

ROBERT BOYLE Y EL CONCEPTO DE ELEMENTO

Por Miguel Katz

Resumen

En muchos textos se suele considerar a Robert Boyle como el científico que introdujo en la Química un concepto de elemento diferente al empleado por los aristotélicos o por los alquimistas y que sirvió de antecedente al que formulara Lavoisier en 1789. Mediante una breve descripción de diversas concepciones imperantes en la Edad Media, el Renacimiento y el siglo XVII, analizamos la definición dada por Boyle en su “The Sceptical Chymist” y tratamos de demostrar que esa definición no es novedosa ni tiene el mismo sentido que la dada por Lavoisier.

1. Introducción

El concepto de elemento está indisolublemente ligado al de átomo. Hoy en día, la existencia de los átomos no se discute. Pero no siempre ha sido así. A lo largo de veinticinco siglos han habido sostenedores y detractores del atomismo. Vale la pena mencionar que todavía a principios del siglo XX, Ernst Mach, desde su cátedra de la Universidad de Viena, seguía negando la existencia de los átomos. O la famosa frase de Wilhelm Ostwald a Ludwig Boltzmann, su adjunto en la Universidad de Leipzig: “Pero gordito ¿alguna vez viste un átomo?”

En muchos libros se considera a Robert Boyle como el que introdujo en la ciencia el concepto de elemento como representativo de una clase de átomos. El objeto de este trabajo es analizar no sólo la definición dada por Boyle sino el contexto en la que fue formulada para establecer si coincide o no con la concepción moderna de elemento.

2. El concepto moderno de elemento

Antiguamente se decía que el átomo es el límite de la división física de la materia. Precisamente, de esa indivisibilidad deviene el nombre. El descubrimiento de la existencia de partículas *estables* constituyentes de los átomos (protones, neutrones y electrones) desvirtuó esa definición¹.

Tomando en consideración las partículas subatómicas estables se define *número atómico de un elemento* como el número de protones que hay en el núcleo de cualquiera de sus átomos y *número másico de un elemento* como la suma de los números de protones y neutrones presentes en el núcleo de uno de sus átomos. Sobre estas bases, se define *nucleido* como el conjunto de todos los átomos que tienen el mismo número de protones, el mismo número de neutrones y el mismo número de

¹ A raíz de comprobarse experimentalmente la divisibilidad de los átomos, Frederick Soddy propuso — aunque sin éxito — llamarlos “*tomos*”.

electrones.

El término *isótopo* se aplica a los nucleidos que tienen el mismo número atómico pero distinto número másico. Es decir, los isótopos son elementos cuyos átomos tienen el mismo número de protones pero distinto número de neutrones.

A partir de estos conceptos, los químicos dan la siguiente definición² de *elemento*: “conjunto de todos los nucleidos iguales entre sí y sus isótopos”

3. El concepto de elemento en la Edad Media y el Renacimiento



Marsilio Ficino (1433 – 1499)

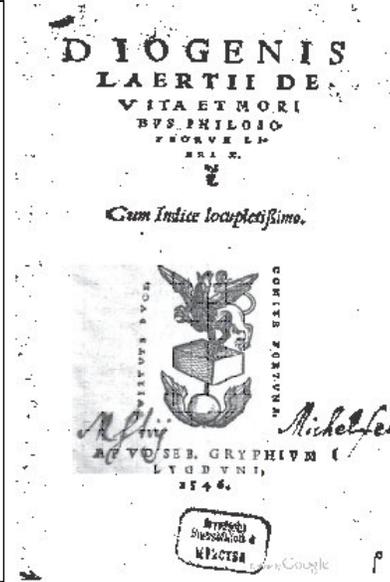


Para los filósofos de la Edad Media y el Renacimiento los elementos eran un número reducido de sustancias simples componentes de todos los cuerpos y en las cuales, en última instancia, éstos podían resolverse. Consideraban que todos los elementos intervenían, en diferente proporción, en la formación de cada una de las sustancias compuestas. Si bien muchos aceptaban como elementos los cuatro de la tradición aristotélica: agua, tierra, aire y fuego, el descubrimiento de una copia de *De rerum natura*, comenzó a despertar el interés de algunos filósofos por el atomismo. Entre los primeros que estudiaron críticamente la obra de Lucrecio se encuentran el platonista Marsilio Ficino³ y Bernardino Telesio⁴. En 1473, apareció en Brescia una primera edición de *De rerum natura* la que fue seguida por tres ediciones más en 1500. Por primera vez en muchos siglos se hizo accesible a los estudiosos occidentales un tratado completo de filosofía natural atomista.

² Los epistemólogos de la Química, prefieren considerar que elemento es un concepto primario, fundamentando este criterio en que para llegar a esta definición se usan los conceptos de número atómico de un *elemento* y número másico de un *elemento*.

³ Marsilio Ficino, *Opera in duos tomos digesta*, (1561). Tomo I Libro IV Ep. 35 - p. 280v

⁴ Bernardino Telesio. *De rerum natura iuxta propria principia* (1565).



Otra fuente importante del pensamiento atomista del Renacimiento fue la *Vida de los filósofos*, escrita en el siglo III por Diógenes Laercio, impresa por vez primera en 1533. Las *Vidas* de Diógenes incluyen la de los atomistas de Abdera, Leucipo y Demócrito y el décimo libro está completamente dedicado a Epicuro de Samos. En él se encuentran cartas de Epicuro a Herodoto y Pitocles, siendo esta última una de los más claras y concisas exposiciones sobre la filosofía natural atomista. De modo que en el siglo XVI vastos escritos de los antiguos se volvieron accesibles para completar y estimular el interés por el atomismo.

DIOG. LAERT. DE VITA
 ep. ipse pro un quibus ille...
 LUCIPPO...
 DEMOCRITO...

DIOG. LAERT. DE VITA
 DEMOCRITVS
 Democritus...
 DEMOCRITVS...
 DEMOCRITVS...

DIOGENIS LAERTII DE PHILOSOPHIA
 EPICVRVS
 EPICVRVS...
 EPICVRVS...
 EPICVRVS...

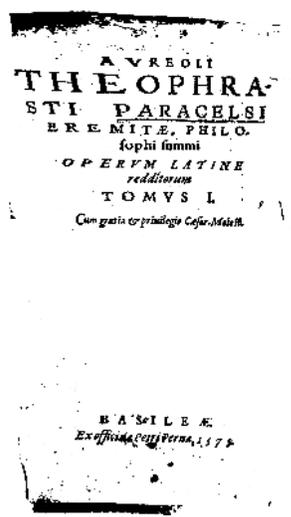
Fragments de "Vidas y muertes de filósofos" de Diógenes Laercio.

En esa época, muchos alquimistas europeos, seguían la tradición de los alquimistas árabes y consideraban como principios al azufre y al mercurio. Ellos entendían que los elementos eran las sustancias simples en las que se resuelven los cuerpos mixtos. Descreían de la concepción aristotélica ya que ninguno de sus resultados experimentales demostraba que del oro o de la plata no se podía extraer ninguno de esos cuatro elementos.

En el siglo XVI, a partir de la obra de Paracelso, se produce el auge de la Iatroquímica. Entre los

iatroquímicos, — si bien no hubo unanimidad sobre cuáles son los principios elementales constituyentes de toda la materia — todos abandonaron el esquema aristotélico. Muchos recogieron el legado de los principios de la alquimia árabe, — mercurio y azufre — y Paracelso popularizó la idea de la existencia de un tercer principio: la sal. El principio sal, era el responsable de la unión de los componentes de un sistema complejo: su presencia impedía la descomposición y de ahí derivaba su utilidad como conservante. Además, representaba tanto la solidez como la incombustibilidad. Paracelso afirmaba que⁵:

“Entre todas las sustancias, hay tres que dan a cada cosa su cuerpo, es decir, que todo cuerpo consiste en tres cosas; sus nombres son azufre, mercurio y sal; o bien, antes de cualquier otra cosa, es necesario conocer estas tres sustancias y todas sus propiedades en el macrocosmos. Y entonces se las encontrará en el hombre (microcosmos) absolutamente semejantes.



Teofrasto Bombastus von Hohenheim (Paracelso) (1493 – 1541) y fascimil de la carátula del Tomo I de la primera edición de sus obras completas.

Con el fin de comprenderlo mejor, pensad por ejemplo en la madera. Es un cuerpo. Quemadlo. Lo que arderá es el azufre; lo que se exhala en humo es el mercurio. Lo que queda en forma de cenizas es la sal. Así nos encontramos con las tres cosas, ni más ni menos, separadas cada una de la otra. Es necesario remarcar que todas las cosas contienen estos tres principios de igual manera. Si no pueden percibirse de una manera inmediata con la vista, siempre se revelan bajo la influencia del arte que los aísla y los vuelve visibles. Lo que arde es el azufre. Todo lo que entra en combustión es azufre. Lo que se eleva en forma de humo es mercurio. Solamente el mercurio sufre la sublimación. Lo que queda en cenizas es la sal.”

