

Steno i el seu temps: una visió dels inicis de la geologia

Damià Crespí

Crespí, D. (2016). Steno i el seu temps: una visió dels inicis de la geologia. In: Ginard, A.; Vicens, D. i Pons, G.X. (eds.). Idees que van canviar el món. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 22; 67-121. SHNB - UIB. ISBN 978-84-608-9162-8.

Disponible on-line a shnb.org/SHN_monografies

Resum: Steno ha estat considerat un dels pares de la geologia com a ciència. Les seves contribucions estan incloses en el camp de la cristal·lografia (Llei de constància dels angles diedres), de la paleontologia (reconeixement dels fòssils com a parts d'organismes que visqueren en el passat), de l'estratigrafia (conceptes d'estrat i sediment, i tres principis bàsics de l'estratigrafia: principis de la superposició dels estrats, principi de l'horizontalitat original dels estrats i principi de la continuïtat lateral dels estrats), de la geologia regional i de la geologia històrica (estableix les bases per a la datació relativa i per a la reconstrucció històrica d'un indret). A més, va fer importants contribucions en la ciència mèdica del seu temps: estudi de les glàndules i descobriment del conducte d'Steno de les glàndules paròtides, estudi dels músculs, del cervell, del cor i de l'aparell reproductor; i va demostrar la falsedat de les idees de Descartes sobre la interacció entre ànima i cos. A més, el seu estudi de l'aparell reproductor femení del tauró va assentar un precedent en el descobriment dels fol·licles ovàrics per Reinier de Graaf i en el naixement de la teoria ovista. La influència d'Steno en el camp de la geologia fou molt elevada, i especialment notable en les idees geològiques del filòsof i matemàtic Gottfried Wilhelm Leibniz, així com també entre els diluïstes anglesos (especialment John Woodward) i en el pare de la geologia italiana i un dels creadors de l'estratigrafia, Giovanni Arduino.

INTRODUCCIÓ

Niels Stensen (1638-1686), més conegut pel seu nom llatinitzat de Nicolaus Steno, fou un dels fundadors de la geologia com a ciència (Sequeiros, 2003; Duque, 2002) juntament amb James Hutton, Charles Lyell i Charles Darwin.

A Steno se li deu la consideració definitiva dels fòssils com a parts d'organismes que havien viscut en el passat i que es trobaven a l'interior de les roques, la introducció dels conceptes d'estrat i sediment, tan importants per a la ciència geològica, la llei de la constància dels angles diedres dels cristalls, que suposà l'inici de la ciència de la cristal·lografia, i la introducció de tres principis bàsics de l'estratigrafia (el principi de superposició dels estrats, el principi d'horizontalitat inicial dels estrats i el principi de continuïtat lateral dels estrats) que donen inici a la ciència de l'estratigrafia i que permeteren el desenvolupament de la geologia de camp, la cartografia geològica i la tectònica. Per això la seva figura és tan rellevant per al desenvolupament de la ciència geològica.

Fins fa poc temps Steno ha romàs com un dels grans oblidats de la història de la ciència, almenys al nostre país. És d'agrair la tasca realitzada per Leandro Sequeiros que traduï la seva obra principal *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus* per primer cop al castellà (Sequeiros, 2003). També s'ha fet recentment una traducció de la part amb contingut geològic del *Canis Carchariae dissectum caput* a càrrec de Sequeiros i Pelayo (2005). No existeix cap traducció de les seves obres al català.

S'ha de destacar la gran tasca realitzada fa poc per Sequeiros i Pelayo (2011) per tal de situar la figura d'Steno al lloc que es mereix.

Steno escrigué poc, quasi tota la seva producció científica en el camp de la geologia es troba en dos llibres, el primer té el títol llarguíssim de *Elementorum myologiae specimen, seu musculi descriptio geometrica. Cui accedunt Canis Carchariae dissectum caput et dissectis piscis ex canum genere* publicat a Florència al 1667, que consta de tres treballs independents, el segon dels quals és el que té contingut geològic. El segon dels llibres, *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus*, publicat a Florència al 1669, i en el qual exposa les seves idees geològiques. Posteriorment a la publicació d'aquesta obra Steno abandonà la seva tasca científica per passar a escriure exclusivament llibres de teologia i d'espiritualitat.

Quan abordam l'estudi d'un autor antic com Steno no podem fer-ho de la mateixa manera com ho fariem amb un autor contemporani. En el cas d'un autor contemporani nosaltres estariem immersos en el mateix món que l'autor, sabríem quin és el pensament imperant en el nostre temps (filosòfic, religiós, social, etc.). No faria falta que ens ho explicassin ja que nosaltres el viuríem de la mateixa manera que el que escriu. En canvi no passa el mateix amb els

autors antics, ens perdrem la major part del seu raonament si no sabem entendre el pensament de la seva època. Així ens podríem demanar: per què Steno inverteix tant de temps en demostrar que els fòssils són restes d'organismes d'altra temps, si per a nosaltres és un fet evident? I efectivament és un fet evident i inqüestionable per a nosaltres i per a les persones del nostre temps, però no era així per a les persones del segle XVII que tenien altres explicacions per als fòssils (capricis de la natura, avortaments de la generació espontània, objectes generats per la *vis plastica* de la natura, imatges d'objectes màgics o celestials, ornaments de la naturalesa, objectes generats per miracles de sants famosos).

Així com diu Kuhn (1962), el coneixement humà mai és una producció asèptica o imparcial sinó que està influenciada per l'entorn en què es troba l'autor. És per això que he dedicat tant de temps en descriure les idees que es manejaven en el segle XVII, el temps d'Steno. Tal com ens mostra Kuhn (1962) les ciències funcionen amb paradigmes, que imposen el marc en el qual les teories particulars tenen sentit. Quan un paradigma deixa de funcionar es produeix una revolució científica de la qual en sorgirà un nou paradigma. Al segle XVII es produïren diverses revolucions científiques, de les quals l'astronòmica i la física són les més conegudes però també es produïren canvis de paradigma en les ciències químiques (on cal remarcar el paper de Boyle), en les ciències mèdiques (amb Harvey com a figura més destacada) i en les ciències geològiques (amb Steno com a protagonista). De fet, totes les revolucions científiques que es produïren al segle XVII vingueren propiciades pel canvi de mentalitat que suposaren les transformacions filosòfiques que s'experimentaren en aquest període. En el segle XVII sorgiren el racionalisme de Descartes, Spinoza i Leibniz, i l'inductivisme de Bacon.

ELS PRECEDENTS D'STENO: EL SEGLE XVI I EL NAIXEMENT DE LA GEOLOGIA MODERNA

Segons Alsina (2006) foren cinc les causes que propiciaren el canvi de pensament del segle XVI:

- L'erudició humanística, que tengué com a conseqüència una relectura dels clàssics com Aristòtil i un redescobriment d'altres filòsofs com Plató i Plotí.
- La reforma protestant, molt influenciada pel moviment humanístic, i que suposa una relectura de la Bíblia. Això suposarà un retorn a les fonts bíbliques originals, un rebuig a l'autoritat i al dogma i una valoració de l'esforç individual.
- El desenvolupament econòmic de la burgesia que té com a conseqüència una valorització de les activitats lliberals, acabant amb la separació entre les arts nobles, filosòfiques i teòriques, que a

l'escolàstica medieval tenien com a objectiu el coneixement desinteressat de la natura com a manifestació de la grandesa de Déu, i les arts mecàniques, pròpies de classes baixes. La unió de la teoria i la pràctica crearà un nou tipus de coneixement que enriquirà tant la filosofia, que baixarà de la seva torre de marfil, com la tècnica, que vendrà dotada d'una base teòrica forta.

- El redescobriment de la filosofia neoplatònica, que s'unirà a la filosofia hermètica, amb afegits de la màgia natural, de l'astrologia i dels estudis cabalístics.
- La invenció de la impremta al segle XV.

El creixement de les ciutats està molt lligat al desenvolupament de la burgesia, formada per comerciants i artesans. Així les ciutats del nord d'Itàlia com ara Florència, Pisa o Pàdua, que també foren importants centres culturals. De fet la cultura europea dels segles XVI i XVII tindrà el seu centre neuràlgic a aquestes ciutats del sud d'Europa.

La invenció de la impremta i el mecenatge dels nobles, crearà un nou tipus d'intel·lectual que ja no estarà relegat a les universitats sinó que viurà del suport de la classe nobiliària i dels llibres que escrigui. De fet les universitats, després de liderar l'avantguarda del pensament de l'Edat Mitjana, quedaran relegades a un segon plànol en el panorama intel·lectual, fins a la seva profunda renovació al segle XVIII.

Quant a la filosofia, el paradigma de l'aristotelisme passat pel sedàs de Sant Tomàs d'Aquino quedà supeditat a les universitats més conservadores, com la de París. No desaparegué i encara donà figures destacables però no és ja el més seguit per la intel·lectualitat europea. En comptes d'aquest pensament, n'apareix un de nou que serà el dominant durant el segle XVI, el neoplatonisme. Aquest es troba fortament influenciat per la filosofia hermètica. L'hermetisme sorgeix pel redescobriment dels escrits d'Hermes Trismegist, un escriptor que probablement visqué als voltants del segle I dC, però que els seus seguidors el feien molt més antic, de l'època de Moisès, i que segons aquests podria haver estat la font d'inspiració del pensament de Plató.

En el neoplatonisme hermètic es desdibuixa la frontera entre la màgia i la ciència, i obre la porta a l'entrada d'altres pensaments com l'astrologia, la màntica i la càbala. Segons aquesta filosofia l'objectiu de la ciència ja no era l'observació desinteressada de la natura, com afirmava la filosofia escolàstica, sinó el domini de la natura (Alsina, 2006). Segons la filosofia neoplatònica renaixentista hi ha una analogia entre el Microcosmos (el cos humà) i el Macrocosmos (tot l'univers). El Macrocosmos és vist com a un gran organisme en què totes les parts estan relacionades per afinitats ocultes que es manifesten per «*simpaties*» i «*antipaties*». Les forces d'atracció i repulsió, com les de la magnetita i l'ambre, s'expliquen d'aquesta manera. Les forces més poderoses són les dels cossos celestes, d'aquí la importància de l'astrologia. En els documents recuperats d'Hermes Trismegist s'explica que

l'home té capacitat per dominar la natura a través de la màgia natural. Per tal finalitat cal capturar i explorar les poderoses influències dels astres que es poden identificar amb entitats terrestres. D'aquí ve el poder de les pedres precioses, ja que mostren la qualitat celeste de la lluïssor.

Aquesta manera de pensar propicià un retorn de l'alquímia que havia estat en decadència durant els segles XIV i XV, després que el papa Joan XXII la declaràs anatema al 1317. L'alquimista més famós del segle XVI fou conegut amb el nom de Paracels (1493-1551). En realitat Paracels és un pseudònim, que vol dir semblant a Cels, un metge romà del segle I que havia estat redescobert al segle XV i se n'havia fet una àmplia difusió de les seves obres gràcies a la impremta. El nom autèntic de Paracels era Teophrastus Bombastus von Hohenheim. En aquest autor es fusionen l'alquímia, la medicina i l'orientació mística de la filosofia de l'època. El seu interès ja no és l'obtenció d'or (Asimov, 1965) sinó la medicina enfocada a l'obtenció de medicaments. Recull les idees tradicionals de l'alquímia i reconeix l'existència dels quatre elements dels grecs (foc, aire, aigua i terra), encara que se centrarà més en els tres principis dels àrabs (mercuri, sofre i sal). Cercà la pedra filosofal en la funció d'elixir de la vida, i fins i tot afirmà que l'havia trobada. En el camp de la química (Asimov, 1965) va obtenir el metall zinc, del qual de vegades se'l considera el descobridor, encara que era conegut des de l'antiguitat, almenys en aliatge amb el coure (llautó).

En el camp de la medicina les aportacions de Paracels provenen dels seus coneixements alquímics. Deixa de banda les alteracions humorals galèniques i considera que la malaltia era una alteració específica que requeria un tractament també específic (Alsina, 2006), així es crearen els primers medicaments artificials no basats en les plantes, com fins abans, sinó que també es basaven en ingredients minerals. Segons la concepció mèdica de Paracels l'ordenació dels tres principis es devia a una força vital anomenada arqueu. La malaltia (reuma, inflamació, gota, etc...) es produïa per una acció insuficient de l'arqueu (López, 2006). Per Paracels hi ha arcs que corresponen a principis curatius, per a malalties concretes. La idea de l'arcà està molt relacionada amb la filosofia neoplatònica. Paracels fou un personatge polèmic, almenys durant mig segle després de la seva mort, amb tants de seguidors com detractors. Els seguidors valoraren especialment el contingut místic de les seves idees.

Libavius (Andreas Libau, aproximadament 1540-1616), es pot considerar el darrer dels alquimistes importants, i suposa el fi de l'alquímia mística (Asimov, 1965). A la seva obra *Alquímia* (1597) resumeix les fites obtingudes pels alquimistes antics. Està escrit sense misticisme. Es mostra d'acord amb Paracels: l'objectiu més important de l'alquímia és el de servir d'auxiliar de la medicina i no l'obtenció de l'or, rebutja però els continguts místics dels paracelsians. Fou el primer en preparar l'àcid clorhídric, el tetraclorur d'estany i el sulfat d'amoni, i descriu la preparació de l'aigua règia (mescla d'àcids nítrics i clorhídric capaç de dissoldre l'or).

En el camp de la medicina l'aportació més important fou la d'Andreas Vesalius (en català també anomenat Andreas Vesal, 1514-1564). La seva obra més important fou *De humani corporis fabrica* (*Sobre l'estructura del cos humà*, 1543) que constitueix una exposició detallada sobre l'anatomia humana basada en la dissecció de cadàvers (López, 2006). Així obre dues línies en la medicina i en la ciència en general que foren extraordinàriament fecundes. La primera és no basar la ciència en les teories dels savis antics, sinó que es basava en l'observació de la mateixa naturalesa. La segona de les grans aportacions foren els gravats; obra il·lustrada amb una col·lecció de gravats anatòmics de precisió extraordinària per l'època. Va inaugurar la tradició d'usar la il·lustració científica, introduint la idea que la ciència no necessitava només la raó i la paraula sinó també la imatge. Vesalius agrupà les parts del cos humà segons les funcions que realitzen enlloc d'estudiar-les conjuntament com els galènics. Així la medicina fou la primera disciplina que s'independitzà dels sabers clàssics (López, 2006).

El mateix any en què es publicà *De humani corporis fabrica* (1543) també es publicà una altra obra que canvià notablement el panorama científic del món occidental, *De revolutionibus orbium coelestium* de l'astrònom polonès Nicolau Copèrnic (en polonès Mikołaj Kopernik, 1473-1543). Aquesta obra va tenir un impacte molt fort en el món occidental ja que suposà que la Terra era un planeta com els altres, això trenca la concepció aristotèlica de l'univers, amb la divisió entre món infralunar i el supralunar. La Terra deixa de ser un lloc privilegiat, on es troba l'element terra (el més pesat i groller) i al centre es troba l'infern com a signe de la màxima corrupció. Des d'aquest punt de vista la cosmologia medieval s'enfonsà com un castell de cartes, la nova astronomia necessitava una nova cosmologia i la nova cosmologia una nova física (Alsina, 2006).

En el segle XVI es pot dir que també s'inicia la geologia com a ciència. Aquesta ens va venir de la mà del metge i mineralogista Georgius Agricola (en alemany Georg Bauer, 1494-1555). La seva obra més important és *De re metallica* que es va publicar de manera pòstuma al 1556. Agricola és un exemple clar d'intel·lectual del segle XVI, és un humanista i reivindica la figura de l'home treballador, exalta el valor de la tècnica com una manera de millorar les condicions de vida humanes. Agricola ennobleix definitivament la figura de l'*homo faber* (Alsina, 2006). Va treballar com a metge als monts Metàl·lics (*Erzgebirge* en alemany i *Krušné hory* en txec) a la frontera entre Saxònia i Bohèmia, on pogué establir coneixement sobre la mineria i les seves tècniques. Exposà els seus coneixements pràctics sobre mineria amb un estil clar i amb bones il·lustracions. Agricola tracta temes diferents relacionats amb l'activitat minera i amb la geologia (Alsina, 2006):

- L'origen de les aigües subterrànies, que Agricola considera que és múltiple: pluges, gènesi subterrània, infiltracions marines.
- Rebutja la idea del foc central, però admet la combustió subterrània del carbó, l'asfalt i el sofre.

- Considera tres forces que originen les muntanyes: l'aire que té una importància secundària en la formació de les dunes, l'aigua que forma i destrueix les muntanyes i el foc en la formació dels volcans.
- Origen dels minerals: defuig de interpretacions místiques i poc clares. Considera la calor i el fred com a agents generadors que es formen al subsòl, a les *venes* i *venícules*, en un concepció preorganicista que es desenvolupà al segle següent. Segons aquesta concepció l'aigua transporta els materials *terrosos* i per altra banda *absorbeix* metalls. Així s'acosta al concepte modern de solució i defuig la idea tradicional de la transmutació.
- Presenta una descripció estratigràfica de les unitats fixades per la tradició minera. En concret descriu la seqüència que recobreix les pissarres de Mansfeld al peu del Hartz. Aquesta seqüència, que avui en dia sabem que pertany al Permià superior, aflora àmpliament entre Saxònia i Turíngia. Anomena 17 nivells segons la nomenclatura usada pels miners. No aporta cap teoria genètica sobre la formació de les capes.
- Fa una classificació de fòssils, que en la concepció antiga es referia a qualsevol objecte excavat, tengués o no origen biològic.

Un altre autor a tenir en compte és Gesnerus (Conrad von Gesner, 1516-1565), especialment amb la seva obra *De rerum fossilium* (1565). També era metge, filòleg i humanista, com Agricola (Alsina, 2006). En aquesta obra el concepte de fòssil s'entén en sentit antic, com a qualsevol objecte excavat. Utilitza profusament les il·lustracions, com Agricola i Vesalius, cosa que permet la identificació amb precisió. Considera, com Paracels, que els objectes minerals poden ser útils per a la medicina, i explota el concepte neoplatònic de poder o *vis* dels fòssils. La formació dels fòssils s'explica per *la vis plastica*, és a dir la capacitat de la naturalesa per crear formes semblants (Simpson, 1985). Segons la concepció neoplatònica és més important la classificació dels objectes de la natura que trobar les causes dels seus orígens (Alsina, 2006).

Una altra obra important sobre els fòssils és la de Goropius (Jan van Gorp, 1518-1572). Goropius era un metge de l'escola del neoaristotelisme de Pàdua, que convisqué amb el paradigma neoplatònic renaixentista. El neoaristotelisme es trobava molt estès a la universitat de Pàdua, que fou l'*alma mater* de grans figures de la medicina dels segles XVI i XVII com Fabrizio d'Acquapendente i William Harvey. En aquesta escola filosòfica s'estableix una diferenciació clara entre els objectes vivents i els no vivents, per tant es rebutja entendre l'univers com un gran organisme. Segons el punt de vista dels neoaristotèlics, els organismes vius més senzills es poden formar per generació espontània a partir de la matèria no vivent, però també es poden formar organismes més complexos a partir de llavors específiques (Simpson, 1985; Alsina, 2006). Goropius a la seva obra més important *Origines Antwerpianae* (1569) interpreta els fòssils formats a partir de llavors que no han trobat la matèria apropiada per formar-se al lloc on han anat a parar. Així

doncs, els fòssils comparteixen la forma amb l'organisme vivent que els correspon però no la seva matèria.

LES CIÈNCIES NATURALS EN EL MARC DE LA REVOLUCIÓ CIENTÍFICA DEL SEGLE XVII

Sens dubte el segle XVII és un dels segles més complexos i interessants del pensament occidental, en ell es crearà el pensament racional i inductivista que dominarà la filosofia i la ciència fins a l'actualitat i que es transmetrà a la resta del món. També s'ha de remarcar que el segle XVII és una època de trànsit entre el pensament medieval i renaixentista per una banda, i el modern per l'altra. Per això no és estrany que molts dels protagonistes d'aquesta època (Kircher, per exemple) es moguessin entre els dos mons, el del pensament renaixentista de bases medievals, i el modern.

En aquest segle es faran tres revolucions que canviaran per sempre la cultura occidental. La primera és la filosòfica que tindrà com a personatges més rellevants a Descartes i a Francis Bacon. La segona serà la tecnològica amb els importants descobriments del telescopi i del microscopi que ens descobriran que existeix una realitat molt més enllà del que poden veure els nostres ulls i que ens permet interpretar el món en què vivim. La tercera serà la científica, que en la primera meitat del segle tindrà com a figura central a Galileu i a finals del segle a Newton.

