

REVOLUCIÓN QUÍMICA: FACTORES DEL RETRASO

VICTOR VIZGUIN

Resumen - El siglo XVII es el de la revolución científica pero no lo fue para la química. ¿Por qué? Esa es la pregunta principal que determina un análisis aquí presentado. El estudio tiene como objetivo el análisis de las barreras metodológicas, históricas y institucionales en el camino del devenir de la química científica.

Abstract - The XVIIth century was the century of scientific revolution but not for the chemistry. Why? That is the main question which guide the present research. This study has objective to analyse the metodological, historical and institutional obstacles to the coming-to-be of the scientific chemistry. The approach of the author is conceptual but not genetic or purely historical.

El siglo XVII es el de la revolución científica, pero como muestra el análisis de la historia, no lo fue para la química. ¿Por qué? Esa es la cuestión que deseáramos aclarar. Esa es la pregunta a que vamos a buscar respuesta sin pretender que sea completa y definitiva. Nuestro enfoque tiene un carácter conceptual y no genético¹, puesto que tras el "cuadro" epistemológico del análisis comparamos sólo la química de Boyle y más o menos de su época con la de Lavoisier poniendo entre paréntesis su largo proceso de formación en el siglo XVIII.

El problema de la barrera metodológica del devenir de la química científica

La idea de que el retraso histórico (relativo) de la maduración científica de la química se debe a su especificidad epistemológica corresponde a E. Cassirer. Este consideraba que el ideal de científicidad en distintas ciencias es el mismo, concretamente la supeditación a la deducción matemática de los hechos empíricos. Ese ideal, de importancia para todas las ciencias naturales, está plasmado de la mejor manera en la física matemática. A juicio de Cassirer, la química de aquel entonces

(comienzo del siglo XX) había alcanzado ya, en una serie de casos, la misma madurez epistemológica que la física. Eso, según el filósofo, se desprende de leyes de la química, cuantitativamente formuladas, como, por ejemplo, la regla de las fases de Gibbs, la ley de la acción de masas, etc. Por tanto, la diferencia entre la física y la química no reside en el propio ideal científico común para las dos ciencias, sino en la medida en que éste se halle plasmado en la realidad. El proceso de la racionalización científica de la química, considera CASSIRER, se retuvo en comparación con la física por que el material empírico de la química es menos "ductil" para su formación racional, es decir, matemático-deductiva (1912, p.266). ¿Cuáles son, en concreto, para el filósofo, los motivos de esta menor "ductibilidad"? El hecho de que mientras la física tiene como objeto "las puras nociones de las leyes", para la química son no tanto las leyes generales como las sustancias concretas individuales y sus propiedades. Dicho de otro modo, en la estructura del objeto de la química la categoría de lo especial (y lo individual) domina a la de lo general, colocándose en primer plano. Este análisis se puede aceptar, pero nosotros esti-

¹ Según C.E. Perrin hay dos enfoques en el análisis de la revolución química: 1) el genético, que caracteriza, por ejemplo, los trabajos de H. Guerlac, y 2) el conceptual cuya demostración clásica es dada por H. METZGER (1988, p.76).

mamos que no se puede estar de acuerdo con las conclusiones de Cassirer acerca de que la química carece de especificidad epistemológica.

Efectivamente ¿cómo, habiendo determinado el carácter específico del material empírico químico y con ello en considerable grado el de la propia química, se puede reducirla a un accidente histórico puro, que se puede eliminar mediante un proceso de racionalización más largo, pero en principio epistemológico homogéneo? A juicio nuestro existe un suficiente nivel general de análisis en el que los ideales epistemológicos (y metodológicos) de la física y la química coinciden. Pero eso no descarta las evidentes diferencias de estas dos ciencias en otros niveles más especiales, por así decirlo. Un buen argumento histórico a favor de esta tesis es el hecho de que por regla los químicos de los siglos XVII-XVIII se mantenían al margen, de los esquemas mecano-corpusculares, comprendiendo su casi esterilidad en el examen de problemas químicos concretos, creados por la práctica de los laboratorios. Por eso precisamente en la química en el siglo XVIII no desaparece el elementalismo cualitativista (renovado en este siglo, en alguna medida, por cierto, merced al desarrollo de las ideas mecano-corpusculares mismas).

La posición de Cassirer sigue muy difundida en nuestra época. Han contribuido a ello en no poco grado los éxitos de la química física y cuántica. Examinemos, como ejemplo de la difusión moderna de esta posición entre los historiadores, las opiniones de E. Farber.

Analizando distintos tipos de revoluciones en la química y destacando acontecimientos de su historia como el paso de la alquimia a la iatroquímica, la creación del nuevo sistema de la química de Lavoisier, FARBER centra la atención en otro tipo de revoluciones en la química:

"Pero existe además otro tipo de revoluciones en la química que requiere más tiempo y que transcurre en varias fases. La más importante revolución de este tipo es el paso de los agentes personalizados, llamados principios químicos, a las leyes objetivas que constituyen los principios de la química. Dió comienzo a esta revolución Anaximandro, quien declaró que debemos ir de las cualidades *ἕρπειον*, así como Pitágoras, quien consideraba que "todo es número" (1968, p.35).

Según Farber la tendencia más general y profunda en el desarrollo de la química es su cuantificación consistente en la sustitución de determinados elementos cualitativos ("principios químicos") por las leyes cuantitativas ("principios de la química"). "Los símbolos generales - dice FARBER - sustituyen los nombres de las sustancias investigadas concretas" (1968, p.35). Y sus cualidades adquieren el *status* de propiedades calculables como, por ejemplo, el calor de formación de las combinaciones, etc. El elementalismo cualitativo inherente a la química, desde la antigüedad, es sustituido de este modo por estructuras calculables cuantitativamente.

El reduccionismo fisicalista respecto a la química tiene sólido fundamento. Pero la historia del devenir de la química científica muestra que sin una clara comprensión precisamente de la autonomía de la química sin una precisa formulación de la demarcación de las propiedades físicas y químicas habría sido imposible la creación del nuevo sistema químico de Lavoisier.

Nosotros aceptamos la idea de Cassirer sobre las premisas epistemológicas del retraso de la revolución química, pero no podemos reducirlas al "atraso" metodológico de la química.

