

Vida científica

EFEMÉRIDES

300 AÑOS DE LA TABLA DE RELACIONES QUÍMICAS DE ÉTIENNE FRANÇOIS GEOFFROY

La Química se puede considerar una ciencia experimental relativamente joven, ya que los principios que rigen su desarrollo actual se han elaborado en un período de tiempo que se extiende tan sólo desde el siglo XVIII hasta nuestros días. No es extraño que haya sucedido así, pues antes hubo de superar prejuicios y supersticiones acerca de la naturaleza de los elementos y de la constitución atómica de la materia que estaban profundamente arraigados desde tiempos muy antiguos. Pero en cualquier caso, quizá pueda sorprendernos desde nuestra perspectiva actual el hecho de que hace tan sólo tres siglos, la Química considerada como un sistema racional de conocimientos experimentales se encontrase aún en un estado muy rudimentario, dominada todavía por ideas precientíficas procedentes de la Alquimia.

Para elegir un ejemplo particularmente ilustrativo, se puede centrar la atención en una obra perteneciente al momento histórico concreto de principios del siglo XVIII. Se trata de una memoria científica que tenía como objetivo establecer una clasificación de las reacciones más importantes conocidas hasta entonces. Es evidente que con ello revelaba un criterio que se puede calificar de racional y moderno. No obstante, recurría aún a unas reglas de nomenclatura y formulación de las sustancias químicas que procedían directamente de las antiguas fuentes alquímicas. La conjunción de los dos puntos de vista, el antiguo y el moderno, pone de manifiesto el carácter híbrido y transitorio del trabajo. Por tanto, el análisis de las intenciones del autor puede ser útil para esclarecer algunos mecanismos de pensamiento que han guiado la evolución de los saberes tradicionales hasta la ciencia actual.

El trabajo que es objeto de esta reseña fue realizado por el médico y químico francés Étienne François Geoffroy en el año 1718, y se publicó en una revista del mayor prestigio dentro del mundo científico de esa época [1]. A continuación se presenta un breve comentario

de sus principales características dentro de su contexto histórico.

EL CONCEPTO DE AFINIDAD DESDE LA ALQUIMIA A LA QUÍMICA

La tendencia de las sustancias a efectuar combinaciones químicas entre sí ha inspirado viva curiosidad desde tiempos muy remotos. En el siglo XIII, San Alberto Magno intentó explicarla mediante la idea de afinidad, que recogía antiguas creencias acerca de la acción química como resultado de una cierta semejanza o compatibilidad entre las sustancias reaccionantes [2]. En el fondo no se trataba sino de aplicar la doctrina del amor y el odio como fuerzas primordiales, al terreno de las transformaciones químicas [3]. Pero estas proposiciones de carácter espiritualista resultaban insatisfactorias, tanto por su incapacidad para explicar las diferencias evidentes entre los diversos tipos de procesos químicos, como por su imposibilidad de predecir qué ocurriría en los casos aún inexplorados.

A partir del siglo XVIII se fueron abandonando muchas vagas creencias heredadas de tiempos pretéritos, proponiendo en su lugar otras explicaciones más racionalistas. La revolución industrial estaba aún lejana, pero ya se empezaba a demandar una comprensión cuantitativa de los fenómenos naturales que permitiera controlarlos mejor. En la época en que Geoffroy realizó su trabajo, estaba en auge un concepto de afinidad química basado en las ideas de Isaac Newton, personaje que ejerció una gran influencia científica durante todo el siglo XVIII, incluso en un país como Francia que era bastante reacio a admitir lo que llegaba de Inglaterra [4]. En esta aproximación mecanicista, las reacciones químicas se explicaban por la simple atracción entre las partículas de las sustancias interaccionantes [5]. Actualmente sabemos que la fuerza gravitatoria resulta despreciable en cuerpos de masas tan pequeñas como las moléculas, pero ya entonces resultaba evidente para muchos que la atracción tal como la concebía Newton, no era suficientemente específica para explicar la variedad de combinaciones químicas conocidas [3]. De ahí que se fuera imponiendo la tendencia de obtener resultados experimentales y sistematizarlos, con objeto de comprender su

naturaleza real y acaso poder realizar predicciones, sin entrar en especulaciones teóricas cuanto menos dudosas. En esta escuela de trabajo, orientada hacia una tenaz recolección e interpretación de las observaciones, se situaba el trabajo de Geoffroy.