La revolució filosòfica tindrà com a resultat el naixement de dues formes de pensar que marcaran l'evolució del pensament en els segles següents. La primera és el racionalisme de René Descartes (en llatí *Renatus Cartesius*, 1596-1650). Aquesta filosofia es basava en tres principis claus: 1) el predomini de la raó, que considerava la raó com a el mitjà més adient per assolir la veritat per damunt de les altres coses (per exemple les percepcions dels sentits i l'autoritat dels autors antics); 2) el dubte metòdic, com a manera per assolir coneixements veritables, que es captaven per mitjà de la intuïció i de la deducció; 3) el mètode d'anàlisi i síntesi, és a dir descompondre el problema en totes les seves parts (anàlisi), per anar-les estudiant per separat i acabar integrant-les en un tot (síntesi). Pel seu trencament amb la filosofia clàssica i per encetar una manera de fer les coses que se seguirà en els segles posteriors, Descartes és considerat el pare de la filosofia moderna. La filosofia racionalista cartesiana dominarà el pensament europeu continental fins al segle XIX. Existia a Europa una altra filosofia que serà la predominant a les illes Britàniques i que té els seus fonaments en la figura de Francis Bacon (1561-1626). La seva obra més important és el *Novum Organum* (1620) en la qual diu que la l'única manera d'assolir la veritat és a través del que experimentam. Proposa el mètode inductiu que pretén sistematitzar amb l'ús de taules. També ens parla dels obstacles que ens impedeixen arribar a la veritat que Bacon anomena *ídols*. En tot cas la nova filosofia suposa un trencament amb la

filosofia clàssica ja que no accepta ni els seus preceptes ni la seva autoritat, i dóna més importància a les ciències (matemàtiques en el cas de Descartes i ciències naturals en el cas de Bacon).

Com ja hem dit abans la invenció del telescopi suposà un important avenç en el coneixement i en la concepció que es tenia de l'Univers. Amb aquest instrument es feren descobriments que canviarien per sempre la imatge de l'Univers. Com és ben conegut el pioner en l'ús astronòmic d'aquest instrument fou Galileu (Galileo Galilei, 1564-1642). Amb aquest instrument va descobrir les fases de Venus i els satèl·lits de Júpiter, cosa que contribuï a reforçar la teoria heliocèntrica de Copèrnic. També va poder veure que la Lluna no era una esfera perfecte sinó que tenia un relleu format per muntanyes i valls, cosa que va ajudar a tombar la idea aristotèlica de la perfecció dels cossos celestes, unificant així el món supralunar i l'infralunar. Al mateix temps que s'inventà el telescopi també és feu un altre gran descobriment per a les ciències naturals, el microscopi. Segons Alsina (2006) l'impacte que tengué aquest descobriment no fou immediat a les ciències naturals ja que calia una nova teoria per interpretar el que es veia. Sense rebutjar aquest punt de vista es pot fer una altra interpretació. Tal com diu López (2000) la qualitat dels microscopis abans de la primera meitat del segle XIX era molt baixa degut a l'aberració cromàtica. Aquest defecte feia que les imatges obtingudes amb microscopi no fossin nítides sinó que presentaven vores *decorades* amb els colors de l'arc de Sant Martí. Els telescopis pogueren evitar aquest defecte amb els miralls reflectors, cosa que feu avançar més l'observació astronòmica que la biologia, vista a través del microscopi. A més, l'observació de punts en el cel és més senzilla que la de teixits vius, que varen requerir, per acabar de complicar la cosa, de tècniques complexes de preparació de mostres i de tincions, per poder ser vistes amb claredat. Amb tot això no és estrany que l'astronomia avançàs a passos de gegant mentre que la biologia ho fes a passetes de formiga. De totes formes són de destacar les observacions fetes per Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723) i per Robert Hooke (1635-1703), el qual utilitzà per primera vegada el terme cèl·lula i fou el primer que usà el microscopi per observar els fòssils (Sequeiros, 2003), encetant així una era en què aquest instrument ha estat una de les eines més importants pels geòlegs.

Al segle XVII ja era evident que la física aristotèlica començava a fer aigua, especialment per explicar el moviment dels projectils i la de la caiguda dels cossos pel seu pes. Per això varen aparèixer dues noves físiques que explicaven la dinàmica: la de Galileu i la de Descartes. En primer lloc convé repassar el que diu la física aristotèlica. Mosterín (2006) defineix la física d'Aristòtil com a una cinemàtica informal. Segons aquesta la velocitat és directament proporcional a la força exercida i inversament proporcional a la resistència i a la massa que es mou. L'equació fonamental de la dinàmica aristotèlica seria $V=F/(M \cdot R)$, on V és la velocitat, F és la força, M la massa i R la resistència. Enquadrat en aquest enfocament el buit no té sentit ja que suposaria una resistència nul·la i per tant faria possibles moviments amb velocitats infinites. La dinàmica aristotèlica tampoc no explica el moviment de

projectils, ja que cap força actua sobre ells. Pensadors posteriors proposaren la teoria de l'*impetus* que seria una força transferida al projectil i que actuava sobre aquest fins al seu esgotament. D'altres ho explicaven com a la força que exercia l'aire sobre el projectil, però en cap dels dos casos quedava plenament explicat.

Per altra banda, la física d'Aristòtil explica la gravetat com a la tendència que tenien els elements a ocupar el seu lloc natural a la natura. Així els objectes formats per l'element terra tendien a situar-se el més aprop possible del centre de la Terra. El foc ascendia cap al cel, l'aire se situava a l'atmosfera i l'aigua s'escampava sobre l'horitzó. De totes formes les propietats dels objectes que queien en caiguda lliure no quedaven ben explicades ja que la seva velocitat anava augmentant a mesura que s'acostaven al terra, quan la lògica en deia que haurien d'anar cada vegada més a poc a poc. Aquestes incongruències ja es veien a l'antiguitat però encara ningú havia trobat una explicació més satisfactòria.

També hi havia els moviments celestes. Segons Aristòtil, el Cel, com la Terra, estava format per una sèrie d'esferes concèntriques, cada una de les quals corresponia a un planeta, després venia l'esfera de les estrelles fixes. En la concepció aristotèlica de l'univers cada esfera movia la que tenia per davall i al seu torn era moguda per la que tenia per damunt. Al final de tota la seqüència i més enllà de la darrera esfera, ocupada per les estrelles fixes, hi havia el Motor Immòbil de l'Univers, que els aristotèlics identificaven amb Déu. Hi havia doncs, una dinàmica celeste i una altra terrestre.

La teoria heliocèntrica de l'Univers trencava aquesta concepció. Per què la Terra hauria de funcionar diferent si no ocupava un lloc privilegiat de l'Univers? Si la Terra era un planeta, per què no funcionava com un altre planeta?

A l'any 1600 William Gilbert (1544-1603) publicà un llibre que tendria molta influència en la física posterior, *De magnete, magneticisque corporibus et de magno magnete tellure*. Segons aquesta obra la Terra funciona com a un gran imant, que atreu les busques de les brúixoles. La naturalesa de les forces que poden actuar a distància, com la magnètica i l'elèctrica, hauran de trobar la seva explicació, encara que al segle XVII encara no s'escaparà totalment del misticisme que impregnava la filosofia natural renaixentista.

La primera dinàmica alternativa a l'aristotèlica fou la de Galileu. Creà una nova dinàmica que explicava millor el moviment, però justament per haver-se enfrontat amb les idees d'Aristòtil tengué els primers enfrontaments. En primer lloc, en la dinàmica galileana trobam el principi d'inèrcia, segons el qual quan un cos està en moviment uniforme rectilini la seva tendència és a continuar-lo llevat que alguna força actuï sobre ell. Seguint aquesta idea s'explicava millor el moviment dels projectils, es movien per inèrcia, ja que una vegada que s'havia iniciat el moviment la seva tendència era la de seguir movent-se. Si s'aturaven era perquè xocaven contra qualche objecte o pel fregament. A més del moviment rectilini uniforme Galileu va estudiar tres tipus més de moviments, l'uniformement accelerat que és el que correspon a la

caiguda d'objectes, el de la caiguda de projectils i el moviment del pèndol. Per Galileu les qüestions sobre l'essència del mòbil, de l'espai i del temps deixen de tenir importància, que recau sobre la proporció numèrica entre els dos. Dóna més importància a l'estudi sobre les proporcions físiques (quantitats) que sobre les causes (qualitats).

Galileu no sols fou revolucionari per la física que proposà sinó també per l'enfocament metodològic que utilitzà (l'hipotètic deductiu). Segons aquesta metodologia, la resolució de problemes científics seguia una sèrie d'etapes: 1) resolució, és a dir selecció de les proporcions qualificables; 2) composició, que consisteix en la formulació d'hipòtesis; 3) confirmació experimental. Per aquest darrer punt és important que la confirmació es doni gràcies a la formulació matemàtica i no per l'experiència (és a dir observacions no sistemàtiques fetes sense quantificar).

La revolució de Galileu no sols tocà aquests aspectes ja delicats per ells mateixos, sinó també un altre encara molt més controvertit i que li donà problemes seriosos a la seva vida, apostar per una diferenciació total entre la fe i la ciència. Segons una frase que se li atribueix i que resumeix molt bé el seu pensament, *«la teologia ens diu com anar al cel, no com funciona el cel»*.

Una altra mecànica que tindrà una influència notable és la cartesiana. Descartes proposa un mecanicisme que li servirà per elaborar la seva filosofia natural. Segons Alsina (2006) el mecanicisme és aquella concepció de la matèria segons la qual aquesta està formada per partícules, que poden ser divisibles fins a l'infinit, o només un nombre limitat de vegades (en aquest darrer cas parlarem d'atomisme) i que totes les propietats de la matèria es poden explicar pel moviment i la interacció entre les partícules. Es rebutgen els conceptes de formes substancials, les causes finals i els principis (sec, humit, calent i fred). El mecanicisme cartesià no és atomista ja que ell creu que les partícules poden dividir-se fins a l'infinit, a més el mecanicisme atomista també du implícit l'acceptació del buit entre els àtoms, cosa que xoca amb la ciència de Descartes ja que pensa que totes les forces s'apliquen pel contacte entre cossos. Al no acceptar les forces a distància necessita concebre algun mitjà a través del qual es transmetin les forces que posen en moviment els planetes.

En el mecanicisme cartesià (Alsina, 2006) la matèria està formada per partícules infinitament divisibles, ocupa tot l'espai i consta de tres elements (foc, aire i terra) però les seves propietats no s'expliquen per les qualitats essencials sinó per la mida i el moviment de les partícules. Aquesta darrera propietat és la que suposa un trencament amb la física aristotèlica.

Els dos principis mecànics més importants de la dinàmica cartesiana són el principi d'inèrcia (formulat ja abans per Galileu) i el de conservació de la quantitat de moviment (producte de la massa per la velocitat), que Descartes concep com a un principi universal i que encara es manté per a aquells sistemes en què no actuen forces externes.

Descartes coneixia les observacions fetes per Galileu i l'existència de satèl·lits a Júpiter. Calia doncs explicar perquè hi havia satèl·lits al voltants de

certs planetes (la Terra i Júpiter). Això també suposava entendre com funcionava la gravetat, ja que aquesta era la que permetia que els planetes voltassin a l'entorn del Sol, i alguns satèl·lits (la Lluna i els satèl·lits galileans) a l'entorn dels seus planetes (la Terra i Júpiter). Descartes ho explicava gràcies a remolins de la matèria. Segons la concepció cartesiana del sistema solar, hi havia un remolí principal, al centre del qual hi havia el Sol, i remolins secundaris al voltant dels planetes. Els satèl·lits també tendrien els seus propis remolins, i tot això explicaria, segons la teoria cartesiana, que hi hagués forces d'atracció entre els cossos celestes, ja que aquestes estarien produïdes per l'efecte dels remolins, que atraurien els cossos cap al seu centre. Descartes també aplica la seva teoria a l'origen del sistema solar. Segons aquest, el sistema solar s'hauria format per l'acumulació de la matèria, que originalment es trobava dispersa, al centre dels remolins. És a dir, partiríem d'un sistema solar format per partícules petites i soltes de matèria que s'anirien condensant per l'efecte produït pels remolins i això conduiria a la formació del Sol, dels planetes i dels seus satèl·lits. Aquesta és la primera teoria científica sobre l'origen del sistema solar, que posteriorment fou desenvolupada pel filòsof Immanuel Kant i pel matemàtic Pierre Simon Laplace.

Aquestes mecàniques tengueren una vida efímera ja que a l'any 1687, un any després de la mort d'Stено, es va publicar un dels llibres més importants per a la física i per a la cultura humana, *Philosophia naturalis principia mathematica*, i el seu autor era Isaac Newton (1642-1727). En aquesta obra es presenta la darrera de les mecàniques que sorgiren al segle XVII. La mecànica newtoniana es podia resumir en tres principis: 1) el principi d'inèrcia, un cos es mou amb moviment rectilini uniforme o està en repòs si no hi actuen forces externes; 2) el canvi en la quantitat de moviment (definit com a la massa per la velocitat que té un cos) és proporcional a la força aplicada; si la massa no varia es pot aplicar la fórmula $F=m \cdot a$ (F : força, m : massa, a : acceleració); 3) principi d'acció i reacció, quan un cos actua sobre un altre rep la mateixa força aplicada però de signe contrari (aquest darrer principi du implícit la conservació de la quantitat de moviment en sistemes que no reben forces externes).

A més d'això, Newton descobrí la llei que regeix la gravitació:

$$F = \frac{G \cdot m \cdot m'}{d^2}$$

F: força d'atracció gravitatòria, G: constant universal, m: massa d'un cos, m': massa de l'altra cos, d: distància de separació entre els centres dels dos cossos.

És important senyalar que Newton assumeix l'empirisme de Bacon i Boyle, i que segons la seva concepció de la natura, les matemàtiques deixen de ser un fonament (com havien estat en Kepler, per exemple) per passar a ser un instrument. És a dir, rebutja les interpretacions místiques i cabalístiques de la natura, de la filosofia platònica i pitagòrica. A partir de Newton existiran lleis

matemàtiques que serviran per fer càlculs però que no tendran interpretacions fora del camp de les ciències naturals.

Newton proposa un mètode científic basat en els punts següents:

- Només s'han d'admetre les causes vertaderes i suficients.
- S'han d'assignar causes naturals als efectes naturals.
- Cal una concepció atomista de la matèria, les qualitats generals són: extensió, duresa, impenetrabilitat, mobilitat i inèrcia.
- La ciència experimental és inductiva i s'han de rebutjar les hipòtesis apriorístiques.
- L'espai i el temps són absoluts no relatius.

Malgrat que el pensament de Newton en aquests aspectes sigui totalment modern, no va admetre una separació entre ciència i religió, tal com proposava Galileu, ja que considerava que la ciència havia de servir per demostrar la validesa de les escriptures. A més a més, Newton també pensava que la teoria atomista donava peu a l'antic somni dels alquimistes de la fabricació de l'or a través d'altres metalls.

Un dels personatges claus per al desenvolupament científic del segle XVII fou Robert Boyle (1627-1691) (Asimov, 1965). Té un precedent important en la figura de Jean Baptiste van Helmont (1577-1644) que realitzà experiments que el dugueren a pensar que l'aire estava compost de gasos diferents. De fet fou el primer en usar la paraula gas, que segons Asimov és la manera flamenca de pronunciar *chaos*, paraula grega que recorda el desordre inicial en què es trobava l'univers, i que ja havia estat usat anteriorment per designar els gasos. Van Helmont havia obtingut gasos en cremar la fusta, pensava (correctament) que els arbres fixaven alguns components de l'aire per mitjà d'algun procés orgànic (que actualment sabem que es tracta de la fotosíntesi) i que aquests s'alliberaven a l'aire en el procés de combustió. Va anomenar gas silvestre a aquests gasos, que ara sabem que es tracta del diòxid de carboni.

Boyle es basà en la teoria de que l'aire no estava format per un sol element, tal com deia Van Helmont, i en la teoria atòmica, ideada per Demòcrit i Leucip i que el filòsof Pierre Gassendi (1592-1655) havia tornat a introduir en el pensament occidental, especialment a través dels comentaris que havia fet sobre les obres d'Epicur. Boyle també perfeccionà la bomba de buit que havia inventat anys abans Otto von Guericke (1602-1682). L'observació de gasos a diferents pressions el va dur a enunciar la llei dels gasos que du el seu nom, i que diu que una mateixa quantitat de gas té un volum inversament proporcional a la pressió a la que se sotmet. Al 1661 Boyle publicà un llibre titulat *The sceptical chymist* que suposà el cop de gràcia definitiu a l'alquímia. També definí de manera moderna la noció d'element químic com a aquella substància que no es podia descompondre en altres de més simples. En qualsevol cas, Boyle no va aconseguir desprendre's del tot de

les idees de l'alquímia, ell mateix pensava que usant les eines químiques adequades un metall es podia transformar en un altre per transmutació (com també ho pensava Newton, com ja hem vist abans). A l'any 1689 sol·licità al govern britànic que abolís la llei contra la fabricació alquímica de l'or (Asimov, 1965).

Així com aquest segle suposà importants avenços en astronomia, física i química, també en medicina es va sofrir una profunda revolució. La revolució de la medicina al segle XVII se centra en la figura de William Harvey (1578-1657), que fou revolucionari especialment en el mètode utilitzat (López, 2000). Abans de Harvey, seguint les doctrines galèniques, se suposava que en el moviment de la sang es produïen tres transformacions substancials; primer a l'estómac on es produïa el quil, després aquest era conduït fins al fetge a través de la vena porta. Després al fetge es produïa la segona transformació en què el quil es transformava en sang venosa. Per la cava ascendent arribava a la part dreta del cor, i d'aquí passava a l'esquerra a través d'uns suposats orificis al cor, i es convertia en sang arterial al mesclar-se amb un hipotètic principi, la neuma, que havia arribat dels pulmons. La sang pneumatitzada es transportava a tot el cos transformant-se en la substància pròpia de cada part (tercera transformació). Aquest model s'havia mantingut fins al segle XVII amb alguna modificació, la més important fou la incorporació de la circulació pulmonar, descoberta per Miquel Servet (1511-1553), encara que anteriorment ja havia estat descrita per Ibn an-Nafis (1213-1288).

Harvey havia estudiat a la Universitat de Pàdua, important centre cultural d'aquell temps, on havia estat deixeble de Fabrici d'Acquapendente (1533-1619), el descobridor de les vàlvules venoses, de les quals no en va saber veure la funció. Al 1628 publicà el llibre *Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus*. En aquesta obra usa l'experimentació i el càlcul numèric per resoldre problemes mèdics. En primer lloc calculà que la sang que passava diàriament pel cor era molt superior (quasi uns 500 kg) que l'aliment ingerit. En segon lloc experimentà sobre la circulació de la sang en les extremitats (López, 2000). Per això utilitzà lligadures fortes que interrompien el pols arterial i el retorn venós, i d'altres menys fortes que només impedièen el retorn venós. Va poder comprovar que la sang torna al cor per les venes, i només per les venes. Es va poder recolzar a més en els descobriments de les vàlvules venoses de d'Acquapendente, i que surt del cor només per les artèries. Faltava veure la connexió entre venes i artèries que fou descoberta per Marcello Malpighi (1628-1694) que gràcies al recent descobriment del microscopi va poder veure els capil·lars.

Un altre descobriment important al segle XVII fou el de Francesco Redi (1621-1697), que també pertanyia a l'*Accademia del Cimento* com Steno. Demostrà experimentalment la inexistència de la generació espontània en organismes macroscòpics (López, 2000), negant el que deia Aristòtil, i un dels possibles orígens dels fòssils segons els filòsofs naturals neoristotèlics.

En el segle XVII hi hagué dos corrents renovadors de la medicina, el primer fou la iatroquímica. En aquest corrent mèdic la química és la clau per interpretar el funcionament fisiològic dels sers vius i de les malalties (Sequeiros, 2003). Els iatroquímics assumeixen les interpretacions químiques de Paracels, eliminant els principis vitalistes i metafísics de l'alquímia i substituint-los pel mecanicisme cartesià i atomista, l'inductivisme de Bacon, la dissecció de cadàvers de Vesalius i la doctrina de la circulació de la sang de Harvey, encara que les seves bases teòriques encara són molt febles (López, 2000). El segon corrent renovador correspon a la iatromecànica. Per aquest hi ha una assimilació del funcionament del cos humà a una màquina (Sequeiros, 2003). Aquesta teoria fou inaugurada per Descartes a l'obra *Traité de l'homme* (redactat al 1632 però no publicat fins a 30 anys més tard). Les idees cartesianes eren enginyoses però tenien un caràcter purament deductiu, li sobrava raonament i li faltava base experimental (Sequeiros, 2003). A Itàlia l'escola de Galileu va arribar a conclusions semblants. Una de les figures més importants fou Alfonso Borelli (1608-1679) que estudià la contracció muscular i que fou una de les figures de l'*Accademia del Cimento* com Steno.