La revolución científica del siglo XVII y la química

La revolución científica del siglo XVII fue una revolución metodológica (COHEN, 1989, p.24). Pero el nuevo programa cognoscitivo de importancia universal se materializó en el curso de su génesis como conocimiento científico especial en la mecánica y astronomía. Se dió la circunstancia de que el conocimiento científico especial se presentó de la manera más directa como paradigma científico general. Y aquellos sectores del saber donde se dió esa coincidencia ocuparon naturalmente una posición privilegiada respecto a otros conocimientos: biológicos, médicos, químicos, etc. Este *status* particular de la nueva mentalidad científica universal surge junto con la revolución copernicana. "Las bases de la nueva teoría astronómica del mundo - señala con razón OLSCHKI - pasaron a ser el principio metafísico y ético universal de todos los seres humanos que piensan y actúan" (1933, p. 81). La dramática historia de la matematización del cielo abarcando también a la tierra por esfuerzos y el genio de Galileo se convirtió realmente en un acontecimiento histórico universal. En el sistema

nuevo de valores se coloca en primer plano el análisis de los hechos y no los razonamientos generales. "Encontrar una verdad aunque sea simple - señala Galileo en una carta a Campanella - es mucho más importante que discutir con todo detalle acerca de las más elevadas materias, sin alcanzar ninguna verdad" (GALILEI, 1893, p.738). Esa idea de Galileo es la base del nuevo espíritu científico. Pero su definitiva afirmación ocupó en la química casi dos siglos más de tiempo que en la astronomía y la mecánica. Lavoisier, cuya posición en la historia de la química, *mutatis mutandis*, es análogo al lugar de Galileo en la de la mecánica, se retira conscientemente de las discusiones acerca de las últimas bases de la química, del número y carácter de los elementos. Renuncia a construir un sistema universal de la química, cosmológicamente importante, a que se dedicaban por cierto algunos teóricos químicos del siglo XVII. Pero aunque desechaba los esquemas pretendientes a la universalidad, analizaba con rigurosidad cuantitativa el material empírico que podía obtener en su laboratorio. El propio Lavoisier valoraba del siguiente modo la doctrina proveniente de la antigüedad:

"Todo lo que puede decirse acerca del número y las propiedades de los elementos, se reduce, a mi juicio, a discusiones puramente metafísicas, se trata de problemas indeterminados, que las personas se ponen a resolver, pero que admiten una infinita cantidad de soluciones y respecto a las cuales se puede afirmar con gran probabilidad, que ninguna de estas concuerda con la naturaleza" (LAVOISIER, 1931, p.74).

Ese planteamiento diverge no sólo de la doctrina peripatética sino también de la nueva filosofía mecanística, su implacable adversario. Por eso la crítica hecha por Descartes a Galileo podría atribuirse plenamente también a los nuevos químicos, ante todo a Lavoisier.² Y además, hay que tener en cuenta que la diferencia entre la química y la metafísica mecanicista, en particular de índole cartesiana, es aún más considerable que la análoga distancia de la mecánica que representaba profesionalmente Galileo (la física, ocupa en este plano, una posición intermedia). Esto no podía

contribuir a la rápida transformación de la química en ciencia del mismo nivel que la mecánica. Para ello la química no sólo debía asumir el espíritu de las filosofías mecanísticas, que eran la bandera de las personas avanzadas de la época, sino que además viendo su ineficacia en la racionalización teórica de la práctica química, debía elaborar sus propias teorías suficientemente eficaces en la explicación de su material empírico. Y por último la formación de la química científica se "demoró" tanto por que la primera teoría propiamente química, que explicaba multitud de hechos empíricos, la del flogisto de Stahl, resultó como se averiguó y además no muy pronto, una teoría inconsistente. La química tomó la barrera de la científicidad en el segundo intento.

En la historia de la mecánica también hubo audaces intentos de crear una dinámica no peripatética. Pero estos se hicieron bastante antes que los análogos intentos en la química. El despegue de la mecánica hacia la ciencia se efectuó, por así decirlo, con más "ventaja", si se compara la génesis de estas dos ciencias. Es importante la circunstancia de que la química, a diferencia de la mecánica, no tuvo su Arquímedes y, correspondientemente, una tradición análoga a la arquimediana. Pero sabemos que Galileo, fundador de la dinámica científica, sigue conscientemente el camino de Arquímedes. La química del siglo XVII no tenía simplemente un trampolín tan alto.

Lo mismo que Galileo con la mecánica en el siglo XVII, la química podía apoyarse, en su arranque del peripatetismo químico, en la renaciente tradición del atomismo antiguo, pero nada más. Mas la atomística del siglo XVII en su prevalecte versión mecanística, como hemos señalado ya, no podía conducir a una teoría eficaz. En la historia de la química de este período imperan diversas tradiciones. Entre ellas, la nueva tradición mecano-corpúscular de un lado, y las tradiciones de la química técnica, de otro. Además se mantenían también las tradiciones que partían del pasado alquímico, iatroquímico y peripatético. Todas estas tradiciones sólo podían interactuar, transformarse y adaptarse al creciente volumen y la cualidad del material empírico, cuando surgieron los focos institucionales del crecimiento, la acumulación y traslación de los conocimientos

2 En una carta a Mersenne Descartes escribía acerca de Galileo: "Sin investigar el origen de la naturaleza, él buscaba los fundamentos sólo de algunos fenómenos" (OLSCHIKI, 1933, p. 85-86).

químicos. Uno de esos focos fue el Jardín Real de París, en cuyo seno, a finales del siglo XVII, se crearon dos cátedras químicas al lado de las de botánica y anatomía que existían ya. La química desarrollada sobre la base de esta institución

"permaneció durante largo tiempo adherida a la farmacopea galénica, pero la enseñanza iniciada por Davison a quien la facultad de medicina se oponía burdamente, si bien sin razón, condujo a la creación de una ciencia experimental, surgida sobre las ruinas de la vieja alquimia (LAISSUS, 1986, p.312).

Por cierto que G.Rouelle, maestro de química de Lavoisier, era demostrador del Jardín Real.

