

LA QUÍMICA EN EL SIGLO XVII

I.- El contexto histórico y social. Las instituciones científicas.

II.- Iatroquímica

III.- La nueva química

1.- La teoría corpuscular

2.- La filosofía mecánica llega a la química

2.1.- La noción de elemento químico.

2.2.- Los corpúsculos.

2.3.- Las explicaciones dadas a los fenómenos químicos:

a.- Los ácidos

b.- Las reacciones químicas

c.- El fuego y la combustión

d.- La calcinación

e.- Las disoluciones.

IV.- La cuestión del método: racionalismo - experimentalismo.

I.- EL CONTEXTO HISTÓRICO Y SOCIAL. LAS INSTITUCIONES CIENTÍFICAS

a.- Burguesía. Durante el S XVII se afianza la presencia social y también política de la burguesía. Ello tiene importancia en el ámbito científico pues el burgués manufacturero o comerciante tiene necesidad de aumentar sus conocimientos permanentemente para mejorar su producción, aumentar sus beneficios o simplemente para conocer.

b.- Instituciones. Las Universidades siguen "... entregadas a la fabricación de clérigos y al barnizado cultural de los hijos de la nobleza"¹. Aumentan considerablemente las cátedras de matemáticas. Pero aquellos campos de la filosofía natural que aún no han sido matematizados (entre ellos la química) carecen de prestigio científico y no consiguen ser abordados en las universidades. Los estudiosos que se dediquen a ellos deberán hacerlo al margen de las Universidades. Serán, por lo general, profesionales (v.g. de la medicina) cuyo sustento ya está asegurado con otras actividades y que se dedican a la ciencia de manera no profesional.

Para posibilitar el intercambio, el debate y el trabajo de equipo fundan sus sociedades. Una de las primeras instituciones de este tipo fue la Academia dei Lincei en Roma (a la que perteneció Galileo) y que estuvo en actividad entre 1600 y 1630.

La Academia del Cimento en Florencia, fue fundada por Leopoldo de Médicis en 1657 y estuvo activa hasta 1667. A ella pertenecían tan solo nueve miembros. Pero presentaba dos características que la hicieron pionera entre las instituciones científicas del S XVII: Por una parte, su dedicación expresa y exclusiva a la ciencia experimental. En efecto. Las áreas que cultivó fueron la neumática, la acústica, la cinemática, el magnetismo, la electricidad, ... Por otra parte, bajo el título de *Saggi di naturali esperienze*, fue difundiendo con periodicidad publicaciones que recogían los resultados de sus investigaciones.

En 1598, un comerciante había fundado el Gresham College para "enseñar a navegantes y comerciantes el uso de la geometría, los logaritmos, la cartografía y demás conocimientos útiles para los oficios. Con el tiempo, el Gresham College dará lugar a la Royal Society (1662) con una orientación más investigadora que didáctica. Buena prueba del utilitarismo implícito en las instituciones científicas es el hecho de que la Royal Society fundara una cátedra de matemáticas tras la amenaza de la Armada Invencible, con el propósito de difundir la matemática aplicada a la navegación entre los oficiales de la Marina. El afán experimentador se vio reforzado por la presencia de un considerable número de miembros del Colegio de Médicos que acudieron a la institución buscando el lugar de encuentro para el intercambio de

¹ R. BOYLE pág 17

noticias, ideas y resultados y también buscando apoyo financiero para sus quehaceres investigadores. Se llegó a alcanzar una gran diversidad de líneas de trabajo y de intereses. El número de personas creció sin filtro alguno. La deficiente profesionalización de muchos de sus miembros² y la falta de apoyo de la Corona (Carlos II sólo vio en ella una institución dedicada al entretenimiento y ocio de unas minorías cultas) hicieron que con el tiempo, la Royal Society quedara reducida a un foro de comunicación y difusión, objetivo que cumplió con la publicación periódica de sus "Philosophical Transactions" a partir de 1665. El título completo de la publicación apareció en el primer número fue el siguiente: "*Actas filosóficas: relato de los actuales proyectos, estudios y trabajos de los eruditos de muchas partes del mundo.*" Esta publicación vio la luz cuando el secretario de la Royal Society, Henry Oldenburg, decidió dar la máxima difusión a las cartas científicas que, a título personal, le iban llegando desde todas las partes del mundo. El propio Oldenburg, personalmente, asumió la tarea y el coste de publicar mensualmente 1200 ejemplares de una revista de unas 20 páginas. La empresa fue bastante ruinoso en términos económicos pero cumplió la misión para la que había sido concebida: dar a conocer entre la comunidad científica los trabajos que iban desarrollando sus miembros. He aquí un fragmento de la introducción escrita por Oldenburg en el primer número³:

Consideramos que no hay nada más necesario para fomentar la mejora de los asuntos filosóficos que su difusión, lo mismo para los estudios y trabajos propios que para las cosas que son descubiertas o puestas en práctica por otros; estimamos, por consiguiente, oportuno emplear la imprenta como el mejor medio de recompensar a aquellos cuya dedicación a tales estudios y cuyo deleite en el avance del saber y los descubrimientos provechosos les da derecho a conocer lo que este reino y otras partes del mundo les ofrecen para el progreso de los estudios, trabajos y ensayos de los curiosos y especialistas en cosas de este tipo y todos sus descubrimientos y actuaciones. Con el fin de que tales trabajos se difundan de manera clara y verdadera, deben alimentarse los deseos de un conocimiento sólido y útil, alentarse las empresas y empeños del ingenio, e invitar y animar a buscar, probar y averiguar cosas nuevas, a compartir el conocimiento y a contribuir en lo posible en la magna tarea de mejorar el conocimiento natural y perfeccionar todas las artes y ciencias filosóficas. Todo ello para mayor gloria de Dios, honra y provecho de estos reinos y bien universal de la humanidad.

² Al principio, ninguno de los miembros de la Royal Society recibía ninguna gratificación. A partir de 1668, el consejo de la Royal Society asignó cuarenta libras anuales al secretario, Oldenburg.

³ Tomado de D. J. Boorstin. *Los descubridores*. Ed. Crítica.

La Académie Royale des Sciences fue creada en París en 1666, durante el reinado de Luis XIV y bajo la tutela del ministro Colbert. Pero en este caso la institución sí que recibió apoyo, pudiéndose hablar de un pacto entre el Estado y la Ciencia: la Corona dotaría a la Académie de cuantos recursos materiales necesitara (laboratorio, observatorio, servicios de traducción y publicación, ...) y se comprometía a mantener quince pensiones permanentes a repartir entre físicos, astrónomos, químicos, anatomistas y médicos. A cambio, la Académie se comprometía a estudiar aplicaciones de la ciencia experimental a proyectos útiles: triangulación y confección de un mapa de Francia, construcción de buques, determinación de la posición en el mar, técnicas de guerra, control de las colonias, ingeniería, arquitectura, economía,

En Alemania, el proceso de formación de un gran Estado iba algo más retrasado que en Francia e Inglaterra. Pero a finales del siglo XVI, Federico Guillermo I estableció los cimientos de un gran Estado y en 1700 surgió la Academia de Berlín, bajo la dirección del filósofo y matemático Wilhelm Leibnitz (1646-1716).

Estas instituciones se ocupaban tanto de problemas teóricos como prácticos, principalmente los relacionados con el comercio, la minería y la manufactura. Así por ejemplo, los estatutos de la Royal Society se declaraban como objetivos de la Sociedad "mejorar el conocimiento de las cosas naturales y de todas las artes, manufacturas, prácticas mecánicas, ingenios e invenciones útiles por medio de experimentos para reunir un sistema completo de sólida filosofía con la finalidad de explicar todos los fenómenos producidos por la naturaleza o el arte y registrar una descripción racional de las causas de las cosas". La Academia de Ciencias de París tenía la doble función de ocuparse de problemas técnicos planteados por la corona y glorificarla al mismo tiempo con sus realizaciones y empresas científicas. Tanto la Royal Society como la Académie des Sciences asumieron el monopolio de las patentes. En general, ni en las declaraciones de principios ni tampoco en la práctica, la institucionalización de la investigación científica no comportó una diferenciación entre los intereses técnicos y los teóricos.

Ese movimiento institucional no llegará a España hasta el siglo XVIII. En ese siglo aparecieron diferentes instituciones de diferente naturaleza. Unas eran de ámbito local, como la Academia de Ciencias de Barcelona (1764). Otras se establecieron en relación con el aparato militar, como la Academia de Guardias Marinas de Cádiz (1728) que llegó a disponer de un observatorio astronómico (1753) y la del Ferrol. También vinculadas con los intereses militares surgieron la Academia de Matemáticas de Barcelona (1720), la Academia de Artillería de Segovia (1763) y los Colegios de Cirugía de Cádiz (1748) y de Barcelona (1760). Con estrecha vinculación con la Corona surgió el Seminario de Nobles de Madrid (1725). Otras instituciones surgieron de iniciativas

particulares, como el Instituto Asturiano de Gijón (1794) que Jovellanos organizó con la finalidad principal de formar ingenieros y pilotos. En este mismo apartado se pueden incluir las escuelas de química, mecánica, náutica y botánica que promovió y dotó la Junta de Comercio de Barcelona (1758). Las Sociedades Económicas de Amigos del País también funcionaron como activos núcleos de enseñanza, formación e investigación. Mención especial merece el Jardín Botánico de Madrid (1755) cuya aportación fundamental fue la de promover y centralizar las numerosas expediciones botánicas de la época.

Uno de los efectos derivados del surgimiento de estas instituciones fue el segregar de los ámbitos de la ciencia a los charlatanes e iluminados, estableciendo clara frontera entre la ciencia "oficial" y la "marginal".

c.- Internacionalización. Las comunicaciones y transportes se habían ya desarrollado espectacularmente de modo que el movimiento de las noticias y también el de las personas era mucho más ágil. Se había institucionalizado ya un correo ordinario entre Londres, París y Amsterdam que viajaba una vez a la semana. Ese correo fue ampliamente aprovechado por los científicos que comunicaban a sus colegas sus impresiones, los resultados de sus experimentos, sus cabilaciones, ... El medio más utilizado para esas comunicaciones fueron las cartas. Ofrecían algunas ventajas sobre los libros: Por una parte, una carta permitía recoger con inmediatez un pequeño experimento o una pequeña reflexión en torno a un problema, sin necesidad de tener que esperar a completar una tesis original o un gran tratado para justificar un libro. Por otra parte, las cartas eran mucho más baratas de generar que los libros. Además, las cartas podían escapar más fácilmente que los libros al control de la censura. Por otra parte, fue una época de grandes corrientes de migración derivadas de conflictos religiosos, políticos y bélicos. Todo ello hace que pueda hablarse a lo largo del siglo XVII de una auténtica internacionalización de la actividad científica.

La comunicación entre científicos de diferentes naciones chocaba con el problema de los idiomas. Anteriormente se había utilizado el latín como instrumento de comunicación, pero ello comportaba que solamente los eruditos que lo conocían tenían acceso a las lecturas. A lo largo del siglo XVII ya estaban muy desarrolladas las lenguas vernáculas y, tras la invención de la imprenta, proliferaban las ediciones de obras en cada uno de los idiomas nacionales. Eso permitía que los comerciantes y los artesanos cultos tuvieran acceso a los libros y a los documentos escritos. Las palabras escritas (también los contenidos científicos) se ponía al acceso de un sector de población mucho más numeroso que en épocas pasadas. El siguiente párrafo ilustra muy bien el afán divulgador de estas primera instituciones científicas. Está extraído de las recomendaciones dadas a quienes querían publicar en el *Philosophical Transactions* de la Royal Society:

“[...] se exige de todos los miembros un modo de hablar directo, desprovisto de florituras y natural; expresiones positivas; significados claros; naturalidad; aproximar todas las cosas, en la medida de lo posible, a la sencillez de las matemáticas, prefiriendo el lenguaje de los artesanos, aldeanos y comerciantes al de los sabios y eruditos”

Resulta igualmente muy significativo el siguiente párrafo escrito por Leibnitz en los comienzos del siglo XVIII⁴:

Nuestros hombres cultos han demostrado pocos deseos de protegerla lengua alemana, algunos porque creían de verdad que la sabiduría sólo podía expresarse en latín y griego; otros porque temían que el mundo descubriera su ignorancia, escondida ahora bajo una máscara de palabras altisonantes. Las personas realmente cultas no tienen nada que temer, pues cuanto más se extienda su sabiduría y su ciencia entre la gente, más testigos habrá de su excelencia... A causa de ese desprecio de la lengua materna, las personas cultas se han dedicado a cosas inútiles y han escrito únicamente para las estanterías; se le ha negado el conocimiento a la nación. Una lengua vernácula desarrollada, como un cristal bien pulido, realza la agudeza mental y da al intelecto meridiana claridad.

Pero la sustitución del latín por las lenguas vernáculas iba a comportar algún problema de entendimiento entre los científicos de naciones diferentes. Las instituciones científicas de cada nación hubieron de asumir la nueva tarea de ir traduciendo los documentos que les llegaban escritos en lenguas extranjeras.

