

LA EVOLUCION DEL CONCEPTO DE AFINIDAD ANALIZADA DESDE EL MODELO DE S. TOULMIN

ANNA ESTANY
MERCÉ IZQUIERDO
Universidad Autónoma de Barcelona

RESUMEN

En este artículo se aplica el modelo de S. Toulmin a la evolución del concepto de afinidad en la historia de la química, entre 1710 y 1810. Este análisis se sitúa en el área de la racionalidad del cambio científico. Hemos escogido el concepto de afinidad química para comprobar si el modelo de Toulmin, considerado como un metasisistema conceptual, permite explicar el cambio científico a través de la evolución de los conceptos científicos. Nuestro análisis se basa en la obra de Stahl, Geoffroy, Black, Macquer, Bergman, Lavoisier y Berthollet, todos ellos químicos que vivieron durante el siglo XVIII.

Este artículo consta de diversas partes. La primera de ellas es un estudio historiográfico del concepto "afinidad química" durante el tiempo considerado.

ABSTRACT

The aim of this paper is the application of S. Toulmin's model to the evolution of the concept of affinity in the History of Science since 1710 till 1810. This analysis can be placed in the area of the rationality of scientific change. We take the concept of affinity to show if Toulmin's model, considered as conceptual metasytem, is able to explain the evolution of scientific concepts. We have founded our analysis on Stahl, Geoffroy, Black, Macquer, Bergman, Lavoisier and Berthollet, chemist during the 18th century.

This paper has several sections: first of all, a historiographical study on the concept of affinity during the time considered.

La segunda consiste en una presentación del modelo de Toulmin y en la tercera se evalúa el modelo, considerando su utilidad para representar la evolución del concepto de "afinidad" en la Historia de la Química. Finalmente, se presentan algunas conclusiones en función del análisis realizado.

The second part is an account of Toulmin's model, the third one is an evaluation of the model, showing if Toulmin's model fits the evolution of the concept of affinity in the History of Chemistry and finally, several conclusions are based on the previous analysis.

Mercè Izquierdo ha realizado la aproximación histórica y Anna Estany, la filosófica. Esto no significa, sin embargo, que se trate de dos trabajos independientes, sino que el artículo es el resultado de la colaboración en el análisis del concepto "afinidad" de dos diferentes puntos de vista, es decir, de la Historia de la Ciencia y de la Filosofía de la Ciencia.

Mercè Izquierdo has realized the historical approach and Anna Estany the philosophical one. This does not mean that they are two independent works but the result of the collaboration in the analysis of the concept of affinity from two different points of view, that is to say, from History of Science and from Philosophy of Science.

Palabras clave: Afinidad química, Historia de la química, Filosofía de la ciencia, Siglo XVIII, Toulmin, Cambio científico.

1. Introducción

El objetivo de este trabajo es la aplicación del modelo de S. Toulmin a la evolución del concepto de afinidad durante el periodo de la Historia de la Química comprendido entre 1710 y 1810. El trabajo se enmarca dentro del análisis de la racionalidad de la ciencia y, en particular, de la dinámica científica. Se trata de dar razón de la evolución de determinados conceptos de la Química, centrándonos en el de afinidad. Para ello hemos tomado el modelo de Toulmin como metasistema conceptual para explicar dicha evolución. La elección de este modelo en particular obedece al especial énfasis que Toulmin pone en la evolución de los conceptos para explicar el cambio de las teorías científicas.

El trabajo consta de varios apartados: un estudio historiográfico sobre el concepto de afinidad durante un periodo determinado de la Historia de la Química, una exposición del modelo de Toulmin, una contrastación entre la evolución histórica del concepto y el modelo que queremos aplicar y, finalmente, unas conclusiones fruto del análisis llevado a cabo. La parte

histórica corre a cargo de Mercè Izquierdo y la parte filosófica al de Anna Estany, sin que ello signifique que se trata de dos trabajos independientes e inconexos sino fruto de la puesta en común de información e ideas procedentes de ambos campos (histórico y filosófico). En especial, las conclusiones son el resultado de largas conversaciones sobre el tema desde campos distintos.

Este trabajo tiene, por tanto, dos vertientes, una historiográfica y otra filosófica, interrelacionadas entre sí. La comprensión de esta interrelación y, por tanto, del propio trabajo, está en función de los supuestos que subyacen a la dinámica entre la Historia de la Ciencia y la Filosofía de la Ciencia, constituyendo una cuestión muy debatida tanto en círculos de filósofos como de historiadores de la Ciencia. El problema está en si consideramos la Historia y la Filosofía de la Ciencia como dos disciplinas independientes o bien consideramos que la investigación en uno de estos dos campos (historia o filosofía) implica tener en cuenta la producción teórica del otro.

Respecto a esta cuestión podemos encontrar posturas radicales en uno u otro sentido, desde la defensa del "apriorismo" de las construcciones metateóricas y, por tanto, la absoluta independencia de la Filosofía de la Ciencia respecto a la Historia de la Ciencia, hasta la defensa de la Filosofía de la Ciencia como una mera descripción de las actividades de los científicos. No faltan tampoco posturas intermedias; sin embargo, lo que aquí nos interesa es ver si podemos perfilar una relación entre Historia y Filosofía de la Ciencia que evite tanto el "apriorismo" como el "descripcionismo" y que sea la base de una dinámica fructífera entre Historia y Filosofía de la Ciencia.

La aplicación del modelo de Toulmin a la evolución del concepto de afinidad se inserta de lleno en la dinámica entre Historia y Filosofía de la Ciencia y tiene en cuenta los siguientes presupuestos fundamentales: por un lado, no considerar la historia de la ciencia como un marco que determine unívocamente las posibilidades de producción metateórica; por otro, adoptar como criterio de evaluación de cualquier modelo metateórico la contrastación con la historia de la ciencia.

2. El Modelo de Toulmin

Toulmin se plantea la explicación del cambio científico en términos de cambio conceptual y para ello toma la teoría de la evolución de Darwin como modelo analógico para estudiar la evolución de los conceptos científicos. Dice al respecto:

"Darwin dice en *The Origin of Species*: "Si llegan a producirse variaciones útiles en un ser orgánico, seguramente el individuo que posea tales caracteres tendrá la mejor posibilidad de conservarse para la lucha por la vida, y por el

poderoso principio de la herencia tender a engendrar vástagos con los mismos caracteres". ...Un problema semejante se plantea con respecto a la evolución conceptual. El cambio conceptual en una ciencia puede realizarse, efectivamente, sólo si las innovaciones transitorias no mueren automáticamente con sus creadores"¹.

Para Toulmin la unidad básica de la dinámica científica es el cambio conceptual alrededor del cual giran todos los demás cambios. Presenta tres vías (no excluyentes entre sí) para abordar la evolución de los conceptos (ver gráficos al final del artículo): una de corte temporal o transversal en la que las relaciones entre conceptos en un tiempo "t" son relaciones lógico-formales, y el desplazamiento de conceptos se realiza por "buenas razones"; una de representación longitudinal o genealógica en la que hay un seguimiento de los conceptos a través del tiempo; y una representación evolutiva que se mueve en dos parámetros: innovación (aspecto descriptivo) y selección (aspecto normativo).

Los problemas que surgen en el curso de la investigación científica juegan un papel importante en el modelo de Toulmin. Entiende los problemas científicos como el resultado de la diferencia entre los ideales explicativos y las posibilidades reales de la investigación científica. Toulmin distingue quince tipos de variaciones conceptuales en función de cinco tipos de problemas y tres modos de resolverlos. Respecto a los tipos de problemas dice:

"Consideremos por turno las cinco clases típicas de fenómenos. a) Siempre hay ciertos fenómenos que la ciencia de la naturaleza puede esperar razonablemente explicar, pero para los que ningún procedimiento disponible proporciona todavía un tratamiento exitoso... b) Siempre hay fenómenos que pueden ser explicados hasta cierto punto usando procedimientos explicativos corrientes, pero con respecto a los cuales los científicos desearían explicaciones más completas o más precisas... c) Comprende los problemas que se presentan cuando consideramos la mutua relación de diferentes conceptos coexistentes en una misma rama de la ciencia... d) Incluye los que conciernen a la mutua relación de conceptos de diferentes ramas de la ciencia... e) Estos problemas surgen de conflictos entre conceptos y procedimientos corrientes, de las ciencias especiales y las ideas y actitudes corrientes entre la gente en general"².

Respecto a los modos de resolver problemas dice:

"En teoría, en todo caso, se puede comenzar a resolver problemas de cualquiera de los cinco tipos principales examinados en el capítulo anterior en cualquiera de tres modos alternativos: 1) refinando la terminología, 2) introduciendo nuevas técnicas de representación o 3) modificando los criterios para identificar casos a los que sean aplicables las técnicas corrientes"³.