Por supuesto, también en el terreno inglés, por ejemplo, en el círculo de Hartlib y luego en la Sociedad Real, el laboratorio químico se combinaba con la teorización, principalmente de índole mecano-corpúscular. Ciertamente es que se mantenían los contactos con alquimia, de modo que se generaba una alquimia química.

Como hemos señalado ya, la realidad química misma se diferencia de la astronómica o mecánica. Por ejemplo, las estrellas se concebían desde tiempos remotos como objetos naturales de descripción matemática, cosa que no puede decirse de las sustancias químicas. La convicción de la inmutabilidad del cielo se manifestó en la fe en su naturaleza divina. Esa convicción se reflejó también en la teoría peripatética de la sustancia: el quinto elemento para Aristóteles era el éter, una sustancia al borde de la inmaterialidad debido a su naturaleza perfecta y por tanto inaccesible al cambio. En la química de los cuatro elementos, sin embargo, todo está sujeto a cambio, las sustancias se transforman unas en otras, mostrando con ello su imperfección. Como justamente captó el elementarismo peripatético, el conjunto finito de sustancias dotadas de distintas cualidades constituye un fundamento de la realidad química. Crear un riguroso modelo teórico de esa realidad es, por lo visto, más difícil que describir exactamente los movimientos de los cuerpos celestes o incluso establecer la ley de la libre caída de los cuerpos, creando para ello las idealizaciones teóricas correspondientes que uranizan, por así decirlo, nuestro alterable mundo (cosa que hizo Galileo).

La insuficiente formación de la química del siglo XVII a nivel cognoscitivo se complementaba por el hecho de que las matrices de la génesis de

los conocimientos químicos dejaban tampoco que sobre su base la evolución intelectual fuese más rápida, permitiendo a la química ya en ese siglo alcanzar el umbral de la científicidad. Efectivamente las ramas técnicas de la química eran demasiado empíricas. Pero tampoco la otra línea de desarrollo de la química trazada por la filosofía natural podía conducir a la revolución en la química debido a que el corpuscularismo mecanístico imperante en ella no podía de por sí brindar al material empírico una síntesis teórica adecuada. Sólo cuando surge el espacio socio-cultural capaz de asegurar una eficaz interacción de las líneas fundamentales del desarrollo de la química, divergentes en el siglo XVII, entonces el ideal metodológico del saber, que encarnaba Galileo en sus descubrimientos, pasó a ser un instrumento de trabajo de la química permitiendo establecer sólidamente las simples verdades acerca de las cosas pequeñas, sin preocuparse demasiado (recordamos una vez más a Galileo) de las "materias sublimes", pero sin caer tampoco en un empirismo "rastrero". Y por eso no es casual ni mucho menos que D. Mendeléiev comparase a Lavoisier precisamente con Galileo, añadiendo también, cosa justa, el nombre de Newton (MENDELEIEV, 1895, p.5). Las simples verdades acerca de cuestiones particulares, establecidas por el químico francés, se convirtieron muy pronto en un nuevo sistema universal de la química. Si el camino al "Galileo químico" fue mucho más largo que el de la mecánica hacia su transformación realizada por el gran florentino, el camino a la síntesis semejante a la de Newton en la química fue, al contrario, incomparablemente más corto que el análogo camino en la mecánica. Y eso es comprensible, puesto que en Lavoisier se juntaron ambas figuras, la del "Galileo químico" y la del "Newton químico".

Al hacer el balance de nuestro análisis repetiríamos que la revolución en la mecánica formulada y concebida por sus creadores como un logro de importancia universal fue, con toda evidencia, insuficiente para la creación en la química de una nueva estructura cognoscitiva que concediera a los conocimientos químicos, formados sobre su base, un *status* de científicidad equivalente al de la mecánica. El primer sistema químico teórico universal, creado en la búsqueda de esa estructura (la doctrina de Stahl) resultó ser para el cumplimiento de esta tarea, tan cardinal para la química, si bien muy eficaz³, pero demasiado,

digamos, "químico", demasiado cualitativista y sobre todo contradictorio tanto respecto a su coherencia interna como a los hechos experimentales para servir de base a la nueva química.

La estructura necesaria fue creada, realizando de manera cuantitativamente registrada algunos experimentos orientados ante todo a estudiar la calcinación de los metales y los procesos de combustión que utilizaban los adelantos del estudio de la química y física de los gases. La búsqueda estructura se iba formando gradualmente. La etapa culminante de su formación fueron las leyes cuantitativas de la química, empezando por la ley de la conservación del peso de las sustancias que participan en la reacción química que fue la piedra angular de la revolución química de Lavoisier.

La barrera alquímica

Puede considerarse que uno de los factores del retraso de la revolución química fue la extraordinaria estabilidad del pensamiento alquímico. El problema de los vínculos de la alquimia con la química es bastante complicado para presentar la situación en el siglo XVII con una breve característica. Sólo puede decirse con seguridad que el pensamiento alquímico, el lenguaje y la imaginación, constituían estructuras mentales estables, capaces de reanimación en respuesta a los nuevos desafíos de índole socio-cultural y psicológica. La Reforma en Europa dió impulso al interés por la alquimia que había aminorado, pero a la vez ella misma aceleró el proceso de su quimización o "clarificación", como dice DOBBS (1975).

En el transcurso de este proceso el pensamiento alquímico pierde en muchos aspectos sus anteriores posiciones, pero a la vez sus símbolos se conservan parcialmente, presentándose en ese caso, preferentemente, como lenguaje convencional de la química, de cuyo carácter metafórico se tiene conciencia. Y además se conservan también algunos fragmentos del cuadro alquímico del mundo. La alquimia de uno u otro modo siempre racionalizó o pseudo-racionalizó el mito transmutativo, que yace en su base. Contribuyó a su racionalización teórica la idea de la "materia primaria" respecto a la cual todas las sustancias son

sólo cosas accidentales, capaces de pasar unas a otras. El jerarquismo peripatético así como el platonismo brindaban medios complementarios para esa racionalización, contribuyendo al establecimiento por el contrario, de una escala de perfección para distintos cuerpos. Existían también las racionalizaciones empíricas de la fe transmutativa. Una de ellas, por ejemplo, se basaba en el hecho de que los metales nobles en la naturaleza están, a menudo, mezclados con los no nobles. Si se tiene en cuenta el débil desarrollo de los métodos analíticos de investigación de las sustancias, se hace comprensible la posibilidad de justificar la transformación de los metales no nobles en nobles. Incluso las teorías mecano-corpúsculares que se presentaban como las más acérrimas adversarias de la química, le facilitaban nuevas justificaciones. Tampoco BOYLE rechazaba la idea de la transmutación, considerándola posible debido a que en el fundamento del Universo, según él, se halla una única *Catholick Matter* (Materia General) (1985, p.223).