Otro problema ligado a la internacionalización del saber científico fue el uso de las unidades de medida. Pero las actuaciones en este campo tendrán lugar preferentemente a lo largo del siglo XVIII.

II.- LA IATROQUÍMICA:

Los comienzos del S XVII están marcados por una cierta "anarquía intelectual". No hay ningún modelo que sirva de referencia a todas las elaboraciones de los químicos. Cada químico crea su propio sistema completo y cerrado, postula su visión sobre la constitución de la materia, sobre su comportamiento y sobre el método a seguir para acrecentar el conocimiento sobre la naturaleza. Pero ninguno de ellos lo hace con la suficiente autoridad como para imponerse sobre los demás. De modo que durante esos primeros años del siglo XVII, proliferarán multitud de sistemas químicos: cada uno de ellos tendrá su propia visión sobre los principios elementales que constituyen los

⁴ Tomado de D.J. Boorstin *Los descubridores*. Ed. Crítica. Pág. 402.

sistemas materiales, sobre la naturaleza de los metales, sobre la evolución de la materia, sobre la naturaleza del fuego, sobre los antecedentes de los alquimistas o incluso de la obra de Aristóteles y de la Escolástica. No entran en confrontación unos sistemas con otros. Simplemente se ignoran mutuamente. Cada científico es sordo a los demás científicos.

No obstante, en medio de la anarquía, es posible identificar una corriente de pensamiento que va a estar muy presente en la química en los primeros años del siglo XVII. Es la iatroquímica: una continuación de la alquimia pero que ha abandonado algunos de sus rasgos característicos como la búsqueda de la piedra filosofal y ha dirigido su actividad a la curación de las enfermedades a través del suministro de sustancias al organismo enfermo. Tradicionalmente se da por hecho que el fundador de la iatroquímica fue Teophrastus Bombast von Hohenheim (1493 - 1541) más conocido como PARACELSO.



Paracelso nació en una ciudad de Suiza a donde se había trasladado su padre, un médico alemán. Durante su juventud recibió lecciones de medicina de su propio padre y también recibió conocimientos de mineralogía y de química. Estudió medicina de una manera más formal por diversas universidades europeas y accedió al cargo de profesor de la Facultad de Medicina de Basilea. Existe un cuento relatado por Boerhaave según el cual, en su clase inaugural quemó ante los alumnos los libros de Galeno y de Avicena en un caldero de latón, previo agregado de nitrógeno y azufre y al hacerlo expresó sus deseos de que sus autores se hallasen en condiciones análogas a esos ejemplares de sus obras. A raíz de una cuestión que tuvo con un canónigo que se negó a pagarle unos honorarios excesivos por tres pequeñas píldoras que lo curaron de la gota, cayó en desgracia y tuvo que abandonar Basilea, pasando el resto de sus días recorriendo Europa entera. Se dice de él que estaba muy frecuentemente intoxicado y que pasaba mucho tiempo por las tabernas, durmiendo vestido en sus suelos y que dictaba sus obras en estado de embriaguez, lo que sería la mejor explicación del contenido confuso y a menudo contradictorio de la mayoría de sus obras. Según Boerhaave, Paracelso murió en 1541 en una hostería de Salzburgo, denominada “El caballo blanco”, sobre un banco, en el rincón de la chimenea.

Paracelso elogió abundantemente la vida y el trabajo de los químicos "... que preparan medicinas, que no usan ropas elegantes como los médicos, ni tampoco anillos ni cadenas de oro, sino delantales de cuero, y ensucian sus manos con carbón y otras suciedades, trabajan pacientemente en sus laboratorios y no hacen ostentación orgullosa de su destreza, como sucede con los médicos. Dejan de lado esas cosas, se ocupan del trabajo, con sus fuegos, y se instruyen en las operaciones básicas de la alquimia, que son: destilación, solución, putrefacción, extracción, calcinación, reverberación, sublimación, fijación, separación, reducción, coagulación, tinción y otras análogas".

A continuación presentamos algunos rasgos que pueden encontrarse en las obras de los iatroquímicos:

1.- Muchas de ellas tienen **aspectos comunes** con las elaboraciones anteriores. A pesar de que los iatroquímicos quieran marcar **diferencias** con sus antecesores. Ya hemos comentado la quema de libros protagonizada por Paracelso. A pesar de lo cual no dudaba en admitir la existencia de los cuatro elementos, aunque afirmaba que su presencia en los cuerpos era bajo la forma de tres principios: el azufre y el mercurio (recogidos del mundo de la alquimia) a los que añadía la sal. Más tarde volveremos sobre esto. Otro ejemplo de intento de ruptura con el pensamiento anterior es la siguiente declaración de Van Helmont: Frente a las concepciones alquimistas que adjudicaban a las posiciones astrales un importante papel en el devenir de los metales y de la vida material (también humana) en general, Van Helmont afirmaba: "Los astros no se inclinan por vocación alguna, y tampoco su comportamiento viene determinado por vicios ni virtudes. Y ni nuestra vida ni nuestra fortuna no dependen en absoluto de ellos"⁵.

2.- La **analogía** como método: No es que el cuerpo esté sometido a las directrices de los astros. Tampoco es que el cuerpo y los astros deban estar sometidos a la misma fatalidad. Frente a la jerarquización en el universo físico, con unos entes sometidos a los designios de otros, Paracelso afirma la homogeneidad del Universo en todas sus partes y, en consecuencia, la analogía entre cada uno de los elementos presentes en ese Universo homogéneo. De ahí la analogía entre un cuerpo (al que en ocasiones es necesario restituirle la armonía perdida) y el cosmos. El corazón es semejante al Sol; la cabeza a la Luna; el hígado a Mercurio; el pulmón a Júpiter; el bazo a Saturno, los riñones a Venus, y la hiel a Marte. Pero siguiendo con las analogías (ninguna de ellas justificada), los iatroquímicos establecen relaciones (como ya lo habían hecho los alquimistas anteriores) entre los planetas y los metales: oro - Sol; plata - Luna; mercurio - Mercurio; estaño - Júpiter; plomo - Saturno; cobre - Venus; hierro - Marte. Por tanto, quedan ya establecidas unas analogías entre los metales y las partes del cuerpo humano.

3.- El método de las analogías permitirá contemplar los procesos del **cuerpo humano** como procesos químicos análogos a los que suceden en el mundo material extracorpóreo. Todos los procesos vitales son concebidos como transformaciones

⁵Metzger pág. 167

químicas. Así, la respiración de los seres vivos es comparada con la combustión: El hombre muere, al igual que el fuego, cuando se le acaba el aire. La nueva manera de concebir los procesos vitales llevará a los iatroquímicos a combatir las enfermedades utilizando "medicamentos químicos". Su prescripción vendrá guiada por dos principios: Por un lado, las analogías ya descritas entre partes del cuerpo y los metales. Por otra parte el convencimiento de que "los semejantes atraen a los semejantes"⁶ marcando con él una evidente diferencia con la medicina galénica basada en que "los contrarios curaban a los contrarios" y que por tanto el calor se curaba con frío, la humedad con sequedad, ... Merece una mención especial la utilización del antimonio como sustancia curadora: los derivados del antimonio habían sido considerados como venenosos por la medicina galénica. Los iatroquímicos introducen el antimonio como medicamento. Ello será el origen de una prolongada confrontación con los médicos galenistas quienes en 1566 conseguirán del Parlamento de París que se decreta la prohibición de utilizar medicamentos químicos. La prohibición seguirá vigente hasta 1665 en que, tras una curación del Rey Luis XIV con antimonio, se retira la prohibición.

4.- La idea de **sustancia pura**: si se sabe que el suministro de una determinada poción es beneficiosa para salir de una enfermedad, el iatroquímico se esmerará en identificar aquellos componentes de la poción en los que reside el poder curativo para aislarlos de los demás componentes que, o bien son nocivos o bien inútiles. Así, aún bajo un esquema teórico erróneo, se llega a establecer un concepto que será útil y fértil en adelante: el de sustancia pura o individuo químico. Cada sustancia tiene siempre las mismas propiedades cualitativas y cuantitativas, diferentes a su vez de las cualidades de las demás sustancias.

5.- El método de las analogías será ampliamente utilizado, en muchos ámbitos. Así, hubo quien adjudicó la misma naturaleza al fuego y a la sal: la cocción de un alimento sirve para conservarlo mejor. El mismo efecto tiene la sal sobre los alimentos. Por tanto, el fuego y la sal deben tener la misma naturaleza. Por el mismo principio de las analogías se establece que el mundo sensible es análogo en todos sus puntos al mundo intelectual, del que es una copia con corporeidad. Así, el estudio de la química nos desvelará las verdades religiosas y metafísicas que, en un comienzo, parecían fuera del dominio de la química. De esta manera, la iatroquímica de Paracelso establece contacto con las concepciones que arrancando en Platón, siguen estando presentes en la alquimia de la Edad Media.

6.- Los **principios constituyentes**. No hay unanimidad entre los iatroquímicos sobre cuáles son los principios elementales constituyentes de los sistemas materiales complejos. Pero no hay ninguno que siga manteniendo el mismo discurso de los aristotélicos (fuego - tierra - aire - agua) ni tampoco que siga al pie de la letra las concepciones de la alquimia (dos principios: azufre y mercurio). Comentaremos algunas de las aportaciones más significativas:

⁶H. Metzger insinúa que este principio puede suponer un antecedente de la Ley de Gravitación Universal de Newton (pág. 155).

a.- En **general**: Son muchos los que recogen el legado de los principios de la alquimia, pero incorporando un tercer principio: la sal. Recordemos que para muchos alquimistas el mercurio era el principio volátil, espiritual, maleable. El azufre era el principio duro, activo, caliente. El principio sal, incorporado por los iatroquímicos, era el responsable de la unión de los componentes de un sistema complejo: su presencia impide la descomposición y de ahí deriva su utilidad como conservante. Véase el siguiente texto extraído de la obra de Paracelso⁷:

"Entre todas las substancias, 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.

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."

b.- La existencia de tres principios, aún siendo la idea más sostenida dentro de la iatroquímica, no era compartida por todos. Veamos las opiniones de Van Helmont:

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.

Pero, según Van Helmont, tampoco es posible estar de acuerdo con la doctrina aristotélica de los cuatro elementos: 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. Es el observador mudo de los cambios químicos. La tierra

⁷Metzger pág 348

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. Es muy conocido su experimento con el sauce⁸: Pesó cuidadosamente 200 libras de tierra y plantó en ella un pequeño sauce. Al cabo de tres años el sauce había aumentado considerablemente de peso. Puesto que la tierra seguía pesando 200 libras aproximadamente, 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". Pero 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. Veámoslo con sus propias palabras⁹ "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 térrea".

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 denominaba alcagesto, nombre de abundantes connotaciones alquimistas y árabes. Todos los procesos de disolución consistían -según Van Helmont- 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 nos dice haber dispuesto durante unos cuantos días de un poco de alcagesto en un recipiente, pero no nos narra cómo lo ha conseguido ni qué experimentos ha realizado con él. Pero tampoco nos dice cómo se las ha arreglado para que el disolvente universal no disolviera el material del recipiente.

Pero si el agua es el constituyente único de todos los cuerpos ¿cómo explicar la diversidad de sustancias? Van Helmont aporta dos explicaciones: por una parte, el agua presenta un grado de condensación diferente en cada sustancia. Así, en un trozo de plomo el agua está mucho más condensada que en un trozo de corcho lo que explica las diferentes densidades. Pero por otra parte, si bien el agua es el único constituyente material de los cuerpos, hay además otro constituyente: "Los objetos que nosotros conocemos a través de los sentidos, no son únicamente materiales. Además del principio corporal [el agua], que representa la materia, están formados o especificados por un principio de origen espiritual y que imprime a cada objeto su carácter propio. Estos fermentos especificadores han sido creados por la divinidad y pueden pasar de una sustancia a otra dando lugar a los cambios químicos. El fermento es un ser formal y neutro, que no es ni sustancia ni accidente, que fue creado desde el comienzo del mundo en forma de luz y dispersado en el Universo a fin de provocar todos los fenómenos que allí deben producirse". De este modo Van Helmont estaba abordando un problema central en la historia de la química: ¿cómo explicar la especificidad de cada sustancia?.

⁸ Narrada en Partington pág. 67

⁹ Metzger pág. 172

c.- El dualismo **ácido-alkali**. Como una analogía más con el resto del universo, algunos sectores iatroquímicos contemplaron las reacciones químicas como un combate entre contrarios. Las evidencias de tales combates son las digestiones, fermentaciones, efervescencias, ... Otto Tachenius fue el principal divulgador de la teoría: "De acuerdo con lo que muestra la experiencia, todos los seres sublunares están compuestos de dos cosas: el ácido y el álcali". Inicialmente se había denominado álcali a las cenizas de unas plantas originarias de Asia, concretamente de una región denominada Kali. Las cenizas eran transportadas a Francia (Marsella) para donde se utilizaban para hacer jabón. Posteriormente se extendió la denominación a todas las sustancias que fermentaban con los ácidos de igual manera a como lo hacían aquellas cenizas. De manera que en el contexto de la iatroquímica, álcali significa toda aquella sustancia capaz de enfrentarse con un ácido. Así, dado que la mayor parte de los metales producen efervescencia con los ácidos, no es de extrañar que los metales fueran contemplados como álcalis.

