillan, Londres, New York.
- Hoch, E. (1895). Sténon et la géologie. *Géochronique*, París, 15, 21-22.
- Hölder, H. (1960). *Geologie und Paläontologie in Texten und ihrer Geschichte*. Karl Albert, Friburgo y Munich.
- Lederer, J. (1994a). Le bienheureux Nicolas Sténon ou l'intégration de la science et de la foi. Première partie: carrière scientifique. *Revue des Questions Scientifiques*, 165(1), 11-36.
- Lederer, J. (1994b). Le bienheureux Nicolas Sténon ou l'intégration de la science et de la foi. Deuxième partie: La carrière religieuse de Sténon. *Revue des Questions Scientifiques*, 165(2), 89-118.
- Morello, N. (1979). *La nascita della paleontologia nel seiscento. Colonna, Stenone e Scilla*. Milán.
- Rudwick, M. J. S. (1987). *El significado de los fósiles. Episodios de la Historia de la Paleontología*. Hermann Blume, Madrid. Sobre todo, pág. 76-80, 84-86, 89-98, 104-112, 127-129.
- Scherz, G. edit. (1971). *Dissertations on Steno as geologist in Acta Hist. Sc.Nat. et Medic.*, Odense University Press, n° 23.
- Scherz, G. y Beck, P. (1988). *Niels Steensen (Nicolaus Steno) (1638-1686)*. Royal Danish Ministry of Foreign Affairs, Copenhagen, 95 pág.
- Schneer, C. J. (1954). The rise of Historical Geology in the seventeenth century. *Isis*, 1954, 256-268. ■