De esta manera, en la concepción paracelsiana, el azufre representa la combustibilidad, el mercurio la volatilidad y la sal la solidez. La combinación de estos tres principios dan como resultado las propiedades de cada cuerpo. Esos tres principios se conocen históricamente como *tría prima*.

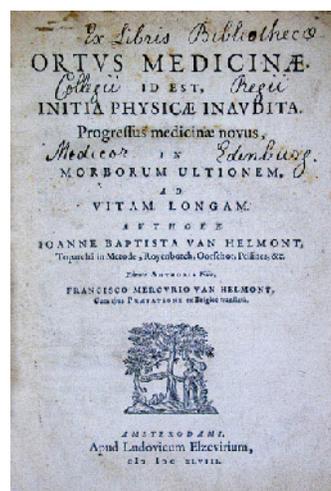
⁵ Metzger, H. Les doctrines chimiques en France du début du XVIIe à la fin du XVIII siècle. Ed. Albert Blanchard. París 1969 p. 348

Entre las contribuciones a la Química que hizo Paracelso, merece destacarse en descubrimiento del hidrógeno, si bien no pudo determinar sus propiedades con detalle. En 1526 describió un nuevo metal al que consideraba un “metal bastardo” y al que bautizó “zink” (cinc). Al tratar cinc con ácido clorhídrico observó la evolución de un “material aeriforme mucho más liviano que el aire”. Dos siglos después Henry Cavendish aislaría ese gas y estudiaría sus propiedades.

De la obra de Paracelso se infiere que él no negaba la posibilidad de la transmutación, pero consideraba que ella era una actividad de importancia secundaria de la Alquimia. Al respecto escribió “Muchos han dicho que la Alquimia es el arte de hacer oro y plata. Para mí, este no es el objetivo, sino que considero que es encontrar qué virtud y poder pueden yacer en las medicinas” Su objetivo práctico fue el de usar los procesos alquímicos para la preparación de sustancias terapéuticas, principalmente, de sustancias inorgánicas. De este modo, inauguró una forma de Química Médica, que se conoce históricamente como “Iatroquímica” y que no sería otra cosa que lo que hoy se conoce como “quimioterapia”.

Otro iatroquímico, Johann Baptista van Helmont, consideraba que:

No es posible estar de acuerdo con la teoría de los tres principios. Tal y como demuestra la experiencia, no todas las materias pueden descomponerse en los tres principios. Hay muchas descomposiciones de sustancias en las que por ningún sitio aparece mercurio, azufre o sal.



Johann Baptiste van Helmont ((1577 – 1644) y facsimil de su obra más importante: *Ortus Medicinæ*.

Van Helmont, no sólo negó la teoría de la tría prima sino que tampoco aceptaba la doctrina aristotélica de los cuatro elementos. Sostenía que el fuego no es en absoluto un elemento. No es permanente: nace y se extingue. No tiene existencia material. Se trata simplemente de un agente de cambio, de un obrero de la naturaleza. El aire no es ninguna sustancia susceptible de sufrir modificaciones. Siempre seguirá siendo aire. Sus acciones son solamente de tipo mecánico. La tierra puede transformarse en agua, de manera que no es ningún principio elemental inmutable. Pero de lo que no cabe duda es que el agua está presente en todos los cuerpos. Todos los cuerpos tienen su origen en el agua y todos pueden volver a ser agua, por uno u otro camino.

410 TRIA PRIMA CUM. PRINC. SEQUEBUNTUR
 exemplo Tartari liquet. Si quidem dilu-
 endo unctis 16 tantum partibus, elicitur
 vix unica uncia aquae; salis vero, ad sum-
 mum, unctae duae, cum tenuis. Residuum
 totum, est oleum; id est, ex 10 sunt fere
 medietas partes oleosae. Tartarus tamen
 crudus non est; nec agit ut oleosum,
 nec ardet ut cortex berulis; sed salis acidi
 naturam habet. Quapropter per distillatio-
 nem, salis acidi natura maceratur in oleum.
 Deinde iterum, si sal Tartari sponte sua
 fiat in visum, et in guttulis ostium conti-
 netur quidem tunc in forma, quo distilla-
 to, habebit pro maxima parte aquae, o-
 leumque pristinum definit esse, & muta-
 tur in aliud. Quid enim clarus hac mecha-
 nica, ut elucet, aqua in esse confectorem
 primum; adeoque nec esse in se prima,
 nec, praesertim, in se in concreto, qualla
 separatur inde per ignem. Si quidem non
 est aucta separatio distillatum; sed trans-
 mutatio concetti per ignem, juxta adivi-
 tatem, quae heterogenea sunt se pe-
 gunt. At si in singulis corporibus in-
 ventis illa, ut nullum corpus illorum
 expressi esse possit: imo si singula, prae-
 sentiam servarent indolem, sal, inquam, nun-
 quam Mercurius fieret, neque hic vicissim
 salis, etc. Tam quidem apparet Paracel-
 sus parafici, coepertum unumquodque
 ob originaliter componi de sale, sulfure,
 & Mercurio: Sed cum sit rerum indubia
 vicissitudo, per res rerumque partes mi-
 nimas, pro ut & per simplicia vix transsum-
 non possunt vicissitudines illae demerere
 identitatem suam, nec constantiam, quo-
 rum ipsemet decus est omnino incon-
 stans, & instabilis perfectantia ejus. Ete-
 nim à Paracello deinceps propenodum
 quique sua habent inveniunt, nempe
 eos est penetrare conditionem rerum il-
 lorum, ut appareat visus heterogeneis, quae
 per ignem sepius extrahantur, unde velut
 loto palli, obdure se fuerunt: quocirca il-
 los Paracellus vocabat. Sed dicit Paracel-
 sus, clama ex cibo tuorum se contingere, qui-
 dem separatione puri ab impure, sed nul-

lantium. Quod si enim per vitam ali-
 quam transierit vitam novam, mutatur quidem
 massa in succum, cum divisione hetero-
 geneorum, extinctione formae, ac pro-
 prietatum vitae mediae: non tamen in, vel
 ad tria prima, sed procedit ad destructio-
 nem radicalem, cum ultimata vice prioris
 annihilatione. Sub quam tandem semen no-
 vum hauriunt, ad novam generationem. Ista
 nempe est via rerum, sive regentio no-
 tis Hippocratis ad Diem Orphei. Saltem
 percepto est verum, quod illa tria nun-
 quam separantur ab igne, ad hoc, aut
 exaltam. Pyrotechniani Veteribus illa
 fuisse incognita; eamque deflagans ille,
 gradusque ejus, separatos in nobis, & quic-
 quid per calorem non gradum est nobis dis-
 stat, sentas ad caput mureum, nisi per
 illas & fermentum precautum sit (pro ut
 supra de his humano dicitur) non potest
 sine morbo originem, illatenus vitium,
 aut pluribus ex tribus ejusmodi, impa-
 rari. Nego demique, salem, sulfur, & 72
 Mercurium corporum principia universa-
 lia. Quia nec ante corpus compositio-
 nem existerent, nec confluerent ad in-
 stitutum faciendam, neque tandem per
 naturalem corporum resolutionem in vi-
 tam ultimum terminum, apparerent un-
 quam in natura: sed derivantur per aera
 ignis, & tantum è quibusdam educuntur
 quatenus semina certam materialia princi-
 pio aquae veniant, & proprii efficien-
 tis energia roborantur, partim salis, &
 partim olei proprietates assumunt, Mer-
 curius aucta corporum, non est nisi
 pars aquae, nondum sufficienti maturitate
 efficienti seminis, graviora. Nulquam ergo
 per se existit, nisi quae principia addi-
 vices obtinet: Eo quod sua natura con-
 ditio est, proprietates, non habet ex al-
 tero, quae praevalescent, sed partim
 ex dissolutione feminum, defluentium
 in proprietates carceri; partimque ex
 ignis digestionem, & ulla ratione separan-
 dum nada. Si quidem manifestum est,
 quod materia transmutatur, & recipit
 ex

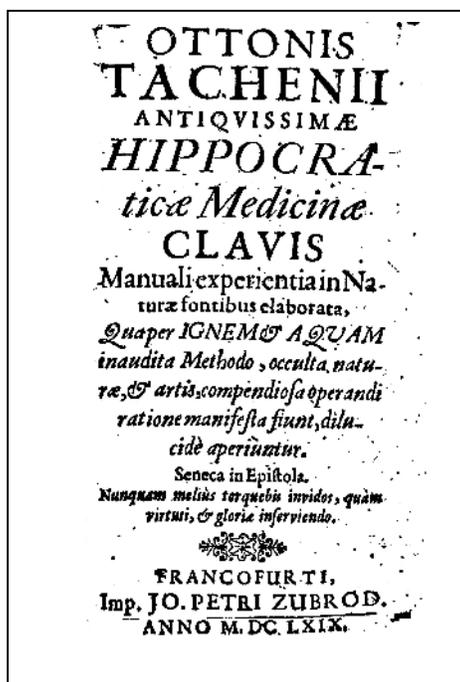
Por último, quiero negar que la sal, el azufre y el mercurio sean principios universales de los cuerpos (*Ortus Medicinae*, 1648. p. 410).