Realmente era tentador reducir toda la variedad de sustancias a dos principios contrarios, que tienden a neutralizarse mutuamente. Era una manera de subrayar la analogía con lo que se observa en otros ámbitos del Universo. No obstante, la nueva teoría no logró imponerse: 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. No obstante, fue un buen intento de construir un sistema globalizador dentro de la química.

7.- **La experimentación:** En los apartados anteriores ha ido quedando recogida la importancia dada por los iatroquímicos a la experimentación como fuente del conocimiento. En experimentos basó Van Helmont sus aseveraciones sobre el agua como constituyente de los vegetales, nos engañó diciendo que había experimentado con el alcahesto, experimentan con ácidos y álcalis, disuelven, ...Si la analogía es el primer paso para la confección de la teoría, comienza a tomar cuerpo la necesidad de la experimentación como constatación, como búsqueda de una correspondencia entre la teoría y la realidad, sin la cual la teoría deja de tener validez. Veremos posteriormente que esa manera de proceder irá extendiéndose a otros campos (la cinemática de Galileo será emblemática) y también adquiriendo un cada vez mayor protagonismo en el hacer del científico.

III.- LA NUEVA QUÍMICA

1.- La teoría corpuscular

Bien entrado el siglo XVII van a ir confluyendo algunos factores que, conjugados, provocarán el nacimiento de una nueva química:

En primer lugar hay que dejar constancia de una insatisfacción con las elaboraciones de la alquimia y aún de la iatroquímica. No se ha conseguido que un sistema apareciera como claro y rotundo. Proliferan afirmaciones bien diferentes y aún opuestas. Pero ninguna de ellas logra explicar la totalidad de los fenómenos que el hombre de ciencia ya tiene al alcance de su observación.

Por otra parte, algunos hombres han vuelto sus ojos hacia las teorías atomistas de la antigüedad. Se han vuelto a leer los textos de Demócrito, Epicuro y Leucipo. Y ha ido calando poco a poco la existencia de una realidad ajena a los sentidos (las partículas o átomos) pero desde la que es posible dar explicación a lo que los sentidos perciben.

El recurso a una realidad inaccesible a los sentidos se ha visto reforzado por la proliferación de microscopios que han ido evidenciando la existencia de una realidad (esporas, células, ...) que, aunque oculta, no por ello deja de ser tan real como la macroscópica.

Por último, recordemos que el hombre culto del siglo XVII tiene unas concepciones con respecto a lo que debe ser el conocimiento de la naturaleza muy diferentes a las predominantes en las épocas anteriores. Tal y como venimos viendo en los últimos capítulos, los objetivos a los que aspira la ciencia y los métodos que utiliza son sustancialmente diferentes a los que han estado presentes a lo largo de la época medieval.

Sin embargo, todos los factores señalados no alumbraron directamente una nueva química. Sirvieron, eso sí, para el surgimiento de unas nuevas ideas sobre la concepción del mundo y sus constituyentes. Pero esas nuevas ideas poco a poco fueron afectando a campos como la medicina, la física y también a la química.

Una de las primeras aportaciones de este nuevo pensamiento es la obra de Gasendi. Intentará en primer lugar establecer que todas las nociones sensibles provienen de la acción de ciertos corpúsculos que excitan nuestros órganos sensoriales. Tales corpúsculos, completamente duros e indeformables, difieren entre ellos en su forma y en su volumen. Son inalterables y absolutamente indivisibles. Al comienzo del mundo, el Creador les dotó del movimiento que los anima perpetuamente. De manera que las diferentes señales que perciben nuestros sentidos son debidas a las diferencias entre las partículas que provocan las sensaciones. Es falso, pues, que cada substancia tenga unas cualidades irreductibles. Cualquier propiedad es el resultado de la acción de unos corpúsculos con una forma, tamaño y movimiento dados.

Para ilustrar mejor los comentarios anteriores, citemos a los científicos Bellini y Leewenhoek que estudiaron escrupulosamente la relación entre los sabores de muchas sales y las formas de sus cristales observados al microscopio. Y citemos también el siguiente comentario aparecido en el *Journal des Savants* a propósito de unos comentarios sobre la obra de Hooke con el microscopio¹⁰:

Uno de los más grandes obstáculos con que ha topado el progreso de la Ciencia Natural ha sido la atención preferente que los antiguos han dedicado al razonamiento, despreciando el conocimiento a través de los sentidos. Han preferido adivinar la mayor parte de las cosas antes que verlas. Sin embargo, puesto que el alma humana sólo adquiere conocimientos a través de los órganos sensoriales, las operaciones de los sentidos son igual de necesarias como las operaciones del espíritu. Debemos tener en cuenta que la sabiduría de Dios está muy por encima de la imaginación del hombre, y que por tanto al hombre le resultará más fácil conocer lo que ha hecho Dios observando con los sentidos su obra que adivinar con el razonamiento lo que Dios ha querido hacer.

La idea de una materia constituida por corpúsculos fue penetrando los ambientes científicos y filosóficos. Pero el grado de acuerdo no era total en todos los ambientes. Las hipótesis que se apuntaban no contemplaban los mismos postulados. Descartes establecía una identificación entre materia y espacio: todo el espacio está ocupado por materia. No existe el vacío. Veamos con algo de detalle la hipótesis cartesiana sobre la constitución de la materia, tal y como la recoge un profesor de física contemporáneo de Descartes¹¹:

Descartes supone que al comienzo del mundo Dios creó una cantidad determinada de materia y la dividió en partículas duras y cúbicas, disponiéndolas apiladas una junto a la otra, cara con cara, sin dejar intersticio alguno. A continuación, Dios comunicó a tales partículas dos movimientos: uno alrededor de su propio centro y otro alrededor del centro común. Tras admitir estas dos suposiciones, Descartes razona de la siguiente manera: tras recibir los movimientos, las esferas estrechamente apiladas una contra otra se han visto obligadas a romper sus vértices para poder realizar los giros impuestos por sus movimientos. El rozamiento mutuo las ha ido transformando en fragmentos esféricos. Los fragmentos desiguales desligados de los vértices han constituido la "materia sutil" o primer elemento, que es como el alma del mundo. Los cubos transformados en pequeños globos esféricos constituirán la materia globular que será el

¹⁰Metzger pág. 235

¹¹Metzger pág 238

segundo elemento. Por último, las piezas más gruesas, los fragmentos más pesados de los ángulos rotos constituirán la materia irregular que será la formadora del tercer elemento. Estos tres elementos, continua diciendo Descartes, no tardaron en separarse. El tercero, más pesado, fue el que más se alejó del centro de su movimiento para acabar siendo la materia que constituye los cuerpos opacos. Los ligeros fragmentos de la materia sutil se alinearon en torno al centro formando el Sol. La materia globular del segundo elemento, cuya masa es intermedia entre la del ligero primero y la del pesado tercero, se ha quedado llenando el espacio intermedio proporcionándonos el extraordinario espectáculo de la luz..

Desde tal hipótesis se conseguía dar explicación a la existencia de los fenómenos astronómicos y terrestres, la formación de los metales, de los minerales, de los seres vivos, Las partículas constituyentes eran susceptibles de sufrir posteriores modificaciones, análogas a las que ya habían sufrido en los primeros instantes de su movimiento. Por ello, ningún cartesiano negaba posibilidades a la transmutación de una sustancia en otra.

Frente a los cartesianos, los atomistas concebían unos átomos moviéndose libremente en el espacio pues entre dos átomos vecinos no hay más que vacío. Concibiendo las partículas como inmutables, se negaban a admitir la transmutación tal y como la habían sostenido los alquimistas. Los únicos cambios químicos que eran compatibles con su hipótesis eran los debidos a diferentes agrupamientos de las partículas, siempre inalteradas.

A pesar de las diferencias entre unos y otros, una intención es común a todos ellos: llegar a explicar el mundo visible a partir de las características de las partículas invisibles que constituyen el mundo material, aplicándoles las leyes de la mecánica. Y ello sin tener que recurrir, como había hecho la vieja química, a acciones de principios inmatrimiales, a cualidades ocultas, a correspondencias astrológicas, a simpatías, a atracciones, a analogías, ...

De esta manera pudo elaborarse una ciencia que era fácil de comunicar y de divulgar. De repente la química se había vuelto inteligible para el no científico. Y las personas curiosas tenían acceso a disertaciones, experimentos y explicaciones que hasta entonces habían permanecido ocultos en los laboratorios. El químico francés Lemery escribe¹²:

"La afluencia de gente era tan grande [a las demostraciones y charlas] que tan apenas había sitio suficiente para realizar las operaciones. Incluso las damas tenían la audacia suficiente como para venir a las asambleas [de ciencia]"

¹²Metzger pág 248

La diferencia entre la nueva química y la vieja química queda bien patente en el siguiente texto escrito por el Secretario de la Academie des Sciences¹³:

No hace mucho tiempo que todos los razonamientos de la química no eran sino ficciones poéticas, vivas, animadas, agradables a la imaginación, ininteligibles e insoportables a la razón. La sana filosofía ha intentado reducir esta química, misteriosa y orgullosa de su oscuridad, a la simple mecánica corpuscular.

2.- La filosofía mecánica llega a la química

Poco a poco, entre los estudiosos de los fenómenos químicos se fue implantando una manera mecánica de contemplar la materia y de explicar su comportamiento químico. El mecanicismo, que acabaría explicando el orden en los cielos y la periodicidad de las mareas, también debería servir para explicar el comportamiento de los ácidos y la naturaleza de las combustiones. La filosofía mecánica contemplaba la constitución y el comportamiento químico de la materia desde las siguientes bases:

1.- La materia está formada por corpúsculos. Se retoman aspectos centrales del atomismo antiguo. Recordemos sus figuras más importantes: Leucipo (480 aC), Demócrito (460 aC), Epicuro (300 aC), Lucrecio (98 dC).

2.- Los corpúsculos constituyentes de cualquier sistema material están dotados de unas propiedades primarias: tamaño, forma y movimiento.

3.- Los corpúsculos de todas las sustancias están hechos con el mismo material. Las diferencias que se aprecian entre unas sustancias y otras se podrán explicar recurriendo tan solo al tamaño, forma y movimiento de sus partículas.

4.- Cualquiera de las propiedades macroscópicas que presenta un sistema material (densidad, reactividad, puntos de fusión, solubilidad, ...) debe poder explicarse desde las cualidades primarias de sus corpúsculos constituyentes¹⁴.

Desde las bases anteriores, la filosofía mecánica fue penetrando poco a poco los ámbitos científicos. Su avance estuvo asentado en dos virtudes: Por una parte, su sencillez estructural y su potencia explicativa. En efecto, lograba dar explicación a toda la diversidad de fenómenos admitiendo solamente la existencia de dos principios: materia y movimiento. La otra virtud radicaba en el método: la filosofía mecánica se

¹³Metzger pág 250

¹⁴En este sentido se ha afirmado que la filosofía mecánica practicó un temprano "reduccionismo físico"..

presentaba como una actividad experimental y no como una hipótesis propia del mundo de la metafísica. Aunque esa base experimental era engañosa pues nadie podía haberla visto jamás los corpúsculos ni había podido experimentar con ellos. Pero todo el discurso giraba en torno a su forma, su tamaño y su movimiento. Y los hombres estaban bien familiarizados con esos aspectos por poderlos apreciar en los cuerpos accesibles a los sentidos. Incluso se podían hacer mediciones y describir su comportamiento con lenguaje matemático. Aunque los corpúsculos no se hubieran observado todavía, se tenía el convencimiento de que cuando el hombre dispusiera de los instrumentos adecuados (microscopios potentes, ...) podría verificar experimentalmente su existencia. En ese sentido, aunque la existencia de los corpúsculos hubiera de presentarse de momento como mera hipótesis, se consideraba que el modelo tenía una fuerte componente experimental.

La figura central de la química en esta época fue el químico inglés Robert Boyle. Se trataba de un experto experimentador con una insaciable actividad en trabajos de laboratorio. Entre otras cosas había investigado la ley de la compresibilidad de los gases, introdujo el uso del nitrato de plata para caracterizar los cloruros, el amoníaco gaseoso para caracterizar el gas clorhídrico. Dejó establecido el uso de colorantes para la diferenciación de un ácido de una base.... había instaurado o modificado un buen número de procedimientos e instrumentos de medida, ... Pero como dice Bernard VIDAL¹⁵ "Boyle supo rebasar el nivel de la experimentación de laboratorio para impulsar una reflexión racional sobre la interpretación de los fenómenos químicos". Conforme avanzaba la experimentación, iba perfilándose un modelo teórico al que referir los resultados observados. De todos los químicos contemporáneos, será sobre todo Boyle¹⁶ quien tratará de articular los resultados experimentales en unos enunciados generales sobre la naturaleza y el comportamiento de la materia. Pero no será el único

Estudiaremos las aportaciones de la filosofía mecánica en el ámbito de la química en tres apartados:

2.1.- Jerarquización de las sustancias: La noción de elemento químico.