EL PERSONAJE

Étienne François Geoffroy nació y murió en París (1672-1731) y fue uno de los más ilustres químicos y médicos franceses del siglo XVIII [6]. Perteneció a una distinguida familia de boticarios parisienses que constituyó una auténtica dinastía que se remontaba al siglo XVI [7]. Su padre Matthieu-François (1644-1708) desempeñó un importante papel en la sociedad de eruditos científicos durante el reinado de Luis XIV, participando activamente en un entramado de relaciones personales que favorecería decisivamente la educación y promoción de nuestro personaje [8]. Él mismo fue apodado como Geoffroy *l'Aîné* (el viejo o el mayor) para distinguirlo de su hermano menor Claude Joseph (1685-1752), también químico y farmacéutico.



Figura 1. Retrato de Étienne François Geoffroy (1672-1731). Grabado de Louis Surugue (1737) realizado a partir de un retrato de Nicolas de Largillière.

Recibió una esmerada formación científica, a lo largo de la cual estudió en la Universidad de Montpellier para perfeccionar sus conocimientos farmacéuticos (1692-1693), acompañó al conde de Tallart en su estancia en Londres como embajador extraordinario de Luis XIV (1698), donde tuvo ocasión de entrar en contacto con investigadores destacados, y posteriormente viajó por los Países Bajos e Italia, fortaleciendo sus relaciones profesionales con los sabios europeos de la época y madurando una vocación médica cada vez más profunda. A su regreso a París fue nombrado profesor de Química en el Jardín Real de las Plantas medicinales de París (1707), y después ejerció como profesor de Medicina en el Colegio Real hasta su fallecimiento (1709-1731). Fue miembro de la Royal Society (1698) y de la Academia Real de Ciencias de Francia (1699), siendo encargado de la transferencia de resultados científicos entre ambas instituciones. En su madurez ostentó el cargo de decano de la Facultad de Medicina de París (1726-1729), desde el cual tuvo que participar en un largo proceso de defensa de las competencias profesionales de los médicos frente a los cirujanos de dicha ciudad.

La intensa labor docente y profesional de Geoffroy revela que además de su actividad dentro de la Química, que es objeto de esta reseña, mantuvo una relación interdisciplinaria con la Farmacia y la Medicina [9], la cual quedó reflejada en su obra póstuma *Tractatus de materia medica*, publicada en latín en tres volúmenes, donde se dedica especial atención a la preparación de remedios por métodos químicos [10].

LA COMUNICACIÓN CIENTÍFICA EN EL ANTIGUO RÉGIMEN

El trabajo de Geoffroy se publicó en la revista científica *Histoire de l'Académie royale des Sciences, avec les Mémoires de Mathématique et de Physique. Tirés des registres de cette Académie*, órgano de la Academia Real de Ciencias de Francia, que apareció en el período desde 1699 hasta 1790 (de hecho a partir de 1702, debido al retraso habitual de la época), editada por la Imprenta Real. Dicha revista era algo así como el órgano oficial de la ciencia francesa durante el Antiguo Régimen. Su edición estaba al cuidado de Bernard Le Bovier de Fontenelle (1657-1757), Secretario perpetuo de la Academia desde 1697 hasta 1740, desde donde llevó a cabo una labor de modernización de las actividades científicas que imprimió un indudable carácter al Siglo de las Luces [11].

Cada volumen de la revista se dividía en dos partes: la *Histoire* y las *Memoires*, que tenían una paginación separada. Se dedicaban unas 200 páginas a la primera parte, que contenía los *Eloges* de los académicos, y unas 500 páginas a la segunda parte, conteniendo las *Memoires* originales de los diferentes autores, tales como la de Geoffroy, junto con numerosos grabados que ahora presentan un aspecto tan anticuado como cautivador. En general, cada volumen era de aparición anual, si bien su publicación podía diferirse considerablemente, de modo un tanto aleatorio; por este motivo, la revista que contiene los trabajos de 1718, entre ellos el de Geoffroy, lleva en portada la fecha de edición de 1741. Es posible que en la vida dulce de los tiempos anteriores a la Revolución no hubiese necesidad de comunicar con urgencia los últimos avances de las investigaciones científicas, ya que los pocos que podían realizarlas estaban bien informados de lo que hacían unos y otros, y de no ser así, ya lo conocerían de palabra en alguna sesión presencial organizada por la Academia.