Es conocido su experimento con el sauce ⁶: Pesó cuidadosamente 200 libras de tierra y plantó en ella un pequeño sauce. Al cabo de cinco años el sauce había aumentado su peso en unas 164 libras. Puesto que la tierra seguía pesando, aproximadamente, 200 libras van Helmont infirió que el peso del árbol había aumentado gracias al agua de riego, lo que significaba en última instancia, que la madera y las hojas "se produjeron por transformación del agua solamente". Como la combustión de esas ramas y hojas "se produjeron por transformación del agua solamente". Como la combustión de esas ramas y hojas desprende agua. La materia vegetal se vuelve a convertir en agua, lo que prueba que el agua es su principio constituyente. Al respecto escribió:

"Todos los cuerpos mixtos, sea cual sea su naturaleza, opacos o transparentes, sólidos o líquidos, semejantes o diferentes, están materialmente compuestos de agua y pueden ser totalmente reducidos a agua insípida sin que quede de ellos la menor traza de materia terrea".

Para confirmar su teoría de que el agua es el único constituyente de todos los cuerpos, Van Helmont se propuso demostrar la existencia de un disolvente universal al que denominó *alcagesto*, nombre con reminiscencias alquimistas y árabes. Según van Helmont, todos los procesos de disolución consistían en la disgregación del agua constituyente. El hallazgo de un disolvente en cuyo seno se disolvieran todas las sustancias, sólidas y líquidas, orgánicas e inorgánicas, evidenciaría la presencia de agua en todo sistema material. van Helmont dijo haber dispuesto durante unos cuantos días de un poco de alcagesto en un recipiente, pero no dio ninguna información acerca de cómo lo consiguió ni de los experimentos realizados. (Obviamente, tampoco explicó cómo se las ingenió para que el alcagesto no disolviera el material del recipiente).

⁶ Narrada en **Partington, J. R.** *Historia de la Química*. Espasa – Calpe Argentina. Buenos Aires. 1945. p



Para explicar la diversidad de las sustancias, van Helmont elaboró dos teorías:

a) En cada cuerpo el agua presenta un grado de condensación diferente. En un trozo de hierro el agua está mucho más condensada que en un trozo de madera. Esto explica las diferentes densidades.

b) Si bien el agua es el único constituyente material de los cuerpos, en cada cuerpo hay un constituyente espiritual que le da al objeto su carácter propio. Este constituyente espiritual ha sido creado por Dios y pueden pasar de una sustancia a otra dando lugar a los cambios químicos⁷.

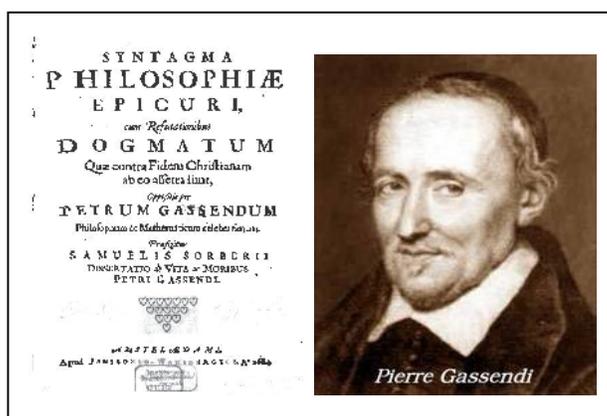
Ya en el siglo XVII, otros iatroquímicos consideraron a las reacciones químicas como el encuentro entre contrarios. El más conocido exponente de estas teorías fue Otto Tachenius, quien afirmaba "De acuerdo con lo que muestra la experiencia, todos los seres sublunares están compuestos de dos cosas: el ácido y el álcali". En su concepción, álcali no

era solamente las cenizas de ciertos vegetales que se empleaba para hacer jabón sino toda aquella sustancia capaz de enfrentarse con un ácido. Por ello, como la mayoría de los metales producen efervescencia con los ácidos, Tachenius consideraba que los metales eran álcalis. En su concepción, reducía toda la variedad de sustancias a dos principios contrarios, que tienden a neutralizarse mutuamente.

La teoría de la dualidad ácido – álcali no suscitó muchas adhesiones. Ningún químico fue capaz de descomponer el oro en un ácido y en un álcali. Por otra parte, tampoco quedaba establecido que todos los ácidos, por el hecho de serlo, tuvieran un carácter elemental, no descomponibles en otras sustancias más sencillas.

4. El concepto de elemento en el siglo XVII

El siglo XVII se caracterizó por un auge en la teoría corpuscular. Un creciente número de filósofos naturales se fue volcando hacia una u otra versión de la doctrina atómica como marco explicativo de los fenómenos naturales. Por un lado, los filósofos veían en el atomismo un modo sistemático de explicación con el cual podían confrontar las alternativas del aristotelismo y el paracelsismo, doctrinas que ya en ese tiempo se consideraban intelectualmente



⁷ Es probable que esta afirmación haya sido producto de su relación con la Iglesia. En 1621 había publicado *De magnetica vulnerum curatione* donde intentó explicar científicamente algunos de los milagros relatados en la Biblia. Intervino la Inquisición y van Helmont fue hecho un prisionero virtual en su quinta de Vilvorde, hasta su muerte en 1644.

pobres. Por otra parte, las relaciones postuladas por el atomismo – los movimientos e impactos de objetos materiales – estaban cerca de sus experiencias con los objetos ordinarios.

Quizás, el atomista más relevante del siglo XVII, haya sido Pierre Gassendi (1592 – 1655). En 1649 publicó su mayor obra sobre el atomismo, *Syntagma Philosophiae Epicuri*, dividida en tres secciones: Lógica, Física y Ética. Aún antes de exponer acerca de los átomos, Gassendi dedicó tres capítulos a discutir sobre el vacío y su necesidad, extendiéndose en el análisis de los experimentos de Torricelli. Explicándose en la tesis de Epicuro describió a los átomos diciendo que no pueden ser creados ni destruidos, tienen peso y no pueden ser subdivididos. No son como puntos geométricos sino que tienen un tamaño definido aunque muy pequeño. Donde se diferencia de la concepción griega es en cuanto a su origen: no han existido por siempre sino que fueron creados por Dios. Los átomos no se mueven “*a se ipsis*” (por sí mismos) sino por “*Dei gratia*” (por gracia de Dios). Esta es la idea que intentó liberar al atomismo del ateísmo.



Rene Des Cartes
(1596 – 1650)

Una concepción diferente a la de Gassendi era sostenida por Rene Des Cartes. El universo cartesiano estaba compuesto de una materia primigenia cuya característica esencial es su extensión. El espacio posee también extensión y, consecuentemente, difiere de la materia sólo en la imaginación. A diferencia de los atomistas, Descartes insistía en que la materia es infinitamente divisible y, dado que espacio y cuerpo son indistinguibles, no existe “espacio vacío” en la Naturaleza.

En esa época, tuvo gran influencia la opinión de Francis Bacon. En su *Opera magna*, el *New Organon*, Bacon condenaba la hilación de teorías *a priori* de los filósofos griegos

y sus continuadores. La meta de Bacon en el *New Organon* era una novedosa unión de la teoría y la práctica, un examen de la naturaleza que condujera a ciertos axiomas seguros sobre lo que los escritores posteriores dieron en llamar “leyes naturales” Su libro fue concebido como un motor o una máquina que podía asistir a la mente en el proceso descubrir la verdad de la naturaleza. Bacon consideraba que lo malo de la filosofía de su época era que presentaba a la naturaleza como algo ya conocido y entendido, mientras que, en verdad, en ella todo estaba por ser descubierto.