EL NAIXEMENT DE LA GEOLOGIA AL SEGLE XVII

Segons Alsina (2006) hi ha tres qüestions que sense ser pròpiament geològiques són claus per entendre l'evolució de la geologia al segle XVII:

- La revolució copernicana, que considera la Terra com a un planeta més, cosa que tindrà com a conseqüència la caiguda de la cosmologia d'arrels aristotèliques i la formació d'una nova física. Aquest procés es tancarà amb l'important obra de Newton. La nova cosmologia també possibilitarà entendre la Terra com a un tot, i donarà lloc a l'aparició de les *Teories de la Terra* que tracten de comprendre el nostre planeta com a un Geocosmos, a mig camí entre el Macrocosmos i els Microcosmos dels pensadors del segle XVI (Sequeiros i Pedrinaci, 1999).
- La gènesi del mecanicisme, entès com a aquella filosofia natural que interpreta les causes físiques del canvi a través de processos mecànics. Segons Alsina (2006), en les teories mecanicistes la matèria està formada per partícules (si són divisibles un nombre finit de vegades parlarem d'atomisme, si són divisibles fins a l'infinit parlarem de mecanicisme no atomista), i que totes les propietats de la matèria es poden explicar pel moviment i la interacció mútua de les partícules. És a dir, per a interpretar les transformacions físiques que s'observen a l'Univers ja no serà necessari apel·lar a les quatre causes aristotèliques sinó que es tractarà d'analitzar-les com a processos purament mecànics (desplaçaments, transports, trenca-

ments, sedimentacions...). Aquesta teoria no sols afectarà a la interpretació de la naturalesa sinó que crearà una nova forma d'entendre la filosofia en què es rebutja la teleologia. És a dir, a partir d'ara els filòsofs naturals ja no cercaran el perquè de les coses sinó com s'han pogut produir.

- La institucionalització de la ciència, ja que el conreu de la filosofia natural ja no es farà a les universitats, com a l'Edat Mitjana, sinó a les societats científiques de caire independent. De fet les universitats entren en decadència com a les màximes institucions creadores del pensament, i passaran a segon pla fins al segle XIX. Aquestes institucions tenen les seves arrels en les acadèmies patrocinades sota el mecenatge dels nobles a Itàlia (*Accademia dei Lincei*, a Roma i a la que pertanyia Galileu; i l'*Accademia del Cimento*, a la Toscana i a la que pertanyia Steno); a Anglaterra es fundà la *Royal Society* creada per la iniciativa privada dels científics i que començà a publicar les *Philosophical Transactions*, la primera revista científica del món, que encara s'edita; a França es creà l'*Academie des Sciences*, que a diferència de la *Royal Society* era una institució estatal, en què els seus membres eren funcionaris d'elit.

Segons Ellenberger (1994) i Sequeiros (2003) en el segle XVII s'elaboraran diverses teories de la Terra. Segons aquestes teories, la Terra funciona com a un conjunt format per diverses parts que interaccionen entre elles a fi de permetre el funcionament del planeta. Algunes d'aquestes teories, d'inspiració neoplatònica, consideren la Terra com a un organismes viu, com la proposada per Kircher. La primera de les teories de la Terra és la de Descartes, en el segle XVII s'arriba a la plenitud de les teories de la Terra amb el *Mundus subterraneus* d'Athanasius Kircher, i la darrera fou la de James Hutton, a finals del segle XVIII. Als geòlegs del segle XIX no els interessava entendre la Terra com a un conjunt, sinó que volien estudiar-la a nivell d'aflorament. Les idees positivistes s'anaven imposant i el que importava era allò que es podia veure al camp, i poc després també al microscopi, mesurar i interpretar. A finals de la dècada dels seixanta i començaments dels setanta del segle XX hi ha hagut un retorn a les teories globalistes de la Terra. El nostre planeta es torna veure com a un sistema amb parts que funcionen conjuntament.

Com ja hem dit abans, la primera de les teories de la Terra fou la del filòsof René Descartes en la seva obra *Principia Philosophiae* (1644). Segons Descartes la Terra és un astre refredat, excepte en el seu centre on hi ha matèria comparable a la del Sol. En el seu procés de refredament la Terra s'estratifica en una sèrie de capes (Fig. 1). El nucli central (I) està format pel foc interior; M és una capa formada per una matèria similar a la que forma les taques solars i que s'interpretaria com a matèria estel·lar refredada; C és l'escorça interna sòlida; D és la capa d'aigua de la Terra; F és una capa d'aire inferior; E és l'escorça externa menys massissa que la interna i finalment hi

trobam la capa d'aire de l'atmosfera. La secció superior ens representa la Terra originària després del refredament, com a conseqüència d'aquest l'escorça superior es trenca i acaba enfonsant-se. Les aigües inferiors afloren a la superfície i generen les mars i oceans. Altres pensadors posteriors, com els diluistes anglesos, també explicaran així l'episodi del Diluvi Universal. La influència de Descartes en científics posteriors, especialment Steno, com remarca Sequeiros (2003), és molt notable. Encara que la teoria de la Terra de Descartes és enginyosa es nota que aquest autor està poc versat en temes de geologia, ja que no fa menció de temes que ja estaven en boca dels geòlegs d'aquesta època com la sedimentació, l'erosió i els fòssils (Sequeiros, 2003).

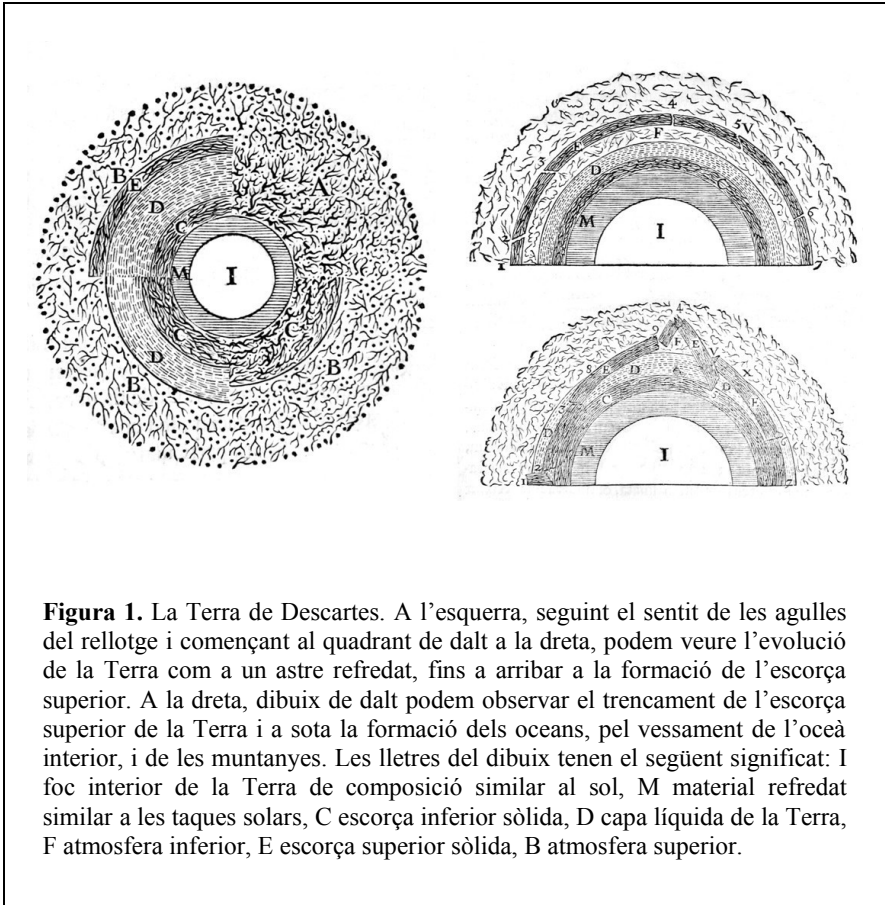


Figura 1. La Terra de Descartes. A l'esquerra, seguint el sentit de les agulles del rellotge i començant al quadrant de dalt a la dreta, podem veure l'evolució de la Terra com a un astre refredat, fins a arribar a la formació de l'escorça superior. A la dreta, dibuix de dalt podem observar el trencament de l'escorça superior de la Terra i a sota la formació dels oceans, pel vessament de l'oceà interior, i de les muntanyes. Les lletres del dibuix tenen el següent significat: I foc interior de la Terra de composició similar al sol, M material refredat similar a les taques solars, C escorça inferior sòlida, D capa líquida de la Terra, F atmosfera inferior, E escorça superior sòlida, B atmosfera superior.

Un altre autor que tindrà notable influència en el desenvolupament posterior de la geologia és el filòsof Pierre Gassendi (1592-1655) conegut especialment per la revalorització de la filosofia d'Epicur i per la defensa que feu de l'atomisme, així com per la rivalitat que tenia amb Descartes (Sequeiros, 2003). De manera pòstuma es publicaren les seves obres (1658)

entre les que es trobava la física, i dins de la física hi ha un capítol dedicat a *De lapidibus ac metallis* (en català, *Sobre les pedres i els metalls*) en què exposa les seves idees geològiques. Primer fa una classificació de les pedres molt convencional i afirma que segueixen formant-se avui en dia, per això cal una *vis lapidifica*, o força petrificant, i una altra força que fa aparèixer noves pedres, la *vis seminal*, que organitza la intimitat de les pedres, la seva forma i la seva disposició. Gassendi explica la formació dels fòssils per petrificació adquirida, alguns tenen solament un revestiment de pedra i d'altres estan formats per sucus subtils que impregnen els cossos d'antigues plantes i animals. Si traduïssim *suc lapidiscens* per solució mineralitzant, la interpretació que fa dels fòssils seria correcta (Sequeiros, 2003).

En tercer lloc cal destacar la figura del jesuïta alemany Athanasius Kircher (1601-1680), que escrigué una de les teories de la Terra més influents del segle XVII (Sequeiros i Pedrinaci, 1999; Sequeiros i Pelayo, 2011). La figura d'Athanasius Kircher és força complexa. Kircher fou professor de grec, hebreu i arameu, a més s'interessà per les llengües orientals i per la cultura xinesa, cosa insòlita en el seu temps. També tenia una gran afeció a desxifrar manuscrits antics, fins i tot va intentar desxifrar el manuscrit Voynich i s'interessà en el desxiframent dels jeroglífics egipcis. Fou un gran col·leccionista de roques, fòssils i minerals, fins al punt de posseir un museu propi (el pare Kircher va fundar un museu a Roma anomenat *Musaeum Kircherianum*). En definitiva fou un gran savi pluridisciplinar. Entre els anys 1637 i 1638 fa fer un llarg viatge per Itàlia, Sicília i Malta (Sequeiros i Pedrinaci, 1999). Va poder veure els volcans Etna i Stromboli en erupció. Quan es trobava en el viatge de tornada, al 1638 va tenir la vivència d'experimentar un moviment sísmic al sud d'Itàlia (Cutler, 2003). Les sensacions foren terribles, el terra tremolava amb violència sota els seus peus, i caigueren torres i castells al seu voltant, i alguns volcans despregueren fum i flamarades. I un poc més al nord, a Nàpols, el Vesuvi dóna mostres de voler entrar en erupció. Kircher pujà al cim i es va introduir al cràter. L'experiència el va impactar i pensà que sols faltaven els dimonis per completar el quadre que estava veient. Kircher pensà que hi podia haver una connexió entre els terratrèmols i les erupcions, a més els diferents volcans podien estar comunicats entre ells a través de conductes subterranis. Aquestes idees el varen dur a escriure el *Mundus Subterraneus* (1664), la seva obra geològica més important.

Les idees d'Athanasius Kircher es troben a mig camí entre la modernitat que suposa la revolució científica del segle XVII i la tradició que suposa el Renaixement del segle XVI. Recull diverses idees de les tradicions platòniques i aristotèliques, com les que fan referència a la seva concepció del món, entre el gran organisme de Plató, i el gran mecanisme d'Aristòtil, i de les forces, que mescla amb els conceptes d'amor i odi de les tradicions platòniques. Quant a la manera d'investigar, Kircher dóna molta importància a la observació, fins al punt de voler-se arriscar a pujar al Vesuvi a punt d'entrar en erupció, i és pioner amb l'aplicació de models en la interpretació de la

natura. S'ha de dir que Kircher té una gran habilitat per idear mecanismes nous, entre els que destaca la *llanterna màgica* un predecessor del cinematògraf. I també és capaç d'introduir idees noves, com el funcionament de la Terra com a un conjunt, que s'avançaran diversos segles al seu temps (Sequeiros i Pedrinaci, 1999).

Kircher es refereix a la Terra com a Geocosmos, que seria una unitat entre el Macrocosmos (tot l'univers) i el Microcosmos (el cos humà). Per Kircher la Terra funciona com un organisme, amb les serralades com a esquelet, un nucli central format per foc i amb grans cavitats subterrànies per les que pot circular aire (*aerophilacia*, en singular *aerophilacium*), aigua (*hydrophilacia*, en singular *hydrophilacium*) o lava (*pyrophilacia*, en singular *pyrophilacium*). En el Geocosmos de Kircher tots els elements es troben relacionats permetent que la Terra tenguí un funcionament impulsat pel foc central. Així el motor fa circular les laves, que escalfen les aigües, generant una circulació permanent. En aquest punt els coneixements mèdics de Kircher inspiren la seva teoria de la Terra. Evidentment la teleologia no està absent en el pensament de Kircher, en contra del mecanicisme que es va obrint pas en el pensament científic de l'època. Les coses no succeeixen perquè sí, tot té un sentit i una finalitat segons la seva mentalitat.

Quant als fòssils, són considerats per Kircher com a pedres figurades, o capricis de la naturalesa. A les roques no veu només copinyes sinó també coses tan curioses com els alfabetos grec i llatí complets. Els fòssils són explicats de diverses maneres, com a emanacions astrals, com a generació espontània i, el seu favorit, com a producte de la misteriosa força del magnetisme, que Kircher anomena «*esperit plàstic*».

BIOGRAFIA DE NICOLAUS STENO (1638-1686)

Primers anys

Niels Stensen (llatinitzat com a Nicolaus Steno) va néixer a Copenhaguen l'11 de gener de 1638 (segons el calendari gregorià, segons el julià, vigent entre els països protestants com Dinamarca hauria nat l'1 de gener del mateix any). La seva mare es deia Anne Nielsdatter i el pare Sten Pedersen. Els dos progenitors havien estat casats abans i havien enviudat. Steno fou el major dels dos fills que tengué la parella. Un parell d'anys després que Steno va néixer la seva germana Anne (Cutler, 2003). Després de la mort d'Sten Pedersen la mare d'Steno va tornar a casar-se dos cops més. En total va estar casada quatre pocs, sempre amb orfèbres.

El pare d'Steno era un artesà notable, ja que entre els seus clients es trobava el mateix rei de Dinamarca. Probablement Steno va heretar del seu pare la seva gran destresa amb les mans. Des de petit va tenir una salut fràgil i un caràcter reflexiu, sovint abocat a qüestions religioses ja que a la família

d'Steno hi imperava des de feia generacions una sòlida observança del luteranisme més estricte.

Quan tenia tres anys es va veure afectat per una malaltia sense identificar que va produir el seu confinament a la família i no es pogué relacionar amb altres nins de la seva edat. Aquest fet probablement condicionà el seu caràcter posterior, ja que a la seva joventut preferia la companyia de persones majors que les de la seva edat. Poc després que ell es guarís de la seva malaltia morí el seu pare (Cutler, 2003). Aquest havia proveït la seva família amb un notable patrimoni, encara que el rei no sempre era puntual en els seus pagaments. La família vivia en un barri respectable de la ciutat a prop de l'orfebreria que estava als voltants de la universitat. Però la seva mort va deixar la família sense ingressos. Anne es va tornar casar tot d'una amb un altre orfebre que només va sobreviure un parell d'anys. Steno quedà sota la custòdia de la seva mitja germana major i del seu cunyat, que tenia un sou segur treballant pel govern. Poc després Anne es casà per quarta vegada amb Johan Stichman (Sequeiros, 2003) que va tornar dur la prosperitat a la família.

A l'any 1654, quan Steno tenia setze anys una plaga es va escampar per Copenhaguen matant un terç de la seva població. Steno, junt amb altres estudiants, fou allistat per recollir els cadàvers dels morts, entre ells la meitat dels seus companys (Cutler, 2003).

A la seva joventut estudià a l'acadèmia Vor Frue Skole, on fou enviat per la seva família perquè aprengué els fonaments de la cultura clàssica. Allà conegué un dels personatges que més marcaren la seva vida, Ole Borch (1626-1690), també conegut amb el seu nom llatinitzat d'Olaus Borrichius. Borch fou filòleg, poeta, metge, químic i botànic. Segons Cutler (2003) el llatí tan fluid, i de vegades barrocs, que emprava Steno es devia al seu mestre. També menciona en diverses de les seves obres els experiments sobre cristal·lització que realitzaren, i que tengueren molta influència en les seves idees geològiques i cristal·logràfiques. De jove, Borch tenia la idea de ser clergue i entre els estudis realitzats es comptaven els de medicina. S'ha de pensar que en moltes zones rurals el capellà era l'única persona il·lustrada i estava al càrrec no sols de la salut de l'ànima dels seus feligresos sinó també de la del cos. Borch s'havia convertit en una espècie d'heroi local en fer-se càrrec dels malalts i moribunds durant l'epidèmia de 1654 quan molts dels metges fugiren de Copenhaguen (Cutler, 2003). Probablement el més important fou la capacitat que tenia de transmetre la passió cap els estudis de la naturalesa i la fascinació per experimentar. El contacte entre Borch i Steno no s'acabà quan aquest deixà l'escola de Vor Frue, sinó que de fet durà fins a la seva mort.

Estudiant a la Universitat de Copenhaguen

Al 1656, quan Steno tenia devuit anys, entrà a la Universitat de Copenhaguen per estudiar medicina. En aquella època els estudis de medicina d'aquesta universitat estaven liderats per la família Bartholin. En concret Thomas Bartholin (1616-1680), conegut especialment per haver descobert i

descriu el sistema limfàtic, era el que dirigia els estudis de medicina quan Steno hi estudià. Al seu torn, Thomas Bartholin era fill del cèlebre anatomista Caspar Bartholin el vell (1584-1629), conegut especialment per haver escrit *Anatomicae Institutiones Corporis Humani*, que serví com a llibre de text de l'anatomia durant molts anys, al 1611; també era germà del pioner de la cristal·lografia Erasmus (o Rasmus) Bartholin (1625-1698), conegut especialment per haver estat el primer en descriure la doble refracció de l'espat d'Islàndia (varietat de la calcita), estudis que també tengueren força influència en el pensament d'Steno; i a la vegada era pare de Caspar Bartholin el jove (1655-1738) que va descriure per primer cop les glàndules de Bartholin de l'aparell reproductor femení.

La influència de Thomas Bartholin fou intensa en Steno (Porter, 1963; Cutler, 2003), ja que no sols introduí Steno en la ciència de l'anatomia sinó que també l'introduí en el problema de les petxines que es trobaven a les muntanyes. Bartholin va fer un viatge per Europa que durà deu anys. Durant el seu periple visità Itàlia i l'illa de Malta, d'on pogué obtenir les seves famoses *glossopetrae* (literalment llengües de pedra). Avui en dia sabem que són dents de peix, però en el segle XVII hi havien altres interpretacions. Segons la teoria tradicional, l'apòstol Sant Pau va tenir una disputa amb els jueus que l'acusaven d'anar contra la llei. A l'any 61 es trobava de viatge cap a Roma, on l'envià el procurador de Judea, Ponci Fest, ja que Sant Pau havia apel·lat a la seva ciutadania romana per no ser jutjat pel Sanedrí. Durant el viatge cap a Roma, el vaixell en què viatjava Sant Pau va naufragar i els viatgers pogueren arribar, no sense esforços a l'illa de Malta. En aquesta illa una serp va mossegar la mà de l'apòstol, encara que aquest no es va veure afectat pel verí. La llegenda diu que les *glossopetrae* són les llengües petrificades de les serps malteses, encara que com ja senyalaven els contemporanis d'Steno la seva forma era més la d'una llengua d'ocell que de serp. Fruit del miracle de l'apòstol, a les *glossopetrae* se'ls atribueixen propietats protectores contra les picades de serp i contra tots els verins en general. Hi hauria una altra interpretació d'inspiració més neoplatònica (o hermètica) que apuntaria en la mateixa direcció. Segons aquesta teoria, les pedres amb forma de llengua posseïrien vincles ocults que produïrien també protecció. En tots dos casos les serps podien usar-se com a amulets, o bé es podien prendre capolades. Eren ben conegudes pels metges de l'època gràcies a les propietats que se'ls atribuïen. Steno recordà les *glossopetrae* quan anys després dissecionà el cap d'un tauró gegant.