También Newton, que dedicó muchos años de tenaz trabajo a las investigaciones alquímicas, apoyaba esa justificación mecano-corpúscular. No obstante el mecanicismo, en particular el cartesianismo, asestó un sensible golpe a las variantes tradicionales del mito transmutativo. En efecto, la nueva filosofía mecanística eliminó el jerarquismo ontológico y junto con ese el cosmológico y el físico: una combinación de corpúsculos no es ni menos ni más perfecta que cualquier otra.

"Por lo que se refiere a las diferencias entre los metales - dice el conocido propagandista del cartesianismo ROHAULT - hay que decir, en general, que consisten en que sus primeras partes poseen distinta magnitud, extensión o masa y diferentes formas" (1671, p.187).

Es evidente que una magnitud, extensión o masa en cuanto a su sentido cuantitativo no es mejor que otra. La materia en su interpretación mecanística, al ser homogénea, carece de jerarquía. En el cartesianismo se la representa como extensión que de por sí es homogénea. El lenguaje cuantitativo, incluido el geométrico, como el de base de la

3 J.B.Gough habla de la "revolución de Stahl", cuya fase culminante fue la química de Lavoisier. A la vez es rechazada plenamente la tesis acerca de la revolución en la química realizada por Lavoisier (GOUGH, 1988, p. 15 y 31).

ciencia mecanística, no necesita para su funcionamiento la idea de perfeccionamiento. Y si los alquímicos, como señala con razón H. METZGER, "presuponían en la naturaleza la tendencia a la perfección, los corpuscularistas consideraban a la naturaleza inmutable en el tiempo" (1969, p.133).

Los estudios alquímicos de Newton muestran que el transmutacionismo alquímico contacta mejor con el platonismo (cuyos principios en la redacción de Cambridge compartía el gran sabio) que con el cartesianismo. La posición de N. Lemery, adversario implacable de la alquimia, confirma esa deducción. Por lo que se refiere a Newton, él trataba de unir la alquimia y la filosofía mecanística. Utilizaba para ello los conceptos neoplatónicos como el "espíritu universal", que era la fuente de la singularidad de todas las formas de la materia, así como la concepción de los principios activos que accionan, por ejemplo, en el magneto. Era también muy importante, en la teoría de la química de Newton, la idea del intermediario universal, que permitía disolver lo insoluble, asentar lo inasentable, etc. Es característica la fundamentación corpuscular de esta idea: ese intermediario consta de partículas de proporciones intermedias en comparación con las de las sustancias que fijan los contrastes del comportamiento señalado. El concepto newtoniano de la fuerza introducía en la ontología de su mecánica también una especie de principio activo alquímico. Por cierto que la idea de los principios activos y pasivos estaba bastante difundida en la química del siglo XVII.

Para el cuadro químico del mundo de Newton era importante la idea de la fermentación productiva. Newton concibiendo esa idea en distintas épocas de distinto modo, consideraba que el mundo visible está creado por la condensación y la fermentación de cierto material inicial. Por ejemplo, los vapores que parten de los astros, podían, según él, condensarse en "agua y espíritus húmedos" y luego, merced a la fermentación, en cuerpos cada vez más densos. La alquimia química de Newton muestra la importancia de la filosofía hermética (a los alquímicos del siglo XVII los llamaban filósofos herméticos) como generadora de ideas no usuales que en determinadas condiciones podían pasar a formar parte de la nueva ciencia. Los principios activos del hermetismo interpretados por Newton como fuerzas de gravitación sirvieron de base para sus construcciones sintéticas planetario-químicas que representaban, bajo un mismo punto de vista, la estructura del cielo y las

ocultas entrañas de la tierra. Esta vida corpuscular-mecanística de las viejas ideas alquímicas, observada en la obra del eminente sabio de la época, muestra con toda evidencia que la ciencia de los siglos XVII-XVIII no estaba dispuesta a abandonar algunos esquemas mentales característicos para ellas. Estos esquemas aparecen como una barrera epistemológica, por lo menos desde el momento en que empieza a regir en la ciencia el programa matemático y experimental.

La química en el siglo XVII no llegó a ser una ciencia en el pleno sentido de la palabra. Es cierto, formó parte del proceso general de transformación de los conocimientos tradicionales en una nueva ciencia y ella misma en ese proceso cambió sustancialmente. Pero no se convirtió en ciencia. Y eso pese a que hacia fines de siglo logró una comprensión más profunda de la combinación química, el desarrollo de las ideas sobre análisis y la investigación de las sustancias a través de las pruebas laboratoriales, el mejoramiento de la clasificación química y el intento de explicación de las reacciones químicas. Todos esos logros muestran la formación de una nueva imagen de la química, que se desarrolla desde la segunda mitad del siglo XVII bajo la influencia de la filosofía natural de la que fue un destacado representante R. Boyle. Pero puede decirse que tampoco la filosofía natural revolucionaria de Boyle (y por supuesto no sólo de él) aunque cambió la química, pudo convertirla en ciencia. ¿Por qué? Examinemos la aportación de Boyle, tratando al hacerlo de aclarar los motivos de su insuficiencia.

Boyle se niega a justificar la química exclusivamente en base a su utilidad. Considera que la química es importante por que brinda a todas las ciencias naturales "materiales para la historia experimental de la naturaleza, sobre la cual con el tiempo se puede construir una sólida teoría" (BOYLE, 1985, p.64). Boyle expresa esa idea en una carta a un amigo suyo, quien le preguntaba por qué él, habiendo trabajado tanto tiempo en la química, había obtenido tan pocos medicamentos nuevos y descubierto tan pocos procesos para la metalurgia. Boyle le contestó a eso que su objetivo era cultivar las ciencias naturales (incluida la química) como valor independiente.