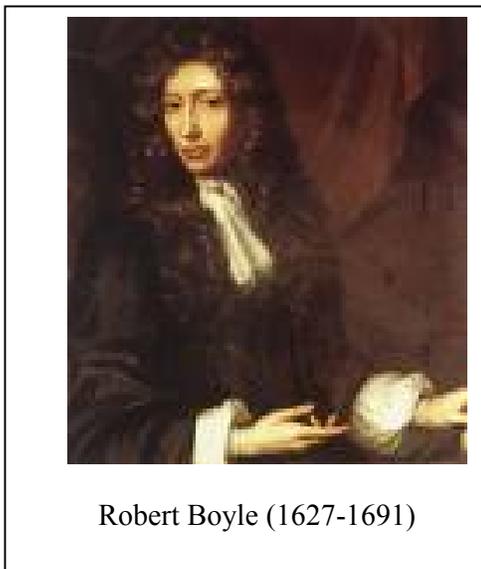
Sir Francis Bacon, Conde Verulam
(1561 – 1628).

El llamamiento de Bacon para buscar la certidumbre en la ciencia a través de la experiencia encontró amplio eco en sus discípulos de la Royal Society, entre ellos a uno de sus más ilustres miembros: Robert Boyle (1627 – 1691).

Robert Boyle

Robert Boyle fue uno de los principales exponentes de la filosofía experimental en los primeros años de la Royal Society. Mediante un conjunto ordenado y sistemático de datos experimentales, buscó reivindicar una visión mecanicista de la Naturaleza a expensas de teorías rivales, en particular

la cosmovisión escolástica asociada con las ideas de Aristóteles. Boyle fue también uno de los principales apologistas de la nueva ciencia, exponiendo su racionalidad, desarrollando su justificación, puliendo sus implicaciones filosóficas y reflexionando en profundidad sobre las relaciones recíprocas entre ciencia y religión.



Robert Boyle (1627-1691)

Boyle nació en el castillo de Lismore el 25 de enero de 1627. Fue el hijo menor de Richard Boyle, primer conde de Cork, — un “aventurero” que hizo su fortuna en Irlanda y que se convirtió en uno de los hombres más ricos y más influyentes del Reino Unido.

Boyle se crió en un ambiente aristocrático, fue educado en parte en el hogar y en parte en el Colegio Eton. Para completar su educación viajó a Francia, Italia y Suiza, donde recibió instrucción en distintas especialidades. En uno de los viajes al Continente sobrevino una tormenta impresionante que casi hace naufragar al barco, a raíz de la cual experimentó una conversión religiosa que guiaría su comportamiento personal y sus opiniones científicas. El profundo teísmo de Boyle no sólo influyó en su concepción de la filosofía natural, sino también en su vida personal, y los imperativos religiosos que dominaron su vida permiten entender las contradicciones entre sus concepciones filosóficas y el resultado de muchos de sus experimentos.

Boyle regresó a Inglaterra en 1644, estableciéndose en una finca que le dejó su padre en Stalbridge, Dorset, donde pasó la mayor parte de la siguiente década.

Inicialmente, Boyle inició una carrera como escritor, pero, al contrario de lo que podría esperarse de sus publicaciones posteriores, sus esfuerzos no fueron inicialmente dedicados a la ciencia. Su primer proyecto (1645-6) fue su *Aretology*⁸, un tratado un poco rebuscado sobre “elementos éticos” donde pretendió fijar los rudimentos de la moralidad como base para la búsqueda de la virtud. Posteriormente, Boyle experimentó con otros géneros literarios, incluyendo reflexiones piadosas, vida imaginaria, discursos y cartas de presentación de recetas moralistas a destinatarios ficticios, entre las que se puede mencionar “*Some Motives and Incentives to the Love of God*” (1659) quizás, la exposición más precisa de los escritos moralistas y religiosos de Boyle.

En 1649, instaló un laboratorio en su castillo de Stalbridge y los experimentos que comenzó a realizar lo fascinaron de tal manera, que transformaron su carrera. Estos experimentos eran mayoritariamente químicos (y alquímicos), aunque también realizó una gran cantidad de observaciones biológicas utilizando un microscopio.

En esta época, sus ideas estaban influenciadas por autores del siglo XVI y principios del siglo XVII como Paracelso, Bernardino Telesio, Francis Bacon, Tommaso Campanella y Johann Baptiste van Helmont. En los escritos de esa época, Boyle expresó una cierta solidaridad con los “chymists” y expuso sus primeras ideas sobre el atomismo en su *Of the Atomicall Philosophy* (1652 – 54)⁹. En

⁸ La Aretología es la parte de la filosofía moral que analiza la virtud (*areté*), su naturaleza y los medios para alcanzarla.

⁹ En el manuscrito de este texto, Boyle agregó: “These Papers are without fayle to be burn’t” *Works*, vol.13, pp.

este trabajo tomó en gran parte las ideas atomistas de Daniel Sennert (1572 – 1637).

También escribió un breve ensayo referido a la Química, el que se considera el antecedente de su “Sceptical Chymist”. En él se propuso educar a los “chymists” en la necesidad de un enfoque más filosófico para el estudio de la naturaleza.

En esta etapa de su carrera, Boyle adhirió en buena parte a las ideas del reformador social Samuel Hartlib (1600 – 1662), quien influenciado por Francis Bacon y por Comenius¹⁰ sostenía que la reforma educativa y la filosofía podrían conducir a mejorar la paz universal.

A fines de 1655, Boyle se trasladó a Oxford donde su actividad experimental se intensificó, y su perspectiva filosófica se fue actualizando al unirse al animado grupo de filósofos allí establecidos bajo los auspicios de John Wilkins (1614 – 1672) y que se conoce como *Invisible College*. Este grupo se considera como los precursores de la Royal Society¹¹, que sería fundada en 1660. La relación con estos filósofos causó un gran impacto en Boyle. Fue en este contexto que adhirió firmemente a la llamada “Nueva filosofía” o “filosofía experimental” y enfrentó seriamente los escritos de los grandes exponentes de la filosofía natural del Continente europeo, en particular, a Gassendi y Descartes, refinando y modernizando sus ideas al influjo de sus colegas del Invisible College. En el caso de Descartes, si bien Boyle conocía sus primeros escritos, afirmó que la persona que “le hizo comprender la filosofía de Des Cartes” fue Hooke. Robert Hooke (1635 – 1703) había comenzado a trabajar como empleado de Boyle en 1659 y lo ayudó en algunas de sus cruciales experimentos. Con la asistencia de Hooke quien ideó la pieza más famosa de aparatos del laboratorio, — la cámara de vacío o bomba de aire — Boyle fue capaz de llevar a cabo una serie de ensayos destinados a dilucidar el comportamiento del aire ante los cambios de presión.

Durante los años que pasó en Oxford, antes de mudarse a Londres, Boyle desarrolló innumerables experimentos sobre diversos aspectos de la Naturaleza, los que dieron lugar a muchas publicaciones. Entre ellas, cabe mencionar:

New Experiments Physico-Mechanical, Touching the Spring of Air and its Effects (1660), *Certain Physiological Essays* (1661), *The Sceptical Chymist* (1661), *Some Considerations touching the Usefulness of Experimental Natural Philosophy* (1663, 1671), *Experiments and Considerations touching Colours* (1664), *New Experiments and Observations touching Cold* (1665), *Hydrostatical Paradoxes* (1666) y *The Origin of Forms and Qualities* (1666).

A partir de 1664, muchos de sus trabajos fueron publicados en las *Philosophical Transactions* de la Royal Society for the Improvement of Natural Knowledge.

Inspirado en las ideas que Francis Bacon había expuesto en su *Novum Organum*, Boyle desarrolló un método empírico que fue tomado como modelo recomendado por la Royal Society para todos sus miembros. Boyle se encargó de hacer los arreglos y correcciones para que sus obras fuesen publicadas en latín, por lo que fueron conocidas, y algunas criticadas, en todos los centros científicos de Europa.

Incansable, Boyle desarrolló un extenso trabajo experimental hasta, prácticamente, el final de

225-35. Se supone que, por escribir ese trabajo, Boyle fue criticado como “ateísta”.

¹⁰ Jan Amos Komensky, (1592 – 1670) pensador checo quien propuso los fundamentos de un sistema de educación para todos los hombres y para todos los pueblos. Es considerado el “padre de la Pedagogía”.

¹¹ De hecho, John Wilkins fue su primer Secretario.

sus días. Quizás el más notable se publicó como *Experiments, Notes, & about the Mechanical Origin or Production of Divers Particular Qualities* (1675) del cual extrajo conclusiones que volcó en *A Continuation of New Experiments Physico-Mechanical Touching the Spring and Weight of the Air, and their Effects. The Second Part* (1680), en *Experiments and Considerations about the Porosity of Bodies* (1684) y en *Experimenta & Observationes Physicae* (1691).