Al segle XVII es feien disseccions públiques en els teatres anatòmics (Fig. 2). En aquests teatres anatòmics, l'anatomista dissecionava un cadàver, generalment d'un ajusticiat, i es cobrava una entrada per assistir-hi. Amb els doblers recaptats es pagaven els instruments, el cadàver i els salaris de l'anatomista i dels seus assistents (Cutler, 2003). El teatre anatòmic de Copenhaguen era molt popular, es trobava decorat amb dos esquelets humans que representaven Adam i Eva, entre ells hi havia l'Arbre de la Saviesa amb la serp a les seves branques.

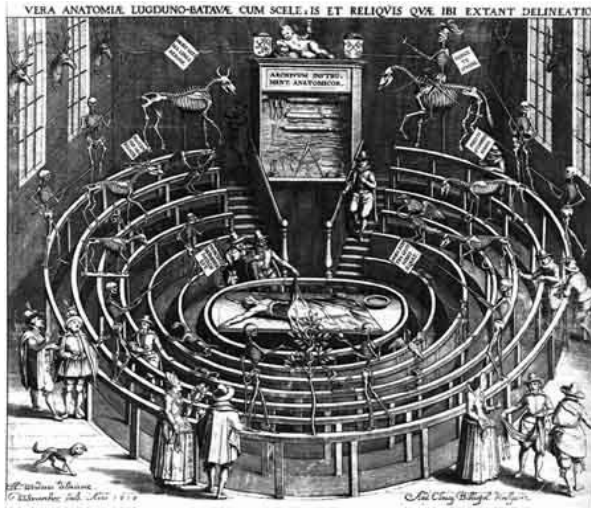


Figura 2. Theatrum anatomicum de Leiden en temps d'Steno.

L'època en què estudià a la Universitat de Copenhagen fou la pitjor que es podia haver triat. El 1657 esclatà la Guerra Suecodanesa de 1657-1658, també anomenada Primera Guerra Danesa del rei Carles Gustau. Per aquell temps Suècia, després d'haver guanyat territoris a Alemanya a la Guerra dels 30 anys anava camí de convertir-se en la gran potència militar del nord d'Europa i es trobava enfrontada al mateix temps amb Polònia i Rússia. Frederic III de Dinamarca, encoratjat pels Països Baixos, Espanya i el Sacre Imperi i aprofitant els fronts oberts que tenien els suecs, es decidí a enfrontar-se a Suècia per recuperar els territoris perduts pel seu país al 1645. Les coses no pogueren anar pitjor al rei Frederic, que estigué a punt de perdre tot el seu país si no hagués signat el tractat de Roskilde, molt avantatjós pel rei Carles X Gustau de Suècia, que suposà grans pèrdues de territoris per a Dinamarca a més de l'obligació de subministrar provisions a l'exèrcit suec. Les coses podien haver acabat aquí però el rei Carles X Gustau no es conformà amb aquesta victòria sinó que pretenia acabar amb Dinamarca. Emparant-se amb el retard de Dinamarca en el subministrament de provisions a Suècia, trobà l'excusa per iniciar una altra guerra, la Guerra Suecodanesa de 1658-1660, també anomenada Segona Guerra Danesa del rei Carles Gustau, poc després d'haver finalitzat l'anterior. Les tropes sueques encara es trobaven a Jutlàndia, en territori danès i provaren d'atacar ràpidament Copenhagen. A l'agost de 1658 la ciutat es trobava assetjada per les tropes sueques i la situació a tot el país era d'extrema gravetat. Les portes de la ciutat es tancaren i no es tornarien a obrir fins a 22 mesos més tard. De totes formes aquesta guerra no acabaria de la manera que esperava el rei Carles Gustau ja que trobà

molta més resistència de l'esperada en el setge de Copenhaguen, en què la població s'organitzà en milícies per defensar la ciutat, a més el conflicte es va internacionalitzar, ja que diverses potències, Països Baixos, Brandenburg, Polònia i Àustria, s'afegiren a la contesa. La guerra acabà amb el tractat de Copenhaguen en què Dinamarca recuperà territoris a Suècia.

En aquests enfrontaments bèl·lics Steno, com la major part dels estudiants de la universitat, fou allistat per participar en les milícies civils que defensaven la ciutat. La majoria de les classes foren suspeses, i les poques que es donaren es feren de manera erràtica. Durant quatre mesos de començaments de l'any 1659 va escriure el seu diari anomenat pel mateix Steno com a Caos. Sorprenentment Steno no fa referència a la guerra. Només parla de les dificultats per trobar combustible destinat a la calefacció i al fred que es passava, de vegades feia massa fred per fer qualsevol cosa. En aquest quadern es mesclen els dos temes que l'obsessionarien la resta de la seva vida: la ciència i la religió. Aquest diari, que ens ha arribat fins als nostres dies, no estava destinat a la publicació, per aquest motiu és una barreja d'escrits i cites que s'enllacen sense un ordre, encara que el seu valor és inqüestionable com a document per a clarificar el pensament del jove Steno en els seus anys d'estudiant.

De la mà d'Ole Borch, Steno entra en contacte amb les obres dels pensadors més brillants del seu temps. Els que tendran més influència en el seu pensament seran Galileu, Bacon, Descartes, Gassendi i Kircher (Cutler, 2003). Borch també es dedicava a fer experiments en els seu propi laboratori ja que tenia interès en l'alquímia, i va despertar en Steno la curiositat per realitzar les seves pròpies pràctiques. Posteriorment, quan Steno va tractar el tema de la formació dels estrats i de la precipitació química, recordà la formació de partícules de terra a partir d'un fluid límpid.

Steno a Holanda

La situació en què es trobava immersa Copenhaguen va impedir la finalització dels seus estudis. A la tardor de 1659, abans que acabàs la guerra, va partir cap al nord d'Alemanya amb una carta de recomanació del seu mestre Bartholin i d'allà es traslladà a Holanda (Sequeiros, 2003; Cutler, 2003). La seva primera aturada a Holanda fou a Amsterdam, on degué quedar impressionat amb el seu cosmopolitisme i amb la tolerància que es respirava entre les diferents religions. Encara que el luteranisme era el credo majoritari, també hi havia calvinistes, catòlics, anglicans, jueus i musulmans. Només va romandre a Amsterdam tres mesos, però allà va escriure la seva obra *Disputatio Physica de Thermis* (1660), la seva primera obra científica, que equivaldria a una tesina o memòria d'investigació actual, i que tracta de les fonts termals.

A la seva arribada a Holanda feu un dels seus descobriments més importants. A Amsterdam residí a casa de Gerard Blaes (1627-1682), també conegut amb el nom llatinitzat de Gerardus Blasius, que era professor

d'anatomia. A més, Blaes era amic personal de Bartholin, ja que havia estudiat a Copenhaguen, mentre hi vivia amb la seva família ja que el seu pare fou arquitecte del rei Cristià IV de Dinamarca (Porter, 1963). Mentre era a casa del professor Blaes féu la dissecció d'un cap de xot per estudiar el cervell i els vasos. Introduí una sonda a les glàndules paròtides i observà que es movia. Aquest fet li va permetre descobrir que hi ha un conducte que comunica amb la cavitat bucal. Fins a aquell moment es desconeixia quina funció tenien les glàndules paròtides, així com també s'ignorava d'on provenia la saliva. Steno resolgué així dos problemes de cop: la funció de les glàndules paròtides i l'origen de la saliva. Actualment aquest rep el nom de conducte d'Steno (Fig. 3). El professor Blaes es volgué apropiari del descobriment del seu jove hoste i publicà un treball amb la troballa. A més, Blaes s'aprofità de la seva privilegiada posició acadèmica per reclutar altres professors al seu costat. El to agressiu i manifestament insultant amb que atacava Steno provocà el contrari del que s'esperava. Aquest, lluny de deixar-se dominar pel reconegut professor no dubtà en reaccionar i ho va fer amb la mateixa contundència amb què era atacat. El conflicte assolí unes dimensions que obligà a Bartholin a apaivagar la disputa. El conflicte no es resolgué definitivament fins anys més tard però les múltiples inexactituds que contenia el treball de Blaes l'acabaren desvetllant, l'autor de la descoberta no era altre que Steno.

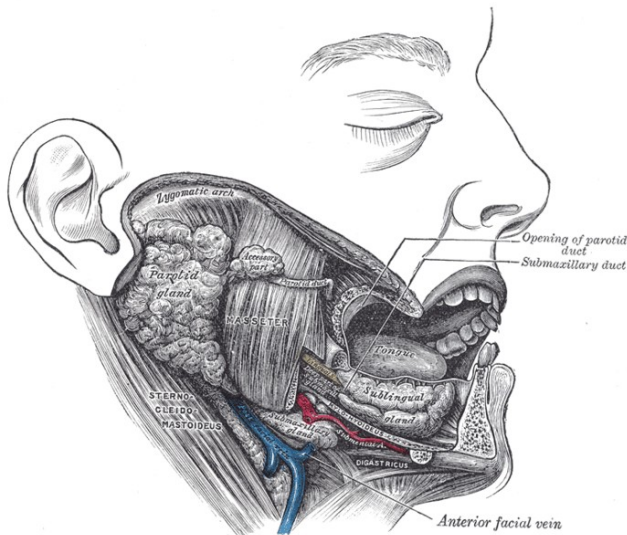


Figura 3. Dibuix de les glàndules paròtides on es mostra el conducte d'Steno, rotulat com a parotid duct, (litografia de l'obra *Grays Anatomy* de domini públic, cortesia de Wikimedia Commons).

Aquesta descoberta guià les primeres recerques d'importància d'Steno en el camp de l'anatomia, ja que no es limità a fer una descripció completa de les glàndules salivals sinó que emprengué la tasca de descriure totes les glàndules del cap. Li devem la primera descripció completa de les glàndules lacrimals. Aquestes es recullen en el treball anomenat *Observationes anatomicae* publicat el 1662. El 7 d'abril de 1660 realitzà un descobriment científic sobre el tiroides, i continuà amb altres relatius als músculs i al cor (Sequeiros, 2003). Altres descobriments d'aquest any foren els seus treballs sobre els músculs, en què s'explica la funció dels intercostals i l'estructura fibril·lar de les masses musculars. També observa que aquesta estructura fibril·lar es troba en els òrgans del cor i de la llengua, amb la qual cosa demostra la condició muscular de la llengua i el cor (*cor vero musculus est*). Aquesta qüestió tenia més implicacions que les que es podrien apreciar a simple vista. Hi havia una antiga disputa entre els que eren partidaris de la idea que el cor era una bomba o que actuava com a un forn. Descartes, que havia publicat la seva obra pòstuma *Traité de l'homme* (en la versió llatina titulat *De homine*) fa una interpretació del funcionament del cos humà basant-se en el seu mètode de raonament, anàloga al raonament matemàtic, en què es basava la seva filosofia. Encara que introduïa idees interessants, aquestes no es basaven en l'observació sinó en la deducció. Segons Descartes el cor havia de ser un forn ja que no hi havia músculs que el poguessin accionar (Cutler, 2003). Amb els estudis d'Steno s'invalidava una part de la concepció del funcionament del cos humà cartesiana, no tardaria gaire en invalidar la resta.

Al 1660 viatjà a Roma on pogué visitar el cèlebre museu del pare Kircher i entrà en contacte amb els jesuïtes del Col·legi Romà (Sequeiros, 2003).

A Holanda visqué sobretot a Leiden on seguí amb els seus estudis de medicina, i on residí des de l'any 1660 fins al 1664, amb alguna interrupció que aprofità per viatjar per Itàlia. També hagué de retornar momentàniament a Dinamarca per arreglar uns assumptes familiars. Al 1664, el padastre d'Steno, Johan Stichman, va morir, i un any després Steno va haver d'anar a l'enterrament de la seva mare (Sequeiros, 2003), els seus negocis familiars quedaren en mans de la seva germana i del cunyat (Cutler, 2003).

A Leiden conegué gent tan important per a la ciència de l'època com Jan Swammerdam (un dels pioners de la microscopia i un col·laborador amb les recerques d'Steno a París), Reinier de Graaf (el descobridor del fol·licle ovàric, anomenat fol·licle de De Graaf), Franz De Le Boe (més conegut pel nom de Franciscus Sylvius, una important figura del corrent de la iatroquímica) i el filòsof Baruch Spinoza. Segons Sequeiros (2003) allà va tenir ocasió de discutir el valor de la metodologia mecanicista cartesiana en física i anatomia.

Retorn a Copenhaguen i estança a París

Després d'acabar la seva estança a Holanda retornà a Dinamarca amb el desig d'aconseguir una càtedra universitària, que finalment fou assignada a un nebot de Thomas Bartholin. Potser Steno se sentí ferit per la decisió del seu mestre, però la realitat és que en seguí mantenint el contacte (Porter, 1963).

Com que no li va aconseguir el desig d'ensenyar a la Universitat de Copenhaguen, decidí anar-se'n a París, on residí entre 1665 i principis de 1666 com a convidat personal de Melchisédech Thévenot, impulsor del cercle hereu del de Mersenne i que seria el nucli inicial de l'*Académie des Sciences* de París (Sequeiros, 2003). Allà estudia l'embrió i el cervell, dos temes que captaren la seva atenció als anys següents.

Al 1665 feu una dissertació sobre l'anatomia del cervell, que fou publicada al 1669 a París en francès amb el títol de *Discours de Monsieur Sténon sur l'Anatomie du Cerveau*. En aquest treball fa una refutació de les doctrines galèniques sobre el cervell i confessa honestament que no en sap res. Per aquella època s'acabava de reimprimir l'obra de Descartes *Traité de l'homme*, en què el filòsof francès exposava la seva idea sobre la relació entre l'ànima i el cos.

Segons explica Descartes l'home pot entendre's com una màquina governada per la seva ànima. L'ànima és de naturalesa més subtil que el cos i el maneja a través de la glàndula pineal (o epífisi), que està connectada a un entramat de fils que accionaven els mecanismes del cos humà. Segons la concepció cartesiana la glàndula pineal era un òrgan mòbil que accionava la resta del cos a través d'aquesta xarxa i que servia de pont entre l'ànima i el cos. Steno demostrà que la glàndula pineal és un òrgan que resta immobilitzat degut al teixit que l'envolta. Posteriorment digué que no retreia a Descartes pel seu mètode sinó per haver-lo ignorat ell mateix.

Descartes no és l'única autoritat que rebé els atacs d'Steno. De fet es dedica a desmuntar tota la concepció que es tenia sobre el que havia de suposar la investigació científica. Fins al segle XVII s'havia seguit el principi d'autoritat, les universitats, principals centres del saber, no estaven destinades a crear coneixement sinó a preservar el pensament antic (Cutler, 2003). En medicina se seguïen els treballs publicats pel famós metge grec Galè (130-200 dC), que eren la base de tot coneixement mèdic. La pròpia filosofia medieval propiciava aquest fet, els treballs fets amb les mans no es creïen propis d'una persona que ocupava un rang destacat. De fet les feines que suposaven tocar malalts i ferits amb les mans, i embrutar-se de sang, no les realitzaven els metges sinó que aquests les delegaven als cirurgians (López, 2000). El nou pensament que s'anava obrint pas al segle XVII faria canviar les coses. El mateix Steno era fill d'un artesà i sabia com era d'important treballar amb les mans i descobrir les coses per ells mateixos.

Una altra característica que sorprèn del *Discours sur l'Anatomie du Cerveau* era el de manifestar la pròpia ignorància. Steno comença dient «*En lloc de prometre-us d'acontegar la vostra curiositat sobre l'anatomia del*

cervell, us faig una confessió sincera i pública, que jo no en conec res». Steno admet que per començar a avançar sobre alguns temes complexos és millor començar de zero que basar-se en textos de veracitat, com a mínim, dubtosa. Una part del problema amb que es troba Steno és que el teixit que forma el cervell és massa delicat, cosa que fa que els resultats de l'observació depenen molt de la tècnica utilitzada en la pràctica de la dissecció, cosa que, segons Steno, pot fer que cada anatomista que realitza una dissecció pugui demostrar el que vulgui.

A París, també començà a estudiar un dels problemes que més el varen atreure, l'estudi dels músculs. Va passar l'estiu de 1665, junt amb el seu antic company Jan Swammerdan disseccionant una gran varietat d'animals (Cutler, 2003). Swammerdam féu la seva carrera professional disseccionant insectes i observant-los amb el microscopi. Steno pensava enfocar el problema de com funcionaven els músculs des del punt de vista geomètric, aquesta idea es materialitzaria al 1669 amb la publicació de l'*Elementorum myologiae specimen*, del qual en parlarem més endavant.

Possiblement a Montpeller (Ellenberger, 1994) Steno es topa amb alguns membres destacats de la *Royal Society* de Londres (William Croone, 1633-1699; Martin Lister, 1639-1712; i John Ray, 1627-1699). Està discutit si pogué conèixer a través d'ells els treballs de Hooke, cosa que donaria suport a la controvèrsia que es muntà després de la publicació del *Prodromus*, treball pel qual fou acusat de plagi per part de Robert Hooke. De totes formes se sap que el botànic John Ray estava molt interessat pels fòssils fins al punt que en el seu llarg viatge de 1663 a 1666 volgué anar a l'illa de Malta per estudiar la seva riquesa paleontològica.

Estança a la Toscana, principals treballs geològics i conversió al catolicisme

Al 1666 Steno s'instal·là a la Toscana, convidat pel Gran Duc Ferran II (Sequeiros, 2003), on fou molt ben acollit per alguns membres de l'*Accademia del Cimento*, com Francesco Redi (1626-1697, entomòleg, del que ja hem parlat com a opositor a la generació espontània, i ovista com Steno) i Vincenzo Viviani (1622-1703, matemàtic, científic i biògraf de Galileu). L'*Accademia del Cimento*, o acadèmia dels experiments, era una de les noves institucions que anaren sorgint a Europa per acollir els científics de l'època. Les idees que es manejaven estaven relacionades amb el llegat de Galileu Galilei, que havia estat protegit pel mateix Gran Duc. De fet l'*Accademia* comptava amb alguns deixebles de Galileu, com Vincenzo Viviani i Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679), un dels representants més notables de la iatromecànica i un dels membres de personalitat més forta de l'*Accademia del Cimento*. Els mateixos Ferran i el seu germà, el Príncep Leopold, de Medici havien estat deixebles de Galileu (Cutler, 2003). Tan interessat per la ciència com el seu germà hi estava el Príncep Leopold de Medici que supervisava les accions de l'*Accademia*, que va fer construir

laboratoris al Palazzo Pitti de Florència. El Príncep Leopold volia participar a l'*Accademia* com a un membre més i no com a príncep.

Quan Steno arribà a Florència, al juliol de 1666, s'estava realitzant un experiment important per a la història de la ciència. Francesco Redi havia deixat carn podrint-se, testant diferents tipus de carn, fins i tot, segons Cutler (2003), de tigre i llama. Algunes mostres estaven cobertes de tela, mentre que d'altres no ho estaven. Redi intentava veure si es donava o no la generació espontània. Aquesta tenia molts partidaris entre els seguidors de l'aristotelisme, entre ells es comptava amb el jesuïta alemany Athanasius Kircher, que afirmava ser capaç de produir papallones, abelles, escorpins, granots i serps generats espontàniament a partir de mescles d'excrements i carn seca. Fins i tot n'havia publicat receptes (Cutler, 2003). Redi, emperò només va ser capaç de produir mosques en les mostres. Les mateixes que es trobaven pertot arreu al palau dels Medici i això només passava quan les deixava sense tapar. Redi va raonar que les mosques venien d'ous dipositats per altres mosques, és a dir no hi havia generació espontània, només el que és viu pot generar un altre ser viu.

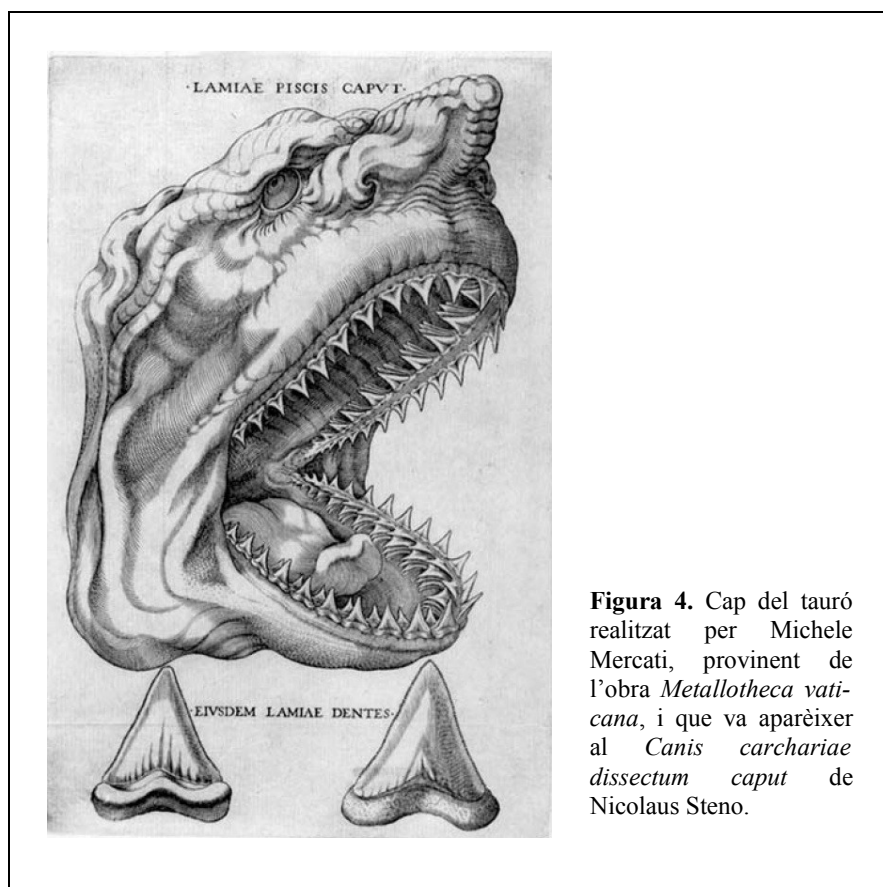


Figura 4. Cap del tauró realitzat per Michele Mercati, provinent de l'obra *Metallotheca vaticana*, i que va aparèixer al *Canis carchariae dissectum caput* de Nicolaus Steno.