Hasta aquí el modelo aborda el aspecto descriptivo de cualquier modelo de cambio científico, en el sentido siguiente: si cogemos la historia de las ciencias como materia prima sobre la que teorizamos, según el modelo de Toulmin tendríamos que poder acoplarla en alguno de los tipos que describe. Pero cualquier modelo de cambio científico (y el de Toulmin no es una excepción) pretende algo más que proporcionar unas categorías con las que describir la historia de las ciencias; en realidad todo el empeño de la filosofía de la ciencia en su vertiente dinámica consiste en encontrar explicaciones a la evolución de la ciencia y *demostrar la racionalidad de la empresa científica*. Para ello Toulmin pasa a analizar los criterios que intervienen en la selección de variantes conceptuales.

Al preguntarse por los criterios de selección, Toulmin distingue entre aquellos casos "claros", es decir, cambios "rutinarios" en los que los criterios de selección están bien definidos, y casos "nebulosos" o cambios "excepcionales" en los que lo que está cuestionándose son los propios criterios de racionalidad. En ambos casos tiene en cuenta los factores internos que giran alrededor del concepto de madurez de una disciplina, la cual está en función de la captación de problemas, de la construcción de modelos matemáticos, de la disponibilidad de los instrumentos necesarios, etc.; y los factores externos como los políticos, religiosos, ideológicos, etc.

Los cambios excepcionales o nebulosos hacen tambalear la "autoridad soberana" al propugnar un cambio total de estrategia. En este sentido, la pregunta *¿Por qué se produce tal cambio conceptual?* puede interpretarse como la búsqueda de las razones de este cambio o bien como la búsqueda de las causas de dicho cambio. Según Toulmin sólo recurriríamos a las explicaciones causales cuando no hubiéramos encontrado razones para tal cambio.

Toulmin propone una serie de criterios para comparar teorías que estén fuera de ellas y que al evaluar teorías rivales lo haga por medio de conceptos comparativos. Los criterios disciplinarios de elección reconocidos son siempre múltiples y a veces apuntan en direcciones opuestas, de modo que un cambio teórico propuesto puede ser muy atractivo en un aspecto y retrógrado en otro⁴.

Por consiguiente, es inútil que busquemos un solo índice o medida que indique en todos los casos si un cambio conceptual debe considerarse como una "mejora" o no. Como filósofos podemos aguzar nuestra comprensión de los diversos tipos de méritos que son relevantes en la práctica para la evaluación de variantes rivales (por ejemplo, predictibilidad, coherencia, alcance, precisión, inteligibilidad, etc.) y podemos hallar siempre casos que ejemplifiquen como criterios particulares para juzgar el mérito favorecen algunos cambios conceptuales⁵.

En torno al tema de los criterios de selección de teorías surge la cuestión del papel del juicio personal del científico que estipula las razones para elegir entre teorías alternativas. Digo problema porque este punto puede representar un resquebrajo de la racionalidad al introducirse elementos subjetivos de la mano de la opinión personal de los científicos. A este respecto Toulmin plantea la posibilidad de formular una serie de restricciones objetivas y puntualiza que la intervención de juicios personales no implica subjetividad sino, en todo caso, relatividad. Argumenta a favor de la distinción entre subjetividad y relatividad recurriendo a la Jurisprudencia como modelo analógico de cómo funciona la Filosofía de la ciencia. En último término, (según Toulmin) la diferencia entre las ciencias naturales y el derecho, desde el baremo de la racionalidad, sería sólo una cuestión de grado.

3. Estudio Historiográfico del concepto de afinidad en el periodo 1710-1810

En la época en la que iniciamos nuestra reflexión *el estilo de trabajo de los químicos es parecido al actual* y la profesión de químico empieza a ser valorada socialmente. Son ya muchos los que intentan que la química llegue a ser una "filosofía natural" y no sólo una artesanía y que procuran explicar los fenómenos químicos a partir de los Principios que fundamentaban la Mecánica desde Newton, en la segunda mitad del siglo XVII.

A lo largo del siglo XVIII coexisten aún diversas teorías que permiten la interpretación de algunos fenómenos químicos, elaboradas algunas de ellas en el siglo anterior. Todas ellas son parciales, pero su función explicativa, al menos en alguna parcela del conocimiento químico, permitió la elaboración de los conceptos imprescindibles para poder llegar a explicaciones más generales. El aspecto más novedoso que van incorporando paulatinamente los esquemas teóricos es la adecuación creciente de las teorías a la experimentación, que va apareciendo como una importante fuente de conocimiento. El concepto "afinidad" se enmarca en esta orientación experimentalista de las teorías químicas.

En este artículo nos interesan especialmente las explicaciones que se refieren a la justificación teórica de las propiedades de los cuerpos y de sus cambios. En el esquema que se ofrece a continuación hemos intentado aislar sus ingredientes comunes y, a la vez, diferenciadores; de él se pueden deducir los diversos paradigmas posibles, combinando cada una de las posibles opciones referentes a la constitución de la materia con las diversas interpretaciones del cambio de los cuerpos.

La materia es	continua discontinua: átomos o partículas	con propiedades todos iguales, diferentes formas
El cambio "químico" es	transmutación de la substancia provocado por un "principio" del cambio intercambios de principios	

3.1. Marco teórico del concepto "afinidad". Conceptos relacionados con el de "afinidad química"

El término afinidad se refiere a la causa de la interacción entre los materiales, cuando se supone que ésta se halla en los propios cuerpos. Originariamente corresponde a una visión antropomórfica de la naturaleza, propia del Renacimiento, según la cual los cuerpos se unen entre ellos o bien se rechazan, debido a "simpatías" o "enemistades"; se fundamenta en una tradición más antigua, propia de una concepción mágica del mundo según la cual existen relaciones complejas de similitud entre todos los entes, de manera que algunas cosas son signo de otras y reciben un nombre que representa estas relaciones, que no siempre son evidentes.

Newton ofrece una nueva visión del cambio químico cuando, en las últimas cuestiones de "Optica", sugiere que todos los cuerpos están formados por partículas iguales y que existen fuerzas de atracción entre estas partículas diminutas, que son análogas a las fuerzas gravitatorias. Otros científicos contemporáneos, más comprometidos con la química experimental, adaptaron fácilmente esta sugerencia a la existencia de "principios" de constitución de los cuerpos portadores de propiedades, que podían ser particulados. A partir de este momento el concepto de afinidad, relacionado con otros conceptos importantes de la ciencia química incipiente, empieza a adquirir nuevos rasgos semánticos y aparece como un intento de regulación del intercambio entre los principios de los cuerpos que supuestamente se produce en los cambios "químicos".

Las características de la ciencia química a principios del siglo XVIII se recogen en los puntos que se exponen a continuación.

A. La descripción de la composición de los materiales mediante la supuesta existencia en ellos de principios con cualidades y el abandono progresivo de los cuatro elementos, que pasaron a ser considerados como las condiciones necesarias para que se produzca el cambio.

B. Una concepción "unitaria" de los cuerpos, que evoluciona lentamente desde la suposición de la existencia en todos ellos de un principio común hacia una visión discontinua y mecanicista de la materia; con ello, la química irá dotándose progresivamente de un nuevo método.

C. La aceptación simultánea de la obra de Newton y de Descartes conduce al planteamiento de problemas cuantitativos, la solución de los cuales requiere un nuevo lenguaje fundamentado en conceptos métricos.

Vamos a desarrollar a continuación estos tres apartados.

A. Los principios con cualidades

Los químicos experimentales se afianzan como profesionales de la obtención de las sustancias diversas que necesitan los médicos y la industria; era importante para ellos hacer operativos los esquemas teóricos referentes a la constitución de los cuerpos, es decir, relacionarlos con sus propiedades y poder así utilizarlos para el diseño de nuevos procedimientos de síntesis y para mejorar la purificación e identificación de las sustancias. Las teorías químicas desarrolladas en el marco de la *química de los principios* incluyen reglas heurísticas que guían la labor del químico y que inspiran las primeras clasificaciones experimentales de los cuerpos químicos y de los procesos químicos. La química "artesana" y la química "de los libros" se van acercando progresivamente (Metzger, 1923).

Las teorías más elaboradas se derivan de las de J. J. Becher (1635-1682) y de su discípulo G. E. Stahl (1660-1734). En su origen pertenecen a la iatroquímica o química médica, pero es evidente ya una voluntad de distanciamiento de la medicina para fundamentar una *ciencia química* diferenciada, con los mismos *Principios teóricos* de la Mecánica y de la Astronomía. Las aportaciones principales de esta escuela se pueden resumir en los puntos siguientes:

- Los cuerpos (mixtos) están constituidos por principios, que son la substancialización (materialización) de una propiedad. Los principios de los cuerpos son el agua y la tierra, diversificada en las llamadas tierra vitrificable, tierra grasa y tierra volátil (el número y nombre de estos principios varía en las diferentes escuelas). Los principios comunican sus propiedades a los

mixtos de los que forman parte, pero algunas de las propiedades de los principios son potenciales, y sólo se hacen evidentes debido a una peculiar interpretación del resultado del cambio del cuerpo.