El modelo aristotélico para explicar la naturaleza de la materia estaba basado en la idea de elemento: los cuatro elementos estaban presentes en cualquier sistema material, cambiando únicamente la proporción en que aparecían cada uno de los cuatro de unas sustancias a otras. Boyle alega que la experimentación está en contra de tales concepciones: en el oro no hay fuego y en la sangre hay mucho más de cuatro componentes. Si el oro está constituido por tierra ¿cómo explicar que el oro sea mucho

¹⁵ Bernard VIDAL página 35

¹⁶ Su obra más importante en este sentido se titula *El químico escéptico*

más denso que la tierra? También el modelo iatroquímico se muestra insuficiente: nadie ha conseguido mostrar que en el oro hay azufre ni mercurio. Por otra parte ¿qué es un principio? ¿se trata de sustancias? ¿o se trata más bien de un conglomerado de propiedades? Las ambigüedades que habían dejado abiertas los iatroquímicos son evidenciadas por Boyle para así dejar patente la insuficiencia de la química anterior para dar explicaciones convincentes y claras.

Se pregunta Boyle cuántos elementos es necesario admitir para explicar la diversidad de sustancias existentes. No son los cuatro de los peripatéticos ni los tres de los iatroquímicos. ¿Acaso será solamente uno, como ha señalado Van Helmont?

Pero antes de contestar tales cuestiones, Boyle se preguntará abiertamente por el concepto de elemento. Experimentalmente, la única certeza es la existencia de unos cuerpos mixtos que pueden descomponerse en otros más sencillos, utilizando varios procedimientos: el fuego, la disolución en ácido, la disolución en agua, otras reacciones químicas, ... Pero a partir de esos hechos surgen muchos interrogantes:

a.- Los cuerpos simples en los que se resuelve un cuerpo mixto ¿preexistían en el cuerpo mixto? ¿O por el contrario se han formado al aplicarle al mixto algunos de los procedimientos de análisis?

b.- La descomposición de un mixto utilizando varios procedimientos diferentes ¿dará en todos los casos el mismo resultado?

c.- ¿Qué puede hacerse si un cuerpo no puede descomponerse en ningún otro más sencillo por los procedimientos conocidos? ¿Cabe incrementar indefinidamente la lista de cuerpos simples?

Boyle intenta contestar a las preguntas anteriores, pero no logra cerrar rotundamente ninguna de ellas. Llega a insinuar que un cuerpo simple es aquel que no es resoluble en otros más sencillos por ninguno de los procedimientos conocidos. Algunos ven en esa idea un antecedente del concepto de elemento que Lavoisier dejará establecido más de cien años más tarde. Pero a pesar de ello, no queda nada claro que Boyle conciba la existencia de elementos químicos como sustancias químicas, no descomponibles, estables, diferenciados de los demás elementos, constituyentes de los cuerpos mixtos.

Más bien, en el pensamiento de Boyle parece haber la idea de una sola materia elemental (que no tiene por qué ser el agua como había dicho Van Helmont) cuyas partículas pueden ir modificando su forma, su tamaño o su movimiento, dando así lugar a la diversidad de sustancias existentes. Así, en contra de lo que se ha dicho en otras

ocasiones, no es Boyle el primer químico en dejar establecido el actual concepto de elemento químico.

Otra aportación interesante a la noción de principio o elemento es la del químico francés Lemèry. Su maestro, Lefèvre, había sido un iatroquímico que en su momento había sido partidario de la existencia de cinco principios en los que cualquier cuerpo mixto puede resolverse. Tres de ellos eran activos, responsables de propiedades: el principio espiritual o mercurio, el principio oleoso o azufre, el principio de la unión o sal. Los otros dos eran pasivos o atenuadores de las propiedades: la tierra, que los convierte en sólidos y el agua que detiene la vivacidad de los espíritus.

Lemery asume la doctrina de su maestro pero añadiendo ciertas cautelas. Puesto que toda afirmación debe venir sustentada en experimentación, Lemery confiesa que es evidente la presencia de los cinco principios en la materia vegetal y animal. En efecto, cualquier destilación fraccionada de materia orgánica proporciona esencias volátiles o combustibles que pueden ser llamadas espíritus o mercurios y aceites o azufres. También se desprenderá el vapor de agua. En el residuo sólido quedarán la sal soluble que no se ha podido evaporar y la tierra insoluble. Pero otra cosa bien distinta es lo que sucede con los metales.¹⁷

"Jamás nadie ha extraído ninguna sustancia del oro, ni del mercurio, ni de la plata. No quiero seguir el proceder de otros científicos que intentan explicar las propiedades de cada uno de los metales argumentando la mayor o menor presencia en ellos de alguno de los cinco principios. Me he contentado con describir lo que se conoce de cada uno de los metales, pues creo que vale más decir pocas cosas pero que puedan ser probadas que dar grandes ideas de cosas que están bajo la duda"

Así, al hablar de los metales, Lemery no recurre a la existencia de los principios en ninguno de ellos. Intentará explicar las diferentes propiedades de cada metal acudiendo a la forma de las partículas constituyentes. Así, dice que, puesto que cuando se intenta fragmentar el mercurio se forman bolitas, es evidente que las partículas de mercurio deben ser de forma esférica. La gran densidad del mercurio puede explicarse admitiendo que la materia que constituye cada una de las esferitas está muy compactada en su interior. Puesto que no puede resolver los metales en principios más simples, Lemèry considera el corpúsculo metálico como un ser primitivo y lo utiliza para dar las explicaciones de los fenómenos observados. La única diferencia entre un metal y otro radica en las circunstancias que acompañaron su formación pero no se trata de

¹⁷Metzger pág 315

ninguna diferencia esencial. Todos ellos constituyen para nosotros especies irreductibles que de ninguna manera pueden ser presentadas como formadas por algunos de los cinco principios. De esta manera, el sistema de los cinco principios, aunque no haya sido definitivamente destruido, ha perdido su papel central dentro de la química pues un buen número de sustancias (todos los metales y gran parte de las sustancias minerales) quedan fuera de su radio acción.

La oposición a la vieja química tampoco fue tan total ni tan rotunda ni tan instantánea. Siguieron persistiendo muchas de las viejas concepciones, incluso entre los nuevos químicos. Pero es necesario hacer notar que su trabajo experimental, aunque fuera dentro de un marco teórico confuso y ya superado, fue de una gran calidad y de un gran interés para hacer avanzar las concepciones químicas hacia ideas más modernas. Veamos como ejemplo los trabajos desarrollados por los químicos franceses Homberg y Geoffroy sobre la composición y descomposición del azufre y del hierro.

Homberg intentó descomponer ese polvo amarillo que nosotros conocemos como azufre. He aquí un resumen del comunicado a la Academia de las Ciencias:

El azufre común es un mixto y por tanto no se trata de un principio. Es muy difícil hacerle el análisis pues los principios de los que está compuesto son muy volátiles y están muy bien unidos entre ellos. Cuando se les intenta separar calentándolos, casi siempre se "elevan" todos juntos sin desunirse. En otras ocasiones se separan pero se volatilizan tan rápidamente que es imposible recogerlos. Sin embargo, M. Homberg ha encontrado el método de separarlos y conservarlos largo tiempo. Así ha podido dejar establecido que el azufre común está constituido por una sal ácida, una tierra, una materia grasa bituminosa y, ordinariamente, también un metal.

La manera de proceder de M. Homberg había consistido en hacer reaccionar el azufre con diversos cuerpos, muchos de ellos orgánicos. En algunas de tales reacciones detectó como resultado un ácido con características similares al vitriólico (ác. sulfúrico). En otras reacciones (por ejemplo, con aceite de terebentina) obtuvo una materia grasa bituminosa, que cuando se enfriaba tomaba la consistencia de una goma. "y este sería el principio azufre" - dice Homberg - "en el que radica la propiedad de la combustibilidad del azufre común".

El éxito tenido por Homberg en la descomposición del azufre suscitó el tema de su síntesis a partir de los componentes. Geoffroy abordó el tema pues, como él mismo

dice,

... jamás se puede estar seguro de haber descompuesto un mixto en sus principios constituyentes, hasta que, con los mismos principios se puede recomponer. Este restablecimiento no siempre es posible. Y cuando no lo es, no debe interpretarse como una prueba de la falsedad del análisis. Pero cuando el restablecimiento es posible, es una prueba irrefutable de que el análisis era el correcto.

Geofroy dijo haber tenido éxito en la síntesis del azufre a partir de los constituyentes que Homberg había anunciado. Pero intentó también la síntesis utilizando sustancias semejantes. Concretamente, en lugar de ácido vitriólico (o una sal de ese ácido), se propuso utilizar sales de otros ácidos: del ácido marino (cloruro de hidrógeno), o del nitro (ácido nítrico). Pero con estas sales fué imposible la síntesis del azufre, mientras que con sales derivadas del ácido vitriólico la síntesis era siempre exitosa. Hasta entonces se pensaba que todas las sustancias que presentaban características ácidas tenían la misma naturaleza y que por tanto eran interconvertibles entre ellas. A raíz de su fracaso, Geofroy comenzó a sospechar que el ácido vitriólico debía tener una naturaleza diferente a la de los demás ácidos. Fue un paso más de cara a consolidar la idea de individuo químico, de especie química diferente a las demás.

El propio Geofroy pretendió extender su método de síntesis e intentar las de otros metales. El siguiente objetivo fue la síntesis del hierro. Y aún llega a declarar en algún artículo haber obtenido "... un polvo negro, pesado, parecido al hierro y que es atraído por un imán", a partir de unos aceites, unas sales y unas plantas. Ello provocó no pocas discusiones con sus contemporáneos, algunos de los cuales argumentaban la preexistencia del hierro en alguno de los "componentes" utilizados.

Una manera bastante diferente de entender la constitución de la materia es la aportada por Hartsoeker¹⁸. Se autoproclama seguidor de Descartes pero pretende introducir algunas correcciones en el pensamieto del Gran Filósofo: Había deicho Descartes que la única propiedad de la materia es la extensión. Hartsoeker considerará que es necesario introducir otras cualidades además de la extensión. Por otra parte, Descartes había supuesto que toda la materia era de una homogeneidad perfecta. Hartsoeker considerará que para poder explicar todos los fenómenos observados es necesario admitir la existencia de dos elementos irreductibles:

Uno de ellos es una sustancia perfectamente fluida, siempre en movimiento, de la que no se puede separar por completo

¹⁸H. Metzger pág. 434

ninguna parte del todo. El otro elemento está constituido por pequeños cuerpos diferentes en tamaño u forma, perfectamente duros e inalterables que nadan confusamente en el gran fluido, juntándose y formando los diferentes cuerpos sensibles.

Las diferencias de forma entre los átomos de este segundo elemento son la única causa de las diferentes propiedades que presentan los cuerpos. Las características que Hartsoeker atribuye a los átomos de este segundo elemento son muy importantes: indivisibles e inalterables. Ello significa que los átomos de una sustancia seguirán siendo eternamente átomos de esa sustancia. Queda negada por tanto la posibilidad de la transmutación, posibilidad que estaba presente en el pensamiento y en la obra de otros autores como Boyle, Van Helmont, ... Pero también queda insinuado el concepto de elemento químico al modo que más tarde lo entenderá y explicará Lavoisier. Es interesante el debate sostenido sobre la indivisibilidad de los átomos entre Hartsoeker y Leibnitz. He aquí un fragmento de una carta dirigida por Leibnitz a Hartsoeker¹⁹:

Usted dice que sus átomos no están constituidos por partes separables. Pero es posible concebir que un átomo A tiene dos partes, B y C. Otro átomo D puede incidir contra el átomo A sin tocar directamente contra la parte B de manera que se llevaría con él a la parte C y dejaría allí a la parte B, habiendo así dividido el átomo A [que de esta manera queda demostrado que no es tan indivisible]

Hartsoeker contestó a Leibnitz afirmando que si el átomo D iba contra la parte C, no la podría separar de la parte B aunque su velocidad fuera ...

"cien mil millones de veces la velocidad de una bala de cañón, porque ello iría contra la voluntad de Dios que ha querido que los cuerpos que se llaman átomos fuesen de una dureza perfecta e invencible"

Leibnitz no se dio por satisfecho con la explicación:

"Rechazar esta hipótesis [la posibilidad de que una parte del átomo A sea arrastrada por otro átomo D] es invocar un milagro, una voluntad de Dios que se ejercería arbitrariamente sin que haya sido posible descubrir a tal voluntad una razón suficiente en la naturaleza misma de las cosas"

¹⁹Metzger pág 436

2.2.- Los corpúsculos.