El año de 1718 en que Geoffroy presentó su trabajo se enmarca en un período de transición de la historia de Francia conocido como la Regencia (1715-1723), durante el cual el duque Felipe de Orleans ejerció temporalmente como regente debido a la minoría de edad del

HISTOIRE
D E
L'ACADEMIE
ROYALE
DES SCIENCES.

Année M. DCCXVIII.

Avec les Memoires de Mathematique & de Phisique,
pour la même Année.

Tirés des Registres de cette Academie.



A PARIS.
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.
M D C C X L I.

Figura 2. Portada de la revista que contiene el trabajo de Geoffroy, correspondiente a 1718 y publicada en 1741.

202 MEMOIRES DE L'ACADEMIE ROYALE
seul, on aura le tems d'appeller les secours dont on aura
besoin.

Cet Instrument pourra servir dans tous les cas où l'in-
terdiction du cours du sang dans quelque partie sera ne-
cessaire, ou bien lorsqu'il faudra seulement diminuer la
force avec laquelle il s'y porte.

T A B L E

Des differents rapports observés en Chimie entre
differentes substances.

Par M. GEOFFROY l'Ainé.

27. Août.
1718.

ON observe en Chimie certains rapports entre diffé-
rens corps, qui font qu'ils s'unissent aisément les
uns aux autres. Ces rapports ont leurs degrés & leurs
loix. On observe leurs differents degrés, en ce que parmi
plusieurs matieres confonduës & qui ont quelque disposi-
tion à s'unir ensemble, on s'apperçoit qu'une de ces sub-
stances s'unir toujours constamment avec une certaine au-
tre préferablement à toutes.

Pour ce qui est des loix de ces rapports, j'ai observé
que parmi des substances qui avoient cette disposition à
s'unir ensemble, deux se trouvant unies, quelques-unes de
celles qu'on en approchoit ou qu'on y méloit, se joignoient
à l'une d'elles & faisoient lâcher prise à l'autre, & quelques
autres aussi ne se joignoient ni à l'une ni à l'autre, & ne
les détachoiënt point. D'où il m'a paru que l'on pourroit
conclure avec assez de vrai-semblance que celles qui se
joignoient à l'une des deux avoient plus de rapport d'u-
nion ou de disposition à s'unir à elle que les autres qui
lâchoient prise à leur approche. Et j'ai crû qu'on pourroit
déduire de ces observations la proposition suivante qui est
très-étendue, quoiqu'on ne puisse pas la donner comme

Figura 3. Primera página del trabajo de Geoffroy acerca de la Tabla de las relaciones observadas en Química entre diferentes sustancias.

futuro rey Luis XV. Eran tiempos turbulentos de alianzas y guerras, entre ellas una próxima a estallar contra España. Es también el marco histórico donde se sitúa una novela tan popular como *El jorobado o Enrique de Lagardère*, escrita por Paul Féval en 1857.

LA TABLA DE RELACIONES QUÍMICAS

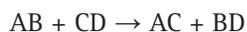
El trabajo que comentamos se centra, desde el punto de vista de la historia de la Química, entre las obras maestras de Robert Boyle (1627-1691) *The sceptical chymist* [12] y de Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) *Traité élémentaire de Chimie* [13]. Se titula *Table des differents rapports observés en Chimie entre differentes substances* y está redactado íntegramente en francés. Comienza estableciendo que las relaciones de afinidad entre los cuerpos materiales presentan notables variaciones de grado, para proponer a continuación una clasificación de varias sustancias químicas, atendiendo a su disposición más o menos favorable hacia la unión con una sustancia de referencia, que es la que caracteriza a cada familia. Hasta ahí, el trabajo se puede considerar una extensión más del concepto tradicional de afinidad, pero la novedad de integrar toda la información de que se disponía en un cuadro de conjunto, ha de acreditarse al espíritu científico de Geoffroy.

las sustancias químicas procedentes de la Alquimia, al mismo tiempo que adopta una actitud racionalista. Esta nueva actitud tiene un doble aspecto. Por un lado expresa dichos nombres y símbolos de un modo comprensible al lector de la época, y por otro ordena las afinidades sobre una base semicuantitativa, partiendo de datos experimentales obtenidos en el laboratorio.