Boyle también realizó experimentos vinculados con la Medicina y que fueron publicados como *Memoirs for the Natural History of Human Blood* (1684), his *Of the Reconcilableness of Specifick Medicines to the Corpuscular Philosophy* (1685) y *Medicina Hydrostatica* (1690).

En los últimos 20 años de su vida, publicó varios ensayos filosóficos y teológicos. Entre ellos pueden mencionarse, *Excellency of Theology, Compar'd with Natural Philosophy* (1674), al cual le agregó un pequeño ensayo sobre el mecanicismo “*Considerations About the Excellency and Grounds of the Mechanical Hipótesis*”; “*Free Enquiry into the Vulgarly Receiv'd Notion of Nature*” (1686). En esta obra expresa sus reflexiones maduras sobre temas teológicos y filosóficos. En su testamento dejó un legado para que se pronuncien conferencias pías contra el ateísmo y para propagar el cristianismo. La primera serie de ellas fue desarrollada por el obispo Richard Bentley en 1692.

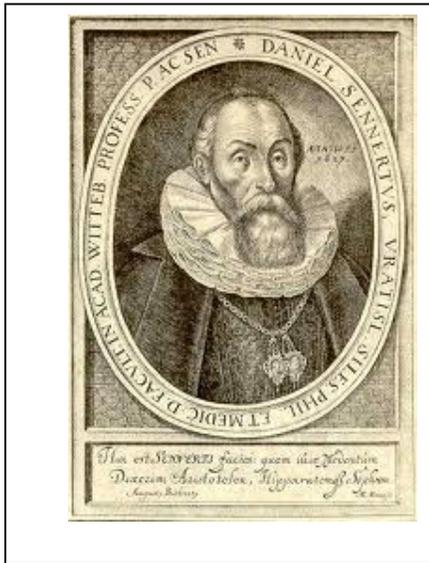
Boyle fue un extraordinario experimentador. Imbuido en las ideas de Francis Bacon, expuso sus ideas de cómo desarrollar el método inductivo. En su “*Certain Physiological Essays*” (1661) incluyó varios ensayos en los que presentó su opinión sobre el trabajo experimental resaltando la importancia que debe tener para el experimentador los resultados no exitosos de su tarea. También ilustró la manera en que los resultados de tales ensayos pueden utilizarse para proveer un fundamento científico de su versión de la filosofía mecánica, a la cual bautizó “*corpuscularismo*”.

5. El corpuscularismo de Boyle

En la profusa obra de Boyle, no hay ninguna mención al vacío. Sólo tomando en cuenta la profunda religiosidad de Boyle puede entenderse como, luego de comprobar experimentalmente las relaciones de compresibilidad del aire, se resistía a aceptar la idea del vacío. Al escribir su trabajo *Of the Atomicall Philosophy* había tomado las ideas de Daniel Sennert, y de Joachim Junge (1587 – 1657) quien exponía sus ideas atomistas. Pero si sólo hay átomos y vacío ¿Dónde está el alma? El alma no es materia, no está formada por átomos. Pero en la concepción cristiana, existe. Si los átomos, como su nombre lo indica, son indivisibles y, como sugirieron atomistas como Gassendi, son indestructibles ¿Cómo se explica la transubstanciación del pan en carne y del vino en sangre? Indudablemente, las contradicciones entre las creencias religiosas y las conclusiones derivadas de sus experimentos deben haber ocupado buena parte de las meditaciones de Boyle.

Por otra parte, muchos filósofos europeos, creían en un “*plenum*”, en que el Universo está lleno de materia. Así, por ejemplo, Descartes sostenía que el movimiento era posible sin necesidad de concebir el vacío. Para demostrarlo, proponía hacer un agujero en la base de un tonel completamente lleno de líquido, sólo si se hacía otro agujero en la parte superior para que entrase el aire — que para él era una sustancia extensa — el líquido podía salir. De ese experimento concluía que la falta de vacío no impide el movimiento y que el “*lleno*” es una de las condiciones para que haya movi-

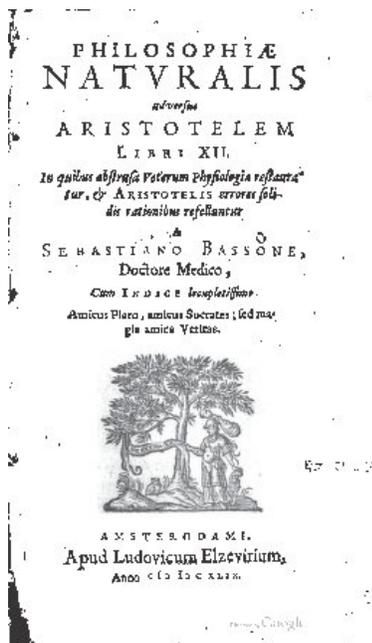
miento.¹²



Boyle tomó la idea de Sennert de que se podía dividir la materia hasta una *minima naturalia*, pero rehusó siempre pronunciarse sobre si esas *minima naturalias* debían considerarse *átomos* en el sentido estricto del término o no. Si bien era partidario de reformar la física hipotética para transformarla en una filosofía experimental, le resultó imposible probar experimentalmente tanto la existencia de los átomos como las hipótesis de Descartes. De allí que quedó a un camino intermedio entre esas dos posiciones extremas y su concepción se conoce como *corpuscularismo mecanicista*. En sus escritos trató de ilustrar las ideas de los filósofos mecanicistas y, de esta manera, demostrar que la filosofía corpuscular tenía su fundamento en los experimentos. Al respecto escribió

*Espero poder al menos hacer algún servicio, que no sea inapropiado, a las filosofías corpusculares ilustrando algunas de sus nociones mediante experimentos sensibles*¹³

Daniel Sennert¹⁴ en 1631 y Sébastien Basso¹⁵ en 1636 habían puesto sobre el tapete una pregunta que subsistió durante más de dos siglos ¿Qué relación existe entre los átomos y los cuerpos que tienen propiedades químicas específicas y que pueda ser detectable mediante experimentos?



LIBER I.

omata materia huius vel illius formae suscipiendae idonea est: Sed requirit vim agentia, quae ipsam perfecte disponat, cum illa viget potentia ad hanc eandem formam limitatam, cuius absolute dispositio nihil aliud indicat, censetur privata ea forma quam habere apta est. Hinc patet, quomodo talia privata non formae quae possit, sed eius ad quam materiae potestate disposita est, sit generationis, relique duo generatur, principium: quomodo adveniente forma, & re ipsa producta, patet. Nec obstat, quod privato nihil sit reale. Non enim est quid purè abstractivum; cum praesupponat & connotet aliquid reale, perfectum, ut distinctus, materiae preparatio: nec determinatamque existentiam, quod quidem esse quid reale, nemo dubitabit. En sibi brevis planaque principiorum Aristotelis, secundum eorum communem sententiam, expositio.

Quoniam vero in principii periculisissime peccatur, statim ea non leviter, nec in transitu attingere; sed acce de illis examen constituit, in quo multa immutabuntur, quae lectoris animam cum fructu delectabunt. Primumque materiam excitabimus, cujus investigatione Aristotelem quiescamus, ac magis necessarium medico sit futurum, ignoro. Quippe alia naturalis scientiae fundamenta hac parte iactantur.

ARTICVLVS III

Qua fieris Veterum de prima materia sententia.

DETERMINATA rerum naturalium materia non queritur: qualem tamen docuit Aristoteles, Democritus, Anaxagoras, alique complures nobiles Philosophi; Plato etiam ipse, pro materia prima constituitur naturae diversae tenuissimae, ex

DE MATERIA ET MIXTO

quorum diversae conjunctiones fierent, quemadmodum ex lapideis, luto, lareubisque domus exstruit: nec tamen ignorarent aliud principium, à quo materiae omniaque virtutem agendi res illae fortirentur, de quo suo loco. Nunc enim de materia rerum sermo est, de qua Philosophi sententias non tam facile est enovellere, quàm multi potaverunt, quipretas, atque tritas partus quom conviciis dirimere voluerunt.

Quin hanc principiorum materiam multitudine, diversitateque extra dubium posuit nihil aliud, quàm lectoris patientiam in re citatè difficili postulamus. Ergo veteres ipsi quomvis in effiguratione horum principiorum loqui se distare videantur, ex Aristotelis relatione, in eo tamen concordant, quod ad rei cuiusque generationem principiorum eiusmodi praesistentium diversam compositionem requirerent, quae structura variata, res quod die diversimodè mutaretur: haud sic uti videmus cyperographum ex illisdem charactibus litteris atque aliter dispositis, alias atque alias orationes effigere. Et quemadmodum adificium sit ex variis partibus materiae praesistentibus, ex quibus variis diluoria aliud atque aliud confici potest: additae vel detrahit lapideis, ascribit, alique partibus, atque eorum situ variato. In eorum, inquam, studium ex certa principii, sed quae interita deservit, diversitate copiamus, immo conlato rerum mutationes fieri autem debent. Nec opus est alia quora quae praerollimus, exemplis, ad huius sententiae declarationem.