Las sustancias que manipulamos están constituidas por corpúsculos. Entre ellos hay vacío (se ha descubierto a mediados del siglo la bomba de vacío²⁰ y ya no queda ninguna duda de que el vacío existe). Boyle afirmará que todos los corpúsculos de todas las sustancias están hechos de la misma materia. Todos los sistemas materiales están formados de una única clase de materia. La materia que constituye los corpúsculos de hierro es idéntica a la materia que constituye los corpúsculos de agua.

Todos los corpúsculos de una misma sustancia tienen igual forma, tamaño y movimiento. Corpúsculos de sustancias diferentes tienen diferente alguna de las cualidades tamaño, forma o movimiento. Los corpúsculos de hierro son diferentes de los de agua en forma, tamaño o en movimiento.

Los corpúsculos deben entenderse como parte más elemental de una sustancia determinada. Pero en ningún momento Boyle postula su indivisibilidad. No cabe hablar por tanto de átomos, aunque es evidente que el mecanicismo de Boyle supone un regreso a los postulados atomistas iniciados en Grecia (Leucipo (480 ac); Demócrito (460 aC); Epicuro (300 aC); Lucrecio (98 aC)). Pero no cabe hablar de átomos.

Los corpúsculos de algunas sustancias (cuerpos mixtos) son divisibles en otros corpúsculos más sencillos, lo que explica que algunas sustancias se puedan resolver en otras más sencillas.

El químico no puede en ningún momento asegurar que un corpúsculo ya no puede ser descompuesto en corpúsculos más sencillos. O dicho de otro modo, que una sustancia ya no puede ser descompuesta en otras más elementales. No cabe, por tanto, hablar de elementos: ni en el sentido aristotélico (no descomponibles y presentes todos ellos en todas las sustancias) ni en el sentido actual (no descomponibles). No obstante, Boyle reconoce que determinadas agrupaciones de corpúsculos son especialmente estables, apareciendo con suma facilidad en la descomposición de los cuerpos mixtos, y que son difícilmente destruibles. Así sucede con los corpúsculos de hierro, de estaño, de cobre, ... Boyle les asigna el nombre de CUERPOS SIMPLES. Sus partículas constituyentes no tienen por qué ser indivisibles (por lo que no se denominarán

²⁰ El primero en utilizar una bomba de vacío fue Otto von Guericke. En 1654 preparó dos semiesferas de metal que encajaban mediante un reborde engrasado. Después de unir las dos semiesferas y extraer el aire que contenían mediante una bomba, la presión del aire exterior las mantenía tan unidas que cuatro caballos no eran capaces de separarlas. En cambio, tras permitir la entrada del aire, fueron separadas sin esfuerzo.

átomos) ni inmutables (por lo que no está negada la transmutación que proclamaba la alquimia) aunque sí reconoce Boyle que son partículas especialmente estables.

2.3.- Las explicaciones dadas a los fenómenos químicos.

El programa que debe seguir el químico es tratar de explicar cualidades secundarias (reacciones químicas, afinidad, combustión, reaccionabilidad, fijeza) desde las cualidades primarias (forma -tamaño - movimiento). Las cualidades secundarias no constituyen sino el nivel apariencial. El nivel real está constituido por las cualidades primarias de tamaño, forma y movimiento.

a.- Los ácidos

Son interesantes algunas explicaciones aportadas por Lemèry²¹:

La mejor manera de explicar la naturaleza de una sustancia, por ejemplo de una sal, es atribuyendo a los corpúsculos que la componen formas desde que la poder justificar el comportamiento de la sustancia. La acidez de un licor consiste en que sus partículas son puntiagudas y están en estado de permanente agitación. Es evidente que las partículas de los ácidos tienen puntas. No hace falta más que probarlos para caer en la cuenta de que provocan en la lengua los mismos picores que provoca cualquier otra materia cortada en partículas puntiagudas y finas. Pero además, todas las sales que cristalizan lo hacen en forma de partículas que tienen puntas y aristas, al igual que los metales cuando son disueltos por los ácidos y luego cristalizan. ... Estas puntas pueden tener diferente forma y aspecto según sea el ácido. Estas diferencias en la sutilidad de las puntas explica que un ácido disuelva bien un mixto que otro ácido no ha podido rarificar: así el vinagre se impregna bien de plomo que el agua fuerte no ha podido disolver....

Los álcalis están constituidos por partículas huecas y porosas. Los poros tienen la forma y el tamaño adecuados para que en ellos puedan entrar las puntas de las partículas de los ácidos... El ácido y el álcali se destruyen mutuamente en su combate. Cuando poco a poco se vierte sobre un álcali tanto ácido como sea necesario para penetrar todas sus partículas, ya no tendréis álcali por que ya no habrá poros dispuestos como había antes; y el ácido quebra sus puntas de manera

²¹Metzger pág 294

que cuando se le retira, ha perdido toda su acidez y no mantiene más que una cierta aspereza.

b.- Las reacciones químicas

Desde el modelo corpuscularista, todos los cambios químicos se explican a partir de una modificación de la forma, del tamaño o del movimiento de las partículas. Esas modificaciones pueden ser debidas a múltiples causas: segregación de fragmentos, reagrupamientos de porciones, reuniones de fragmentos, ... Habrá diferentes matices según se considere que los corpúsculos últimos de cada sustancia son divisibles o indivisibles.

c.- El fuego y la combustión

El fuego es un gran protagonista en el laboratorio químico. Casi todas las operaciones que hace el químico requieren el concurso del fuego. Pero ¿qué es el fuego? Desde Aristóteles se venía arrastrando la idea de que el fuego tiene una cierta corporeidad. Si se trataba de un elemento constituyente de los cuerpos mixtos, él mismo debía tener una naturaleza material. Se habían dejado establecidas las características de ese cuerpo: es ligero, tiende a ascender, es luminoso, ... Pero el fuego es inestable. Se inicia y se extingue. Donde antes había fuego, al cabo de un tiempo ya no lo hay sin que pueda decirse que se ha movido ni cambiado de posición. En el siglo XVII se comienza a pensar que se trata más bien de un fenómeno pasajero. Van Helmont es de los primeros en afirmar que el fuego no es una sustancia ni un cuerpo, sino un fenómeno efímero. La idea es rápidamente tomada por los partidarios de la filosofía mecánica, que comienzan a considerar el fuego como una manifestación de la agitación corpuscular y que conlleva aparejados otros fenómenos perceptibles por los sentidos como el calor y la luz.

Lo que sí fue motivo de controversia fue el papel del aire en las combustiones. Se había observado que, para que ardiera una sustancia combustible, era imprescindible la presencia de aire. También el aire era imprescindible para la respiración de los animales. Boyle sugirió un paralelismo de la combustión y de la respiración. Pero al aire no se le adjudicaba ningún protagonismo químico. Se pensaba que su acción sobre los cuerpos es solamente mecánica. Malebranche sugirió que las partículas de aire tienen una forma adecuada para agitar y contribuir al movimiento de las partículas de los cuerpos combustibles, que son los verdaderos agentes del fuego.

Hubo otras muchas aportaciones al tema del fuego, las combustiones y el papel del aire. No escapó a la controversia el hecho de que si bien el aire es imprescindible para la combustión, la pólvora de los cañones arde sin aire, aunque en presencia de nitro

(nitrato potásico).

d.- La calcinación.

En términos generales, deberemos entender por calcinación las transformaciones sufridas por algunas sustancias cuando son sometidas a la acción del fuego o de un calor muy intenso. El tema que atrajo la atención de los químicos fue algo más concreto: la calcinación de los metales, es decir, la formación de óxidos metálicos al calentar un metal en presencia de aire..

En las calcinaciones de los metales hay cuatro aspectos principales que atraerán la atención de los químicos a lo largo de los siglos XVII y XVIII:

- 1.- Las sustancias que se forman tienen propiedades bien diferentes a los metales iniciales.
- 2.- La calcinación requiere aire. En ausencia de aire, el metal no sufre transformación alguna aunque sea sometido a un intensísimo calor.
- 3.- La calcinación requiere gran aporte de calor o, mejor, aplicación directa de una llama.
- 4.- En las calcinaciones de metales, la sustancia formada pesa más que el metal inicial.

En el caso del magnesio se forma una vivísima llama pero en el caso del plomo, estaño, ... no se ve la formación de llama ni tampoco la emisión de humos. No es de extrañar, por tanto, que en el siglo XVII la calcinación no se considerara como fenómeno equivalente a la combustión. Visualmente, las diferencias son tan evidentes que se consideran fenómenos bien diferentes

La mayor parte de los químicos del siglo XVII ven la calcinación como una disgregación, una operación que consiste en pulverizar diferentes cuerpos por la acción del fuego. La consideran como una operación similar a la precipitación, la molienda, la disolución, ... El fuego logra separar porciones unidas hasta entonces. Los corpúsculos resultantes, por tener diferente forma y tamaño, conforman una sustancia que presentará propiedades diferentes a las del metal inicial.

Pero el modelo anterior deja sin explicación el requerimiento de aire y el mayor peso de la cal metálica formada con relación al metal inicial. Ese aumento de peso provocó alguna sorpresa entre los químicos. La explicación dada desde el corpuscularismo hablaba de cambios en la forma y en el tamaño de los corpúsculos, pero un aumento de peso, es decir, un aumento de materia, no encajaba en la explicación. Pero fueron pocos quienes dieron al fenómeno la importancia que merecía. Habrá que esperar al siglo XVIII para que la química se ocupe en profundidad del aumento de peso en las calcinaciones metálicas.

No obstante, en el siglo XVII surgieron algunos intentos de explicar el hecho de que la

cal formada pese más que el metal. Un ejemplo de explicación²² del aumento de peso utilizaba el paralelismo, ya visto en pasajes anteriores, entre la vida animal y la vida mineral. Cuando un ser vivo muere, su alma (con peso negativo, por eso asciende) sale del cuerpo. El cuerpo, desprovisto del alma que lo aligeraba, termina pesando más. Lo mismo les sucede a los metales calcinados: cuando el metal se somete al fuego, muere. Su alma sale de él y lo que queda, que será el metal sin su alma, pesa más que el metal inicial.

Esta manera de explicar el aumento de peso no fue general. Normalmente se aceptaba que si el metal había aumentado de peso era por que sus partículas habían incorporado algo que inicialmente no estaba. Pero no todos estaban de acuerdo en la naturaleza de la sustancia incorporada a las partículas del metal. Unos dijeron que se trataba del hollín que desprendía el carbón productor del fuego, otros creyeron que era la materia del recipiente donde se realizaba la operación, otros afirmaban que eran los vapores del carbón, ...

Otra interpretación afirmaba que las partículas del metal eran huecas y porosas, como las de los álcalis. Por ello, al quemar madera, los ácidos volátiles de la madera penetraban en los poros de las partículas metálicas separándolas y quedando atrapadas en ellos, como una auténtica neutralización ácido - base. Pero esta interpretación no tuvo mucha influencia: no conseguía explicar la calcinación hecha con carbón, poco sospechoso de emitir sustancias ácidas en su combustión como hace la madera.

Entre todas las opiniones emitidas, la de Robert Boyle adquirió algo más de éxito: consideraba, en contra de la tesis de Descartes, que la luz era de naturaleza corpuscular. La llama está constituida por los corpúsculos de luz que desprende el fuego. Pero sus partículas son tan finas que pueden atravesar las paredes de los recipientes que contienen a los metales en su calcinación. Cuando las partículas de la luz de la llama llegan al metal, separan las partículas metálicas para irse adhiriendo a ellas. El resultado será un polvo más pesado que el metal inicial.