El fuego y el aire no son elementos de los cuerpos, sino las condiciones o instrumentos necesarios para que se produzcan los cambios.

- Los principios de los cuerpos no se pueden obtener totalmente puros, sino que se les identifica por las propiedades de los mixtos. Los principios se unen entre ellos para formar materiales cada vez más complejos: los principios principados, los principios secundarios, los compuestos... Existen diferentes tipos de unión entre principios, diferenciándose claramente la *unión de mixión* de la *unión de agregación*.

- Los animales, vegetales y minerales están constituidos por los mismos principios y existe un intercambio reversible de materia entre los tres reinos. Según este esquema, la cantidad total de materia se mantiene constante, por más que aún no se sabe como medirla. Sin afirmarlo rotundamente, se acepta que el cambio químico pueda cambiar la masa de los cuerpos (si es así, esta propiedad no sirve para medir la cantidad de materia, que debe ser constante). En este aspecto, como en otros, se procura no generalizar de manera atrevida y mantenerse cerca de la experimentación. Se considera que los Principios comunes a la mecánica y a la química no son aún conocidos, y que considerar que la masa mide la cantidad de materia, como dice Newton, puede ser un prejuicio del sentido común que no sea válido para una ciencia tan nueva como la química (Metzger, 1930).

- La constitución de los cuerpos se establece mediante el análisis; pero ahora se analiza no sólo por destrucción por el fuego, sino también a través de la reacción entre los mixtos. Se sigue la máxima *los principios semejantes se atraen* para interpretar el comportamiento químico de los cuerpos y extraer a partir de ella la información necesaria respecto a su constitución.

- La teoría mecánico corpuscular, de la cual hablaremos en el apartado siguiente, se considera interesante porque permite imaginar el mecanismo de los cambios, pero también ineficaz para orientar la experimentación, puesto que los químicos no pueden conocer directamente las partículas. La evolución posterior de la química fue incorporando lentamente el modelo mecanicista, que era especialmente adecuado para justificar la conservación de la materia.

- Algunos de los principios destacan por su importancia como agentes del cambio de mixión. Este es el caso del principio "flogisto", que los cuerpos

intercambian en las combustiones, en la calcinación de los metales, en la disolución de metales en ácidos y en muchas otras reacciones.

Para finalizar, debemos indicar que no existía un principio de elasticidad y que por lo tanto se creía que todos los gases eran aire, más o menos puro. El descubrimiento y caracterización de numerosos cuerpos gaseosos a lo largo de la centuria fue uno de los factores que produjo finalmente una crisis seria de la *química del flogisto*.

B. La concepción unitaria de los cuerpos y el nuevo método, basado en el empleo de "modelos"

Van Helmont (1574-1644) había propuesto una explicación general de todos los fenómenos desde una perspectiva renacentista e iluminista; según ella, existía un único principio material de todos los cuerpos (el agua) y un solo principio del cambio (los principios seminales). Esta explicación unitaria evolucionó fácilmente hacia las teorías mecanicistas que se fueron imponiendo a lo largo de los siglos XVII y XVIII y que tan importantes fueron para la química del XIX.

La difusión de las ideas mecanicistas de Descartes, Boyle y Newton, impulsadas por las Academias científicas, constituye uno de los rasgos más importantes de la enseñanza de las ciencias en la Ilustración; con ella se configura una nueva forma de pensar, según la cual cobrará importancia la relación entre la experimentación y la explicación teórica, que progresivamente se fundamentará en el empleo de "modelos".

Fue Descartes (1596-1650) quien introdujo en la ciencia experimental el concepto de modelo y el método hipotético-deductivo; con ello se hace posible la estructuración moderna de los conocimientos científicos.

R. Boyle (1627-1691) intentó demostrar que los fenómenos químicos podían ser explicados a partir de consideraciones mecánicas, mediante la suposición de la existencia de partículas como constituyentes de los cuerpos. Según él, la explicación científica debía referirse a las propiedades primarias de los cuerpos: las propiedades geométricas y el movimiento. Por más que este enfoque no es directamente útil en química (que ha de justificar precisamente las diferencias entre los cuerpos), Boyle divulgó un tipo de explicación que resultaba convincente y que hizo que el gran público "comprendiera" la química y que ésta perdiera así parte de las connotaciones de ciencia oculta e incomprensible que la separaban de la nueva ciencia experimental y matematizada que estaba transformando los esquemas de interpretación del mundo.

I. Newton (1642-1727) intentó descubrir el Principio del cambio químico, con un modelo mecanicista semejante al de Boyle. Consideraba que existían fuerzas atractivas y repulsivas entre las partículas materiales, que actuaban sólo a distancias muy cortas. Estas fuerzas eran las responsables de los cambios que se producirían en la interacción entre sustancias. Newton no desarrolló el concepto de masa de manera que resultara útil en química, pero a partir de Newton muchos químicos intentaron hacerlo.

La influencia de Newton fue muy grande, tanto a nivel metodológico como teórico. El modelo particulado para la materia hizo aumentar la popularidad de la química entre los círculos intelectuales. La existencia de fuerzas atractivas entre los átomos fue aceptada progresivamente por los químicos, incluso entre los seguidores de Stahl. También tuvo un gran impacto y aceptación el método racionalista de Descartes. Pero en determinados aspectos los puntos de vista de ambos sabios resultaban contradictorios. Así, por ejemplo, los seguidores de Descartes rechazaban la existencia de fuerzas de atracción entre los átomos, por considerarlas *fuerzas ocultas*. Un conflicto mayor aún aparecía al considerar cómo podía medirse la cantidad de materia, como veremos en el apartado siguiente.

C. Planteamiento de problemas cuantitativos y necesidad de un nuevo lenguaje

La aceptación conjunta de las teorías de Newton (con su defensa del empirismo) y de las de Descartes (que enfatiza el pensamiento deductivo y el poder del razonamiento) proporcionó una nueva concepción del método científico y una nueva manera de escribir sobre química. Planteó además interesantes problemas experimentales, cuantitativos, respecto a la medida de la cantidad de materia y de las fuerzas atractivas o repulsivas entre los átomos, es decir, de la reactividad de los cuerpos. Estos problemas proporcionaron finalmente un concepto de "masa" que resultó útil para la química y permitieron el desarrollo del concepto de afinidad.

¿Cómo se mide la cantidad de materia? ¿Por su masa, como afirma Newton? ¿Por el volumen que ocupa, como dice Descartes? Los estudiosos medievales que intentaron aplicar y desarrollar las ideas de Aristóteles sobre los cambios materiales elaboraron los conceptos de masa y volumen a partir del concepto de *duplex quantitas*. El uso de la balanza estaba muy extendido entre los alquimistas del siglo XV, los cuales, en la práctica, ya medían la cantidad de materia por su masa. Pero el hecho que las medidas de masa y de volumen no fuese equivalentes, y que la masa de los cuerpos no produjera un efecto sensible semejante al que produce la densidad, introducía una cierta confusión, que se manifiesta en la confusión entre los términos "pesadez" y "pesadez total". Las ideas atomistas permitieron identificar la conservación de la masa y

la conservación de los átomos, pero cualquier teoría química debía manifestar cómo medía la cantidad de materia.

La decisión final respecto a si se podía aplicar el concepto masa a la química o bien si se debían aceptar *principios sin masa* no pudo concretarse hasta que se comprendió bien la existencia de cuerpos gaseosos diferenciados. Para ello fue necesario la elaboración de otros conceptos cuantitativos o semicuantitativos relacionados con la transformación química, como por ejemplo el de cantidad de calor y el de afinidad.

3.2. El concepto de afinidad en la obra de diversos autores

La explicación aristotélica del cambio de los cuerpos como transmutación de la sustancia que los forma había dado paso a la suposición de que los cuerpos se transforman debido al intercambio de los principios permanentes que eran constituyentes de los cuerpos reaccionantes, que como hemos visto era compatible con el modelo particulado para la materia. Las diferencias de reactividad de las sustancias se explicaron en términos de afinidad, concepto que llegó a incorporar las relaciones de masa entre los cuerpos reaccionantes como indicación de las afinidades respectivas.