Pocos años después, Geoffroy insistió en su línea racionalista de modo aún más explícito, publicando otro trabajo que criticaba las supercherías de la piedra filosofal [18]. Por tanto, su obra evidencia la tensión dialéctica típica del Siglo de las Luces, entre tradición y modernidad, que sólo se resolverá con el nacimiento de la Química como ciencia, dotada ya de nuevas leyes surgidas de nuevos conocimientos y adecuadas para proyectar experimentos futuros.

CONSECUENCIAS CUALITATIVAS Y CUANTITATIVAS

El trabajo de Geoffroy de 1718 fue culminado más de medio siglo después por Torbern Olof Bergman (1735-1784), químico sueco célebre por sus descubrimientos de varios compuestos, así como por sus sistematizaciones de la Química y la Mineralogía. En esta labor sistematizadora se constata un aumento muy notable del número de compuestos y relaciones químicas conocidos. Bergman elaboró unas tablas [19], similares a las de Geoffroy, para 59 sustancias, en las que diferenciaba las “atracciones electivas simples”, o sea las reacciones de desplazamiento, y las “atracciones electivas dobles”, que eran reacciones de doble descomposición del tipo:



El número de experimentos individuales necesarios para determinar con exactitud todas las posibles relaciones de las sustancias de las tablas fue estimado por Bergman en más de 30.000.

En relación a las fuerzas que gobiernan estas reacciones de doble descomposición, no está de más recordar el relato de significativo título *Las afinidades electivas*, del autor alemán Johann Wolfgang Goethe, publicado en 1809, que describe los conflictos matrimoniales que afectan a las personas de modo similar a como las leyes naturales determinan las relaciones entre los elementos químicos. Los dos personajes principales de la obra son la pareja formada por Charlotte y Eduard (elementos A y B), que se ven influidos y alterados por el poder de atracción que ejercen los personajes de El Capitán y Ot-

tilie (elementos C y D), de modo tan imperativo y misterioso como las fuerzas que rigen las combinaciones químicas. De nuevo surge la idea tradicional de la afinidad, pero esta vez no son los sentimientos los que subyacen tras los cambios materiales, sino más bien lo contrario; y tampoco la afinidad se reduce a la simple combinación de dos elementos, sino que se extiende a una situación mucho más compleja. No cabe duda de que el tema de las afinidades cambiantes flotaba en el ambiente, pues de modo similar la separación y recombinación de parejas había constituido la trama de la ópera *Così fan tutte*, de Wolfgang Amadeus Mozart y Lorenzo da Ponte, estrenada en 1790, si bien esta obra no había tenido en cuenta la analogía química, al carecer de las intenciones generalizadoras de Goethe y de su énfasis irracional, que ya presagiaba el Romanticismo.

Es interesante que los trabajos de Geoffroy y Bergman se centraban en las categorías de reacciones más genéricas que forman parte de la Química, tales como las de desplazamiento y doble descomposición. Todavía no había llegado el momento de entrar en distinciones acerca de las reacciones típicas del campo inorgánico: ácido-base, oxidación-reducción, precipitación y formación de complejos, por no hablar de aquellas otras que se fueron descubriendo durante los avances de la síntesis química en el campo orgánico: sustitución, adición, eliminación y transposición, entre otras. Quedaba una gran tarea por realizar aún.

Parte de esa tarea, ya bien entrado el siglo XIX, fue desarrollar una interpretación de la tendencia espontánea de las reacciones químicas, basada en consideraciones termodinámicas generales, sin recurrir a forzadas analogías con los sentimientos humanos. Ello fue posible porque de acuerdo con el Segundo Principio, el sentido espontáneo adquiriría el significado inequívoco del aumento de entropía del universo, o más sencillamente del descenso de energía libre del sistema reaccionante. Así, las reacciones eran tanto más favorables cuanto mayores eran las variaciones de dichas magnitudes. Recogiendo datos experimentales de muy diversos orígenes, se construyeron tablas de valores de energía libre de muchas sustancias químicas [20]. Desde entonces ya no es necesario ordenar todas las combinaciones posibles según su mayor o menor tendencia, ya que la energía libre neta que se pone en juego en cada reacción, y con ella la constante de equilibrio, se pueden determinar fácilmente sin más que sumar y restar las energías libres de los reactivos y de sus posibles productos.