Homberg dice algo parecido: la luz es una materia que cuando se condensa equivale al principio azufre del que tanto habían hablado los alquimistas y los iatroquímicos. Las sustancias orgánicas tienen mucho principio azufre en su composición. Cuando arden, el azufre sale de ellas en forma de pequeñas partículas puntiagudas, a modo de minúsculas flechas, que se irán adhiriendo a las partículas metálicas. Veamos cómo nos narra la oxidación del mercurio:

[Ya sabemos que las partículas que constituyen el mercurio son esferas, como lo prueba el hecho de que cuando se deposita un poco de mercurio sobre una superficie dura rápidamente se forman bolitas]. *"Las partes de mercurio, que han llegado a adquirir forma erizada por la adhesión de las partículas de la luz, podemos imaginarlas como castañas cubiertas por sus*

²²Metzger, pag 375

caparazones puntiagudos. Así es como se sujetan las unas a las otras para no caer por un plano inclinado como sucederá si fueran esferas pulidas de mercurio puro. Es por eso que en este estado, el mercurio ya no es un fluido sino que es un polvo rojo formado por aglomeraciones irregulares de partículas erizadas, similares a las agrupaciones que formarían las castañas si se las apretara unas contra otras"

El convencimiento de que la calcinación es la obra de las partículas del fuego interponiéndose entre las del metal les lleva a asociar la fusión y la calcinación. Es decir, a considerar como fenómenos del mismo orden un proceso físico y un proceso químico. Veamos el texto que Louis Lemèry presentó a la Academia de las Ciencias de París:

La materia del fuego no solo es una sustancia corporal, sino que es el principal y más potente disolvente de los cuerpos terrestres. No tenemos ningún agente que penetre tan profundamente y que desuna tan perfectamente las partículas esenciales. No se puede negar que el fuego es el verdadero principio de la luz y del calor. Pero también de la fluidez o de la fusión, pues sin la presencia del fuego todos los cuerpos conservarían permanentemente su forma sólida. Pero cuando el fuego no es muy abundante, o no encuentra muchas facilidades para penetrar en el cuerpo sólido, en lugar de fundirlo, se inmiscuye entre sus partes de manera que acaba siendo aprisionado por las partículas del cuerpo [lo que constituye la calcinación] de manera que no podrá salir hasta que una causa ajena venga en su auxilio y abra desde fuera las células que lo retienen"

Pero el propio Lemèry señala una dificultad para poder aceptar su teoría: si un cuerpo calcinado contiene materia de fuego ¿por qué las cales metálicas no son combustibles? Él mismo se contesta: es posible que la cantidad de materia de fuego encerrada dentro de un cuerpo calcinado sea escasa, o en cualquier caso insuficiente para vencer la presión del aire exterior, de manera que su salida es imposible, o en cantidades no lo suficientemente grandes como para poder ser apreciadas con la vista.

Observemos que en estos casos la calcinación es considerada el fenómeno justamente contrario a la combustión: en la combustión un cuerpo se desprende del principio azufre, o de la materia de la luz, o de la materia del fuego. En la calcinación, sin embargo, un cuerpo adquiere esa materia que se ha desprendido en la combustión. Lejos estaban los científicos del XVII de sospechar que la combustión y la calcinación son en realidad el mismo fenómeno químico.

Una hipótesis bien diferente fue propuesta por Jean Rey. En aquel momento pasó desapercibida pero veremos que coincidía con la que algunos años más tarde propondrá Lavoisier: el aumento de peso que experimentan los metales en su

calcinación es debido a la incorporación de alguna sustancia aérea. Rey llega a esta afirmación tras constatar que no todas las sustancias a las que se añade fuego aumentan su peso. En efecto, cualquier cambio de estado no modifica el peso de la sustancia. Aunque se calienten unas cenizas, siguen pesando lo mismo. Por tanto, el aumento de peso de los metales calcinados no puede ser atribuido al fuego. La causa habrá que localizarla en la incorporación de alguna de las sustancias que conforman el aire. Esta afirmación suponía una gran novedad: por primera vez se sugería que el aire era algo más que un agente mecánico, mero espectador de los cambios químicos. La adjudicación al aire de un protagonismo químico era contraria al pensar mayoritario. Quizás sea esa la razón por la que la obra de Jean Rey tuvo tan poco eco entre sus contemporáneos. Es por ello que recibió numerosas críticas. Veamos una de ellas²³:

"Ellos [los partidarios de la incorporación del aire al metal] creen que los aumentos de peso observados en algunas calcinaciones son debidos al aire que se introduce en los poros que ha abierto el fuego. La materia así esponjosa, continúan diciendo, atrae al aire con tanta avidez como la cal atrae al agua. Pero esta explicación no puede satisfacer pues es imposible que en unos poros tan pequeños entre el aire en tal cantidad como para provocar un aumento de peso considerable. Los poros de la materia no pueden contener más de un balón de aire que no pesa más allá de 4 onzas (en invierno) y los aumentos de peso observados son mucho mayores²⁴".

e.- Las disoluciones.

La opinión mayoritaria y sostenida por las grandes figuras del pensamiento mecánico (Boyle, Lémery,...) consiste en suponer que todas las sustancias sólidas solubles tienen en su constitución poros e intersticios en los que pueden penetrar las minúsculas partículas del disolvente o menstruo. Una vez que tales partículas han penetrado, actuarán sobre las paredes de los poros, las ensancharán y acabarán venciendo a las fuerzas de cohesión: el sólido se acabará de disolver. Pero cada sustancia tiene unos poros con una forma diferente a los de las otras sustancias. Así, no todos los disolventes pueden penetrar en los intersticios y poros de cualquier sustancia: dependerá de si las formas de sus partículas son las adecuadas o no para entrar en los poros del soluto. En definitiva, cuerpos diferentes requieren diferentes menstros.

Pero, aunque mayoritaria, esta opinión no era la única. Veamos las objeciones que interpuso el químico y médico Frédéric Hoffmann²⁵.

²³Nicolàs Lemèry en Metzger pág 392

²⁴ Piénsese que la calcinación de, por ejemplo, 24 gramos de magnesio requiere de unos 11 litros de oxígeno.

²⁵En *Observaciones físico-químicas*. Ed. en alemán aparecida en 1722. Ed. francesa aparecida en 1754. Citado por H. Metzger en pag. 452.

Por ingeniosa y sutil que parezca la opinión anterior, no creo que resista un examen minucioso. Voy a intentar probar que sus fundamentos son vanos y caducos. A pesar de ser una hipótesis con cierto atractivo, sostengo que carece de solidez.

En primer lugar, todos estaremos de acuerdo en que en todos los cuerpos duros y compactos hay poros e intersticios de forma diferente, algunos de los cuales admiten el fluido aéreo y etéreo y los otros las partículas de algunos fluidos acuosos y espirituosos. Es a esta diferencia entre los poros a lo que hay que atribuir las diferencias en los pesos específicos de los cuerpos. Al mismo tiempo, hay que tener en cuenta que si los huecos presentes en las sustancias sólidas son ocupados por fluidos, ello no es debido tanto a las formas relativas de uno y otro sino a sus diámetros, pues ya se sabe que un fluido se cuela por entre los huecos independientemente de su forma, sin encontrar ningún otro obstáculo aparte de su diámetro. Si aceptamos que hay poros en los cuerpos sólidos, no por ello vamos a aceptar que los haya también en los cuerpos fluidos. Las partes de los cuerpos sólidos están fuertemente ligadas las unas con las otras y permanecen en reposo relativo entre ellas. Pero no es así en los fluidos. En ellos, sus partes están en un estado de permanente agitación y cambian continuamente sus posiciones relativas. Es imposible concebir cualquier disposición constante en las partículas de los fluidos. Por tanto, es un error deducir el fenómeno de la disolución de los cuerpos desde la disposición de las partículas de los fluidos. Cuando el fluido penetra en los huecos del sólido, sus partículas son privadas de todo movimiento, se coagulan necesariamente y adoptan la forma sólida. La pérdida de movimiento conlleva la desaparición del éter que era quien mantenía a las partículas del fluido en estado de agitación permanente. Por eso puede afirmarse que los sólidos tienen menos éter que los fluidos. Así puede también explicarse la congelación del agua: el aire frío expulsa la materia etérea y sutil del agua líquida y la convierte en sólido.

Así, no es posible mantener que la disolución sea el acoplamiento de una partículas estáticas y rígidas de fluido en los huecos del sólido soluto.

Otros autores han pretendido explicar la disolución desde el extremo contrario: recurriendo a la analogía de las partes del soluto y del disolvente. Pero esta idea no es más satisfactoria que la precedente pues es bien sabido que cuerpos heterogéneos y bien diferentes se unen y se disuelven en ocasiones más fácilmente que cuerpos homogéneos. Así por ejemplo, todos conocen que los ácidos disuelven a los álcalis y que el agua disuelve a la tierra y a las sales.

Es necesario, pues, abandonar la analogía de las partes y colocar en su lugar la causa real de la acción de los disolventes. Creo que lo que se puede admitir más fácilmente es que el fluido pone en movimiento a las partes del cuerpo a disolver, se las lleva con él, les comunica su movimiento de fluidez. Parece que es así como el agua disuelve a todas las sales y se une con ellas.

3.- El modelo ya se ha instalado.

Después de todo lo anterior, puede afirmarse que el objetivo principal de la filosofía mecánica era el ofrecer una imagen mecánica de la naturaleza de las sustancias y de su comportamiento químico, eliminar todas las formas y cualidades ocultas que habían caracterizado el hacer de la alquimia y aún de la iatroquímica, explicar el comportamiento de las sustancias por analogía con una máquina. Ese era el objetivo del mecanicismo como programa de trabajo: mostrar el mundo como una gran obra de relojería.

A pesar de no haber surgido en ningún laboratorio ni de tener ninguna base experimental, la filosofía mecánica acabará guiando el estudio en todos los campos de la experimentación: la medicina, la farmacia, la química, ...

En todos esos ámbitos se procederá de manera análoga: habiendo aceptado unas hipótesis en torno a la constitución última de los sistemas materiales (ya sea el atomismo, corpuscularismo o bien el cartesianismo), se tratará de idear e imaginar formas, tamaños y movimientos del "microcosmos" para poder llegar a explicar los fenómenos del "mesocosmos". Su imaginación no estará sometida a estrechos límites: llegarán a idear las formas más extrañas y artificiosas para los corpúsculos sin que tales ideas deban sufrir ningún proceso de contrastación. Serán aceptadas y dadas por buenas si son útiles para explicar fenómenos observables. Y en el proceso de la explicación tampoco recurrirán a profundas elaboraciones. H. Metzger dice²⁶: "No conocían otra mecánica que la que todo el mundo conoce por la experiencia cotidiana; al menos en sus explicaciones, ellos recurren solamente a las propiedades de las palancas, de las cuñas, de las barrenas, de las sierras, ... en resumen, a la mecánica de los artesanos o de los carpinteros".

Pero no puede entenderse la filosofía mecánica como un sistema de pensamiento completo y cerrado, en el que todas las cuestiones han hallado respuesta. Quedan abiertas muchas cuestiones importantes como las siguientes:

El grado de divisibilidad de los corpúsculos no ha sido establecido con claridad. No han llegado a afirmar el carácter infinitamente divisible de los corpúsculos pero tampoco han postulado de modo concluyente la existencia de átomos o partículas indivisibles.

Se sigue discutiendo la existencia del vacío. A pesar de que se ha puesto a punto una máquina que produce vacío, Descartes sigue afirmando que el vacío no existe y que no es concebible una extensión sin materia. Postula la existencia de una materia muy sutil

²⁶H. Metzger pág. 433

entre los corpúsculos cuyo movimiento permanente produce unos vórtices o torbellinos, responsables últimos de las interacciones a distancia entre las partículas materiales.

El problema de Dios: Epicuro, el reelaborador del atomismo griego de Leucipo y Demócrito, y que es auténtica referencia para los corpuscularistas del S XVII, concebía el movimiento como algo inherente a los átomos. Ello dejaba abiertas las puertas al ateísmo al poder explicar los cambios observables en la materia por su propio movimiento. Sin embargo Boyle, y con mayor contundencia Newton, afirmarán que materia y movimiento son independientes y que el comportamiento que se observa en los sistemas materiales requiere de una voluntad divina que esté velando permanentemente y cuidando de los movimientos de las partículas. Una postura intermedia la presentó Gassendi quien establecía que el movimiento no es inherente a la materia. Si las partículas que constituyen los sistemas materiales están en permanente movimiento es porque Dios les dotó de movimiento en su creación. Pero tal movimiento se perpetúa por sí solo, por lo que no es necesaria una atención permanente de Dios sobre la creación: los constituyentes del Universo tienen su propia dinámica y en ella no tiene por qué interferir la voluntad divina.

Las uniones entre corpúsculos: Algunos postulan la existencia de partículas con ganchos. Hacia el final del siglo, el newtonianismo comenzará sus intentos de explicar las uniones entre corpúsculos diferentes recurriendo a la atracción gravitatoria.

H. Metzger confecciona la siguiente lista de cuestiones no aclaradas ni estudiadas en profundidad por los químicos de la filosofía mecánica: ¿Cuál es el tamaño de las partículas? ¿Son pequeñas o infinitamente pequeñas? ¿Cuál es el grado de su dureza? ¿Son blandas y deformables por presión o por el contrario son infinitamente duras? ¿Las partículas de sustancias diferentes tienen la misma dureza? ¿Las partículas son divisibles o indivisibles? ¿Ocupan todo el espacio?.

Es cierto que las cuestiones anteriores, generales y de cierta trascendencia, no recibirán gran atención. La mayor parte de los químicos se dedicarán a resolver problemas "menores" como la forma, tamaño y movimiento de las partículas. Las respuestas que irán ideando son múltiples y diferentes. Irán conformando subsistemas cada uno de los cuales dará diferente contestación a la misma cuestión o explicará de diferente modo el mismo fenómeno. Ello promoverá que con el paso del tiempo, el sistema principal devenga confuso y por tanto inútil. Será el momento en que surgirán otros sistemas para sustituir la unidad rota. Entre los nuevos sistemas que surgirán destacará el formulado por Sthal y asentado en el concepto de flogisto, del que nos ocuparemos en el siguiente capítulo.