Los cartesianos, que no aceptaban la existencia de fuerzas a distancia, atribuían a las partículas formas geométricas diversas que se relacionaban con las propiedades específicas de los cuerpos y con el tipo de cambio en el cual intervenían (los átomos de la base, por ejemplo, tenían agujeros y los del ácido eran puntiagudos). Los newtonianos no tenían necesidad de concretar tanto el modelo, puesto que explicaban la acción mutua entre los átomos por las fuerzas atractivas entre ellos. En Inglaterra, especialmente, las afinidades se interpretaron como atracciones específicas entre los cuerpos. La influencia conjunta de Newton y de Descartes en el desarrollo de la química en el siglo XVIII se pone en evidencia en la interpretación que algunos químicos elaboraron de las diferencias de atracción entre los cuerpos, según la cual ésta era debida a las diferentes formas geométricas de las partículas de los cuerpos.

Lo semejante se une a lo semejante

Sthal (1660-1734) utiliza el término afinidad con un significado que, por más que relacionado con las teorías renacentistas, se distancia de ellas, porque le añade una regla heurística de gran importancia para el análisis químico. Según esta regla *lo semejante se une a lo semejante*, es decir, los cuerpos diferentes se unen entre ellos porque contienen un principio común, por más que éste no sea directamente evidente. En consecuencia, las reacciones entre los cuerpos permite analizarlos indirectamente, porque descubren en él un

principio que sólo se ha manifestado en el cambio químico. Con ello, el concepto de "afinidad" queda relacionado estrechamente con el de "análisis", y ambos con el de "principio" (Metzger, 1923, 1930).

La unificación progresiva de la física y de la química acabaría desdibujando los paradigmas cualitativos. Desde un enfoque cuantitativo era necesario poder medir las diferencias de reactividad de los cuerpos. Se empezó por compararlas, mediante las *Tablas de afinidad*.

Las tablas químicas

E. F. Geoffroy (1672-1731) compuso una de las primeras tablas, *Table des differents rapports observés en chimie entre différentes substances* (Mém. de l'Acad., 1718, pag. 202); complementó su trabajo con otros, como por ejemplo *Éclaircissement sur la table des affinités* (Mém. Acad. 1720, pag. 20). La *Table des rapports...* se basaba en una ley fundamental: Si dos "substancias" que tienen alguna tendencia a combinarse están unidos entre sí en un mixto, y se añade una tercera que tenga más afinidad por alguna de las dos, se unirá a ella y la separará de la otra.

La tabla de Geoffroy tenía 16 columnas, encabezada cada una de ellas por el símbolo de una "substancia" con la cual podían unirse todas las escritas a continuación, en orden decreciente de su afinidad por la primera. Un mixto formado por la unión de alguna de éstas con una de las últimas substancias de la tabla podía ser descompuesto por interacción con otra de la misma columna, pero que estuviera situado por encima de ésta. Geoffroy presenta la teoría química según un nuevo estilo: la propia estructura de "tabla" que resume los resultados de la experimentación es ya explicativa, siempre y cuando se sepa interpretar. La tabla facilita también la clasificación de los cuerpos químicos, por las analogías, aparentes o no, entre los mixtos que tienen un constituyente común y entre todos los cuerpos que pueden reaccionar con el que encabeza la columna. Así, por ejemplo, la tabla destaca ya los grupos formados por ácidos, álcalis, tierras absorbentes y metales.

Es interesante destacar que Geoffroy evita el uso de la palabra "afinidad", por las connotaciones renacentistas de esta palabra; pero no utiliza tampoco la palabra "atracción", que podía ser considerado newtoniano y que era criticado por los cartesianos, porque se refería a una cualidad activa de la propia materia, que era considerada, de por sí, inerte. Las diferentes relaciones que se establecen entre los cuerpos químicos a través de sus interacciones se denominan pues con el nombre de "rapports", relaciones.

La tabla resultó muy útil, por su función sistematizadora y previsor de posibles cambios producidos por la interacción de cuerpos ya analizados; su característica fuertemente experimental se hace patente en el hecho de que en la tabla se encuentren lugares vacíos, que podrán llenarse en el futuro. Después de Geoffroy, otros químicos elaboraron también tablas de afinidad, que son cada vez más extensas: Grosse (1730), Gellert (1750), Limburg (1758), Bergman (nos referimos a él más adelante), Wenzel (1777)...

Un enfoque "físico" de la interacción entre los cuerpos

J. Black (1728-1799) critica la reticencia de algunos químicos respecto al uso de la palabra atracción y se declara partidario de utilizarla, puesto que así se destaca la relación entre todas las atracciones (químicas, gravitatorias, eléctricas, magnéticas...) y no se presuponen analogías poco claras entre las sustancias, como parece sugerir el término afinidad. Su enfoque es claramente cuantitativo y basado en un excelente conocimiento del comportamiento diferencial de los cuerpos, que él mismo enriqueció mediante el reconocimiento experimental de numerosos gases, como el aire fijo (Black, 1803).

La aportación de Black es muy importante. Por lo que se refiere a la interpretación de las reacciones entre sustancias sigue la misma pauta de las tablas de afinidad, pero sin utilizar la regla heurística de Stahl; representa la interacción entre sustancias mediante esquemas que intentan ser cuantitativos, en los cuales se comparan las afinidades entre los principios de los cuerpos que interaccionan y de los productos de la interacción. Por primera vez se considera la intervención de cuerpos gaseosos, puesto que ya se ha identificado el *aire fijo*, que no se confunde con el aire.

Otra importante contribución de Black fue la diferenciación entre el calor que interviene en los cambios de los cuerpos y que puede ser medido mediante el calorímetro, y el fenómeno "fuego". El calor deja de ser simplemente *movimiento de las partículas* y puede ser también calor latente, que causa el cambio de agregación de los cuerpos.

Un Sistema cualitativo basado en las afinidades

P. J. Macquer (1717-1784) define la afinidad como "tendencia y como fuerza": *afinidad es la tendencia que tienen las partículas... de los cuerpos... unas hacia las otras y la fuerza que las hace adherirse cuando están unidas* (Dictionnaire de Chimie, 1766). Este término pasa a ser sinónimo de atracción, entendida ésta como una especie de gravitación microcósmica que es una propiedad esencial de la materia y que queda así desvinculada de la teoría química. Esta propiedad esencial (la afinidad) se modifica según las

circunstancias y da lugar a diferentes tipos de afinidad: simple, si se refiere a la interacción entre dos sustancias; compleja, cuando intervienen diversos cuerpos; doble, si se produce un doble intercambio de principios; de composición, si es entre las partes constituyentes (es decir, heterogéneas) de un mixto; de agregación, si actúa entre las partes integrantes (homogéneas) de un cuerpo.

Según Macquer, todos los mixtos son composiciones escalares de principios heterogéneos, que mantienen su integridad en el mixto. Llevando al límite las reglas heurísticas de la escuela de Stahl, independiza el análisis químico de la obtención real de los componentes de los cuerpos. Admite que el análisis químico es la descomposición ordenada de un mixto en sus partes constituyentes más simples, así como la descripción de los enlaces entre sus partes; pero como que la única manera de liberar a los principios de constitución de un mixto es recombinarlos con otros, admite un *análisis visual*, que supone la presencia de determinados principios a partir de las propiedades químicas (las afinidades de composición simples) de los mixtos que supuestamente los contienen.

Las afinidades llegan a explicar todas las combinaciones químicas y todos los cambios en las propiedades de los cuerpos químicos; se constituyen en un sistema químico, pero cualitativo, muy cercano a la percepción y sin modelo abstracto. Las definiciones de Macquer en el Dictionnaire configuran pues una ciencia química nominalista, sin paradigma; en él se defiende un tipo de científico "sin dogma", individualista, capaz de elaborar sus propias explicaciones a partir de los "hechos" definidos supuestamente en el diccionario. Así pues, una obra de la Ilustración que pretendía sistematizar la química la presenta según un enfoque que estaba siendo superado, tanto filosófica como experimentalmente (Anderson, 1984).

Las atracciones electivas

T. Bergman (1735-1784) escribe en 1775 *De attractionibus electivis disquisitio* que contiene una tabla de afinidades muy completa. A diferencia de la tabla de Geoffroy, en ella se tienen en cuenta las condiciones en las que se produce la interacción entre los cuerpos, puesto que pueden modificar el resultado final. Al establecer claramente las condiciones del cambio, los experimentos serán reproducibles y se podrá hablar de *leyes de afinidad* que proporcionarán una doctrina química consistente. En las tablas aparecen diferenciadas las *afinidades libres*, que son las que se manifiestan por vía húmeda, de las afinidades forzadas por el calor. Por lo que se refiere al nombre de *atracciones electivas* hace notar que él nombra así a lo que para otros es

"afinidad", puesto que cree que el nombre "atracción" es más adecuado para una obra de física; de hecho, utilizará los dos nombres indistintamente.

La tabla de Bergman tenía 59 columnas y se refería a unos 30.000 experimentos. El número de cuerpos químicos bien caracterizados que aparecen en ellas es ya muy elevado. Se habla de *substancias simples*, que son aquellas que entran enteras en las combinaciones, pero no se elabora aún una tabla que las reuna a todas. Es importante destacar que la situación del flogisto en la tabla resulta ya problemática, puesto que este principio estaba resultando excesivamente general (Bergman, 1788).