La actitud de Boyle hacia los espagiristas⁴ revela su clara conciencia del valor teórico de los experimentos químicos. Los llama "operadores irracionales".

"Sus experimentos, dice Boyle, pueden ser útiles para los farmacéuticos y, tal vez, para los médicos, pero son inútiles para el Filósofo pre-ocupado no por curar las enfermedades, sino por curar la Ignorancia" (BOAS, 1958, p.68).

Boyle reconocía a los experimentos químicos un interés independiente, puramente teórico, incluyendo con ello a la química en el progreso de la razón, en una nueva ciencia, así se solidarizaba con la filosofía avanzada de su siglo. Se trata de una actitud nueva hacia la química. Boyle la aborda no como alquímico, médico, iatroquímico, sino como experimentador que busca la verdad de la naturaleza (o sobre la naturaleza) en aras de ella misma y no en aras de ventajas prácticas. Boyle resume su posición en la concepción de la "filosofía química" (*Chemiaphilosophica*), pero lamentablemente no le dió tiempo a exponerla en un tratado especial sobre ella.

La barrera institucional

Otro factor que frenó la transformación de la química en ciencia fue la circunstancia institucional de que en el siglo XVII no era norma la interacción de las comunidades de químicos y físicos. Boyle, que demostró el benéfico efecto de la recíproca acción de la física y la química, fue casi una excepción. Cierto es que su enorme autoridad contribuyó al acercamiento de las investigaciones químicas y físicas en el marco de la Sociedad Real. Por ejemplo, R.Hooke expresó interesantes ideas acerca de la combustión de las sustancias en su *Nicrografía*. Junto con él en las sesiones de la Sociedad Real también examinaba los problemas químicos C.Wren. Pero, lamentablemente, en las sesiones de la Academia Francesa no era posible en aquel entonces semejante interacción de la química y física. Es difícil imaginarse que en las discusiones de los químicos franceses participase, por ejemplo, Huygens. La situación de Boyle era realmente excepcional, ya que figuraba como igual entre los pioneros de la nueva ciencia, compartiendo su programa y participando en sus discusiones científicas, siendo, entonces, químico o físico que se interesaba por la química. En el

siglo XVII no se operó un rápido y sólido reconocimiento de Boyle por la comunidad química. Sin embargo, ese reconocimiento sólo podría haber significado una aceleración del proceso del devenir de la química como ciencia. Después de examinar sus trabajos la Academia Francesa, por ejemplo, decidió que Boyle era un gran filósofo natural. Esa valoración no favorecía en modo alguno su reputación como químico. Los químicos del siglo XVII consideran, en su mayoría, y no sin sólido fundamento, que Boyle fisicalizaba demasiado la química y por eso lo admiraban más que lo seguían. Pero paradójico que parezca, para mantener la reputación de verdadero químico en este siglo había que ser místico por poco que fuera, compartir, aunque fuera en parte, las opiniones herméticas. Los filósofos naturales, por otra parte, estaban dispuestos a reconocer que Boyle era una excepción, que en realidad era un químico digno de respeto por ser un filósofo natural. Pero aunque hacían una concesión personal a Boyle, se negaban categóricamente a considerar la química como parte legítima de la filosofía natural. El conservadurismo de la casta profesional, si bien relativamente joven, no permitía aceptar una afirmación inaudita para aquel entonces: la química es una ciencia y no arte útil.

De ese modo vemos como entra en acción una nueva barrera, en este caso institucional, en el camino de la formación de la química científica. En efecto, la química que se transformaría en ciencia (pero aún no se había transformado) experimentaba rechazo tanto por parte de los químicos tradicionalistas como de los filósofos naturales.

La marginalidad de Boyle con su concepción de la filosofía química era, por decirlo así, asimétrica. Realmente el aislamiento de Boyle como físico entre los químicos de su época era mayor que su aislamiento como químico entre los físicos o los filósofos naturales. Los químicos de ese siglo no entraban en la comunidad de los filósofos naturales. Esta barrera disciplinaria frenaba el devenir de la química científica, puesto que limitaba la difusión de la nueva filosofía experimental entre los químicos. La existencia de esas barreras no era casual. La química del siglo XVII efectivamente debía aún demostrar sus derechos de ciudadanía para entrar en la nueva Ciudad de las ciencias.

4 En el siglo XVII los espagiristas eran partidarios de Paracelso y por eso los de tres elementos (azufre-mercurio-sal). Para los espagiristas la química es un arte de dividir y de unir los cuerpos, según las palabras griegas: $\sigma\pi\acute{\omega}$ - dividido y $\tau\rho\epsilon\acute{\iota}\rho\omega$ - uno.

Boyle hizo una sustancial aportación al proceso de formación de la química científica y, hablando con más precisión, a la preparación de la revolución química del siglo XVIII. La nueva comprensión de la química, elaborada por Boyle, pudo en fin de cuentas afirmarse en Francia por mediación de su talentoso discípulo G. Homberg, que en 1691 pasó a ser miembro de la Academia Francesa. Homberg consiguió cambiar el estilo de las discusiones académicas sobre química, supeditándolas al espíritu de la "filosofía química" de Boyle. Ese estilo divergía del estilo de N. Lemery que nunca consideró a la química como parte de la filosofía natural.