Aquest mateix any es capturà un tauró gegant (Fig. 4) a prop de Livorno, a la costa de la Toscana. Per petició del Gran Duc, el cap fou enviat a Florència per ser disseccionat per Steno. A l'any següent, Steno publica una de les seves obres geològiques més importants, *Elementorum myologiae specimen, seu musculi descriptio geometrica. Cui accedunt Canis Carchariae dissectum caput et dissectis piscis ex canum genere*. Aquesta obra, en realitat, consta de tres treballs independents, tots ells interessants. El primer és l'*Elementorum myologiae specimen*, pròpiament, que tracta de fer una descripció geomètrica del funcionament dels músculs. El segon dels treballs és el *Canis Carchariae dissectum caput* que, a la vegada, consta de tres parts. La primera és la dissecció del cap de tauró (en la nomenclatura d'Steno, *Canis Carcharias*). En aquesta primera part es presta especial atenció als músculs i al cervell (dos dels temes que més interessaven a Steno). En la segona part es parla de les dents del tauró i es remarca la seva similitud amb les *glossopetrae*. En la tercera part tracta dels fòssils, argumentant perquè no han de ser considerats ni capricis de la natura ni objectes crescuts dins de les pedres. El tercer dels treballs, *Historia dissectis piscis ex canum genere*, en què amplia la informació obtinguda amb la dissecció del cap de tauró disseccionant altres taurons capturats a la Toscana.

Al 1670, un any després que Steno publicàs la seva obra definitiva sobre geologia i que duria per títol *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus*, un pintor sicilià i gran aficionat als fòssils anomenat Agostino Scilla (1629-1700) publicà un llibre titulat *La vana speculazione disingannata dal senso* en què defensa idees molt properes a les mantingudes per Steno. Probablement Scilla no coneixia l'obra d'Steno ja que no el menciona. La seva argumentació no és tan completa com la del danès ja que es basa tan sols en la semblança entre els fòssils i les dents i copinyes dels animals actuals. Ve acompanyada de dibuixos excel·lents que demostren l'ofici de l'autor.

Després de la publicació de l'*Elementorum myologiae specimen* Steno rep una pensió de 25 escuts al mes a més de disposar d'allotjament al Palazzo Vecchio de Florència i finançament per viatjar i per seguir amb les seves investigacions, ara centrades en els temes geològics (Sequeiros, 2003). Steno tescà la Toscana, de vegades acompanyat pel Gran Duc Ferran, a la recerca d'afloraments de roques i de fòssils. Steno vol indagar com es formen les roques i les muntanyes, ara que pensa que aquestes estan constituïdes d'estrats, i que aquests ens donen la clau per investigar la història d'una regió. Segons sembla, en aquest any es converteix al catolicisme amb 29 anys.

Probablement la crisi religiosa d'Steno s'havia anat covant uns anys anteriorment. Steno havia viscut en un ambient de profunda fe protestant. La seva estança a Holanda li havia mostrat el cosmopolitisme i la llibertat religiosa d'aquest indret, a més de posar-lo en contacte amb el filòsof jueu Baruch Spinoza. La correspondència i les discussions religioses entre Steno i Spinoza es varen perllongar fins després de la conversió d'aquell al catolicisme. Spinoza, descendent de jueus d'origen portuguès, vivia a la petita

ciutat de Rijnsburg, a prop de Leiden, i hi anava ocasionalment per assistir a les disseccions d'Steno (Cutler, 2003). Els dos pogueren discutir sobre la filosofia cartesiana, que era un tema comú d'interès. És sabut que Spinoza destacava per les seves peculiars i progressistes idees religioses, que l'enfrontaren a la comunitat jueva del seu entorn. Posteriorment a França Steno entrà en contacte amb altres persones catòliques de profunda fe, cosa que féu trontollar el seu món interior. Al cap i a la fi, pensà Steno que els catòlics també sabien viure la seva fe amb devoció, tal com ho feien els protestants. Durant mesos mentre estava a Florència, seguint el raonament cartesià que el caracteritzava, sospesà punt per punt la religió catòlica i la protestant, fins i tot rellegint els originals grecs i hebreus de la Bíblia que es trobaven a la biblioteca dels Medici (Cutler, 2003). Poc després de l'arribada d'Steno a Florència assisteix a una processió del Corpus a Livorno. Aquest espectacle el fa impactar en la seva mentalitat luterana: «*o bé l'hòstia no és més que un tros de pa, i són bojos en fer-li aquest homenatge, o bé realment conté el cos de Jesucrist, i si és així, perquè no l'estic honorant jo mateix?*». També estava impressionat amb el zel religiós dels catòlics italians, com el del jesuïta Paolo Segneti (Cutler, 2003), i passava hores discutint temes de religió amb Lavinia Arnolfini, la dóna de l'ambaixador de Lucca.

Segons contà Steno uns anys més tard, a l'ocàs del dia de Tots Sants, 2 de novembre de 1667, mentre caminava pels carrers de Florència sentí la veu d'una dóna que el cridava des d'una finestra i li digué: «*no seguesqui per aquest costat pel que va, senyor, seguesqui per l'altra costat*». Aquestes paraules l'impactaren perquè en aquest moment Steno estava absorbt pensant en temes religiosos. La dóna, evidentment no li xerrava de religió sinó que l'aconsellava sobre el camí per anar a certa adreça, però Steno ho agafà com a una missatge que li enviava la divinitat. De cop va cridar: «*oh senyor, tu m'has alliberat de les cadenes que m'oprimien!*» (Cutler, 2003).

Paréix que tengué una profunda crisi religiosa, al mateix temps que inicià l'estudi de les roques de la Toscana. La seva crisi religiosa, juntament amb la seva teoria, que ell considerava molt revolucionària, potser actuaren de fre a l'hora de publicar els resultats obtinguts. De totes formes el seu protector el Gran Duc Ferran II el pressionà perquè publicàs algun resultat preliminar de la feina que havia fet. Fruit d'això es publicà *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus*, que veu la llum a Florència a l'abril de l'any 1669. Aquest llibre suposarà un pas molt important per a la ciència geològica, fins al punt que per molts d'autors serà considerat l'obra que obrirà la geologia com a ciència. Defineix un dels principis de la cristal·lografia (la constància dels angles diedres, Fig. 5), tres principis de l'estratigrafia (superposició, horitzontalitat inicial i continuïtat dels estrats), a més fa el primer intent de reconstrucció històrica de la geologia d'una regió (la Toscana).

No sabem per quins motius Steno va abandonar la seva tasca científica, potser fou per la seva conversió al catolicisme, perquè les seves investigacions el feien dubtar de les seves profundes creences religioses, per la polèmica que

hi hagué amb Hooke sobre l'autoria de les seves idees o tal volta el més probable sigui que es va veure desbordat per la tasca que acabava de començar. A diferència de l'anatomia, la geologia era una ciència que es trobava en estat embrionari, s'havia fet molt poca cosa fins aleshores i quasi tot estava per començar. Steno era l'anatomista que s'havia començat a interessar per l'anatomia de la Terra. Acabava de descobrir que la Terra tenia una estructura que podia ser investigada, encara que els bisturís per dissecar-la eren proporcionats per la mateixa natura (l'erosió i la tectònica). Aquells que estam familiaritzats amb el treball de camp del geòleg sabem com pot ser de complicat entendre allò que veiem. La tasca que se li obria a Steno era immensa i eren lògiques les dificultats amb les que s'afrontà. Sempre considerà el seu treball una obra inacabada, encara que seguí investigant i recopilant notes sobre les seves observacions geològiques.

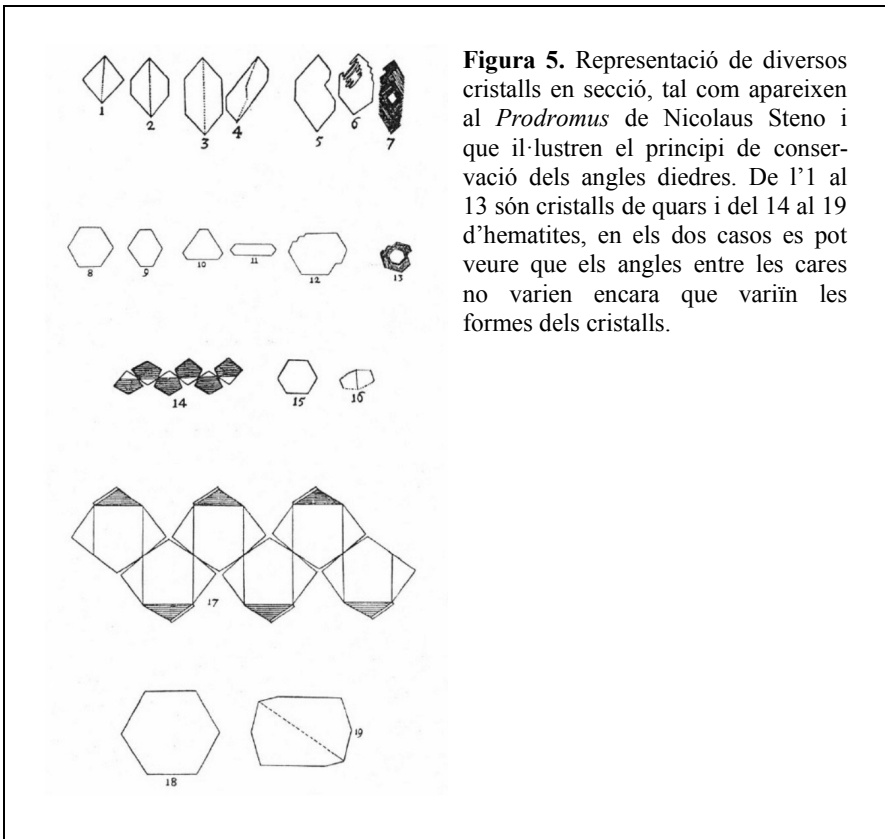


Figura 5. Representació de diversos cristalls en secció, tal com apareixen al *Prodromus* de Nicolaus Steno i que il·lustren el principi de conservació dels angles diedres. De l'1 al 13 són cristalls de quars i del 14 al 19 d'hematites, en els dos casos es pot veure que els angles entre les cares no varien encara que variïn les formes dels cristalls.

El fet és que a partir de l'any 1673, amb 35 anys, Steno va deixar d'escriure sobre temes científics, el seu darrer treball fou un estudi sobre la dissecció d'una àguila, i tot el que escrigué a partir d'aquest any fou sobre teologia i religió.

També hi hagué un altre fet que influí negativament en el desenvolupament de les investigacions d'Steno, l'*Accademia del Cimento* s'estava disgregant (Cutler, 2003). Un dels principals problemes es devien a Giovanni Alfonso Borelli i al seu difícil caràcter. Mentre estava sota la protecció del Príncep Leopold, Borelli només va escriure un llibre sobre l'astronomia galileana prohibida, que ens alguns aspectes s'anticipava a Newton. Uns anys abans Borelli i Viviani foren els primers en mesurar la velocitat del so i ara quasi no es dirigien la paraula (Cutler, 2003). Borelli també estava gelós d'Steno, ja que considerava que es ficava massa en el seu propi terreny estudiant els músculs, encara que inicialment s'havia ofert per col·laborar-hi. En el treball pòstum de Borelli sobre els músculs, ataca amb contundència les idees d'Steno, encara que no menciona el seu nom. Cutler (2003) també diu que Borelli tenia problemes amb l'*Accademia del Cimento* per la publicació de *Saggi di naturali esperienze*, ja que segons manava el Príncep Leopold aquesta havia de recollir l'esperit desinteressat de la ciència, els treballs havien de ser anònims i només es podien publicar experiències i conclusions que comptassin amb el vist i plau de tots els membres de l'*Accademia*. Això fou massa per a Borelli, no podia posar el seu nom i a més les seves experiències i conclusions haurien de comptar amb el vist i plau dels altres membres. Finalment Borelli decidí abandonar l'*Accademia* i anar-se'n a Sicília. El que va suposar un cop encara més fort per a l'*Accademia* fou el comiat del Príncep Leopold. Aquest fou anomenat cardenal, càrrec al que no pogué renunciar degut al posicionament polític de la seva família, i la seva nova funció li impedia compatibilitzar les tasques pròpies del cardenalici amb la seva activitat com a mecenes de les ciències.

Diversos viatges per Europa i publicació del Prodromus

Després de la publicació del *Prodromus*, Steno inicia una sèrie de viatges per Europa (Sequeiros, 2003). Poc abans que Leopold fos nomenat cardenal, Steno rebé una invitació del rei de Dinamarca, Frederic III (1609-1670). Aquest li ofereix una pensió de 400 rixdals anuals per ocupar un càrrec d'anatomista reial. Sembla que el rei no volia renunciar a tenir a prop a un dels científics danesos més famosos. Hi havia un gran problema emperò, Steno s'havia convertit al catolicisme i professava públicament la seva nova fe. Era compatible viure a un país protestant i estar sota la protecció d'un rei protestant amb no haver de renunciar a la seva fe? Hem de remarcar que a mitjans del segle XVII encara estaven recents les ferides obertes per la Guerra dels Trenta Anys, entre catòlics i protestants, a Dinamarca un capellà catòlic que fes missa se'l podia condemnar a mort (Cutler, 2003). Aquesta qüestió assetjava Steno i no pensava acceptar l'oferiment del rei Frederic sense haver-la resolta positivament.

Steno finalitzà el manuscrit del *Prodromus* a l'estiu del 1668 i el lliurà al vicari general de Florència per obtenir el permís de l'església per publicar-lo. De fet es va enviar als dos censors més favorables que es pogués

imaginar, Viviani i Redi (Cutler, 2003). Per raons que desconeixem Redi tardà un temps a retornar el manuscrit. Mentre Steno es veia pressionat per deixar Florència. Desocupà les seves estances al Palazzo Vecchio al juliol. Finalment se n'anà de la ciutat al novembre, quan encara el *Prodromus* no havia estat publicat, deixà la tasca de supervisar els darrers detalls a Viviani.

Entre finals de 1669 i 1672 estigué viatjant per Europa. Primer s'encaminà al sud i visità Roma i Nàpols. Passà un mes amb Marcello Malpighi i després visità els Alps. Probablement estava esperant la resposta del rei de Dinamarca. A més d'Itàlia també visità Suïssa i els Alps Austríacs, i arribà fins a Viena i al nord d'Hongria. Al febrer de 1670 es trobava a Amsterdam on rebé la notícia que el Rei Frederic III s'havia mort, tot el que s'havia negociat per tornar a Dinamarca s'hauria de tornar a discutir amb el nou rei Cristià V (1646-1699).

En aquest viatge deixà un poc de banda la seva ocupació anatòmica i es fixà més atentament en els aspectes geològics (Cutler, 2003). Havia pogut visitar el famós Vesuvi, els Alps i les famoses mines d'Alemanya i d'Hongria. Va passar almenys sis mesos a Alemanya, d'on va enviar nombroses mostres de fòssils i minerals als Medici. De fet, aquestes mostres són els únics indicis de la seva estada.

Finalment el *Prodromus* es publicà a la primavera de 1669 i Steno envià còpies a hostes i amics. Malgrat fou un text revolucionari no provocà gaires reaccions, almenys fins que no va arribar a Anglaterra, al 1671. Allà va cridar l'atenció de Henry Oldenburg (1619-1677), el secretari de la *Royal Society* of London, la institució científica de recent fundació i de la qual ja n'hem parlat. Oldenburg mantenia correspondència amb científics de tot el món, començà a recopilar-les en un publicació anomenada *Philosophical Transactions of the Royal Society*, que es convertí en la primera revista científica, i que encara se segueix publicant. Aquesta publicació es feia ressò dels descobriments científics més recents, així com es feien resums dels llibres amb temàtica científica que anaven arribant a Londres. Steno ja era conegut per la *Royal Society*, ja que a les pàgines de les *Philosophical Transactions* ja se n'havia fet menció dels seus descobriments, a més alguns membres el coneixien personalment (William Croone, John Ray i Martin Lister). Steno se seguia escrivint amb Croone i una de les cartes s'havia llegit a la *Royal Society* (Cutler, 2003). Quan va arribar una còpia del *Prodromus* a Londres, Oldenburg en va fer una ressenya i el traduí a l'anglès.

Una de les persones a les que el *Prodromus* va captar l'atenció fou Robert Hooke (1619-1677) conegut entre altres coses per ser el descobridor de les cèl·lules i haver-les donat nom, per haver descobert la gran taca de Júpiter i per la llei que descriu la deformació dels cossos elàstics. Hooke fou un dels primers investigadors que usà el microscopi per observar fòssils (Sequeiros, 2003). Havia observat fusta fossilitzada al microscopi i havia pogut observar que aquesta tenia la mateixa estructura cel·lular que la fusta actual i constatà que, al contrari del que creien alguns contemporanis, la fusta fòssil no es formava a partir de la terra sinó que era fusta petrificada sota l'acció de fluids

mineralitzants. L'argument més convincent emperò per a Hooke que els fòssils eren restes d'organismes era que segons ell, la natura no fa res debades. Tot tenia una funcionalitat, una copinya tenia la funció de protegir un mol·lusc, un os de dotar d'una estructura a un vertebrat i una dent de mossegar. Si trobàvem copinyes, ossos i dents és perquè formaren part d'animals i quedaren enterrats. Desafortunadament Hooke va interpretar les idees d'Steno no com un reforçament de les seves pròpies sinó com una intromissió en el seu camp.

Per altra part, Martin Lister, que havia conegut personalment Steno a França, també va polemitzar amb la seva obra. El treball científic de Lister se centrava en l'estudi dels mol·luscs. Coneixia, com era d'esperar, els mol·luscs fòssils però els interpretava com a capricis de la natura que no tenien res a veure amb les mol·luscs actuals. Segons Lister era possible que a les vores del Mediterrani hi hagués mol·luscs fòssils però aquest no era el cas d'Anglaterra (Cutler, 2003). En aquest territori els mol·luscs fòssils que es troben són molt més antics i no corresponen a espècies reconeixibles, d'aquí parteix el desconcert de Lister. De fet acabava d'encetar un dels problemes que plantejava la teoria d'Steno. Si les copinyes que es troben a les roques són restes d'organismes que han viscut en el passat, què representen les que no corresponen a cap organisme actual? La idea de la extinció era inacceptable per a molts de naturalistes (com fou el cas de John Ray), seria com admetre que la Creació fou imperfecta i per això molts organismes hagueren de desaparèixer.

Després de conèixer la malaltia del Gran Duc Ferran a la primavera de 1670, Steno es va tornar a Florència, però quan va arribar ja era mort. El va succeir el seu fill Cosme III, que no havia heretat l'interès del seu pare per a la ciència, al contrari les seves preocupacions s'encaminaven cap a la religió. Entre altres coses, el jove Cosme va prohibir els ensenyaments de Galileu (Cutler, 2003). L'*Accademia del Cimento* definitivament va dissoldre's, Viviani rebé una pensió del Rei de França Lluís XIV, Magalotti es dedicà a la diplomàcia, només Redi continuà a Florència amb la seva tasca científica com a metge personal de Cosme de Medici, i ara la seva tasca es dedicava més als paràsits interns de l'organisme. Com a convers al catolicisme, Steno fou ben rebut pel nou Gran Duc, que li va proporcionar una petita casa a les vores de l'Arno i l'animà a continuar amb les seves investigacions geològiques. Els viatges que havia realitzat reforçaven les seves idees geològiques i l'empenyien a completar la seva obra (Cutler, 2003) però la feina avançava lentament per a una ment tant quadriculada com la d'Steno. Ara tenia una altra distracció, els seus estudis teològics, en part per contestar els contundents atacs als que era sotmès. Una de les persones amb les que s'escribia era el predicador calvinista Johannes Sylvius. També escrivia al seu vell amic Baruch Spinoza. Aquest tenia un problema totalment oposat al d'Steno, acabava d'escriure un tractat en el qual atacava la religió organitzada i els seus enemics l'acusaven d'ateisme. Steno li escrigué perquè abraçàs el catolicisme però no rebé mai una resposta. Després de dos anys a Florència, dedicat a la

teologia i a la geologia, Steno rebé una altra carta del nou rei de Dinamarca, Cristià V (1646-1699), en què aquest li garantia la seva llibertat de creença si retornava al seu país per tornar a dedicar-se a la seva tasca científica.