4.- Una valoración global:

Con frecuencia se ha acusado a los "nuevos químicos" del XVII de haber practicado un temprano reduccionismo físico: intentar explicar toda acción y comportamiento químico desde el comportamiento mecánico de sus partículas obviando el tratamiento de la especificidad e individualidad química de cada sustancia. No obstante, al contemplar con perspectiva histórica las aportaciones de aquellos hombres, son de valorar, al menos, los siguientes aspectos:

- 1.- Renuncia explícita a las causas ocultas.
- 2.- Abundante aportación experimental.
- 3.- Establecimiento de un marco teórico y un programa de trabajo que iba a guiar los posteriores trabajos del campo de la química.
- 4.- Adjudicar a la química la categoría de ciencia seria, diferenciándola claramente de las prácticas de charlatanes y embaucadores.

IV.- LA CUESTIÓN DEL MÉTODO

Durante el siglo XVII continua la preocupación por el método que debe seguir el científico para desarrollar su tarea. Dos grandes corrientes de pensamiento estarán presentes: el experimentalismo y el racionalismo. El primero más vinculado al mundo científico inglés. El racionalismo más presente en los ámbitos continentales. Veámoslos un poco más detenidamente.

La figura más representativa del pensamiento experimentalista fue Francis Bacon, lord Verulam (1561-1626). Si bien su obra filosófica fue importante, sobre todo en el terreno de la metodología de la ciencia, no fue un científico. No hizo ninguna contribución propia a la ciencia. Sin embargo, sí escribió mucho sobre la ciencia: su método y sus objetivos. Por ello puede afirmarse que se trata de un metacientífico pero no de un científico.

Su obra más significativa es *Novum Organum*, publicada en 1620. En ella expone por medio de aforismos o definiciones concisas su pensamiento.

El objetivo de la ciencia debe ser encontrar las causas de los fenómenos para así poderlos dominar y colocar a la naturaleza entera, con todos sus elementos, fuerzas y energías al servicio del hombre y de su bienestar. El científico debe perseguir, en última instancia, los beneficios que la naturaleza controlada puede brindar a todo el género humano.

La vía para acceder a las causas de los fenómenos debe comenzar en los propios fenómenos. En el primer aforismo, Bacon se nos muestra como profundamente empirista: sólo a través de la observación es posible llegar a comprender la naturaleza. La única fuente de conocimiento debe ser la información que el hombre obtiene a través de sus sentidos. Desde esa información, el científico deberá ir elevándose hasta llegar a conocer las causas verdaderas que condicionan el comportamiento de los elementos naturales.

Pero en aforismos posteriores matizará ese rabioso empirismo inicial. El investigador no está limitado a utilizar solamente sus sentidos desnudos. También será válido cualquier otro instrumento, como la razón, que le facilite el acceso a esas causas. Efectivamente, el pensamiento de Bacon posee ingredientes racionalistas, como veremos a continuación.

Llegar a enunciados generales (a las causas) desde la observación de los fenómenos individuales es la esencia de la inducción. Ya Aristóteles había abordado el problema de cómo inducir correctamente. Pero Bacon critica el proceder de los aristotélicos: algunas veces su inducción no es sino una simple enumeración (por ejemplo, no es una verdadera inducción el enunciado "todos los cuerpos abandonados caen hacia el suelo". Se ha reunido en un enunciado económico un gran número de fenómenos individuales pero sin llegar a indicar causa alguna de tales fenómenos). En otras

ocasiones, los aristotélicos - afirma Bacon- vuelan directamente desde los sentidos y observaciones particulares hasta los axiomas más generales, en lugar de ascender de forma continuada, segura y rigurosa. Eso sucede cuando los aristotélicos afirman que los cuerpos caen al suelo por que van buscando su lugar natural.

Bacon se propone ofrecer al científico un método que pueda aplicarse a cualquiera de las disciplinas científicas y que permita, de un modo casi automático, llegar a conocer las causas a partir de las observaciones. El siguiente ejemplo ilustra cómo concibe Bacon su método de inducción:

Sea la investigación sobre las causas del calor: Bacon sugirió que debe comenzarse recogiendo un amplio muestrario de información en relación con cosas que muestran la presencia del calor (calientes). Igualmente, deberá prepararse otra lista que recoja las características que concurren en otras cosas en las que el calor está ausente (frías). Finalmente se tabularían objetos que mostraran diferentes grados de calor.

En la tabla de sustancias calientes se citan objetos como el Sol, la reacción de la cal con el agua, el verano, las llamas, ... En la tabla de sustancias frías aparecen la Luna, las estrellas, las cenizas mezcladas con agua, el invierno, el fuego de San Telmo. En la tercera lista aparecerían los planetas (de los que Bacon afirma que, por tradición, presentan temperaturas distintas), el estiércol (que puede ser caliente o frío) las variaciones diarias en la temperatura, llamas de diferentes grados, ... Bacon intenta obtener una acumulación sistemática de información en relación con el fenómeno del calor.

El siguiente paso consiste en eliminar determinadas posibilidades relacionadas con la causa del calor. A partir de la información contenida en sus tablas, Bacon estaba en condiciones de afirmar algo acerca de lo que NO era la causa del calor. Por ejemplo, al examinar la tabla podía demostrarse que la luz y el brillo no eran la causa del calor, dado que la Luna está iluminada y es brillante aunque es fría. Otras causas podían ir siendo eliminadas a la vista de las tablas. Este procedimiento debería llevarse tan lejos como fuera posible hasta que solo una causa quedara sin rechazar. A esa causa podría adscribirse definitivamente el calor. Sin embargo Bacon no es capaz de llegar a ninguna causa utilizando ese método al pie de la letra. Pide una cierta dosis de indulgencia para introducir una suposición o hipótesis: la causa del calor es el movimiento. Desde esa suposición vuelve a analizar los datos recogidos en sus tablas y comprueba su corrección. Efectivamente, siempre que está presente el calor, lo está también el movimiento, de modo que son conceptos permanentemente asociados. La ascensión, por tanto, no podía realizarse del modo automático pretendido. Requería el concurso del intelecto que aportara supuestos que después pudieran ir siendo comprobados en las amplias tablas iniciales. En otra investigación sobre las causas de los diferentes colores que presentan los cuerpos, Bacon llegó a establecer el supuesto de que respondían a los diferentes tamaños de sus partículas constituyentes.

Así, podemos simplificar el método propuesto por Bacon en las siguientes etapas:

1.- Acumulación de fenómenos y hechos experimentales. (lo que corresponde con la

confección de las listas)

2.- Formulación de hipótesis (o supuestos) sobre las posibles causas o principios generales que rigen los fenómenos.

3.- Comprobación y estudio desde los supuestos emitidos de cada uno de los hechos experimentales y fenómenos observados, para ir descartando las causas falsas.

4.- Promulgación de la causa verdadera después de haber descartado todas las demás posibles causas.

Con respecto a la utilidad de su método, dice Bacon²⁷:

El camino que propongo para el descubrimiento de la ciencia es de tales características que deja poco para la agudeza de la intuición. Al dibujar una recta o un círculo perfecto a mano, una parte importante del proceso depende de la habilidad y práctica del dibujante. Pero si el dibujo se hace con un compás o un a regla , la dependencia de la habilidad del dibujante es menor o nula. Así ocurre con mi plan.

La necesidad de utilizar recursos empíricos pero también racionales en la búsqueda de las causas queda bien patente en el siguiente párrafo²⁸:

Los que han tratado con la ciencia han sido hombres experimentales o bien hombres que se apoyan en dogmas. Los hombres experimentales son como las hormigas; solo recolectan y usan; sin embargo, los que razonan parecen arañas que fabrican telarañas con su propia substancia. Pero las abejas siguen un camino intermedio; obtienen materiales de las flores del jardín y del campo, que las transforman y digieren por su propio poder. El verdadero negocio de la filosofía no es muy diferente a esto; dado que no se basa únicamente en los poderes del intelecto , ni tampoco deriva su material de la historia natural y de la experimentación mecánica; establece no obstante los conocimientos a partir del conocimiento alterado y digerido. Por tanto, mucho puede esperarse de una unión más pura y cercana entre ambas facultades, la experimental y la racional (a través de un proceso que no se ha realizado todavía).

Bacon pretendía ser un revolucionario en sus planteamientos sobre metodología científica. Para ello aspiraba a suprimir las viejas metodologías asentadas en el aristotelismo y en el escolasticismo. Pero a pesar de tales intenciones, deben observarse al menos dos elementos profundamente aristotélicos en el método de Bacon: por una parte, considera que el papel del científico debe ser la búsqueda de las causas. Por otra parte, la ciencia que concibe Bacon es de tipo cualitativo, basada en

²⁷David Oldroyd *El arco del conocimiento*. Ed. Crítica. Barcelona, 1993. Pág. 103

²⁸David Oldroyd Op. Cit. Pág. 104

principios de clasificación, tabulación,... pero sin hacerse ayudar del análisis matemático, evitando descripciones cuantitativas y formulaciones matemáticas como hizo Galileo y hará más tarde Newton.

Si Bacon fue el filósofo del experimentalismo y la inducción, el científico que más de cerca siguió las enseñanzas del filósofo fue Robert Boyle. Es interesante un listado de experiencias realizadas por Boyle: las virtudes de las gemas, el calentamiento de líquidos fríos mediante hielo, la promoción de una traducción de los Evangelios al malayo, un método para potabilizar el agua marina, el estudio del peso de los corpúsculos de fuego, un procedimiento adorable para borrar el texto de un documento excepto la firma a fin de anteponerle otro más conveniente, el crecimiento de los metales en las entrañas de la Tierra, las inyecciones intravenosas de sustancias varias, el brillo de la carne de pollo, la posibilidad de la resurrección, el parto de un potro con una cabeza monstruosa, la transmisión del sonido en el vacío, la conservación o destrucción de las propiedades de los vegetales por congelación, el análisis de las aguas minerales...

En ese contexto de experimentación cabe situar los trabajos de Boyle para relacionar el volumen y la presión de un gas²⁹: Se hizo construir un tubo de vidrio en U con las dos ramas abiertas y desiguales. La rama corta era practicable a través de una espita. A través de la rama larga introduce mercurio en el tubo permitiendo la salida del aire por la otra rama hasta que solamente queda una cierta cantidad, momento en el que cierra la espita. A partir de ese momento, añadiendo más mercurio al extremo largo puede ir incrementando la presión a la que está sometido el aire encerrado al final de la rama corta, cuyo volumen será fácilmente medible. Así observa que si la presión se hace doble, el volumen se reduce a la mitad. Esta relación se publicó por primera vez en 1622 y todavía nos referimos a ella como la ley de Boyle. En su publicación, Boyle no especificó que la temperatura debe mantenerse constante para que dicha ley sea válida. Fue el físico francés Edme Mariotte que descubrió independientemente la ley unos años más tarde quien especificó que la temperatura debe mantenerse constante. Esa es la razón por la que la ley de Boyle se conoce a veces como ley de Boyle-Mariotte.

El descubrimiento de la bomba de vacío les empujó a tratar de repetir en el interior de la campana de vacío todos los fenómenos conocidos en la atmósfera: la combustión, la respiración, ... simplemente para ver qué pasaba. El mismo ánimo les llevó a destilar todo lo que caía en sus manos: una libra de café, un melón, cuarenta sapos, ... "hallándose convencidos de que no había modo cierto de alcanzar ningún conocimiento adecuado a menos que realizasen una diversidad de experimentos sobre cuerpos naturales a fin de descubrir qué fenómenos producirían, seguían [los científicos baconianos] ese método por sí mismos con gran determinación, comunicándose luego

²⁹ Asimov pág 45

entre sí sus descubrimientos³⁰. Era patente la necesidad de construir historias naturales compuestas por hechos firmes, antes de que el intelecto se lance a la cosecha de las causas, pues una vez que se dispone de la historia natural, si se libera a la mente de las anticipaciones o de los juicios previos acerca de la naturaleza, entonces, "mediante la original y genuina fuerza de la mente" se podrá llegar automáticamente a la teoría correcta puesto que esa interpretación es la verdadera y propia de la mente cuando ésta se halla libre de impedimentos³¹

Además de la explicación filosófica, puede encontrarse una explicación para el experimentalismo en el contexto científico en que surge. En efecto. En 1687 (es decir, hacia finales del siglo) Newton consiguió mostrar una buena matematización de unos fenómenos físicos: los relacionados con la dinámica. Otros campos habían accedido a la "madurez teórica" mediante el uso de las matemáticas: la astronomía, la hidrostática, la estática, la óptica geométrica. Pero aún quedaban fuera muchos fenómenos naturales importantes para la vida y el comercio: las artes del teñido y del tejido, el beneficio de los metales, los secretos del frío y las operaciones del calor, el cultivo de las plantas y la cría de los animales, ... Muchos de esos fenómenos encajaban en los campos de la filosofía natural como el magnetismo, el calor, la electricidad, la química, la pneumática,... Se trataba de campos en los que ni siquiera se habían llegado a identificar las variables que resultaban relevantes, ni tan siquiera se sabía bien qué es lo que pasaba en sus dominios. No habían sido lo suficientemente experimentados como para que su matematización fuera posible. Esa puede ser la razón de la atención que los científicos renacentistas habían dirigido al mundo artesanal y esa es también la razón del papel relevante asignado por los experimentalistas a la experimentación.