Después de los trabajos de Homberg y otros científicos que se adhirieron a esa corriente, los químicos franceses en la Academia obtuvieron el mismo *status* que los mecánicos, los astrónomos, los físicos. Y eso, indudablemente, contribuyó a su acercamiento metodológico. Si se compara ahora el curso de química de Lemery, popular a finales del siglo XVII, con los trabajos de Boyle, pese a todas sus diferencias, salta a la vista una propiedad común para ellos. Efectivamente ambas concepciones de la química, presentadas en ellos, no alcanzan una explicación teórica eficaz del material empírico, no permiten interpretarlo de una manera regular. ¿A qué obedece eso? Dejando ahora a un lado el mecanicismo cartesiano de Lemery, puede decirse, que su interpretación de la química responde a la tradición del elementalismo químico que, en el siglo XVII, se basaba en la justificación organo-analítica de la concepción de los cinco elementos. En efecto, en los casos típicos de destilación de las sustancias orgánicas la primera fracción se determina como espíritus, la segunda como azufre u óleos, la tercera como flegma o agua y el residuo sólido como sal (su parte soluble) y como tierra (la parte insoluble). Este esquema, formado como síntesis de las observaciones de la destilación de las sustancias orgánicas, fue aplicada luego a los metales y sustancias minerales en general. Ese enfoque está justificado en el sentido operacional, pero en el camino de su realización surgieron no pocas contradicciones, cuando se trataba, mediante él, de interpretar las observaciones. Pero también el corpuscularismo de Boyle, a su vez, no pudo ofrecer una relación de la teoría y la experiencia, que permita dirigir con suficiente eficacia la práctica química. Dicho enfoque, por lo contrario, es demasiado, por así decirlo, especulativo-físico y por tanto está alejado de la práctica de laboratorio. La mutua crítica de

estos enfoques, opuestamente orientados, resultó fructífera para el desarrollo de la química. Por sí solos, aislados, ni uno ni otro, en la misma medida, podían convertirse en una teoría eficaz para la química. Y ese fue un factor más de retraso para su transformación en ciencia.

"Lo que necesitaba la química - señala con razón M. BOAS - era un tercer punto de vista, que encarnase una nueva concepción y por eso, precisamente, la química tuvo que esperar su surgimiento durante cierto tiempo" (1958, p.98).

La crítica del elementalismo químico por parte de Boyle consistía en que, partiendo de consideraciones experimentales, se negaba a ver en el procedimiento analítico mencionado más arriba una simple aparición de los elementos de la "mezcla", sujeta a la acción del calor en el curso de la destilación. Boyle llegó a la deducción de que en el transcurso de ese proceso se opera un cambio de las sustancias y por eso no tiene sentido decir que el cuerpo destilado contiene elementos, de los que, al parecer, consta. Con ello Boyle adoptó una posición de antielementarismo. Le parecía que las ideas acerca de la forma, la magnitud y el movimiento de los corpúsculos eran suficientes para explicar científicamente los fenómenos químicos, como también físicos ya que él no hacía una importante diferencia entre ellos.

El fracaso del corpuscularismo del siglo XVII en la química (este no condujo a que surgiera en ese siglo la química científica) pudo considerarse como un precio pagado, lamentablemente, por el radicalismo de esta tendencia, inevitable en aquel entonces. En el dilema básico de la química (elementarismo o atomismo) Boyle optó resueltamente por el atomismo y rechazó el elementalismo. Pero ese rechazo del enfoque orgánico para la química no quedó impune. Al ser escéptico con el concepto de los elementos, Boyle tropezó con dificultades para determinar qué sustancias son realmente simples y cuáles son complejas. Pero precisamente la clasificación de las sustancias en simples y complejas es la base del pensamiento químico, independientemente de todas las teorías acerca de la estructura de la materia.

La barrera cualitativa

Incorporando la química, por lo menos al principio, a las nuevas ciencias naturales, ante todo a

la física, Boyle podía razonar del siguiente modo: la negativa a las cualidades ocultas y a las formas sustanciales en la física fue para ella un gran bien. ¿Por qué entonces una negativa semejante no ha de ser también un bien para la química? Pero la naturaleza de estas ciencias es diferente y eliminar las cualidades de la química resultó mucho más complicado. En ella, por lo visto, no sin motivo, se afianzaron. ¿Por qué la estabilidad del enfoque cualitativo y más ampliamente del pensamiento cualitativista en la química resultó mucho más elevado que en la mecánica? En el tipo cualitativista de la racionalidad vemos un intento de conservar el *status* de auto-explicación del mundo sensitivo, racionalizándolo y explicándolo, por así decirlo, de un modo inmanente, "suave" respecto a él. De ahí se desprenden también los métodos de esta racionalización: la elementología cualitativa, la clasificación cualitativa de las sustancias, etc. En el aspecto metodológico la revolución química relacionada por tradición con Lavoisier aparece como suplantación (cierto que no hasta el fin) de los esquemas cualitativistas del pensamiento. En efecto, los cursos cualitativistas del pensamiento, por ejemplo, caracterizan una de las fundamentales teorías químicas de Stahl, en particular, su concepción de tres tipos de tierra, que parte de los tres principios de Paracelso. Según Stahl, la primera tierra imprime a los cuerpos gravedad, la tercera brillo y ductibilidad, la segunda combustibilidad. Ese es precisamente el famoso flogisto, entendido como sustancia que alimenta la combustión. De ese modo todas las "tierras" de Stahl son principios típicos cualitativos, es decir cualidades sustanciadas, de las cuales, según él, se forman la mayoría de los minerales y metales (METZGER, 1974, p. 131-134).

Por el contrario, los elementos de Lavoisier identificados en el experimento realizado cuantitativamente, son sustancias no desintegrables en las transformaciones químicas, dotadas naturalmente de cualidades, pero aparece, en primer plano, precisamente, el criterio cuantitativo de la composición.

Entre la doctrina de Stahl y la teoría de Lavoisier no sólo existe una gran diferencia, cosa que se ha destacado reiteradamente, sino también cierto grado de positiva sucesión, lo que se ha señalado con bastante menos frecuencia. Realmente Stahl, de acuerdo con el enfoque cualitativista adoptado por él, considera las cualidades como principios absolutos. Por ejemplo, el carácter absoluto de la cualidad de combustibilidad,