Darrera estança a Copenhaguen

Entre 1672 i 1674 Steno tornà viure a Copenhaguen, on reprengué les seves investigacions anatòmiques. Trobava en falta Florència i els estudis geològics, tal com ho escrigué al Gran Duc Cosme (Cutler, 2003). A Dinamarca s'havia de conformar en estudiar els afloraments que apareixien a les excavacions i a les sèquies, a més els seus amics Borch i Bartholin no estaven interessats en els temes geològics. Els dos anys que romangué a Dinamarca foren especialment durs per ell, les discussions religioses en les quals es va veure contínuament immers l'acaben cansant (Sequeiros, 2003), però per altra part l'acosten més als temes espirituals. Mentre fa la dissecció d'una dóna jove pronuncia les paraules que es convertiran en un dels seus aforismes més famosos: *«és bell allò que es veu, més bell és allò que es coneix però el més bell de tot és allò que s'ignora»* (*«pulchra sunt quae videtur, pulchriora quae sciuntur, longe pulcherrima quae ignoratur»*). Al 1673, amb 35 anys, publica el seu darrer treball científic sobre la dissecció d'una àguila. Sembla que Steno trobà menys llibertat religiosa de la que esperava i finalment demanar al rei de Dinamarca que l'alliberàs de les seves obligacions i que li donàs permís per retornar a Florència. Al 1674 deixà Copenhaguen definitivament.

Retorn a Florència; Steno és ordenat sacerdot i, poc després, bisbe

Ja no tornà dedicar-se a temes científics, a Florència fa de tutor del fill del Gran Duc Cosme III, el príncep Ferran III, una tasca per a la que aviat es veurà incapacitat (Cutler, 2003). El príncep estava dotat d'intel·ligència i d'una gran sensibilitat per a les arts però es manifestava rebel enfront a les idees pietoses del seu pare i la seva rebel·lia també atenyia els ensenyaments d'Steno. Aquests fets l'empenyeren cap a tasques que ell considerava més elevades. Ja des de la darrera etapa danesa de la seva vida, comença a considerar la seva trajectòria científica com a una preparació per a una etapa més espiritual. Considerà que l'autèntic objectiu d'un naturalista és admirar l'obra de Déu, ara creia que havia començat l'etapa de donar una passa més i fer-se sacerdot.

El 14 d'abril de 1675, només quatre mesos després del seu retorn a Florència, fou ordenat sacerdot (Sequeiros, 2003). La seva primera missa la féu el dia de Pasqua i tot d'una va fer vot de pobresa. La seva dedicació a l'església no hauria perquè haver suposat la renúncia a la ciència, ja que molta de l'activitat científica d'aquell moment era realitzada per clergues, però Steno pensava que aquesta era una etapa ja tancada i que la nova que anava a començar li demanava dedicació exclusiva a l'espiritualitat i a la religió. En

una carta que escriu al pare Athanasius Kircher, amb qui compartia amistat, malgrat les seves grans diferències d'idees en temes geològics, li digué que havia abandonat la ciència com a un sacrifici que feia per a Déu (Cutler, 2003). Després del seu ordenament, Steno passà un temps al costat de Cosme III, li féu de confessor i va intentar, sense èxit, que reduís els impostos al seu poble.

Tres joves estudiants danesos, dos fills de Thomas Bartholin i un nebot, havien acompanyat Steno des de Copenhaguen fins a Florència per estudiar anatomia. Steno no sols es dedicà a fer-los lliçons d'anatomia sinó que també els instruí amb excursions geològiques (Cutler, 2003). De entre ells, Oliger (o Holger) Jacobaeus (1650-1701), el nebot (i futur gendre) de Thomas Bartholin era el que estava més interessat en temes geològics i, potser no fos casual, també en el catolicisme que havia adoptat el seu mestre (Cutler, 2003).

La vida d'Steno donà un gir quan al 19 de setembre de 1677 fou consagrat bisbe (Sequeiros, 2003). Aquest ascens sorprengué al mateix Steno, que no tenia cap interès en pujar en la jerarquia eclesiàstica (Cutler, 2003). Segons sembla, el Papa estava interessat en enviar qualcú per donar suport als catòlics del nord d'Alemanya. A més tendria sota la seva responsabilitat els territoris d'Escandinàvia. Steno va haver d'anar a Roma a ser consagrat i féu el viatge a peu (Cutler, 2003). El títol que obtingué Steno és realment sorprenent, ja que era el bisbe titular de Titiòpolis. Aquest era un antic territori del sud d'Anatòlia, que correspondria a l'actual Turquia (Gould, 1981). Així doncs el títol de bisbe era més honorífic que real, cosa que no era infreqüent entre els enviats a convertir els infidels en països protestats («*in partibus infidelium*» com se solia dir en aquell temps). La funció que féu Steno fou la de vicari apostòlic, l'anterior que ocupava el mateix càrrec a Hannover, com Steno, fou nomenat bisbe del Marroc. Els territoris dels que es féu càrrec Steno foren nord i oest d'Alemanya, Dinamarca i Noruega. La missió d'Steno seria doncs la de fer-se càrrec dels pocs catòlics que havien sobreviscut a la Guerra dels 30 anys, així com la de convertir al catolicisme els protestants que pogués. Steno tenia la sort que a Hannover es trobava governada pel Duc de Brunswick-Lüneburg Joan Frederic (1646-1679) que també era un catòlic convers. Ja coneixia Steno d'un viatge anterior que havia fet a Hannover i havia estat el mateix Duc el que havia sol·licitat a Roma que li fos enviat (Cutler, 2003).

A Hannover, on conegué a Leibniz

Així doncs Steno es troba a Hannover, lloc on resideix entre finals de 1677 i fins a l'any 1679. Allà entrà en contacte amb el famós filòsof i matemàtic Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), conegut per ser un dels filòsofs més destacats del racionalisme (i a més un fort defensor de la filosofia de Ramon Llull) i per haver descobert, de forma independent a Isaac Newton, el càlcul infinitesimal. A Hannover, Leibniz es dedicava a fer de bibliotecari del Duc. Ja estava molt interessat pels temes de geologia, ja que ell mateix

havia exercit d'enginyer de mines al massís del Harz, entre els actuals estats alemanys de Baixa Saxònia i de Saxònia-Anhalt, al bell mig d'Alemanya i una de les seves principals províncies mineres. De fet el massís del Harz també té un paper rellevant en la història de la geologia ja que el seu nom llatinitzat de massís Hercinià dona nom a una etapa orogènica. L'interès de Leibniz per la geologia arribà al punt d'escriure cap al 1693 una obra sobre aquest tema anomenada *Protogaea* i que no fou publicada fins al 1749, més de 30 anys després de la seva mort, però que en publicà un resum al 1693 a la revista que fundà el mateix Leibniz, *Acta Eruditorum*. Leibniz també estava molt interessat, com Steno, en la teologia, encara que la visió que tenien aquests dos pensadors fos molt diferent. Leibniz pensava que era possible un acostament entre els teòlegs catòlics i els protestants, ja que en el fons les seves idees no estaven molt distants. Segons el que pensava Leibniz els teòlegs catòlics i protestants s'equivocaven en la majoria de coses que els distanciaven i encertaven en la majoria de les idees que els apropaven. Justament al contrari que Steno que, després de les recents disputes amb els protestants, s'havia anat fiant en el seu distanciament del protestantisme. Malgrat tot, Leibniz admirava l'obra científica d'Steno, principalment la geològica, la qual es menciona en diverses ocasions en la seva *Protogaea*. Posteriorment Leibniz lamentà a la seva obra *Essais de Théodicée* (1710) que «un gran físic es convertís en un teòleg mediocre».

Leibniz animà Steno a completar la seva tasca geològica però lamentà que ja no tengués altra preocupació que la teologia, afirmà irònicament a la seva *Théodicée* que esperava que el Papa li ordenàs dedicar-se a la geologia, i no tendria altra remei que fer-ho obligat per la santa obediència.

El Duc Joan Frederic morí al desembre de 1679 i fou succeït pel seu germà Ernest August (1629-1698). Aquest era protestant i no tenia cap interès en mantenir un bisbe catòlic, ni una comunitat catòlica, al seu ducat, amb la qual cosa Steno se'n va haver d'anar de Hannover.

Darrers anys d'Steno a Alemanya

Els darrers anys d'Steno transcorregueren a Alemanya i foren els més durs. Duia una vida cada vegada més austera, probablement com a resposta a la corrupció que veia dins de l'església. Volia dedicar-se a exercir com a un simple capellà però no obtingué el que desitjava. Fou enviat a Münster com a bisbe auxiliar, on tractà de reformar els costums relaxats del clergat amb poc èxit. Les seves idees radicals li feren guanyar-se enemics, especialment entre les altes jerarquies de l'església, per la seva defensa acèrrima de la pobresa i per la seva crítica ferotge sobre les pràctiques, de vegades qüestionables, sobre el finançament de l'església. Quan el bisbe principal va morir el nou bisbe va demanar a Steno que s'adherís a les seves idees contra les que es va rebel·lar negant-se a fer missa per l'ocasió (Cutler, 2003). Finalment Steno se'n va haver d'anar de Münster forçat per l'ira dels mateixos catòlics.

Després va anar-se'n a Hamburg, on duia una vida cada vegada més ascètica. Un dels homes que Steno havia convertit al catolicisme va afirmar que Steno havia venut el seu anell de bisbe i el seu crucifix i donat els doblers que n'havia obtingut, a més dormia en una cadira o un llit de palla i vestia com un pobre. Mentre que alguns veien aquest comportament com al d'un sant d'altres el miraven amb suspicàcia. Els catòlics d'Hamburg acabaren essent més hostils que els de Münster i Steno hagué de fugir sota l'amenaça que li feren de tallar-li el nas i les orelles, o fins i tot de matar-lo. Steno cada pic es trobava més sol, arribà a afirmar en una carta que vivia com un cadàver que no sentia res. Desitjava retornar a Florència, on havia estat més feliç i va arreglar-ho amb el Gran Duc Cosme al 1685. Però no pogué fer-ho ja que se li demanà que posposàs el seu viatge per ajudar al capellà missioner d'Schwerin que estava massa malalt per poder fer les seves tasques. Però la salut d'Steno també s'anava deteriorant degut al seu ascetisme (Cutler, 2003) i anava sofrint còlics que sovint l'incapacitaven per fer res. Al 21 de novembre de 1686 es va veure afectat per un intens dolor abdominal i va escriure unes línies al seu amic Theodor Kerckring (1638-1698) que havia conegut com a company d'estudis a Leiden i que havia retrobat a Hamburg. En aquestes poden trobar les següents paraules: *«Al meu mal habitual, el còlic, sembla que se li ha afegit una pedra. Anit passada vaig sofrir els dolors més intensos a l'os sacrum. Després un ènema, m'empenyeren cap avall l'os pubis, i des d'aquest matí sembla que s'han incrementat, com si s'hi estigués formant una inflamació. No surt cap gota d'orina. Crec que la pedra s'ha incrustat en un plec de la bufeta i, a més de causar-me el mal, provoca la inflamació de la mucosa de la bufeta i això em provocarà la mort»*. Steno morí a Schwerin el 5 de desembre de 1686, sense haver complert els 49 anys d'edat, vestit pobrament i sofrint de l'estómac (Sequeiros, 2003). Altres autors situen la seva mort al 25 de novembre (Cutler, 2003).

Quan el Gran Duc Cosme de la Toscana va saber que Steno havia mort va pagar l'enviament de les seves despulles a Florència, on foren enterrades a la basílica de Sant Llorenç juntament amb els membres de la família Medici. Les notícies sobre la mort d'Steno també arribaren a les orelles de Leibniz. Per aquell temps la geologia s'havia tornat una obsessió per a ell (Cutler, 2003). Leibniz estava escrivint una història sobre els ducs de Brunswick-Lüneburg, que tenia la fixació de fer-la començar des dels inicis de tot. No sols volia esbrinar l'inici de la dinastia sinó també l'inici de les terres del Ducat de Brunswick-Lüneburg, i això d'una manera un tant malaltissa el feia començar a l'època de la creació de la Terra. A més intentava persuadir al Duc Ernest August que li finançàs un altre dels seus projectes, construir molins, inventats per ell mateix, per extreure l'aigua de les mines del Harz. El projecte no acabà funcionant però li havia donat l'oportunitat de conèixer de primera mà les roques i els estrats d'aquest massís. Leibniz volia recuperar el manuscrit amb les anotacions geològiques d'Steno (Cutler, 2003). Les seves recerques el conduïren en primer lloc a Hamburg on trobà Kerckring, que desconeixia on es trobava el document, però informà Leibniz que tots els documents d'Steno

havien estat enviats a Florència. Leibniz anà tot d'una cap a Florència amb l'excusa de fer recerques genealògiques per al seu treball. Quan tornà a Alemanya va assabentar-se que Steno havia lliurat el manuscrit geològic al nebot de Bartholin, Oliger Jacobaeus. Aquest havia estat forçat a tornar a Dinamarca, segurament per evitar que es convertís al catolicisme com el seu mestre. A partir d'aquí es perd la pista al manuscrit, no se sap si es perdé pel camí o si el conservà Jacobaeus per un temps. El que sí que és cert és que Jacobaeus no publicà mai res de temàtica geològica ni d'Steno ni propi.

OBRA CIENTÍFICA D'STENO

L'obra científica d'Steno no és molt àmplia però compensa amb qualitat la seva escassa extensió. Com que era conscient de les profundes implicacions de la seva teoria, intentà que estigués ben fonamentada, no deixà cap concepte que no fos raonat en profunditat, fins al punt que pot semblar massa insistent per al lector actual. Es poden trobar anàlisis bastant exhaustius a Ellenberger (1988), Sequeiros (2003), Alsina (2006) i Sequeiros i Pelayo (2011).

Com a metge va fer importants descobriments científics, com el conducte d'Steno de les glàndules paròtides, a més féu contribucions importants per al coneixement del tiroides, i del cor, en descobrir que estava format per teixit muscular. A París féu un discurs en què afirmà que la glàndula pineal era un òrgan immòbil i que no podia ser l'òrgan que utilitzava l'ànima per donar moviment al cos, en contra del que deien els metges influenciats pel cartesianisme. A més va estudiar l'aparell reproductor femení dels taurons i observà que contenien ovaris amb ous, això el dugué a reflexionar sobre el que deia la tradició aristotèlica, que considerava que els ovaris de les dones (al temps d'Steno s'anomenaven *testes mulierum*) eren testicles degenerats. Per a Steno els ovaris contenien els òvuls, similars als ous dels taurons, i no podien ser considerats mai com a testicles degenerats. Aquesta concepció assentà un precedent per al desenvolupament de la teoria ovista. El 1666 es va establir a Florència acollit pel Gran Duc de la Toscana Ferran II i formà part de l'*Accademia del Cimento*, que en aquells temps era una de les institucions científiques més importants del món.

EL CONTINGUT GEOLÒGIC DEL *CANIS CARCHARIAE DISSECTUM* *CAPUT*

Com ja hem dit abans, aquest pot considerar-se un dels treballs fundadors de la geologia. Malgrat la seva importància no s'ha traduït mai al català. En castellà existeix la traducció feta per Sequeiros i Pelayo (2005), que

ha estat revisada en un treball posterior (Sequeiros i Pelayo, 2011), que compta a més amb els interessants comentaris d'aquests autors.

Al 1666 es capturà un tauró gegant, segurament un tauró blanc, *Carcharodon carcharias*, d'unes 3500 lliures florentines de pes (més de 1000 kg), a prop del port de Livorno, que estava sota el domini del Gran Duc de la Toscana. Li fou duit el cap a Steno perquè el disseccionàs. Posteriorment Steno realitzarà altres disseccions en taurons. Fruit d'aquest treball publicà l'obra *Elementorum myologiae specimen, seu musculi descriptio geometrica. Cui accedunt Canis Carchariae dissectum caput et dissectis piscis ex canum genere*, publicat a Florència al 1667. Aquesta obra es troba dividida en tres parts, que en realitat són tres treballs científics independents. La primera és la que s'anomena *Elementorum myologiae specimen* i tracta de fer una descripció geomètrica dels músculs, seguint les idees inspirades per Galileu i Viviani. Es realitzà un avanç important en el camp de la medicina ja que l'acció d'aquest no ve descrita com a una força de caràcter més o menys misteriós sinó que ve relacionada amb la geometria. Suposà un acostament important d'Steno a la concepció organomecanicista de la iatroquímica, així com també un acostament de la geometria, la ciència que havia estat cultivada per Descartes, a la medicina. El segon dels treballs és el que conté un petit tractat de geologia i es titula *Canis carchariae dissectum caput*, és a dir *Dissecció del cap de Canis carcharias*. Degut a que aquest treball conté algunes de les idees seminals de la geologia es tractarà a part més detingudament. El tercer dels treballs és la *Historia dissecti piscis ex canum genere*, en el qual fa la dissecció d'uns taurons, segurament del gènere *Squalus* que completarien les observacions fetes en la dissecció del cap del gran tauró. D'aquest treball és destacable les idees que aporta sobre la anatomia de l'aparell reproductor femení i sobre els òvuls. Steno va disseccionar l'aparell reproductor d'aquests taurons i va poder observar que els ovaris contenien petits ous (*ova* en plural, *ovum* en singular), òvul és el diminutiu d'ou. Per a Steno aquesta descoberta podia invalidar un dels preceptes més acceptats de la reproducció, que afirmava que la femella tenia un paper totalment passiu en la reproducció, servia només de receptacle pel fluid generador d'un nou ser que era el semen. Aquesta creença havia estat ben establerta per Aristòtil (Mosterín, 2006). Pel contra Steno considera que la femella, si genera els òvuls, ha de tenir un paper actiu en la reproducció. També s'aventura a anar un poc més enllà i afirma que deu passar el mateix en el cas de les dones, els seus ovaris, que fins a les hores s'havien anomenat *testes mulierum*, no podien ser, com havia dit Aristòtil, testicles degenerats sinó que eren productors d'òvuls. Aquesta afirmació va ser corroborada uns anys més tard per un dels companys d'estudis d'Steno a Leiden, Reinier de Graaf (1641-1673), amb el descobriment del fol·licle ovàric, també conegut com a fol·licle de De Graaf. Podem considerar aquest treball d'Steno un precedent de la teoria ovista, elaborada posteriorment per De Graaf i Swammerdam. Segons aquesta teoria l'embrió es troba prefigurat a l'òvul matern. S'ha de puntualitzar que a l'època d'Steno no es tenia clara la

diferenciació entre òvul i fol·licle ovàric, i aquesta no es va dilucidar fins que no es varen construir microscopis amb suficient qualitat òptica.

El treball que més ens interessa, com ja hem dit abans és el *Canis carchariae dissectum caput*. Aquest treball es troba dividit en tres parts, en la primera tracta de l'anatomia del tauró (anomenat per Steno, *Canis carcharias*). Steno posa un esment especial en la pell, els músculs i el cervell. Destaca la petidesa del cervell (Fig. 6), que pesa a tot estirar tres unces per un animal que fa més d'una tona. Per Steno suposa un cop mortal a les idees cartesianes sobre el cervell; com podria un cervell tan petit estirar dels fils per moure una criatura tan grossa?

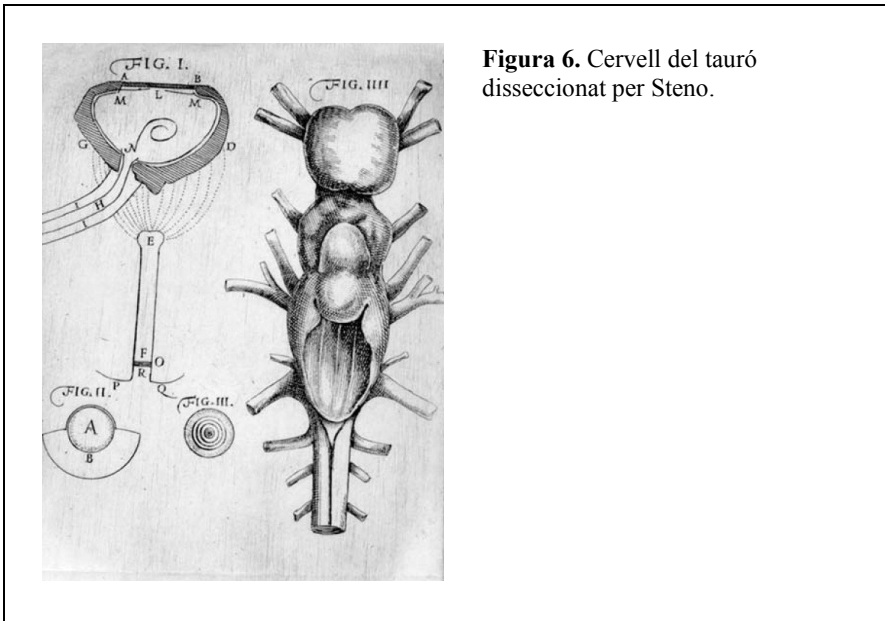


Figura 6. Cervell del tauró disseccionat per Steno.