La cuantificación de las afinidades

En la obra de Bergman, como en la de Black (existía una importante correspondencia escrita entre ambos químicos, que se respetaban mutuamente), se intenta la cuantificación de las afinidades y se establecen las relaciones de masas entre los cuerpos que intervienen en las reacciones; con ello se intenta prever, por ejemplo, el resultado de las dobles descomposiciones.

Es notable la obra de un contemporáneo de Bergman, R. Kirwan, que compara la suma de los valores de la fuerza de afinidad en el reactivo (la base B unida al ácido A) y en el producto (la misma base B unida a un nuevo ácido A'); la reacción entre AB y A' sólo se producirá si el primer valor es inferior al segundo.

Poco tiempo después, ya a finales de siglo, aparecen tablas que agrupan sistemáticamente las masas de reacción entre substancias de unas mismas familias (ácidos con bases, ácidos con metales...) y se empiezan a descubrir algunas regularidades que serán interpretadas finalmente en el marco de la teoría atómica, en lugar de serlo en una teoría de las afinidades.

Una teoría química general y cuantitativa

A. L. Lavoisier proporcionó a la química el nuevo lenguaje que le permitió concretar el nuevo método que se iba perfilando y que los nuevos descubrimientos (por ejemplo, la identificación de cuerpos gaseosos) requerían. Este nuevo lenguaje se basaba: en la reordenación conceptual que se acostumbra a relacionar con la desaparición del concepto "flogisto"; en la introducción de conceptos métricos en la teoría química; y en la formulación del concepto *substancia simple*.

Lavoisier deseaba sistematizar la química y estaba seguro de poder hacerlo. Las etapas de su trabajo, que fue metodológico y lingüístico, se resumen a continuación.

1. Redescubre el concepto *calor latente* y con él afirma que el agua y la tierra pueden existir en forma aérea cuando están combinados con calor. Más adelante hablará de un nuevo elemento de los cuerpos, el calórico, y hará de él uno de los fundamentos de la nueva química; así, todos los fluidos aeriformes (los gases) están formados por calórico, unido a un principio específico que confiere a cada gas sus propiedades específicas.

2. Se interesa por el *principio de acidez*. Al darse cuenta que en la formación del ácido fosfórico a partir del fósforo se fija aire, cree que el principio de acidez es el cuerpo llamado ácido aéreo o aire fijo; es evidente que no diferencia aún entre el O₂ y el CO₂, ambos presentes en el aire, ambos relacionados con la formación de ácidos y bases, y ambos causantes de cambios en la masa de los cuerpos. El descubrimiento del "aire vital" por J. Priestley (1733-1804) y K. Scheele (1742-1786) le permite reinterpretar su trabajo. El aire vital pasa a ser el principio de acidez u "oxigène". Elabora una explicación de la combustión que es considerada por él mismo totalmente revolucionaria, por más que se relaciona con las que ofrecen Priestley y Scheele. Estos consideraban que la pérdida de flogisto de los cuerpos combustibles, que estaba unido al calor, producía la precipitación del aire y el desprendimiento de calor. Lavoisier considera que el principio específico del oxígeno, unido al calórico en el oxígeno gas, pasa a unirse a la substancia combustible y que es por eso que se desprende calor.

3. En la explicación de Lavoisier de la combustión y de la calcinación el principio flogisto es innecesario; además, mientras que la cantidad de calor puede medirse, no ocurre lo mismo con la cantidad de flogisto. Por ello, la contribución más importante de Lavoisier en su ataque al flogisto es metodológica: se manifiesta en contra de explicaciones experimentales cualitativas y a favor de explicaciones experimentales cuantitativas, exactas y reproducibles estrictamente. La teoría antiflogística puede ser completada a partir de su interpretación de la combustión del hidrogeno para formar agua, que Cavendish, en Inglaterra, había llevado a cabo. A partir de este momento elabora, en colaboración con otros, la *Nomenclature*, que constituirá el lenguaje de difusión de la nueva doctrina.

4. En el *Traité élémentaire de Chimie* (Lavoisier, 1789) publica la primer tabla de cuerpos simples, definidos como tales a partir de consideraciones experimentales que tienen ya las determinaciones de masa como principio rector. La tabla fue aceptada rápidamente, porque se encontraba

de lleno dentro de lo que era habitual en la época, las tablas de afinidad. A partir de la aplicación de la tabla a la interpretación de los cambios químicos se elabora un nuevo concepto de elemento, que se identificará a "sustancia simple", es decir, a un cuerpo que siempre que se combina aumenta de masa. Lavoisier organiza un sistema químico basado en la tabla de sustancias simples. El significado del análisis químico variará profundamente a partir de este momento. Se trata de conocer cuales son las sustancias simples que se han unido para formar un compuesto, y en qué proporciones de masa lo han hecho; pero ahora no se cuenta con ninguna relación entre las propiedades del compuesto y las de las sustancias simples que los constituyen.

En el *Discurs préliminaire* del *Traité*, Lavoisier destaca la importancia del lenguaje en la construcción del conocimiento científico; según él, debe utilizarse un lenguaje que se refiera a la reflexión rigurosa del científico respecto a la experimentación realizada con la máxima precisión. Se rechaza radicalmente el nominalismo y el lenguaje cualitativo de Macquer. Por lo que se refiere a la afinidad, Lavoisier no hablará mucho de ella, por más que considera que el desarrollo efectivo de la química se producirá cuando se puedan medir las afinidades. La afinidad, junto con un determinado estilo de análisis, había constituido el fundamento del sistema de Macquer; el cambio teórico que Lavoisier propone no puede incorporar unas afinidades mal definidas aún cuantitativamente, por más que continúan siendo una guía empírica para el trabajo experimental (Duncan, 1970) (Anderson, 1984).

El final de las atracciones electivas

C. L. Berthollet (1748-1822) profundiza en la influencia de las condiciones experimentales en las afinidades entre los cuerpos. Intenta incorporar al significado de "afinidad" la relación con las condiciones experimentales (y con las propiedades de las propias sustancias que intervienen en el cambio, como por ejemplo la cohesividad y la elasticidad) y llega a la conclusión que éstas no son nunca constantes y que no se puede hablar, por tanto, de atracciones electivas, que son determinativas (Berthollet, 1801).

Como los otros químicos de la época interesados en una química "fisicalista", intenta medir las fuerzas de afinidad teniendo en cuenta las relaciones de masa entre las sustancias que interactúan; pero formula dos importantes leyes referentes a la *acción química* entre sustancias que cambiarán radicalmente el panorama. La primera ley considera que si una sustancia A tiene afinidad por otras dos, B y C, siempre que B o C reaccionen con un compuesto AC o AB, se producirá un reparto de A entre B y C. La segunda ley destaca que la acción de C o de B sobre los compuestos AB o AC depende de la cantidad relativa de las sustancias que interactúan; A puede

quedar saturado de B en presencia de C o viceversa, siempre que las cantidades de B o C sean suficientemente grandes.

Berthollet establece pues una diferenciación entre la reacción que efectivamente se produce, que depende de las cantidades relativas de los reaccionantes y de la cohesividad y elasticidad de reactivos y productos, y las afinidades reales y características de los cuerpos, que es imposible llegar a conocer. La acción química depende de la *masa química* de los reactivos en una determinada experiencia, y no sólo de las características de las sustancias. Esto le llevó a mantener una polémica con Proust respecto de las proporciones fijas de los reactivos en los compuestos, que se saldó a favor de Proust, defensor de las proporciones fijas. Quizás por ello la obra de Berthollet no fue suficientemente apreciada y no se vio que se estaba formulando un nuevo problema químico, el del equilibrio químico.

Poco tiempo después Gay Lussac, en un artículo de 1839, considera que la afinidad debe subsumirse en la nueva teoría atómica de Dalton, y que las relaciones de masa que habían sido relacionadas con las afinidades debían ser consideradas proporcionales a las masas atómicas o equivalentes. El panorama había cambiado radicalmente (Rocke, 1984). A pesar de ello, el término continuó usándose, y se utiliza aún en la actualidad, con un significado impreciso, equivalente a *tendencia a reaccionar*. Una parte de la problemática que se pretendía explicar mediante las afinidades electivas se relacionará a partir de ahora con la teoría atómica química y con una nueva concepción de la reacción química en la cual va a tener un papel preponderante el concepto de equilibrio químico.

4. El grado de acoplamiento del modelo de Toulmin a la evolución del concepto de afinidad

Al aplicar el modelo de Toulmin a la evolución del concepto de afinidad partimos de la base de la validez del modelo aunque en algún momento tengamos que forzar la situación para que el aparato conceptual que construye Toulmin encaje con esta parte de la historia de la química. A "posteriori" y en función de cómo haya sido la aplicación haremos unos comentarios críticos a fin de hacer una valoración del modelo.