Esta solución había llegado en un momento oportuno. Basta considerar que el número actual de compuestos químicos, según el Registro CAS de la American Chemical Society, supera los 142 millones. Sería imposible tabular todas las posibles relaciones de este gran número de compuestos, pues aunque no todos reaccionan entre sí, los que sí lo hacen pueden dar varios productos diferentes y en condiciones varias. Se dispone de bases de datos que recopilan las reacciones químicas según criterios muy específicos, pero no existe un catálogo general como el de compuestos; si bien se puede estimar que el número de todas las reacciones posibles sería de enorme magnitud. La tarea de efectuar su ordenación en términos cuantitativos resulta inabordable, no ya por el número de procesos a considerar, literalmente astronómico, sino por nuestra ignorancia de todos los valores necesarios de energía libre, que además difieren significativamente de unas condiciones a otras.

Para mayor complicación, el concepto de afinidad ha evolucionado en la actualidad hacia un doble sentido: el macroscópico, que se interpreta mediante el concepto de energía libre, y el microscópico, que es objeto de la teoría del enlace químico. El tratamiento teórico que debe conectar ambos niveles de descripción se encuentra todavía por desarrollar en gran parte. Si alguna vez se logran todos estos objetivos, por ahora remotos, será obligado rendir un homenaje de admiración a maestros como Geoffroy y sus continuadores, que supieron señalar el largo camino que quedaba por recorrer.

REFERENCIAS

- [1] Geoffroy EF (M. Geoffroy l'Aîné) (1741). Histoire de l'Academie royale des Sciences, avec les Memoires de Mathematique et de Physique, pour la même année, 1718, 202–212.
- [2] Findlay A (1948). A hundred years of Chemistry, 2ª ed. Gerald Duckworth, Londres. Pág. 93.
- [3] Leicester HM (1971). The historical background of Chemistry. Dover, Nueva York. Págs. 125–127.
- [4] Henry J (2002). The scientific revolution and the origins of modern Science, 2ª ed. Palgrave, Houndmills y Nueva York. Pág. 110.
- [5] Newman WR (2006). Atoms and Alchemy. Chymistry and the experimental origins of the scientific revolution. The University of Chicago Press, Chicago y Londres. Pág. 134.

- [6] Hoefer F (1869). Histoire de la Chimie, tomo 2, 2ª ed. Firmin Didot Frères, Fils et Cie., París. Págs. 370–371.
- [7] Dorveaux P (1931). Revue d'histoire de la pharmacie, 19, 118–126.
- [8] Lafont O, Lafont M (1991). Revue d'histoire de la pharmacie, 79, 15–23.
- [9] Joly B (2014). Osiris, 29, 117–131.
- [10] Geoffroy EF (Stephano-Francisco Geoffroy) (1741). Tractatus de materia medica, sive de medicamentorum simplicium, historia, virtute, delectu et usu, en 3 volúmenes. J. Desaint y C. Saillant, París.
- [11] Seguin MS (2012). Dix-huitième siècle, n° 44, 365–379.
- [12] Boyle R (1661). The sceptical chymist: or chymico-physical doubts & paradoxes. F. Croke, Londres.
- [13] Lavoisier AL (1789). Traité élémentaire de Chimie, présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes, en 2 volúmenes. Chez Cuchet, París.
- [14] Hoch JH (1934). Journal of the American Pharmaceutical Association, 23, 431–437.
- [15] Varios autores (1937). Report of discussion upon chemical and alchemical symbolism, en Ambix, 1, 61–77.
- [16] Holmyard EJ (1990). Alchemy. Dover, Nueva York, cap. 7.
- [17] Klein U (1995). Ambix, 42, 79–100.
- [18] Geoffroy EF (M. Geoffroy l'Aîné) (1724). Histoire de l'Academie royale des Sciences, avec les Memoires de Mathematique et de Physique, pour la même année, 1722, 61–70.
- [19] Bergman T (1786). Nova Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis, 2, 161–250 (1775); A dissertation on elective attractions, en: Murray J, Londres, Elliot C (Eds.), Edimburgo, 1785; Opuscula Physica et Chemica, vol. III. Officina Libr. Jo. Godof. Mülleriana, Lipsiae (Leipzig), cap. XXXIII: De attractionibus electivis.
- [20] Lewis GN, Randall M (1923). Thermodynamics and the free energy of chemical substances. McGraw-Hill, Nueva York y Londres, cap. XLII.

Fernando Peral Fernández
Dpto. de Ciencias y Técnicas Fisicoquímicas