En la segona hi ha una explicació sobre les dents de tauró. Steno observà que les dents del tauró es disposen en diverses fileres (en comptà 13), de forma que les més interiors encara no estan totalment formades i aniran reemplaçant les més externes. Això volia dir que al llarg de la vida d'un tauró s'haurien produït moltes dents que podien haver quedat enterrades entre el sediment del fons marí. També destaca la vora en forma de serra de les dents, adequada per a trossejar les víctimes. Steno cita un treball de Michele Mercati (1541-1591) en què fa una descripció d'un tauró i en descriu les dents. A més, Steno va reproduir en el seu treball una de les planxes de Mercati de la seva obra *Metallotheca vaticana*. En aquesta part també discuteix el problema de les *glossopetrae* (literalment llengües de pedra, Fig. 7) que es trobaven en diversos indrets, encara que els més coneguts eren els que apareixien als materials miocènics de l'illa de Malta. Steno coneixia les *glossopetrae* gràcies al seu mestre a Dinamarca, Bartholin, que considerava que tenien propietats

curatives, així com també coneixia l'estudi del metge de Montpeller, Guillaume Rondelet (1507-1566), en el qual afirmava que les *glossopetrae* eren exactament iguals que les dents del tauró. També s'ha d'assenyalar que a l'any 1616 Fabio Colonna (1597-1640), un dels primers membres de l'*Accademia dei Lincei*, a la qual també pertanyia Galileu, publicà una obra anomenada *De glossopetris* en què afirma que les llengües pètries eren dents de tauró. Colonna es basava, no sols en l'aparença externa com Rondelet, sinó que trencà les *glossopetrae* i examinà el seu interior, així com també les cremà i observà les seves cendres. També féu aquesta operació amb les dents de peix i amb les pedres. Les seves conclusions són clares, les *glossopetrae* no poden ser res més que dents enterrades de peixos. A més Colonna afirma que ningú pot ser tan estúpid com per no afirmar que la naturalesa d'aquestes és la mateixa que la de les dents i no de les pedres. La teoria de Colonna tenia un inconvenient per ser acceptada pels naturalistes de l'època, ja que no explica com s'havien emplaçat les *glossopetrae* dins de les roques on les trobam actualment. A Colonna li mancava una teoria de la sedimentació i de la fossilització, la tasca d'Steno fou la de realitzar-la.

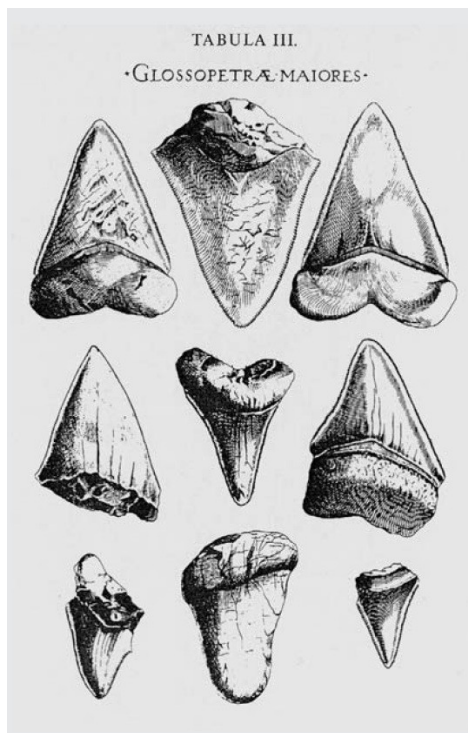


Figura 7. Dents fòssils representades al *Canis carchariae dissectum caput*.

Steno remarca que les *glossopetrae* que es troben fòssils, no tenen l'aparença de cossos en formació sinó que manifesten signes de decadència, és a dir es troben fragmentades en part, erosionades, gastades, etc. Mostrant tots els signes de ser objectes molt vells i que duen molt de temps dins del materials que els contenen. Així, concloïa Steno, les *glossopetrae* eren interpretades com a fòssils i no com a objectes curiosos.

La tercera part és un estudi d'aquests fòssils des del punt de vista paleontològic, i que encetaria el seu projecte més ambiciós, l'estudi de les roques i dels fòssils de la Toscana (Sequeiros, 2003). Els fòssils són anomenats per Steno cossos similars a parts d'animals (en llatí *animalium partibus similia corpora*). S'ha de dir que *fossilis* ve del llatí *fodere* (=desenterrar) és a dir que originalment els fòssils eren qualsevol objecte extret de la terra, sense que implicàs que havia tengut un origen orgànic, d'aquí que usi aquesta nomenclatura per evitar confusions. En aquesta part introdueix una idea molt important: «*les capes de la Terra que es troben davall nosaltres són estrats, antics sediments successius*». Això és molt important perquè és la primera vegada que s'utilitzen els conceptes d'estrat i sediment amb el sentit modern que li dona la geologia actual. També remarca Steno que les closques d'ostres que es troben a les roques sedimentàries no es diferencien en res de les que es poden trobar actualment vivents, la qual cosa obre el camí a l'estudi paleontològic de les roques sedimentàries. La tercera part d'aquesta obra comença amb una relació d'onze fets observats que són els següents:

- Les terres [que contenen fòssils] de vegades són dures (tova), o de vegades més blanques (arena i argila).
- Són [materials] compactes no solts.
- En diversos llocs s'observa que la terra està composta d'estrats superposats uns a sobre d'altres i inclinats sobre l'horitzó.
- Les terres argiloses poden estar formades per estrats de colors diversos, amb esquerdes perpendiculars, omplertes completament d'una matèria de color únic.
- A una terra determinada, dura o blana, es troben amagats cossos diversos.
- A l'argila són més abundants a la superfície que a l'interior de la mateixa terra.
- Són més blans a mida que ens anam a la part més profunda, on es desfan en pols amb el mínim contacte.
- En el terreny rocós aquests cossos són més freqüents, a totes les parts tenen la mateixa consistència i es troben fixats a l'interior de la roca, tant si és de calç com si és de guix.
- Tant si són extrets d'un terreny dur com d'un blan els cossos similars a parts d'animals aquàtics són completament semblants, tant entre ells com a les parts corresponents d'animals vius.

- Els mateixos cossos de vegades són sòlids com la roca i d'altres són fàcilment convertibles en pols.
- En determinats paratges es troben nombroses closques d'ostres soldades formant una sola massa.

Aquestes observacions poden resultar xocants pels lectors actuals, però tenen una intenció ben clara, demostrar que la teoria que els fòssils són restes d'organismes enterrats és la correcta, i per això s'haurà de demostrar la falsedat de totes les altres teories: la generació espontània (teoria aristotèlica), la formació a partir de la força generadora de la natura o per influències astrals (teories platònica, neoplatònica i hermètica), capricis o jocs de la naturalesa (teoria defensada per Athanasius Kircher) i miracles (teoria tradicional). Steno posa les teories a prova i mira si aquestes es corresponen amb el que s'observa o no. Un objecte que cresqui dins de la roca la trencarà, com fan les arrels de les plantes, però no s'observen mai esquerdes associades al creixement dels fòssils. És més, els fòssils sovint presenten signes de degradació, com poden ser copinyes que es desfan al més mínim contacte amb els dits, és a dir són objectes antics que han sofert durant molt de temps l'acció degradadora de les aigües. Moltes petxines es poden trobar juntes, com si haguessin estat acumulades a una platja. També es tracta de veure si els materials o els llocs on es troben tenen influència en la seva possible gènesi, aquí tracta d'aplicar la concepció formulada per Francis Bacon sobre la ciència, estudiar els fets sense deixar-se arrossegar per idees preestablertes.

D'aquestes observacions Steno n'obté una sèrie de conjectures, que els autors actuals consideren més bé hipòtesis de treball (Alsina, 2006; Sequeiros, 2003), que són les següents:

- La terra de la qual s'extreuen cossos semblants a parts d'animals, aparentment no els produeix avui en dia.
- Aquesta mateixa terra no sembla haver estat compacta quan aquests cossos hi foren transportats.
- Res s'oposa a admetre que aquesta terra hagués estat en altres temps coberta per les aigües.
- Res tampoc sembla oposar-se a creure que en altres temps aquesta terra hagués estat en altre temps mesclada amb les aigües.
- No hi veig tampoc res que impedisqui considerar la terra com a un sediment de l'aigua acumulat poc a poc.
- Res sembla oposar-se a que els cossos semblants a parts d'animals extrets de la terra siguin considerats parts d'animals.

En primer lloc, s'ha de remarcar el caràcter hipotètic de les conjectures d'Steno. Aquest no fa afirmacions contundents sinó que es mou en el terreny de l'especulació. Potser la motivació sigui el perillós que podia arribar a ser en aquell temps de trifulgues religioses fer afirmacions sobre temes que tocaven

aspectes de la història del món que apareixien a la Bíblia. El cas de Galileu encara estava sagnant entre els membres de l'*Accademia del Cimento*, i aquest només s'havia pogut tancar amb l'admissió que les afirmacions que es feien eren purament hipotètiques. També Descartes, per evitar-se entrar en disputes religioses, adverteix del caràcter hipotètic de la seva teoria sobre la formació de la Terra. Potser també Steno pensava que així com ell discutia les idees de grans pensadors com Aristòtil i Descartes, també havia de fer un exercici de modèstia i pensar que teòrics posteriors també podien debatre les seves pròpies idees.

Molts dels fets que havia observat Steno anaven encaminats a validar la primera de la conjectures, és a dir que els fòssils són objectes enterrats a les roques i no formats dins de les roques. La segona és molt important perquè ens condueix a les següents conjectures, les roques en les quals trobam fòssils no eren dures des del començament sinó que han sofert un procés d'enduriment, aquí Steno introdueix implícitament el concepte de diagènesi, com els processos que sofreix un sediment per convertir-se en una roca. Steno no en sabia res d'aquest però en dedueix la seva necessitat. La conjectura tercera fa referència al llibre del Gènesi de la Bíblia. Al llibre del Gènesi 1, 2 es diu «*La terra era caòtica i desolada, les tenebres cobrien la superfície de l'oceà, i l'Esperit de Déu planava sobre les aigües*». Segons aquest passatge, al començament de la creació del món existia un oceà primordial. Steno ens diu que segons les escriptures la Terra estigué coberta dues vegades per les aigües, la primera seria amb l'oceà primordial i la segona amb el Diluvi. Encara que Steno no ho deixa clar, donà peu a la interpretació que feren alguns autors posteriors: les roques més antigues, que no contenen fòssils foren les que es dipositaren en l'oceà primordial, mentre que les que sí en contenen s'originaren en el Diluvi. Steno ens refereix al fet que els autors antics eren més donats a admetre que el Diluvi Universal era el que havia pogut emplaçar els fòssils als cims de les muntanyes que els autors contemporanis, més influenciats per l'aristotelisme. Les conjectures quarta i cinquena estan relacionades amb aquesta. Les aigües que inundaren la Terra contendrien sòlids en suspensió que en dipositar-se generarien les roques que formen les muntanyes. Aquí s'introdueix per primera vegada el concepte de sediment en geologia. Fins aleshores havia estat un terme mèdic, referit al sediment de l'orina (Alsina, 2006). Steno anomena quatre casos en què es poden dipositar sòlids a partir de l'aigua: per refredament, degut a que l'aigua perd l'agitació a causa de la matèria subtil i el líquid ja no es capaç de retenir els corpuscles sòlids; per evaporació, degut a que es volatilitzen les parts més lleugeres del líquid i es dipositen els sòlids; per confluència de fluids, els sòlids continguts en un dels líquids precipita en mesclar-se amb altres líquids, aquí Steno manifesta els seus coneixements mèdics com el fet que el sediment de l'orina pot redissoldre's en orina nova; per transformació, recordant la vella teoria aristotèlica dels quatre elements i de la transmutació. Aquí es refereix a un experiment realitzat als seus anys d'estudiant amb Ole Borch en què aquest va fer precipitar terra a partir de l'aigua límpida.

S'ha de remarcar la influència que té la teoria corpuscular de la matèria i la física mecanicista d'origen cartesià (Alsina, 2006).

LES APORTACIONS CIENTÍFIQUES DEL *DE SOLIDO INTRA SOLIDUN NATURALITER CONTENTO DISSERTATIONIS PRODROMUS*

L'estudi sobre els fòssils i les roques de la Toscana es veu endarrerit per una sèrie de circumstàncies, la primera és l'enfrontament entre els descobriments i les conclusions a què l'abocaven i la ciència tradicional que s'havia fet fins ara. Els seus descobriments eren massa innovadors com per poder ser acceptats fàcilment, per la qual cosa els havia d'estudiar detingudament. En segon lloc al 1667 Steno es converteix al catolicisme, cosa que li crearà una profunda inquietud religiosa. El seu protector, el Gran Duc de Toscana Ferran II, li dóna pressa perquè publiqui un resum de les descobertes fetes fins aleshores, i a efectes d'això publica el que amb el temps serà un dels treballs més importants de tots els temps sobre geologia, *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus*, publicat a Florència al 1669, que sovint es coneix amb el nom abreuiat de *Prodromus*. El títol es podria traduir com a *Treball preliminar a la dissertació sobre el sòlid contingut de manera natural a dins d'un altre sòlid*. Com succeeix en altres ocasions, el treball extens no es va arribar a publicar, així que ens hem de conformar amb aquest resum (això sí, ben raonat i ben exposat) sobre les idees geològiques d'Steno. Podem trobar síntesis de l'obra d'Steno a Sequeiros (2003), Sequeiros i Pelayo (2005 i 2011) i a Ellenberger (1988).

Els objectius i el pla de treball del *Prodromus* són diferents dels del *Canis carchariae* ja que en aquesta obra té l'objectiu d'arribar a formulacions més generals sobre la gènesi de les roques i dels estrats a partir d'unes proposicions generals (Alsina, 2006). La primera de les proposicions és «*si un cos sòlid està envoltat per totes les seves parts per un altre cos sòlid, el que s'ha endurit primer és aquell que en el contacte mutu esculpeix per ell mateix els caràcters de la seva forma superficial a la superfície de l'altre*». És a dir, si trobam roques que contenen cristalls o fòssils amb formes ben delimitades, aquests existien abans que aquelles ja que els han transferit les seves formes.

La segona de les proposicions ens diu «*si un cos sòlid és des de tots els punts de vista similar a un altre cos sòlid, no sols en els seus caràcters superficials sinó també en la seva organització interna de cada part i de les partícules, també és similar a ell quant al mode i lloc de producció*». D'aquí es dedueix que «*els estrats que es troben a la terra són similars al que es produeixen per la deposició de l'aigua tèrbola*»; «*els cristalls de les muntanyes coincideixen quant a lloc i mode de producció amb els cristalls de nitro*»; «*els cossos que s'extreuen de la terra i que són similars a parts d'animals i plantes, han estat produïts del mateix mode i lloc que les parts mateixes dels animals i les plantes*».

La tercera de les proposicions ens diu «*si un cos sòlid ha estat produït segons les lleis de la naturalesa, ha estat produït per un fluid*». Aquí diferencia dos tipus de sòlids, en els que només hi intervenen fluids externs (estrats i cristalls) i en els que també hi intervenen fluids interns (sers vius, amb la sang i la saba). Segons Gould (1981), amb aquesta diferenciació Steno realitza una nova classificació dels sòlids naturals que serà cabdal per al desenvolupament de la geologia posterior.

En el *Prodromus* hi apareixen tres lleis de gran importància per a la geologia. La primera fa referència a la cristal·lografia i és la llei de constància dels angles diedres. En tots els cristalls de la mateixa espècie les formes no tenen perquè mantenir-se uniformes però el que s'observarà sempre és que els angles que formen les cares entre elles es mantenen constants. Per il·lustrar aquesta llei es pot veure la figura 5. Posteriorment, aquesta llei que es basava només en la comparació de les formes, es va basar en mesures dels angles fetes amb goniòmetre per Jean-Baptiste Romé de L'Isle (1736-1790).

Les altres tres lleis que apareixen en el *Prodromus* fan referència a l'estratigrafia i són les següents:

- Llei de superposició dels estrats: en tota successió de capes de roques sedimentàries, les que se situen a davall són les més antigues i les que es troben per sobre són les més modernes. Els coneixements tectònics d'Steno eren limitats, motiu pel qual desconeixia que es poden donar inversions estratigràfiques. Per això actualment es matisa que aquesta llei es compleix sempre que no hi hagi inversions estratigràfiques per forts plegaments o per encavalcaments. Si les roques presenten una deformació baixa o nul·la molt probablement la llei de superposició es complirà.
- Principi de l'horitzontalitat original dels estrats. Les capes es formen per sedimentació i per tant la disposició original d'aquesta serà la horitzontal. El fet que vegem capes inclinades, fet que Steno pogué constatar, ens senyala que aquestes han sofert una desplaçament de la seva posició horitzontal. Aquest darrer fet fou interpretat correctament per Steno, encara que els mecanismes que ell creia que funcionaven (l'erosió subterrània i l'enfonsament) no funcionen més que en casos molt concrets, i mai a escala regional.
- Principi de continuïtat lateral dels estrats. Les capes que tenen les mateixes característiques observables (Steno utilitza la paraula fàcies, és a dir aspecte, terme que s'ha introduït en el llenguatge geològic, encara que no amb el mateix significat exacte) i que nosaltres veiem interrompudes, en realitat es dipositaren en un mateix moment i estaven unides. El fet que nosaltres no vegem la continuïtat es deu a que ha actuat l'erosió o ha estat interrompuda per altres fenòmens (Steno apel·la als enfonsaments, que ell pensava que es podien donar a escala regional). Steno pensava que hi podia haver capes ubiqües, i d'altres de regionals, que es veurien

interrompudes pels límits de la seva conca de sedimentació. Vegeu-
ne exemples en les figures de la 20 a la 25 del *Prodromus* (Fig. 8).
La ubiqüitat de certes formacions geològiques podien explicar-se
pel Diluvi Universal, o per la deposició a l'oceà primordial. Aquesta
interpretació, estrenà un nou paradigma, el de l'escola diluvista, que
interpretava les capes de la Terra com a sediments dipositats durant
el Diluvi, i que tengué molts de seguidors a Anglaterra.