representada en el flogisto, significa que el calor no desaparece y no surge sino que sólo circula en la naturaleza. En esta concepción, típicamente cualitativista, de traslación de la cualidad se advierte con toda evidencia una analogía cualitativa con la misma ley de conservación de la materia por la que se regía Lavoisier para abatir el flogisto de Stahl. Ciertamente es que la diferencia de Stahl, Lavoisier presenta esta ley con una formulación cuantitativa (gravimétrica). El tipo cualitativista de racionalidad, al estar limitado más bien al tipo de civilización que a la herencia de Aristóteles (pese a su extraordinaria importancia histórica) fue mantenido en cierto grado también por aquellos científicos que aceptaban el programa atomístico o platónico, por ejemplo, Boyle o Newton. En el curso de la revolución química la racionalidad cualitativista dejó de ser la dominante. El traspaso, característico para el cualitativismo, de las cualidades percibidas por los sentidos a nivel de esencias, destinadas a su explicación, encierra un defecto lógico, una especie de *petitio principii*. El retraso en la formación de la química científica se debe a que la inconsistencia del pensamiento cualitativista se manifestó en la química bastante más tarde que, por ejemplo, en la mecánica. Una de las tareas más importantes de la química como descripción racional de las sustancias y sus transformaciones era la creación de su estable clasificación y nomenclatura. Pero precisamente en este caso el pensamiento cualitativista, ya desde su comienzo, se perdía en los equívocos. De tal modo las observaciones del proceso de cortarse la leche (su "solidificación") resultaron suficientes para hablar en el marco del cualitativismo aristotélico de la composición "térrea" de la leche. Partiendo de que el lenguaje de las cualidades y el de los elementos es identificado prácticamente en el pensamiento cualitativista y que unas mismas sustancias están dotadas de distintas cualidades, es fácil ver que la inclusión de las sustancias en una clase determinada sólo en base a una apreciación cualitativa conduce necesariamente a contradicciones.

Las no racionalidades de la racionalidad cualitativista se manifestarán ante los químicos con creciente fuerza, empujándoles a cambiar el tipo de la racionalidad, concretamente, al paso a un enfoque experimental cuantitativo estructural, capaz de eliminar las contradicciones en el sistema de descripción de las sustancias y sus transformaciones.

Para la química, naturalmente, era de vital importancia no simplemente cambiar el tipo de ra-

cionalidad, remitiéndose a las ideas atomísticas y mecanísticas, sino formar un lenguaje estable y eficaz para describir y explicar los fenómenos concretos, dicho de otro modo, pasar el nuevo pensamiento a través de la "retorta" de la práctica química. Arrojar a Aristóteles del "barco" de la racionalidad química existente, parafraseando al poeta, sustituyéndolo por Pitágoras y Platón, era a todas luces insuficiente para la revolución en la química. Ese punto de vista simplifica la situación, sin percibir un momento esencial, concretamente el mantenimiento, por así decirlo, del modelo cualitativista de la práctica química no sólo antes de la revolución química. Cierto es que ahora ese modelo se controla realmente con ayuda del número pitagórico y la estructura platónica. Pero precisamente el momento de retención de ese modelo (con una transformación importante, por supuesto) que forma, digamos, una fina estructura de la revolución química se pierde de vista en su interpretación tradicional. Esa interpretación es característica no sólo para muchos historiadores de la química del siglo pasado (Hofer, Berthelot y otros), sino también para los científicos contemporáneos, como Cassirer o Farber, cuyas concepciones hemos examinado.

El elementarismo como rival histórico del mecano-copularismo no fue rechazado del todo por la química científica, sino que adquirió un nuevo *status*, convirtiéndose en elementarismo de las sustancias simples puras, y esa pureza y simplicidad, es decir la no disgregabilidad en las transformaciones químicas debían establecerse y demostrarse ahora por métodos cuantitativos. Con otras palabras, Pitágoras y Platón no sustituyeron incondicionalmente a Aristóteles, pero como símbolos de otro enfoque ayudaron a implantar el nuevo elementarismo, verificable experimentalmente y interpretable operacionalmente en este caso, en fin de cuentas, naturalmente, de la manera atomística. Mientras que antes el químico trataba de dirigir los procesos químicos, partiendo ante todo de la descripción cualitativa de las sustancias, ahora coloca la estabilidad de las cualidades mismas, como condición de la seguridad de esta dirección, sobre el firme terreno de las mediciones cuantitativas. Pero los elementos químicos o "principios químicos" no son retirados al hacerlo del arsenal conceptual de la química con el fin de dejar en ella únicamente los "principios de la química" o las leyes matemáticamente formalizadas (posición de E. Farber y otros historiadores de orien-

tación fisicalista). Estos quedan en ella adquiriendo el *status* de sustancias simples puras. Las sustancias puras, clasificadas en simples y no simples, forman de ese modo el armazón de toda la química, siendo una especie de sus leyes materializadas. Las transformaciones en la química de los siglos XVII-XVIII estaban orientadas en muchos aspectos precisamente a establecer de facto qué sustancias son simples y cuales son complejas, señalando a la vez los métodos de comprobación de su pureza y simplicidad. Y contribuyeron a ello no tanto el platonismo o pitagorismo (que también tuvo lugar) como la metodología científica (la lógica de Condillac en el caso de Lavoisier). También contribuyó a ello el triunfo del programa newtoniano, así como el desarrollo de la técnica experimental y a la vez la orientación de los químicos a utilizarla cuantitativamente, y por tanto, a su reproducida aplicación para resolver problemas químicos planteados con bastante precisión. Eso fue el triunfo del método de Galileo en la química. Y encontramos su eficaz desarrollo como programa claramente entendido, precisamente en la obra de Lavoisier y no la de Boyle.

La revolución química de Lavoisier semeja en algo a la revolución física efectuada por A. Einstein. Realmente, en ambos casos, se trata de un cambio radical de la interpretación de las condiciones más generales del experimento. En el caso de Einstein se trata del cambio en la interpretación de las condiciones del posible experimento físico (el electro-magnetismo en la teoría especial de la relatividad y la gravitación en la general). En el caso de Lavoisier se trata del cambio en la interpretación de las condiciones del experimento posible químico, consistente en variar el sentido de bases de este como eran los elementos anteriores (el agua, el aire, el fuego, la tierra). Esa nueva interpretación se realizó merced a la renuncia (si bien no plena) a los esquemas cualitativistas de pensamiento y al paso al enfoque cuantitativista. En el siglo XVII realizan también experimentos planteados cuantitativamente, por ejemplo, el místico neoplatónico Van Helmont y el filósofo natural Boyle. Pero esos experimentos se dejan ser casi cuantitativos por que no realizan con la consecuencia el enfoque cualitativo.