Cibus enim varius in stomachum ingestus, sed prius diligenter rems calore ventriculi in suas partes resolvitur, cuius partibus inuicibus excrevit, quae omniaque ad nutritionem profunt: nec ita in cibum conleuntur. Rursum à variis mclanctis hic cibibus

¹² Descartes no se había enterado que en 1643, Torricelli había realizado su clásico experimento.

¹³ *The Works of the Honourable Robert Boyle*, Thomas Birch, (ed.), 6 vols. (London, 1772); reimpression de la edición de 1744 por George Olms, (1966), Vol. I, pág. 356.

¹⁴ Daniel Sennert. *De chymicorum cum aristotelicis et galenicis consensu et dissensu*. Witterberg, 1519.

¹⁵ Sébstien Basso. *Philosophiae naturalis aduersus Aristotelem libri XII*. Elsevier, Amsterdam, 1636.

Basso utilizó dos metáforas para describir a los átomos. La primera los consideraba como a las letras del alfabeto, cuya combinación da origen a distintas palabras. Mediante esta metáfora, Basso sugería la posibilidad de que hubiese *átomos diferentes* y que la diferencia entre los átomos permitiría que su conjunto tuviera sentido. En la segunda metáfora, Basso comparaba a los átomos con los ladrillos de un edificio. Aunque todos los ladrillos fueran idénticos, las edificaciones construidas con ellos no tienen por qué ser iguales. Este *átomo ladrillo* daba la idea de una materia primordial homogénea, con lo que las diferencias entre los agregados era una mera cuestión de configuración.

Las metáforas usadas por Basso dividieron las opiniones de los corpuscularistas. Unos optaron por el átomo “alfabeto” y otros por el átomo “ladrillo”. Los que optaron por esta última imagen, según la cual las partículas últimas tienen solamente propiedades primarias – extensión, forma, impenetrabilidad y masa – han sido llamados “químicos mecanicistas”.

Sennert consideraba que los mixtos eran agregados y al plantear el problema de la identidad de tales agregados consideró que, al formarse un mixto, se conservaban las formas de los elementos aunque sus propiedades disminuían en intensidad. Al respecto daba como ejemplo que al disolver oro en agua regia sus propiedades se debilitan tanto que se vuelven imperceptibles, pero al recuperar el oro (de la solución) este recobra todas sus propiedades.

Boyle se oponía a las concepciones de los escolásticos y de los seguidores de Paracelso, quienes explicaban las cualidades de un cuerpo (frío, calor, fragilidad, fusibilidad, etc.) a partir de las cualidades propias de cada elemento. Sostenía, en cambio, que las cualidades de los cuerpos eran el producto de las *diferentes agregaciones de partículas* y no de la combinación de las cualidades de las supuestas sustancias elementales. Para demostrarlo repitió un experimento de Sennert. Disolvió plata con ácido nítrico. A la solución de nitrato de plata le agregó carbonato de sodio, precipitando el carbonato de plata. Una vez filtrado, calentó el carbonato de plata en un crisol recuperando la plata metálica. Con esa plata se podía repetir indefinidamente el experimento. De esta manera demostraba que la plata puede perder sus cualidades y sus formas y seguir siendo plata. En su concepción, las propiedades químicas de los cuerpos macroscópicos eran el resultado de las propiedades e interacciones *mecánicas* de los corpúsculos que los forman. Al igual que otros baconianos suponía posible encontrar esa relación, pero una cosa era exponer esta hipótesis y otra comprobarla experimentalmente. Algunos corpuscularistas, cifraban sus esperanzas de alcanzar el éxito utilizando los instrumentos ópticos que se estaban desarrollando recientemente. Christopher Wren, creía que con el perfeccionamiento de los microscopios se podría establecer la forma de agregación de los constituyentes de la materia. Al respecto escribía:

*Los fenómenos naturales, habiendo sido ordenados últimamente en una forma geométrica de razonamiento a partir de experimentos oculares, han de probar una Ciencia de la Naturaleza real, no una hipótesis de lo que la naturaleza puede ser, la perfección de los telescopios y microscopios mediante los cuales nuestros sentidos pueden avanzar infinitamente, parecen ser el único modo de penetrar en las más ocultas partes de la Naturaleza...*¹⁶

Pero en el siglo XVII cualquier intento de aislar con certeza un elemento estaba condenado al fracaso.

¹⁶ **Christopher Wren:** *Parentalia, or Memoirs of the Family of the Wren*. London. 1750. Pág. 140. Vol I.

6. El mecanicismo de Boyle.

Boyle hizo suya la concepción mecanicista de Des Cartes. Para Des Cartes, el Universo era una suerte de mecanismo de relojería gigante. Según él, el mundo se reduce a materia en movimiento. Su mecanicismo se fundamentaba en unos pocos principios físicos y metafísicos, algunas teorías auxiliares, datos de observación y normas epistemológicas derivadas de sus principios metafísicos.

- i) La esencia de la materia es su extensión.
- ii) La materia es infinitamente divisible.
- iii) Espacio y materia es son dos aspectos de una misma entidad.

Hay 3 tipos de partículas, caracterizadas por sus propiedades geométricas y cantidad de movimiento. El primer género de materia se caracteriza por sus dimensiones ínfimas. Son producidas por roces y raspaduras de partículas más grandes y se mueven a tal velocidad que al chocar con otros cuerpos son deshechas a tamaños aún menores. El otro género de materia está constituido por partículas esféricas y muy pequeñas y, por su tamaño, se mueven a velocidades menores y tienen menor probabilidad de desintegrarse e un choque. Un tercer género consta de partes de materia, que, por ser más gruesas y por su figura no son tan apropiadas para el movimiento como las precedentes. Las partes más gruesas forman los planetas, cometas, etc. En los intersticios de este tipo de materia, se encuentra el éter, — que es lo que forman los cielos — y en los intersticios del éter, se encuentra la luz — que es lo que forman al Sol y a las estrellas fijas.

Los principios físicos que constituyen la base de la teoría mecanicista de Des Cartes son:

El Principio de inercia “Cualquier cosa, en tanto que es simple e indivisible, siempre permanece en las mismas condiciones sin cambio a no ser que intervengan fuerzas externas”.¹⁷

El Principio de movilidad rectilíneo: “Ninguna porción de materia considerada en si misma, (*sin intervención de un agente exterior*) tiende a continuar su movimiento de forma curva sino que lo hace en línea recta”.

El principio de la conservación de la cantidad de movimiento. “Cuando un cuerpo en movimiento se encuentra con otro, si este tiene menos “fuerza” para continuar en línea recta que el otro para oponérsele entonces es reflejado a otro lugar manteniendo su movimiento aunque pierda la dirección del mismo; sin embargo, en caso de tener más fuerza que el otro objeto, entonces lo mueve consigo mismo y pierde tanto movimiento como el que transmite al otro cuerpo”.

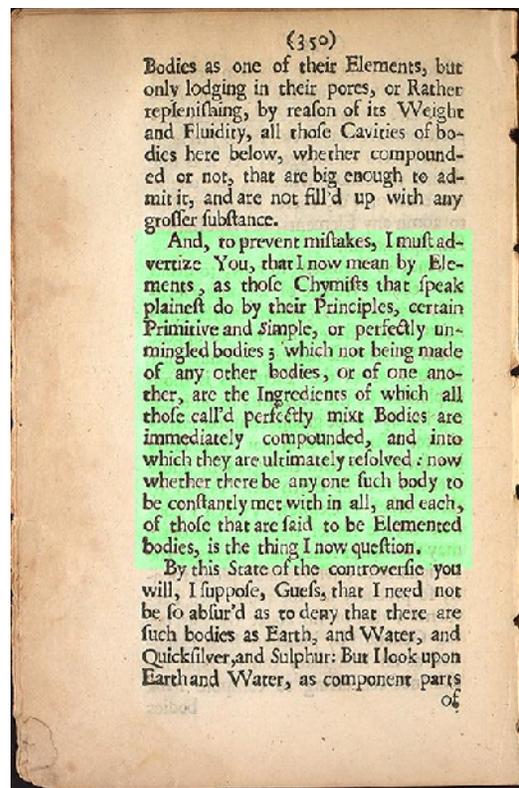
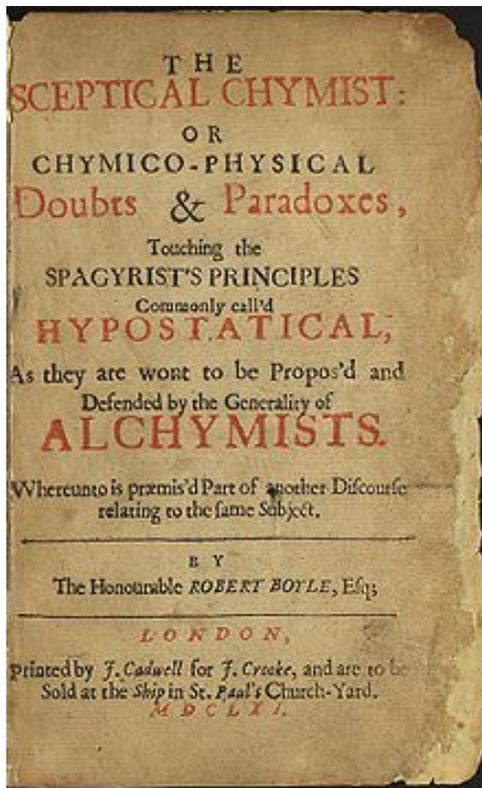
Boyle utilizó esta concepción para justificar el movimiento que hacen los “corpúsculos” del aire cuando se comprime o se expande sin comprometerse en la aceptación de la existencia del vacío.