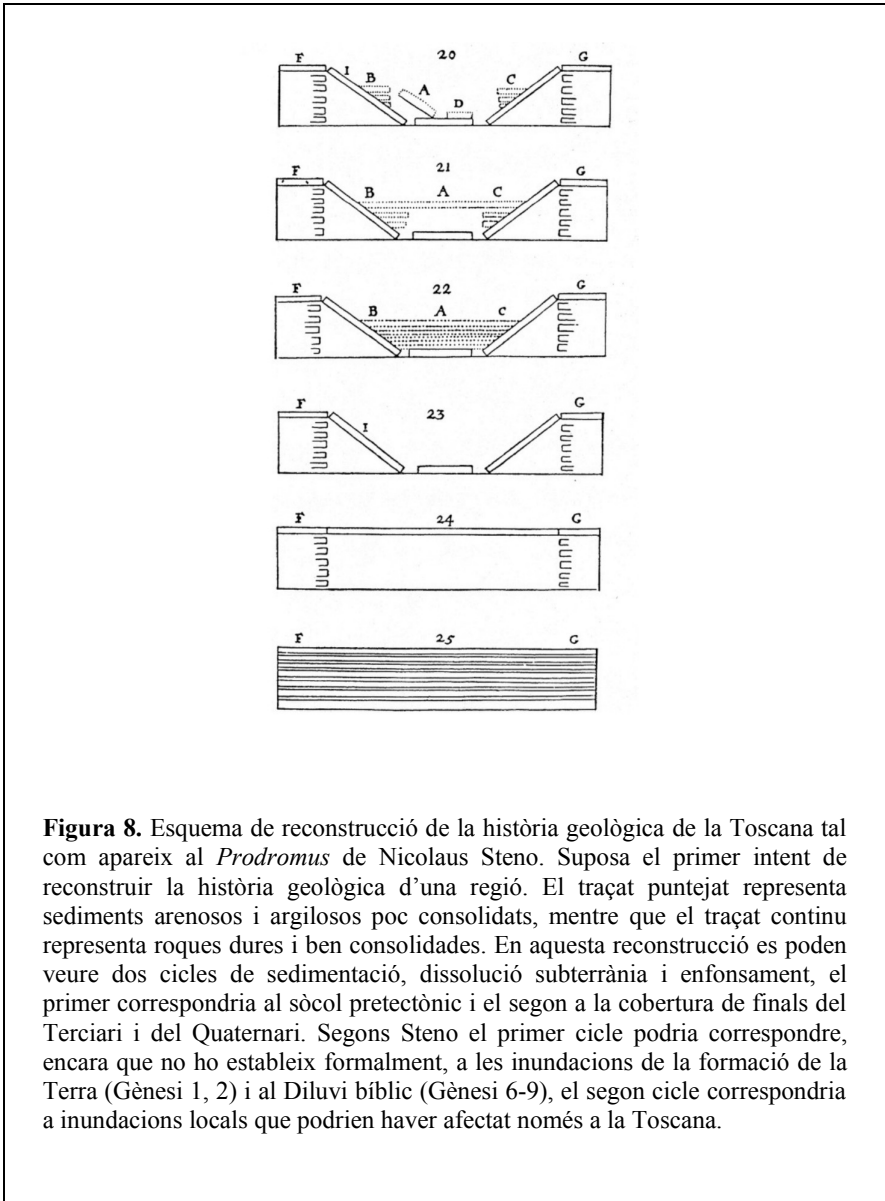


Figura 8. Esquema de reconstrucció de la història geològica de la Toscana tal com apareix al *Prodromus* de Nicolaus Steno. Suposa el primer intent de reconstruir la història geològica d'una regió. El traçat puntejat representa sediments arenosos i argilosos poc consolidats, mentre que el traçat continu representa roques dures i ben consolidades. En aquesta reconstrucció es poden veure dos cicles de sedimentació, dissolució subterrània i enfonsament, el primer correspondria al sòcol pretectònic i el segon a la cobertura de finals del Terciari i del Quaternari. Segons Steno el primer cicle podria correspondre, encara que no ho estableix formalment, a les inundacions de la formació de la Terra (Gènesi 1, 2) i al Diluvi bíblic (Gènesi 6-9), el segon cicle correspondria a inundacions locals que podrien haver afectat només a la Toscana.

Segons Cutler (2003) la idea d'Steno crea un nou interès per a la ciència, la de descobrir la història dels esdeveniments estudiant la naturalesa. La història natural té com a objectiu l'estudi dels objectes naturals en ordre de classificar-los, la filosofia mecanicista intenta veure com funcionen. La ciència històrica parteix d'una concepció nova, ja que fins aleshores no s'havia provat de discutir la història dels esdeveniments a partir de les observacions fetes a la mateixa naturalesa. Evidentment hi havia el precedent de Descartes, però aquest no tracta de dilucidar la història a partir de la naturalesa sinó a partir del raonament.

Com sol succeir en nombroses ocasions les idees d'Steno sobre els estrats havien tengut precedents. Entre ells destacarem dues figures notables. La primera, cronològicament, correspon al metge, filòsof i alquimista persa Abu-Alí al-Hussayn ibn Abd-Al·lah ibn Sina, més conegut pel nom llatinitzat d'Avicenna (980-1037). Ja al segle XI havia interpretat correctament les capes de la Terra com a estrats. Potser Avicenna coneixia les *Epístoles dels Germans de la Puresa*, escrites per una societat secreta, lligada a l'islamisme xiïta de Basora al segle X. Les *Epístoles* formen una espècie d'enciclopèdia que recull les seves creences i en elles es fa referència a la sedimentació com a un procés natural. A l'obra d'Avicenna *Kitāb al-Shifā'*, en català *Llibre de Guarició* i en llatí *Sufficientia*, es tracta, entre d'altres temes, de la formació de les muntanyes i es menciona que les capes superiors dels estrats han de ser les més modernes, enunciant sis segles abans que Steno el principi de superposició dels estrats. Avicenna també tractà del tema dels fòssils, que són interpretats correctament com a restes petrificades de sers vius.

D'aquest llibre se'n va fer una traducció al llatí a Toledo al segle XIII, i fou usat com a un dels textos bàsics en medicina a l'Europa Occidental. Malgrat tot, la part del llibre en què ens parla dels estrats no havia estat mai traduïda al llatí i per tant les idees d'Avicenna no s'havien transmès a Occident (Cutler, 2003).

La segona de les figures notables és la del conegut pintor i inventor florentí Leonardo da Vinci (1452-1519). Leonardo coneixia bé l'existència de petxines a algunes muntanyes, així com també tenia coneixements sobre el comportament dels mol·luscs. Sabia que els mol·luscs només es poden moure lentament, tal volta algun metre al dia. Si les petxines que trobava a les muntanyes testimoniaven el Diluvi Universal es plantejava un problema seriós, com podien trobar-se a llocs tan allunyats de la mar com Monferrato a Llombardia? Com podien els mol·luscs desplaçar-se uns 400 km en els 40 dies que durà el Diluvi Universal? Per altra part, Leonardo pogué veure que les copinyes molts de pics es trobaven fracturades, amb perforacions o amb incrustacions de cucs, cosa que ens indicava que pertanyeren a animals que havien viscut en el passat. La seva acumulació, de vegades formant bancs, ens mostrava una acumulació gradual, i no un episodi d'acumulació catastròfica com el que hauria produït el Diluvi. El tema dels fòssils va atreure poderosament l'atenció de Leonardo però no publicà res en vida. Tenia pensat incloure'l en un tractat que no acabà (Cutler, 2003).

ELS GEÒLEGS DILUVISTES

Al segle XVII els geòlegs anglesos estan immersos en el que Sequeiros (2003) anomena el paradigma diluvista, en què el Diluvi juga un paper important en la formació de les roques i del modelat terrestre. Com ja hem comentat abans, les idees d'Steno varen impregnar el pensament dels naturalistes anglesos que sovint el mencionen, encara que de vegades per atacar-lo. Entre els primers naturalistes anglesos que tracten el tema dels fòssils podem destacar Martin Lister i John Ray, als que Steno havia conegut a Montpeller.

Martin Lister (1639-1712) era metge de professió, havia descrit nombroses conquilles que havia interpretat correctament com a objectes semblants a animals, encara que no interpretà que tenguessin origen orgànic, sinó com a producte d'una *vis plastica*. Robert Hooke (1635-1712) fou un dels membres més coneguts de la *Royal Society* i un dels primers en observa fòssils al microscopi (Sequeiros, 2003). Encara que defensava l'origen orgànic dels fòssils, les seves argumentacions eren més de tipus teleològic. Per exemple la semblança era una conquilla fòssil i una vivent només podia incorporar-se a un món ben dissenyat si havia servit a un animal vivent. Per altra part John Ray (1627-1705) recull les idees modernes sobre els fòssils i a més observa el fet que molts fòssils no semblaven correspondre a organismes que actualment poblassin la Terra. La hipòtesi que s'haguessin extingit li semblava escandalosa i contrària a la perfecció del món creat per Déu. Pensava que segurament sobreviuen en algun lloc incògnit de la Terra. Per altra part creia que alguns fòssils, com els ammonits, eren simples productes inorgànics.

Entre els naturalistes i teòlegs de finals del segle XVII, que defensaven la idea del Diluvi com a mecanisme per explicar el modelat terrestre i les roques sedimentàries destaquen Thomas Burnet (1635?-1715), John Woodward (1665-1728) i William Whiston (1667-1752).

Com senyala Gould (1987) la teoria de la Terra escrita en el llibre *Telluris Theoria Sacra* (1681) de Thomas Burnet és una síntesi perfecte entre la idea del temps geològic cíclic i el temps lineal, basat en l'escatologia cristiana. Per Burnet el Diluvi Universal ocupa un lloc central en la formació del relleu terrestre. Aquest autor comença amb una qüestió que no pot ser contestada fàcilment: com va poder sorgir aigua suficient per inundar tota la Terra? Fent un càlcul senzill es pot veure que no hi ha a la Terra aigua per cobrir totes les muntanyes terrestres. Burnet pensa que l'aigua va venir de sota de la superfície terrestre i no de dalt. Això podia ser justificat apel·lant a la mateixa Bíblia, ja que en el relat del Diluvi es menciona que en aquest s'uniren les aigües de sobre (provinents del Cel) i les de sota (provinents de l'abisme), i al final del Diluvi, Déu tancà les rescloses del Cel i les de l'abisme. Segons Burnet, davall de l'escorça sòlida hi ha aigua líquida (aquesta idea ja es trobava en Descartes), al trencar-se s'alliberà una gran quantitat d'aigua que inundà la Terra i deixà un munt d'estructures que formen

les muntanyes. Des del Diluvi, segons Burnet, només ha actuat l'erosió per aplanar les muntanyes.

Un altre autor molt influent que defensà el paradigma diluvista fou John Woodward en la seva obra *An Essay toward a Natural History of the Earth and Terrestrial Bodies, especially Minerals*, publicada al 1695. Per Woodward els fòssils eren restes d'organismes antediluvians. Segons Woodward en el moment del Diluvi totes les matèries sòlides, fins i tot les restes de sers vius, es posaren en suspensió i es dipositaren lentament en ordre al seu pes específic. Per a Woodward totes les capes es formaren com a conseqüència del Diluvi. La influència d'Steno en Woodward és molt marcada, fins al punt que alguns dels seus crítics li retreien que alguns dels passatges de la seva obra estaven copiats descaradament del llibre del danès.

Finalment Whiston, a l'obra titulada *A New Theory of the Earth* publicada al 1696, remarcava la possible influència dels cometes en les catàstrofes naturals que havia patit la Terra, i en especial en el Diluvi. Segons Whiston la Terra tenia una escorça sòlida a davall de la qual hi havia un interior aquós. El pas proper d'un cometa, que Whiston identifica amb el cometa Halley podria haver trencat l'escorça terrestre i permès la sortida de les aigües inferiors. Aquest esdeveniment catastròfic es podria haver donat, segons aquesta teoria, al 2342 aC. Altres efectes produïts pel pas proper de cometes podrien haver estat el canvi en la inclinació de l'eix de la Terra i el desplaçament dels pols. Segons Whiston la Terra podria haver estat un cometa en el seus orígens.

Segons Sequeiros (2003) la teoria diluvista, que fou molt influent en el seu temps, suposà un obstacle per establir l'escala del temps geològic.

Encara guardam termes que ens recorden el temps en què el paradigma diluvista era predominant. El terme antediluvià, encara que és totalment obsolet, es pot trobar ocasionalment aplicat als dinosaures i altres fòssils.

LA INFLUÈNCIA GEOLÒGICA D'STENO A LEIBNIZ

El filòsof i matemàtic Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) fou un dels principals seguidors d'Steno. Va escriure una obra geològica al 1690 que no es va publicar fins al 1749 amb el títol de *Protogaea*, però mentre al 1693 publicà un resum de la seva teoria de la Terra (Sequeiros, 2003). En aquesta teoria recull algunes idees de Descartes segons les quals la Terra és un astre refredat. Aquest model d'astre refredat fou seguit posteriorment per Buffon al segle XVIII. Segons Leibniz la Terra sofreix inundacions periòdiques, en les quals es dipositen sediments, encara que no queda clara la causa de les inundacions. El Diluvi bíblic només seria un episodi de tants.

LES IDEES SOBRE L'INTERIOR DE LA TERRA AL SEGLE XVII I POSTERIOR

Sequeiros (2003) i Ellenberger (1994) resumeixen les idees que es tenien sobre l'interior de la Terra de la següent manera:

- El globus terrestre està buit per dins.
- El globus rocós està buit però omplit amb un líquid més o menys dens.
- El globus rocós està buit però omplit amb un fluid com l'aire.
- El globus terrestre està ple per dins.
- L'interior de la Terra és sòlid, i més o menys homogeni.
- L'escorça terrestre és sòlida amb un interior format per un material rocallós més o menys fus.
- El globus terrestre es troba parcialment buit.
- L'interior terrestre està travessat per canals, cavitats i cavernes.

Sequeiros (2003) entén que aquestes idees no són excloents, ja que alguns autors defensen parcialment vàries d'aquestes.

La primera d'aquestes idees (la terra buida i omplida per un fluid aquós) és la que Sequeiros (2003) considera la més clàssica ja que es poden trobar antecedents en el *Gran Abisme Biblic*. Encara que podem trobar el precedent de Descartes (1644), els autors més representatius serien Burnet (1681), Woodward (1695) i Whiston (1696). Aquest darrer defensava que l'escorça *surava* sobre el líquid interior (Sequeiros, 2003).

Quant a la idea que la Terra era buida i contenia un fluid similar a l'aire, cal destacar el treball d'Edmond Halley (1656-1742) (Ellenberger, 1994). Aquest famós astrònom, reconegut especialment per aplicar les teories de Newton a les òrbites dels cometes i explicar que el cometa vist a l'any 1682 era el mateix que havia aparegut al 1607 i al 1531, i que apareixia cada 76 anys. En honor a aquest descobriment el cometa rep el nom de Halley. En un treball publicat l'any 1692 a *Philosophical Transactions*, titulat *An Account of the Cause of the Change of the Variation of the Magnetic Needle* arriba a la conclusió que degut a les irregularitats del camp magnètic terrestre, aquest està format per la combinació de diversos camps magnètics. Per explicar-ho suposa que la Terra està formada per tres esferes buides concèntriques amb un nucli sòlid. Cada una d'aquestes esferes té el seu propi camp magnètic i la seva pròpia rotació, cosa que explicaria les aparentment irregulars variacions del camp magnètic terrestre. En un treball posterior (*An Account of the Late Surprising appearance of the Lights Seen in the Air, on the Sixth of March Last; with an Attempt to Explain the Principal Thereof*) publicat al 1716 a *Philosophical Transactions* postulà que l'atmosfera interior potser era lluminosa i que en escapar-se podia originar les aurores boreals. Deia que el fet que fossin més freqüents a prop del pol nord podia ser degut a una gruixa

menor de l'escorça en aquest lloc, cosa que facilitava la fugida del gas luminescent.

De Camp i Ley (1952) diuen que el famós matemàtic Leonhard Euler (1707-1783) proposà una Terra buida amb un sol interior de 1000 km de diàmetre. En realitat Euler realitzà un experiment mental (Lienhard, 2007), és a dir, seria com plantejar la pregunta: si suposàssim que la Terra fos buida, que passaria al seu interior? De Camp i Ley (1952) també diuen que el matemàtic i físic escocès John Leslie (1766-1832), conegut principalment pels seus estudis sobre la calor, desenvolupà la teoria d'Euler i fou el que suggerí l'existència de dos planetes interiors anomenats Plutó i Proserpina, que són citats per Axel a l'obra. Leslie efectivament, menciona la possibilitat d'una Terra buida a l'obra *Elements of Natural Philosophy* (1829), en què creu que el seu interior està format per un fluid imponderable, que pensa que només pot ser la llum mateixa. Encara que Leslie no fa referència als astres interiors.

Una altra idea molt estesa al segle XVII i posteriorment és que la Terra era parcialment buida (Ellenberger, 1994). Així doncs contendria una gran quantitat de conductes i cavernes, que podien assolir grans dimensions. Aquesta idea ja es troba en el pensament pagà de Plató i Virgili (Sequeiros). Al segle XVII tindrà seguidors com Descartes (1644), Hooke (1668), Kircher (1664) i Woodward (1695). Al segle XVIII es troba en l'obra de James Hutton, de la qual en parlarem en notes futures.

L'interior de la Terra sòlid té com a seguidors al segle XVII a Varenius (Bernhard Varen, 1622-1650), considerat el pare de la geografia física (Ellenberger, 1994). Al 1650 publicà un llibre titulat *Geographia Generalis, in qua affectiones generales telluris explicantur* en què defensava la fermentació mineral com a la causa de la formació dels jaciments metal·lífers i la fermentació de vapors com a la causa dels terratrèmols. Aquest procés de fermentació de les roques també era defensat per Paracels i ridiculitzat per Kircher. Al segle XIX hi havia molts d'autors que pensaven que la Terra era sòlida segurament com a reacció a pensar que la idea del foc central es basava en una hipòtesi precientífica. Anguita (1988) anomena a aquest fet la llei del pèndol. La idea que la Terra havia de ser sòlida, i que per tant no es podien donar corrents de convecció al mantell terrestre, juntament amb la que tota la calor provenia del moment de la formació de la Terra, dugueren al físic Lord Kelvin a finals del segle XIX a rebutjar la enorme durada del temps geològic, i a enfrontar-se amb els naturalistes com Lyell i Darwin, que necessitaven molt de temps per poder explicar l'evolució de la Terra i de la vida.

La darrera de les hipòtesis sobre l'interior de la Terra (Sequeiros, 2003) és la de l'interior de la Terra parcialment buit, defensat per Kircher (1664) i parcialment per Steno (1669). El concepte de Hutton de món màquina també segueix aquesta idea.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Alsina, J. (2006). *Historia de la geología: una introducción*. Editorial Montesinos. 230 pp.
- Anguita, F. (1988). *Origen e historia de la Tierra*. Editorial Rueda. Madrid 525 pp.
- Asimov, I. (1965). *A Short History of Chemistry. An Introduction of the Ideas and Concepts in Chemistry*. Doubleday & Co., Inc. New York. [Versió en castellà: Asimov, I. 1975. *Breve historia de la química*. Alianza Editorial. Madrid. 267 pp.]
- Cutler, A. (2003). *The Seashell on the Mountaintop*. Dutton. Nova York. 240 pp.
- De Camp, L.S. i Ley, W. (1952). *Lands Beyond*. Rinehart & Company. Nova York. 329 pp.
- Duque, J. (2002). *La edad de la Tierra: evolución cronológica de una controversia en referencia a sus principales protagonistas*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. 10(2): 151-161.
- Ellenberger, F. (1988). *Histoire de la géologie. Tome I. Des anciens à la première moitié du XVIIe siècle*. Technique et Documentation - Lavoisier. París. 352 pp.
- Ellenberger, F. (1994). *Histoire de la géologie. Tome II. La grande éclosion et ses prémices, 1660-1810*. Technique et Documentation - Lavoisier. París. 384 pp.
- Gould, S.J. (1981). *The titular bishop of Titiopolis*. Natural History. 90: 20-24.
- Gould, S.J. (1987). *Time's Arrow. Time's Cycle. Myth and Metaphor in the Discovery of Geological Time*. Harvard University Press. 222 pp. [Versió en castellà: Gould, S.J. (1992). *La flecha del tiempo. Mitos y metáforas en el descubrimiento del tiempo geológico*. Alianza Universidad. Madrid. 232 pp.]
- Kuhn, T.S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago. Primera edició (hi ha dues edicions més de 1970 i de 1996). [Edició en castellà: Kuhn, T.S. (1971) *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica, México. 319 pp.]
- Lienhard, J.H. (2007). *Euler and Hollow Earth: Fact or Fiction? How Euler Did It*, by Ed Sandifer. Mathematical Association of America. MAA Online.

- Leibniz, G.W. (1749.) *Protogaea*. Gotinga. [Edició en castellà: Leibniz, G.W. (2006.) *Protogaea* (traducció introducció i notes d'Evaristo Álvarez Muñoz). KRK Ediciones. Oviedo. 381 pp.]
- Leslie, J. (1829). *Elements of Natural Philosophy: Including Mechanics and Hydrostatics*. Oliver and Boyd. Edinburg. 486 pp.
- López, J.M. (2000). *Breve historia de la medicina*. Alianza Editorial. Madrid. 251 pp.
- Mosterín, J. (2006). *Aristóteles*. Alianza Editorial. Madrid. 378 pp.
- Porter, I.H. (1963). *Thomas Bartholin (1616-80) and Niels Steensen (1638-86) Master and Pupil*. *Medical History*. 7(2): 99-125.
- Sequeiros, L. i Pedrinaci, E. (1999). *De los volcanes de Kircher a la Gaia de Lovelock*. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 7(3): 187-193.
- Sequeiros, L. (2003). *Las raíces de la geología. Nicolas Steno, los estratos y el diluvio universal*. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 10(3), 217-242.
- Sequeiros, L. i Pelayo, F. (2005). *Las raíces de la geología: el Canis carchariae de Nicolás Steno*. *Llull*, 28(61): 209-243.
- Sequeiros, L. i Pelayo, F. (2011). *Nicolás Steno, los estratos y el Diluvio universal. Un encuentro entre ciencia y religión en el siglo XVII*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid. 170 pp.
- Steno, N. (1669). *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus*. Florència. [Versió en castellà (traducció a càrrec de Leandro Sequeiros): Steno, N. (2003). *Pródromo a una Disertación sobre un cuerpo rocoso sólido contenido de forma natural dentro de otro cuerpo rocoso sólido*. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 10(3): 245-282].
- Simpson, G.G. (1985). *Fósiles e historia de la vida*. Biblioteca Scientific American, Prensa Científica, Editorial Labor. Barcelona. 240 pp.