La idea de la estructura geométrica (para Boyle "textura") era la fundamental en el atomismo, pitagorismo y también para Platón. Pero esta idea como tal no podía convertirse en la base de una cuantificación operacional de los fenómenos

químicos. Realmente, para lograr ese objetivo se necesitaba de una eficaz ligazón de las idealizaciones teóricas y el experimento. Pero idea estructural fue durante largo tiempo especulativa y por eso se mantenía la falta de vinculación entre ella y el mundo del experimento. Eso creaba, precisamente, condiciones favorables para el pensamiento cualitativista incluso los intentos de reformar la química sobre la base de una metodología no peripatética y no alquímica. Se puede citar como ejemplo a los espagiristas, cuya teoría de los tres elementos se diferenciaba muy poco por sus principios metodológicos de la teoría aristotélica de los cuatro elementos. Encontramos métodos cualitativistas semejantes en los corpuscularistas. La propia idea de explicar, por ejemplo, las propiedades de los ácidos, partiendo no del principio (elemento) de la acidez⁵, sino de la forma de los corpúsculos, muestra la estabilidad del cualitativismo incluso al elegir un programa que compite con él. En realidad, la sustancia es considerada en ese caso un ácido, con la cualidad ácida que caracteriza su naturaleza, por que se supone que sus corpúsculos constan de partículas agudas pinchantes. La cualidad percibida se transforma y de ese modo se traspassa mediante una analogía

macroscópica a un micronivel. La operación de semejante traspasso, que caracteriza muchos programas anticualitativistas, aunque libra al mundo de las esencias de la directa duplicación en él del mundo de las cualidades sensitivas, no obstante construye ese micromundo de esencias por analogía con nuestro macromundo. Aquí, sin duda alguna, se ha dado un paso para salir del cualitativismo aristotélico, pero no hubo plena ruptura con él ya que el mundo de los corpúsculos sigue siendo un mundo cortado por el patrón del macromundo con su experiencia cotidiana de la génesis de las cualidades.

La principal paradoja del cualitativismo en la química consiste, a juicio nuestro, en que el modelo⁶ de dirección eficaz de los procesos de transformación de las sustancias, formado sobre la base del cualitativismo (el modelo, digamos, de "cocina" (VIZGUIN, 1977)), no puede ser realizado sobre esta misma base.

La vitalidad destacada de la racionalidad cualitativista imprime a la formación de la nueva química el carácter de una especie de "carrera de barreras" y además muy larga. La utilización de la idea de la revolución química como cambio de los tipos de racionalidad permite, en nuestra opinión, comprender mejor ese retraso.

5 Este curso cualitativista del pensamiento fue utilizado por Lavoisier, identificando, sin embargo, este principio cualitativo con una sustancia muy real: el oxígeno.

6 Este modelo fue representado en el libro IV de la *Meteorología* de Aristóteles. Según él, el mundo de devenir sublunar, en palabras más modernas, el de los procesos físico-químicos, se construye, por así decirlo, según el patrón del mundo de cocina: la entrada, la salida y el funcionamiento de este sistema en general se describen como las acciones sólo de unas cualidades (activas: caliente y frío) sobre las otras (pasivas: húmedo y seco). En ese caso las cualidades se llaman δυνάμεις "fuerzas" Nuestro análisis del fenómeno del cualitativismo aristotélico es dado en el libro de: VIZGUIN, V. *Génesis y estructura del cualitativismo aristotélico*. Moscú: Nauka, 1982.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOAS, M.** *Robert Boyle and Seventeenth Century Chemistry*. Cambridge: Cambridge University Press. 1958.
- BOYLE, R.** *Física, química y filosofía mecánica*. Introducción, trad. y notas de Carlos Solís Santos. Madrid: Alianza Editorial, 1985.
- CASSIRER, E.** *Conocimiento y realidad: La noción de sustancia y la noción de función*. (en ruso), San-Petersburgo. 1912.
- COHEN, I.B.** *Revolución en la ciencia*. Barcelona, 1989.
- FARBER, E.** From Chemical Principles to Principles of Chemistry. *Acts of XII International Congress of the History of Science*. Paris, 1968.
- GALILEI, G.** *Le Opere di Galileo Galilei*. Firenze: Ed. Nazionale. Sotto auspici di Sua Maestà il Re d'Italia. t. IV, 1893.
- GOUGH, J.B.** Lavoisier and the Fulfillment of the Stahlian Revolution. *Osiris*, Second Series, v.4, p. 15-33, 1988.
- DOBBS, B.I.T.** *The Foundations of Newton's Alchemy*, Cambridge, London, New York: Cambridge University Press, 1975.
- LAISSUS, Y.** Le Jardin du Roi. In: TATON, René (directeur de la publication) *Enseignement et diffusion des sciences en France du dix-huitième siècle*. Paris, 1986.
- LAVOISIER, A.-L.** El método experimental. Introducción al curso elemental de química. In: LAVOISIER, L. *Memórias*, en ruso, Sobre dirección de M.A.Bloch. Leningrado, 1931.
- MENDELEIEV, D.I.** *Fundamentos de la química*. en ruso, San-Petersburgo, 1895.
- METZGER, H.** *Les doctrines chimiques en France. du début du XVII à la fin du XVIII^e siècle*. Nouveau tirage. Paris: Librairie Scientifique et Technique Albert Blanchard, 1969.
- _____ *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, Paris: Librairie Scientifique et Technique Albert Blanchard, 1974.
- OLSCHKI, O.** *Historia de las letras científicas en lenguas nuevas. Galileo y su época*. Moscú-Leningrado, v. III, 1933.
- PERRIN, C.E.** Research Traditions, Lavoisier and the Chemical Revolution. *Osiris*, Second Series, v.4, p. 53-81, 1988.
- ROHAULT, J.** *Traité de la Physique*. Paris, 1671.
- VIZGUIN, V.** Cualidades en el cuadro del mundo de Aristóteles. *Pryroda (Naturaleza)*, en ruso, n° 5, p. 68-77 1977.
- _____ *Génesis y estructura del cualitativismo aristotélico*. Moscú: Nauka, 1982.

VICTOR VIZGUIN é membro do Instituto de Filosofia da Academia de Ciências da Rússia.
Endereço: 119842 Moscú, Volkonka 14, URSS
Fax. 7-095.200-3250
Tel.: 931-1528 (Dom.).

Revista da SBHC, n. 7, p. 3-14, 1992