4.1. Etapas del concepto de afinidad

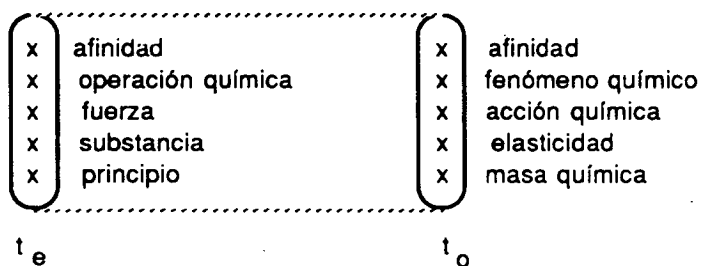
Toulmin aborda la evolución de los conceptos desde tres planos distintos que corresponden a lo que él llama *representación transversal*, *representación longitudinal* y *representación evolutiva*. El primer paso en nuestra aplicación deberá ser llenar de contenido los gráficos de estas representaciones.

A) Representación Transversal de los conceptos químicos en tiempos de Bergman "t_e" y en tiempos de Berthollet "t_o"

Llenar de contenido la representación transversal o de corte temporal significa formar conjuntos de conceptos que subsisten en un tiempo t_j. En nuestro caso recurrimos a la historia de la química del siglo XVIII para constituir dichos conjuntos; por ejemplo, podemos considerar que los conceptos de afinidad, operación química, fuerza, substancia, principio... son algunos de los que estarían en el conjunto de los conceptos que subsistirían en tiempos de Bergman. Los conceptos de fenómeno químico, acción química, afinidad, elasticidad, cohesión son algunos de los conceptos que constituyen el conjunto de conceptos en la época de Berthollet.

Respecto a este punto hay que hacer algunas reflexiones. En primer lugar, constatar que la representación transversal es puramente descriptiva, en segundo lugar, que no existen criterios para discernir cuando el conjunto de conceptos en t_i es distinto del conjunto de conceptos en el tiempo t_j y finalmente que, aún teniendo criterios, sólo "a posteriori" podemos delimitar dichos conjuntos.

La representación transversal de los conceptos químicos en tiempos de Bergman (t_e) y en tiempos de Berthollet (t_o) sería la siguiente:



B. Representación longitudinal

La representación longitudinal o genealógica representa el seguimiento de un concepto determinado a través del tiempo. En nuestro caso significa examinar la evolución del concepto de afinidad es el tema central de este trabajo, aunque al insertar el concepto de afinidad en el cuadro general de la química, tenemos que hacer alusiones a la representación transversal y a la representación evolutiva.

Partimos del concepto de afinidad en el Renacimiento entendido como simpatía o enemistad entre los cuerpos (A^e) para pasar luego a las caracterizaciones relevantemente distintas del concepto de afinidad a lo largo del siglo XVIII hasta Dalton, que elabora las primeras tablas de pesos atómicos y Gay Lussac, que considera que el término "afinidad" y "masa de reacción" han de ser absorbidos por la nueva teoría atómica de Dalton. Durante este periodo podemos distinguir las siguientes caracterizaciones de afinidad:

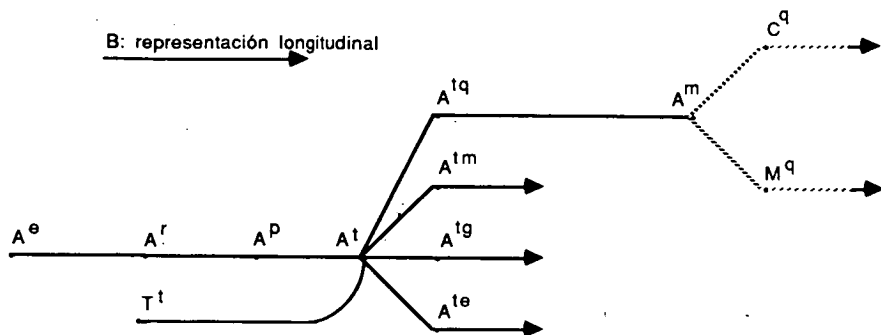
- Afinidad como relación en el sentido de posibilidad de combinación entre las sustancias (A^r) siendo uno de sus principales representantes Geoffroy.

- Afinidad de los cuerpos a causa de poseer un principio común (A^p), siendo Stahl uno de los que defendía esta postura.

- Afinidad como atracción entre los cuerpos (A^t), pudiendo incluir en este apartado Macquer y Black. Sin embargo hay que señalar algunas diferencias entre ellos ya que, mientras Macquer ve el concepto de afinidad como un "comodín" para explicar las propiedades de los cuerpos, Black acentúa el sentido de atracción y supone semejanzas entre sustancias que se atraen mutuamente; además, Black incluye la atracción química en el conjunto de todas las atracciones (químicas, magnéticas, gravitatorias, eléctricas, etc.), por tanto en el caso de Black tendríamos varios tipos de atracción-afinidad (A^{tq} , A^{tm} , A^{tg} , A^e , etc.).

- Afinidad en el sentido de capacidad reactiva con posibilidad de medición, siendo uno de sus representantes Bergman. Esta particularidad le separa de otras caracterizaciones de afinidad.

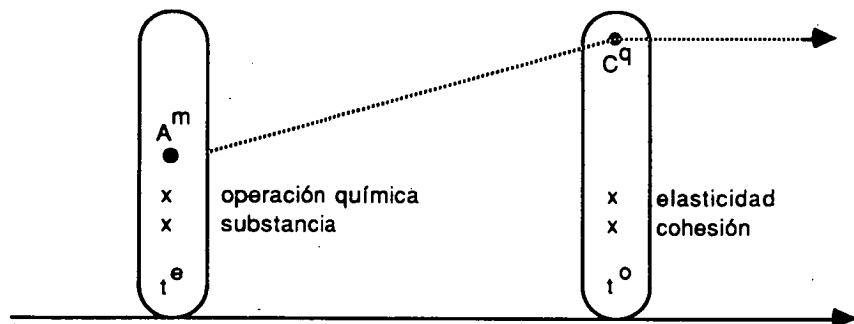
El concepto de afinidad desemboca en Berthollet en el concepto de "masa química" (M^q) y "acción química" (C^q) motivada por la masa, la afinidad y el grado de cohesión del producto final. Hay que señalar también que la afinidad como atracción recoge el concepto de atracción (T^t) de Newton. El concepto de afinidad termina con esta última caracterización. De aquí en adelante sólo encontraremos reminiscencias de dicho concepto. Ahora bien, hay dos conceptos que pueden considerarse como sucesores de afinidad: uno es el de "masa química" (M^q) y el otro el de "acción química" (C^q). Berthollet explica la idea de interacción entre los cuerpos con los conceptos de masa y acción química.



Esta representación es también descriptiva y, al igual que la anterior, sólo a posteriori podemos marcar las diferencias relevantes entre un concepto de afinidad y otro.

C. Representación evolutiva

Respecto a la representación evolutiva, sólo podemos ejemplificarla parcialmente, ya que para hacerlo en su totalidad necesitaríamos extender nuestro análisis al mapa conceptual de la química del siglo XVIII y no sólo al concepto de afinidad. El gráfico de la representación evolutiva con contenido parcial quedaría como sigue:



C: representación evolutiva

Respecto a estas representaciones, Toulmin se plantea varias preguntas que nosotros intentaremos responder en el marco de la química del siglo XVIII. El primer grupo de preguntas se refiere a las variantes conceptuales. A la pregunta *¿en qué circunstancias aparecen tales innovaciones conceptuales, en*

*una disciplina particular o en muchas?*⁶ podemos responder que fundamentalmente en la Química, aunque hay algunas variantes de afinidad, como la afinidad-atracción que está relacionada con la Física. A la pregunta *¿en qué condiciones el ingreso de tales variantes puede ser vigoroso o lento, o más vigoroso en una disciplina que en otra?* es difícil contestar ya que la pregunta introduce términos como "vigoroso" que son imprecisos. A la pregunta *¿qué factores o consideraciones son responsables de la elección de una dirección y no otra?* puede contestarse con las respuestas dadas al segundo grupo de preguntas que vamos a examinar de inmediato.

El segundo grupo de preguntas está relacionado con los procedimientos de selección, es decir, se plantea si es posible dar una explicación satisfactoria de los criterios para detectar cuándo los cambios conceptuales están bien fundados. Responder a esta pregunta supone recurrir al marco teórico general en el que se insertan los conceptos químicos analizados. La introducción de un concepto de afinidad distinto al del Reracimiento implica pasar de un paradigma que considera la materia como algo continuo y compuesta por los cuatro elementos y tres principios a otro que considera la materia discontinua y constituida por átomos que poseen propiedades. Supone también considerar el cambio químico como intercambio de principios y no como una transmutación de la substancia o provocado por algún *principio de cambio*. Desde el punto de vista de Toulmin, estas consideraciones sobre el marco general de la química podrían considerarse como la razón de que los cambios sufridos por el concepto de afinidad están bien fundados.