6. El escepticismo de Boyle y su definición de elemento

En su libro *THE SCEPTICAL CHYMIST: Or CHYMICO – PHYSICAL Doubts & Paradoxes Touching The SPAGIRIST’S PRINCIPLES Commonly Call’d HYPOSTATICAL As They Are Wort*

¹⁷ Este enunciado fue formulado por Des Cartes en 1644, pero se le atribuye a Newton quien lo publicó en sus *Principia* en 1687

To Be Propos'd And Defended By The Generality Of ALCHYMIST, Boyle se explyta en argumentos para rebatir las teorías de la existencia de principios o elementos aristotélicos o paracélsicos que se encuentren en todos los cuerpos mixtos. En la página 350 de este libro menciona la definición de “elemento” o “principio” que daban los químicos de la época:



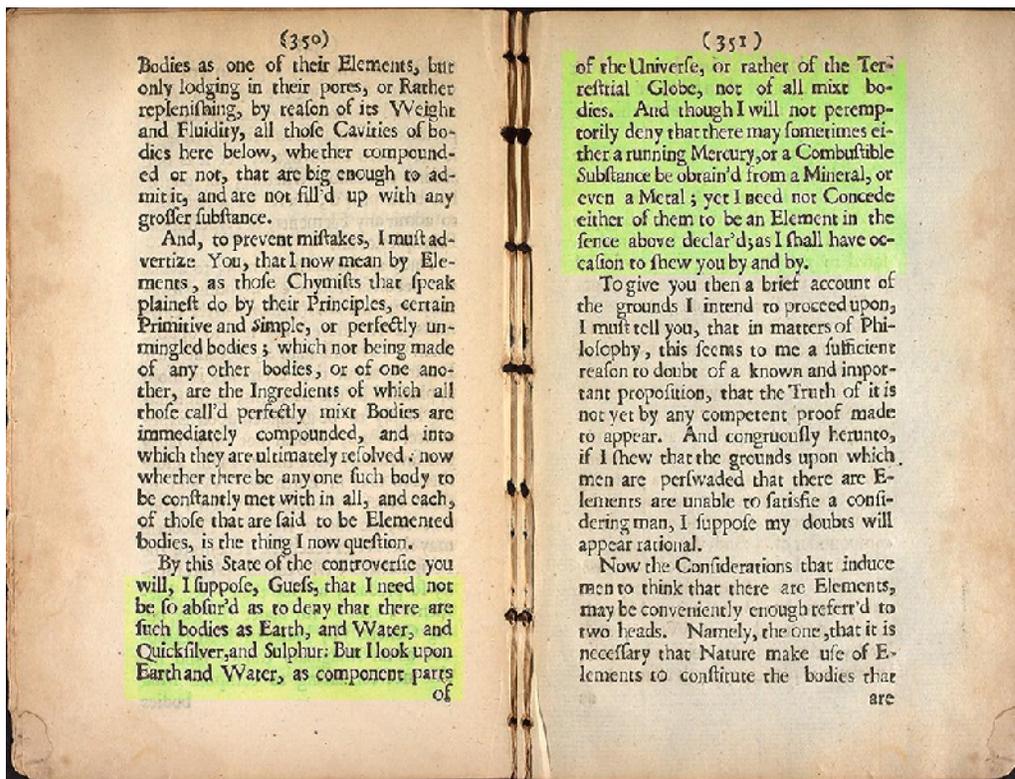
*“And to prevent mistakes, I must advertize You, that I now mean by Elements, as those Chymists that speak plainest do by their Principles, certain Primitive and Simple, or perfectly unmingled bodies, which not being made of any other bodies, or of one another, are the Ingredients of which all those call'd perfectly mixt Bodies are immediately compounded and into which they are ultimately resolved: now whether there be any one such body to be constantly met with in all, and each, of those that are said to be Elemented bodies, is the thing I now question.”*¹⁸

Nótese que no da una definición propia de “elemento” sino que, para exponer sus argumentos, toma la que usan “aquellos químicos que hablan llanamente de sus principios” como cuerpos simples y que forman *todos* los compuestos.

En la parte fina de este párrafo, Boyle también se pregunta si existe o no un cuerpo elemental que esté presente en *todos* los cuerpos. Es decir, se pregunta si existe un “átomo ladrillo”. Si, realmente, el sustrato último de la materia estaba constituido por corpúsculos homogéneos, que sólo

¹⁸ Y para prevenir confusiones, debo advertirles que ahora llamo elementos, como lo que los químicos expresan llanamente como principios, a ciertos cuerpos primitivos y simples perfectamente puros y sin mezcla; que no están formados por ningún otro cuerpo, ni unos por otro, que son los ingredientes a partir de los cuales se componen todos los que llamamos mixtos perfectos, y en los que finalmente estos se pueden descomponer: y lo que me pregunto ahora es si existe un cuerpo de este tipo que se encuentre de manera constante en todos, y en cada uno, de los que consideramos constituidos por elementos.

difieren en su disposición, eso explicaría la transmutación. La posibilidad de la transmutación chocaría frontalmente con la tesis sostenida por los atomistas de que los átomos son inmutables¹⁹.



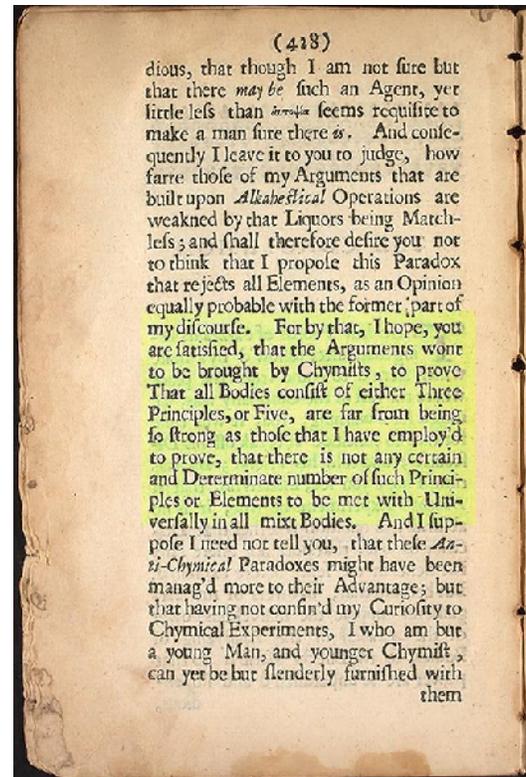
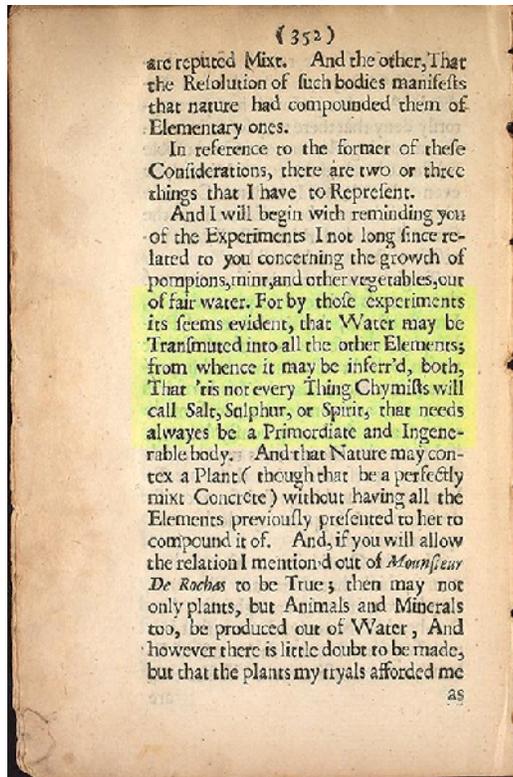
Refiriéndose a la existencia de cuerpos simples, Boyle expresa:

No voy a ser tan absurdo de negar que hay tales cuerpos, como la tierra y el agua y el mercurio y el azufre: pero considero a la tierra y el agua como partes componentes del Universo, o mejor del Globo terrestre, y no como parte de todos los cuerpos mixtos. Y si bien no voy a negar imperiosamente que, a veces, puede obtenerse mercurio o una sustancia combustible de un mineral, o aún de un metal, no necesito conceder que cualquiera de ellos sea un elemento en el sentido más arriba declarado (como constituyente de todos los cuerpos mixtos)

Más adelante, Boyle explica que, a través de sus experimentos con zapallos, menta y otros vegetales, él ha comprobado la transmutación del agua:

“Mediante esos experimentos, resulta evidente que el agua puede ser transmutada en todos los otros elementos, de donde se puede inferir que no cada una de las cosas que los químicos llaman sal, azufre o espíritu necesita ser siempre un cuerpo primordial e ingenerable.”

¹⁹ De hecho, en su trabajo *Of a Degradation of Gold made by an anti-elixir: a strange chymical narrative*. London, 1678; Boyle sostuvo haber logrado la transmutación del oro en un metal vil.



The Sceptical Chymist, más que un intento de establecer nuevos conceptos sobre la constitución de la materia, trata de probar que no existe un número reducido de principios que constituyan todos los cuerpos. En la “Conclusión” Boyle expresa:

*For by that, I hope, you are satisfied, that the Arguments wont to be brought by Chymists, to prove That all Bodies consist of either Three Principles, or Five, are far from being so strong as those that I have employ'd to prove, that there is not any certain and Determinate number of such Principles or Elements to be met with Universally in all mixt Bodies.*²⁰

Boyle no intentó dar una definición novedosa de elemento, (como lo haría posteriormente Lavoisier). Sólo explicitó la formulada en 1632 por Joachim Junge²¹ y otros alquimistas de la época.

En la opinión de Junge se requería una concepción distinta de las ciencias naturales en cuanto a la existencia de un número finito de principios. Sostuvo que, así como la geometría euclidiana se basa sobre un pequeño número de entidades básicas, las ciencias naturales deberían estructurarse tan axiomáticamente como lo es la geometría. Insistió en que sólo la experiencia sensorial y una metodología inductiva podían conducir a la identificación de esas “unidades últimas de la realidad”. Encontró que fibras textiles, o superficies pulidas, que a simple vista parecían homogéneas resulta-

²⁰ Por lo tanto, espero que estén satisfechos, con que los argumentos que acostumbran a usar los químicos para probar que todos los cuerpos consisten en tres principios, o cinco, distan mucho de ser tan fuertes como los que he empleado para probar que no hay ninguna certidumbre y número determinado de tales principios o elementos que puedan encontrarse universalmente en todos los cuerpos mixtos

²¹ **Joachim Junge**. “Experimente und Gedanken zur Begründung der Chemie als Wissenschaft.” Analizado por Hans Kangro: “Ein Beitrag zur Geistesgeschichte des siebzehnten Jahrhunderts”, *The British Journal for the History of Science* 4 (4) (1969), 409-411.

corpúsculos últimos con las propiedades químicas de los cuerpos macroscópicos. En cambio, Lavoisier tuvo buen cuidado en desligar la determinación de estos elementos de cualquier especulación sobre la naturaleza atómica de la materia. A su juicio, identificar a los elementos con los átomos era condenarse a no saber nada sobre aquéllos. Su concepto de elemento era de carácter operativo, apegado a la práctica química y lejos de hipótesis físicas puramente teóricas. Sostuvo que definir a una especie como elemento era siempre provisorio ya que el perfeccionamiento de los métodos de análisis podría demostrar que, en realidad, era compuesta. Esa concepción de elementos como aquellas sustancias a las que podemos reducir los cuerpos por descomposición, perduró hasta bien entrado el siglo XX y es muy común encontrar en los libros de texto que las sustancias se clasifican en “elementos y compuestos”.

Deberían pasar más de tres siglos desde los trabajos de Boyle hasta que la Química Cuántica pudiese conectar las características físicas de los corpúsculos con las propiedades químicas de los cuerpos

9. Conclusión

Según él mismo lo reconoció, la definición de elemento adoptada por Boyle en “*The Sceptical Chymist ...*”, no es original. Creía que toda la materia estaba formada por corpúsculos idénticos y que las cualidades de los cuerpos eran el producto de las diferentes agregaciones de esos corpúsculos.

A diferencia de Lavoisier, Boyle no propuso una tabla de los cuerpos a los que consideraba dentro de la definición de elemento. De haberlo hecho quizás hubiese tenido muchos adeptos, pero dejó el tema en un estado tan poco concreto que sus ideas no gozaron de mucha aceptación de sus contemporáneos.

Encorsetado por su concepción baconiana, el empirismo de Boyle no le permitió establecer un nexo entre los constituyentes últimos de la materia y las propiedades macroscópicas de la misma.

Boyle creía posible la transmutación. Por lo tanto, en su concepción las partículas últimas de la materia no son inmutables. La posibilidad de la transmutación fue el objetivo perseguido por la mayoría de los alquimistas. De modo que más que establecer un cambio entre la Alquimia y la Química, la obra de Boyle tiene aspectos alquímicos.

La definición de elemento dada por Lavoisier, en cambio, es operacional. Fue útil durante mucho tiempo a pesar que en el siglo XIX se comprobó que algunas sustancias consideradas simples eran, en realidad, compuestas. Fue reemplazada por la de “conjunto de todos los nucleidos iguales entre sí y sus isótopos” cuando se comprobó que había sustancias formadas por una sola clase de átomos que podían descomponerse mediante el análisis químico. Así ozono y oxígeno son dos sustancias simples formadas por el mismo elemento pero el ozono se descompone en oxígeno según $2 \text{O}_3 \rightarrow 3 \text{O}_2$.

10. Bibliografía

Bensaude Vincent, B. – Stengers, I. *Historia de la Química*. Addison-Wesley / Universidad Autónoma de México. Madrid. 1997.

Boas, M. *Robert Boyle and the Seventeenth-Century Chemistry*. Cambridge University Press. Cambridge. 1958.

Boyle, R. *Física, química y filosofía mecánica*. Alianza Editorial. Madrid, 1985

Boyle, R. *The Sceptical Chymist ...* Dover Publications Inc. New York. 2003.

Garber, D., Nadler, S. M.: *Oxford studies in early modern philosophy*, Volume 1. Oxford University Press, London. 2004.

Ihde, A. J., Antecedents to the Boyle concept of the elements *J. Chem. Educ.*, 1956, **33** (11), p 548

Kuhn, T. S. “Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century”. *Isis*. 43. 1952 pp. 12 - 16

Leicester, H. M. *The Historical Background of Chemistry*. Dover Publications Inc. New York. 1956.

Mazuecos, A. *Claves y enclaves de la Ciencia Moderna. Los siglos XVI y XVII*. Colección *Historia de la Ciencia y de la Técnica* Ed. Akal. Madrid 1992

Meinel, C. “Early Seventeenth-Century Atomism: Theory, Epistemology, and the Insufficiency of Experiment”, *Isis* **79** (1) (1988), 68-103.

Metzger, H. *Les doctrines chimiques en France du début du XVIIe à la fin du XVIII siècle*. Ed. Albert Blanchard. París 1969

Oldroyd, D. *El arco del conocimiento*. Ed. Crítica. Barcelona, 1993

Partington, J. R. *Historia de la Química*. Espasa Calpe Argentina. Buenos Aires. 1945.

Rupert Hall, A. *La revolución científica. 1500-1750*. Ed. Crítica. Barcelona, 1985.

Santidrián, P.R. (ed.), *Humanismo y Renacimiento*, Alianza, Madrid 1986; (selección de textos de L. Valla, M. Ficino, A. Poliziano, P. della Mirandola, P. Pomponazzi, B. Castiglione y F. Guicciardini).

Walden, P., Ancient natural-philosophical ideas in modern chemistry, *J. Chem. Educ.*, 1952, 29 (8), p 386

Williams, K. R., Robert Boyle: The Founder of Modern Chemistry, *J. Chem. Educ.*, 2009, 86 (2), p 148