En oposición al experimentalismo, el racionalismo persigue como objetivo buscar teorías que fueran capaces de explicar el mundo material desde postulados apriorísticos. La explicación se convertirá en un ejercicio de deducción, de descenso desde la teoría o principio general hasta el fenómeno concreto. La figura más representativa de este pensamiento es Descartes.

En la filosofía cartesiana, conocer es, fundamentalmente, explicar los fenómenos. Le preocupa mucho más dar cumplida explicación a los fenómenos conocidos que dar a conocer fenómenos todavía desconocidos o hacer predicciones sobre comportamientos aún no observados.

Pero esa explicación no puede arrancar del propio fenómeno observado. Las percepciones de los sentidos son engañosas. En ocasiones lo grande puede parecer pequeño, lo igual puede parecer distinto, Será la razón el punto de partida para el

³⁰ R BOYLE pág 19 menciona la pertenencia de Boyle al *Colegio Invisible o filosófico* similar al Gresham College de Londres y Oxford.

³¹ F. Bacon, recogido en R. Boyle pág 29

conocimiento. Dice Descartes³²:

"Ni nuestra imaginación ni nuestros sentidos pueden darnos la seguridad de nada a menos que intervenga nuestra comprensión... despiertos o dormidos jamás deberíamos permitir que se nos persuada de la verdad de algo a menos que sea con el testimonio de nuestra razón".

Así la primera certeza de la que parte Descartes es el convencimiento de su naturaleza como pensador: *Pienso luego existo*. Partiendo de la existencia de su propia mente, tratará de alcanzar otras realidades más alejadas, de manera centrífuga. Así, por ejemplo, afirmará que, puesto que la mente es consciente de su propia imperfección, ha de existir la perfección total en un ser divino, perfecto e infinito. "Hasta tal punto son más ciertos los frutos de la razón que podemos estar más seguros de la existencia de Dios que de la existencia del Universo físico". La siguiente etapa en esa expansión centrífuga es intentar detectar, a través de la razón, las verdades y leyes universales que rigen el comportamiento de la naturaleza para, finalmente, concatenando esas leyes, revelar los mecanismos que intervienen en los fenómenos concretos.

Pero detectar con la razón las verdades y las leyes universales requiere incorporar unos enunciados no contrastables de modo directo y desde ellos ir deduciendo otros hasta conseguir llegar a la explicación de los fenómenos concretos. Veamos algunos ejemplos que ilustren este proceso:

Descartes considera que todo en el Universo puede reducirse a materia y movimiento. La materia ocupa espacio, de donde se infiere que no puede haber espacio sin materia. No existe el vacío. Todo el espacio existente está ocupado por materia. Hay tres clases de materia según sean las partículas que la constituyen. La materia original ha ido cambiando de forma pero, puesto que el Universo es un sistema cerrado, la cantidad total de materia (y también de movimiento) ha permanecido constante. Todos los cambios habidos son achacables al movimiento de las partículas y a los repartos de ese movimiento cada vez que partículas diferentes interaccionan. La historia del Universo es, pues, una constante redistribución del movimiento por medio del impacto de las partículas constituyentes de la materia que llena todo el espacio.

Desde tal conjunto de supuestos, tratará de ir descendiendo hasta llegar a la explicación de los fenómenos concretos. En ese descenso necesitará ir incorporando "ideas subsidiarias": nuevas suposiciones que encajen con las ideas principales y que sean útiles para llegar a explicar fenómenos concretos. Ese será el caso de los vórtices celestes que transportan a los planetas en sus órbitas en torno al Sol, los diferentes tipos de materia, la existencia de poros en las partículas, las leyes que propone para el movimiento y para el reparto de movimiento entre partículas interaccionantes, ... Aunque en ocasiones Descartes se esfuerce en presentarlas como deducidas desde los principios superiores, en muchas ocasiones tales deducciones no son rigurosas o están ausentes, de modo que muchos de estos enunciados poseen un carácter

³²A. Rupert Hall *La revolución científica*. Ed. Crítica. Barcelona 1984. Pág. 295

bastante hipotético. Obsérvese que son enunciados no contrastables con los datos experimentales y que su presencia solo es apoyada por su necesidad para explicar lo que nos muestran los sentidos. Es obvio que, con su sistema, Descartes no hubiera podido deducir, por ejemplo, la existencia de fenómenos magnéticos de no haber conocido previamente sus manifestaciones.

La pretensión de Descartes es, en consonancia con el pensamiento científico de la época, explicar las "macropropiedades" de los cuerpos en términos de los "microcorpúsculos". Por ejemplo, sugirió que los corpúsculos formadores de los ácidos serían puntiagudos, los que forman los aceites serían largos, "en forma de spaguetti", por su parte, los del mercurio serían grandes y redondos. Todo el cosmos debería poderse explicar en términos mecánicos. Incluso los seres vivos y el propio hombre. De hecho, Descartes escribió *Tratado del hombre* donde intentó exponer desde un punto de vista totalmente mecanicista la estructura y función de los seres vivos. Los animales no eran sino autómatas mecánicos. Obsérvese cómo Descartes puede ser considerado un exponente destacado de la filosofía mecánica del siglo XVII.

La experimentación es relegada a un papel muy subsidiario. Descartes no precisa estudiar de forma sistemática fenómenos no-ordinarios. Tan solo aplicar el razonamiento a los fenómenos ordinarios de que nos informan los sentidos. He aquí un párrafo revelador:

*... por que en el comienzo, es mejor utilizar únicamente lo que se presenta **de forma espontánea a nuestros sentidos**, y de lo cual no podemos hacer caso omiso, con tal que le dediquemos un poco de **reflexión**, por ligera que sea, que preocuparnos por **fenómenos más extraños o recónditos**; siendo el motivo de ello que los más extraños, a menudo, nos engañan, mientras que las causas de los más corrientes siguen siendo desconocidas ...*³³

La ocasión en que Descartes desarrolla más limpiamente su método deductivo es en el estudio de la refracción. La ley de Snel ($\text{sen } i / \text{sen } r = k$) había sido desvelada por Thomas Harriot en 1601. Kepler estuvo a punto de obtenerla. Snel fue quien primero la publicó, en 1621. Los tres habían pasado largo tiempo haciendo números y cuidadosos experimentos. Descartes, en 1637, la presentó como un descubrimiento racional a partir de su teoría de la naturaleza de la luz. Más tarde, el propio Newton llegó a mostrar que era posible desarrollar reconstrucciones racionales de la ley de Snel, a la vez distintas unas de otras y de la de Descartes, partiendo de otros principios físicos, asumiendo hipótesis diferentes para la naturaleza y el comportamiento de la luz. Por consiguiente, ni los principios de partida ni la construcción racional de Descartes podían considerarse como probados por el hecho de concordar con los datos experimentales

³³A. Rupert Hall. Op. cit. pág 301

Resulta ilustrativo considerar la diferente consideración que les merece a experimentalistas y racionalistas el hecho del experimento científico, su carácter y su función:

Los experimentos de los racionalistas persiguen ejemplificar la teoría y mostrar su corrección. Son por ello experiencias descritas con escasos detalles y aún incluso en ocasiones se ha dudado de que hubieran sido realizados. Recuérdese la discusión sobre la realización o no de los experimentos de Galileo. Entre los racionalistas tienen perfecta cabida los experimentos mentales: no realizados pero que ilustran aspectos de la teoría (cómo sería el movimiento de un cuerpo no sometido a la acción de ninguna fuerza (Newton) o moviéndose por una superficie completamente horizontal (Galileo), cuál sería el movimiento de la Luna si no fuera atraída por la Tierra ...

Entre los baconianos es impensable el experimento mental. Sus experiencias son descritas con el máximo detalle y rigor. No son ejemplificaciones de teorías previas sino verdaderos interrogatorios a la naturaleza. El experimentalista se acerca a la naturaleza con escasa bagaje previo,³⁴ con un marco teórico muy vago, incapaz de sugerir el resultado de la experiencia. Son exploraciones de la naturaleza cuyos resultados son impredecibles. He aquí un texto que ilustra muy bien estas ideas relacionadas con la diferente concepción de los experimentos. Se trata de un crítica formulada por Boyle a un texto escrito por Pascal, un matemático que en el capítulo 6 de sus tratados *Sobre el equilibrio de los líquidos y sobre el peso del aire* muestra el dibujo de un ciudadano negligentemente recostado en una roza de las profundidades de un estanque sosteniendo en el muslo un tubo de vidrio de 20 pies. Boyle acepta de grado las conclusiones teóricas de Pascal, concordante con los principios de la hidrostática, pero protesta por las pruebas experimentales aportadas pues "aunque sean tal vez aceptables para un matemático, ofenden la sensibilidad de un experimentalista baconiano. Primero porque, aunque los experimentos que menciona se exponen del modo acostumbrado al hablar de cuestiones de hecho, con todo no recuerdo que diga expresamente que los haya realizado efectivamente, por lo que puede ocurrir que los haya planteado como algo que ha de ocurrir, basándose en la justa confianza de no errar en sus raciocinios. [...] En segundo lugar, haya hecho o no personalmente esos experimentos el señor Pascal, no parece haber tenido un gran deseo de que otros los hagan siguiéndolo a él, pues supone que los fenómenos sobre los que se basa se producen 15 o 20 pies bajo el agua, exigiendo uno de ellos que un hombre se siente allí con el extremo de un tubo apoyado contra el muslo. Pero no nos dice cómo podría permanecer el hombre bajo el agua ni cómo podría discernir las alteraciones que sufre el mercurio y otros cuerpos del fondo hallándose en una cisterna de 20 pies de

³⁴ En R.BOYLE pág 20-21 dice que Boyle se negó a leer los Principios de Descartes "... no fuese que quedase sesgado por el ingenio y autoridad de dicho filósofo".

profundidad llena de agua. En tercer lugar estos experimentos, no sólo precisan tubos de 20 pies de largo y un gran recipiente de el menos esos pies de profundidad, cosa nada fácil de conseguir en este país, sino que además precisan cilindros de bronce o espigas fabricadas con una precisión que, aunque sea fácil de suponer para un matemático, difícilmente se podrá obtener de un comerciante.³⁵

Por último, veamos algunos comentarios cruzados entre unos y otros:

Los racionalistas continentales decían de los experimentalistas:

Leibnitz: *"Me extraña que el Señor Boyle, quien tantas bellas experiencias tiene, no haya llegado a alguna teoría. [...] Por el contrario en sus libros, y por toda consecuencia de sus observaciones solo concluye lo que todos debemos saber: que todo se hace mecánicamente"*³⁶.

Huygens: *"Parece bastante extraño que Boyle no haya construido nada sobre tantas experiencias de las que rebosan sus libros. Ahora bien, es esa una empresa difícil y yo nunca lo he creído capaz de una aplicación tan grande como la que se necesita para establecer principios verosímiles"*³⁷.

B. Espinosa: *"Es inútil e imposible poder demostrar experimentalmente lo que sabemos cierto a priori por la obra de la razón, cual es que todo se hace mecánicamente en la naturaleza, de modo que tantos experimentos no son sino enojosos detalles tan precisos como ciegos al no ejemplificar una teoría concreta."*

Por su parte, los experimentalistas de inspiración baconiana menospreciaban las conjeturas de los racionalistas: *"Los autores de hipótesis [i.e. los racionalistas] en Filosofía Natural se refutarán unos a otros durante mucho tiempo, antes de que el mundo se ponga de acuerdo, si es que llega a ponerse. Por el contrario vuestras historias naturales [de Boyle] son irrefutables y suministrarán los mejores cimientos sobre los que construir hipótesis"*³⁸.

³⁵ R. BOYLE pág. 25-26.

³⁶ R. Boyle pág. 10

³⁷ R. Boyle pág. 10-11

³⁸ Ralph Cudworth a Robert Boyle. Recogido en R. Boyle Pág. 11

BIBLIOGRAFIA:

BOYLE, ROBERT *Física, química y filosofía mecánica*. Alianza Editorial. Madrid, 1985

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

RUPERT HALL, A. *La revolución científica. 1500-1750* Ed. Crítica. Barcelona, 1985.

PARTINGTON, J.R. *Historia de la Química*. Ed. Espasa-Calpe. Buenos Aires, 1945

OLDROYD, DAVID *El arco del conocimiento*. Ed. Crítica. Barcelona, 1993

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