El tercer grupo de preguntas toma conjuntamente los aspectos de los otros dos grupos. Una de las cuestiones que plantea es la relación entre cambio conceptual y unidad de la ciencia. En nuestro ejemplo concreto, la unidad de la Química era uno de los objetivos de la nueva química, marco en el que se desarrolla el concepto de afinidad. La otra pregunta tiene que ver con el abandono de una disciplina a causa del cambio, respecto a lo cual podemos señalar que el desarrollo de la química durante el siglo XVIII desemboca a su separación definitiva de la Medicina y a su constitución como disciplina independiente.

4.2. Clasificación de los cambios del concepto de afinidad

Una vez tenemos la información proporcionada por las representaciones de la evolución del concepto podemos pasar a la clasificación de los cambios. Toulmin no ofrece explícitamente una tipología de los cambios conceptuales, sin embargo, es posible construirla a partir de los cinco tipos de problemas y a los tres de soluciones a cada uno de dichos problemas⁷. Como resultado tenemos quince tipos de cambios:

(PaS₁: Problema de tipo a, Solución de tipo 1)

PaS₁ PbS₁ PcS₁ PdS₁ PeS₁

PaS₂ PbS₂ PcS₂ PdS₂ PeS₂

PaS₃ PbS₃ PcS₃ PdS₃ PeS₃

Una vez tenemos los tipos de cambios vamos a clasificar cada uno de los cambios expuestos en el gráfico B, dando las razones que nos han inducido a considerarlos de uno u otro tipo en función del tipo de problema que se trataba de resolver y de la solución que se dio.

El paso de A^e y A^r es del tipo PbS₂. Este cambio supone un intento de medir la capacidad de reacción de los cuerpos, para lo cual Geoffrey introduce conceptos de orden en las tablas de afinidad, lo cual significa explicaciones más precisas.

El paso de A^r a A^p es del tipo PcS₃. Stahl relaciona el concepto de afinidad con el de principio y el de análisis, es decir relaciona el concepto de afinidad con otros conceptos de la misma disciplina y, por tanto, modifica los criterios para determinar cuando reaccionan los cuerpos.

El paso de A^p a A^t es del tipo PcS₁ en el caso de la afinidad como atracción en Macquer y del tipo PdS₁ en el caso de afinidad como atracción en Black. Hay una cosa en común y es el adoptar el término "atracción" pero, mientras Macquer relaciona el término "atracción" con el concepto de principio en el sentido de Stahl y, por tanto, con otros conceptos de la misma disciplina, Black relaciona "atracción" con el significado de este término en la Física y, por tanto, con conceptos de otras disciplinas. Lo que subyace en la propuesta de Black es un intento de unificación de la Física y de la Química y, en este sentido, es importante subrayar que en el concepto de afinidad como atracción química confluye el concepto de atracción (T^t) de Newton.

El paso de A^t a A^m es de tipo PaS₂. Este cambio supone delimitar el concepto de afinidad de otros conceptos e introducir una métrica, lo cual significa buscar nuevos procedimientos y técnicas de representación para precisar el grado de interacción entre los cuerpos. Entre sus representantes podemos citar a Bergman y Lavoisier que, aunque flogistonista el primero y oxigenista el segundo, ambos compartieron la idea de la importancia de los conceptos cuantitativos para el desarrollo de la Química.

A partir de este punto no es fácil clasificar la evolución del concepto con el esquema de Toulmin. En el gráfico es fácil ejemplificarlo ya que es la pura descripción de la evolución de un concepto desde el principio hasta el final. Sin embargo la Historia de la Química nos dice que el concepto de afinidad queda absorbido por el de masa y acción química. La cuestión está en cómo abordar el paso de afinidad como atracción que puede medirse (A^m) a acción química (C^q), una reacción debida a la afinidad-atracción y a la masa entendida como cantidad medida en gramos (distinta de la masa atómica). Una posibilidad podría ser considerar este cambio del tipo P_aS_3 . En este caso el objetivo de este cambio sería un tratamiento más exitoso de los problemas que tenía planteados la química de aquel tiempo, y una de las soluciones sería encontrar otros criterios, por ejemplo el concepto de masa química, para identificar la atracción entre los cuerpos. A partir de aquí el concepto de afinidad desaparece como tal y la idea general de interacción entre los cuerpos es absorbida por conceptos más precisos derivados de las leyes cuantitativas del cambio químico (como el de masa equivalente) que serán interpretados en el marco de la teoría atómica de Dalton.

4.3. Explicación del cambio conceptual

Una vez descritos y clasificados los cambios, Toulmin introduce elementos explicativos que nos ofrecen criterios de selección de conceptos constituyendo el aspecto normativo de los modelos de cambio científico. Para que tenga lugar el cambio Toulmin propone unas condiciones previas que son simples posibilidades que pueden o no hacerse realidad. Por condiciones previas entiende los foros profesionales de discusión, que en el caso de la química del siglo XVIII son las instituciones académicas de la Europa de dicho siglo.

A continuación examina los factores internos y externos que intervienen en el cambio. Como factores internos cita los modelos matemáticos, las técnicas experimentales, la invención de instrumentos, la importación de las ideas de otra ciencia básica, y el reconocimiento de nuevos principios de clasificación. Estos factores nos aclaran algunos de los cambios conceptuales descritos anteriormente. Por ejemplo, las técnicas experimentales fueron un criterio de selección al elegir un concepto de afinidad distinto al del Renacimiento; el criterio de importar ideas de otras ciencias más desarrolladas guió el paso al concepto de afinidad como atracción en el sentido de Newton; el criterio de introducir nuevos principios de clasificación explica el cambio que experimentó el concepto de afinidad con Geoffroy. Para explicar cada uno de los cambios deberíamos recurrir al marco teórico, a las reglas metodológicas o a los instrumentos utilizados.

En cuanto a los factores externos Toulmin cita el ejercicio de la propia curiosidad y en general todo lo que tenga que ver con factores sociológicos. En el caso de la química del siglo XVIII habría que referirse a la influencia de las instituciones políticas en el desarrollo de la ciencia en general y de la química en particular pero esta cuestión va más allá del alcance de este trabajo.

Toulmin ve los factores internos y externos como dos filtros que influyen independientemente en el cambio conceptual, a veces coinciden (es lo más positivo para el progreso de la ciencia) a veces se oponen. Lo importante es la relación entre unos y otros factores. La frase *los factores sociales son necesarios pero los intelectuales son cruciales*⁸ resume la idea de Toulmin sobre la interrelación entre ambos factores.

5. Conclusiones

A partir del estudio presentado podemos destacar diversos aspectos, tanto desde un punto de vista historiográfico como filosófico.

Por lo que se refiere al estudio historiográfico, creemos que cabe destacar los puntos siguientes:

- La importancia de las primeras tablas de afinidad, que dan a este concepto una orientación experimentalista y aplicada.

- La incorporación, a lo largo de este siglo, de nuevos conceptos químicos (el calor latente, la medida de la cantidad de materia por la masa...) que modifican el significado y la aplicación del concepto afinidad en la obra de los diversos autores representativos del pensamiento químico en el siglo XVIII, por más que se mantiene un acuerdo parcial entre ellos, que les permite la comunicación y el enriquecimiento de sus respectivas teorías.

- La importancia de la evolución de este concepto en la formación del concepto sustancia química, que es uno de los pilares del nuevo sistema químico de finales del XVIII, correspondiente ya a la química moderna.

- La variación profunda del significado de la afinidad en el marco del nuevo sistema químico cuantitativo, en el cual se formulan nuevos problemas químicos. Sin embargo, el término afinidad no desaparece de la química y mantiene aún hoy una parte de su significado, como tendencia a la reacción

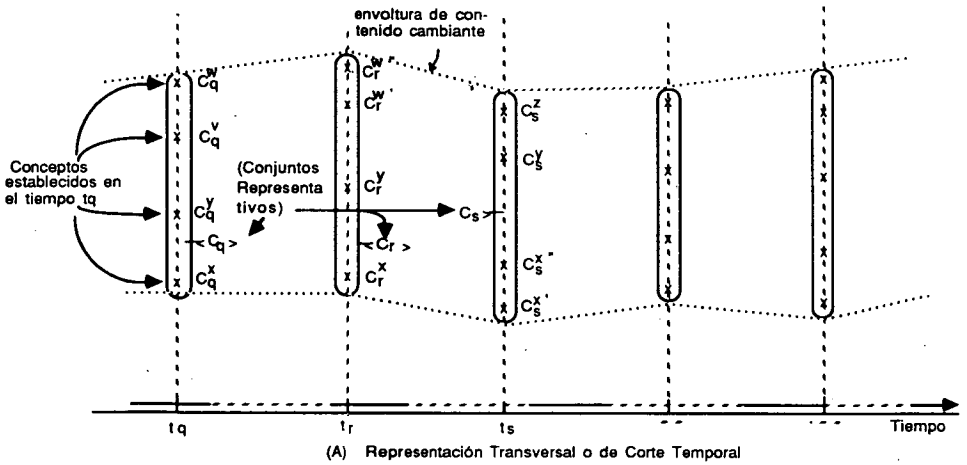
entre substancies; sin embargo, la explicación del cambio ha pasado a considerarse relacionada con una propiedad de todo el sistema químico y no de las substancias individuales.

En cuanto al análisis realizado mediante el modelo de Toulmin, debemos destacar los aspectos siguientes.

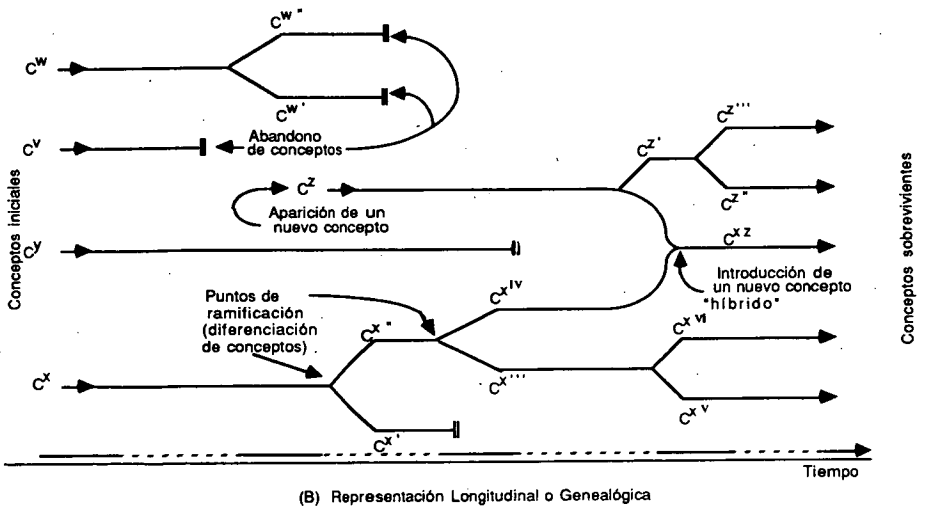
- Toulmin toma la Biología (concretamente la teoría de la evolución de Darwin) como modelo para explicar la evolución de los conceptos, y la Jurisprudencia como modelo de ciencia que distingue entre relatividad y subjetividad, lo cual le sirve a Toulmin para afirmar que los criterios del científico al elegir entre varias teorías rivales son *relativos pero no subjetivos*. Aún teniendo en cuenta que estos modelos los presenta sólo como una analogía, la comparación está poco fundamentada y no toma en consideración las cuestiones en las que Darwin estaba equivocado.

Uno de los aciertos del modelo de Toulmin está en la posibilidad de captar la evolución paulatina de los conceptos, es decir, cambios relevantes pero no radicales. Así lo hemos visto en el caso de la evolución del concepto de afinidad. Además resuelve, o al menos no se plantea de forma problemática, la relación entre teorías distintas. La inconmesurabilidad no es un problema en el modelo de Toulmin ya que éste no parte de cambios que afectan a todos los conceptos (o al menos no es estrictamente necesario) sino de cambios que afectan sólo a una parte del mapa conceptual. Los otros conceptos no son tema de debate, sino *conceptos bien establecidos que forman una base sobre la cual se discuten los problemas no resueltos*⁹. Estas consideraciones ofrecen un hilo conductor para la comunicación teórica. En nuestro caso, esto es precisamente lo que sucede. El concepto de afinidad es uno de los temas de debate entre los químicos del siglo XVIII, pero si examinamos un mapa conceptual de dicho periodo vemos que no todos los conceptos varían al ritmo que lo hace el concepto de afinidad, por ejemplo, los conceptos de análisis, síntesis, etc. permanecen invariables.

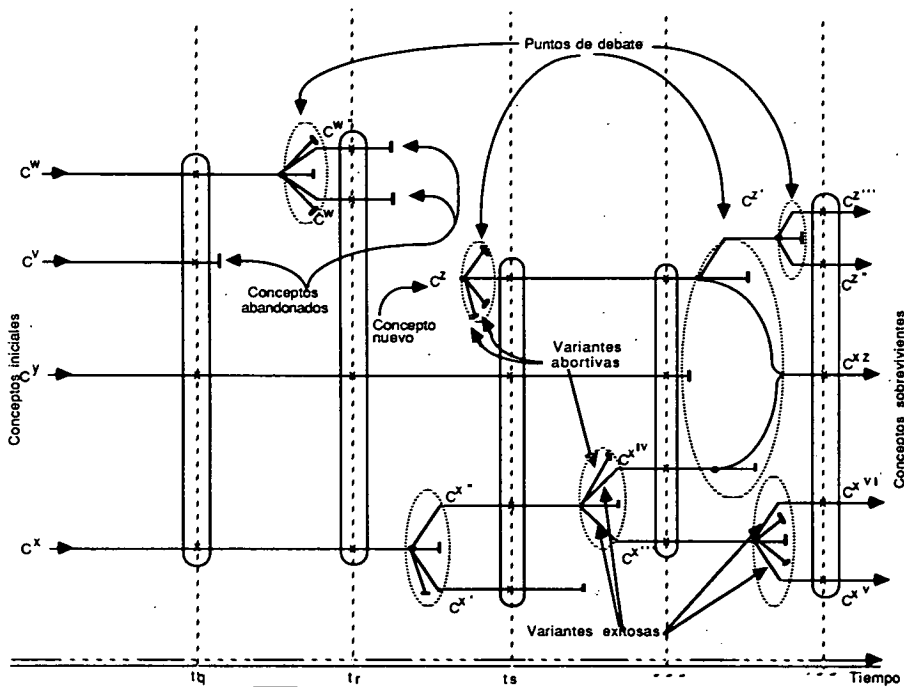
- En cuanto a los errores del modelo habría que hablar más de deficiencias que de errores. Es verdad que puede reconstruirse un periodo histórico de una ciencia particular a través de la evolución de su mapa conceptual pero hay que reconocer que es una reconstrucción parcial porque falta todo el aparato teórico, metodológico e instrumental que subyace a los conceptos. Toulmin hace referencia a dicho aparato teórico pero no lo conecta con lo que él considera las unidades del cambio científico, es decir, los conceptos.



(Toulmin, 1977, p. 208)



(Toulmin, 1977, p. 210)



(C) Representación evolutiva

(Toulmin 1977, p. 212)

NOTAS

- 1 TOULMIN (1977), p. 216.
- 2 TOULMIN (1977), pp. 187-188.
- 3 TOULMIN (1977), p. 215.
- 4 TOULMIN (1977), p. 233.
- 5 TOULMIN (1977), p. 235.
- 6 TOULMIN (1977), p. 211.
- 7 Ver el apartado sobre *El modelo de Toulmin*.
- 8 TOULMIN (1977), p. 227.
- 9 TOULMIN (1977), p. 209.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, W. C. (1984) *Between the Library and the Laboratory*. Baltimore and London, Johns Hopkins University Press.
- BERGMAN, T. (1788) *Traité des affinités chimiques ou attractions électives*. Paris, Buisson.
- BERTHOLLET, C. L. (1801) "Recherches sur les lois de l'affinité". *Ann. Chim.*, 36, 303-317; 37, 151-181, 225-252.
- BLACK, J. (1803) *Lectures on the Elements of Chemistry*. Edinburgh.
- DUNCAN, A. M. (1970) "The Functions of Affinity Tables and Lavoisier's List of Elements". *Ambix*, 37 (1) 28-42.
- LAVOISIER, A. L. (1979) *Traité élémentaire de Chimie présenté dans un ordre nouveau*. Paris, Gauthier-Villars. Reed. 1937.
- METZGER, H. (1923) *Les doctrines chimiques en France du début de XVII siècle a la fin du XVIII*. Paris, PUF.
- METZGER, H. (1930) *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*. Paris, Alcan.
- PARTINGTON, J. R. (1961-70) *A History of Chemistry*. London, MacMillan and Co, 4 vols.
- ROCKE, A. J. (1984) *Chemical Atomism in the Nineteenth Century*. Columbus, Ohio State University Press.
- TOULMIN, S. (1977) *La comprensión humana. I. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid, Alianza Universidad.