



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**

**CAMBIOS TAXONÓMICOS EN LA REVOLUCIÓN QUÍMICA:**

**SUBSTANCIAS SIMPLES, CONCEPCIONES COMPLEJAS**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**

**PRESENTA:**

**HUGO ENRIQUE MONTAÑO CASTILLO**

**TUTORA:**

**DRA. FERNANDA SAMANIEGO BAÑUELOS, FFyL, UNAM**

Ciudad Universitaria, CDMX, octubre 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Para Mónica*

## **Agradecimientos**

Luego de giros, tropiezos y zozobras esta etapa ha llegado a su fin, y sin el apoyo de muchas personas esto no hubiera sido posible.

Quiero agradecer antes que a nadie a Mónica, mi esposa. Tu amor y tu compañía son el regalo más grande que tengo. Gracias por caminar conmigo en este trayecto, gracias por hacerme caminar.

Una mención muy especial también es para Fernanda Samaniego, mi tutora. Muchas gracias por recibirme como tesista. En verdad reconozco el tiempo y esfuerzo que dedicaste para poder asesorarme a pesar de la distancia. Tu guía en la realización de este trabajo fue imprescindible.

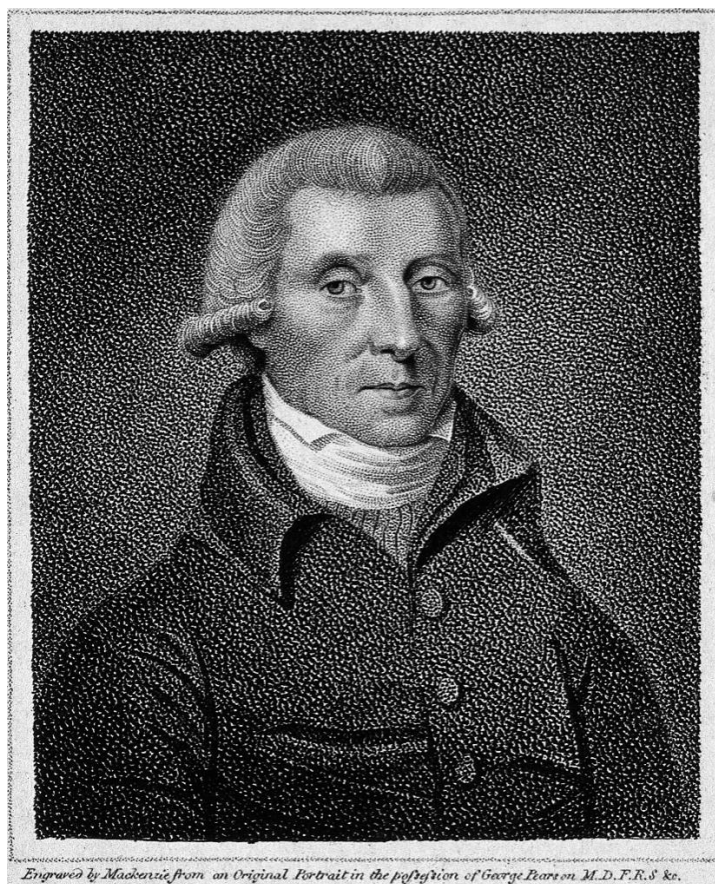
Gracias a mis sinodales Atocha Aliseda, Olimpia Lombardi, Graciela Zamudio y Luis Sánchez. Sus observaciones y comentarios a mi trabajo han contribuido a que éste se enriquezca.

Gracias a mis amigos y familiares por su cariño y aliento. Su presencia ha dejado huella en mi persona.

Finalmente, agradezco al CONACYT por la beca que me brindó mientras cursé los créditos de la maestría.

*“Deseo apasionadamente ser capaz de relacionar todos -o al menos la mayor cantidad posible- de fenómenos químicos en un sistema.”*

Richard Kirwan (1733-1812)



## Índice

Introducción .....	5
1. La Revolución Química	
1.1    Introducción .....	10
1.2    La práctica de la química en el siglo XVIII .....	11
1.3    La química antes y después de Lavoisier .....	17
1.4    El efecto de la nueva nomenclatura: la inversión del orden de composición .....	38
1.5    Conclusión .....	41
2. Cambios taxonómicos en la Revolución Química	
2.1    Introducción .....	43
2.2    Conceptos, estructuras conceptuales e inconmensurabilidad taxonómica .....	44
2.3    Conceptos e inconmensurabilidad desde la representación de marcos dinámicos .....	48
2.4    Los cambios de la Revolución Química a partir de los marcos dinámicos .....	58
2.5    Conclusión .....	75
3. Conclusiones generales	
3.1    Dos propuestas composicionistas para entender los gases ....	77
3.2    Valores epistémicos divergentes .....	79
3.3    Rupturas y continuidades en la Revolución Química .....	81
Anexo: Glosario de nombres y conceptos químicos arcaicos .....	85
Bibliografía .....	92

## Introducción

Si uno realiza una búsqueda rápida en internet respecto a la Revolución Química, encontrará una narrativa resumida en “la reformulación de la química con base en la ley de conservación de la materia y la teoría de combustión del oxígeno”. En ella, aparecerán personajes como Antoine Lavoisier, “el padre de la química moderna”, refutando la teoría del flogisto de Georg Stahl; y Joseph Priestley, defendiendo esa misma teoría. Si uno se dirige a un ámbito académico y revisa, por ejemplo, lo que algunos filósofos de la ciencia dicen al respecto, no se encontrará con una narrativa diferente. Aunada a algunas sofisticaciones como “falsear”, la historia sigue siendo la misma: Lavoisier reemplaza la teoría (o paradigma, o programa de investigación) del flogisto mientras que Priestley la defiende<sup>1</sup>.

Aunque el objetivo de la filosofía de la ciencia no sea el mismo que el de la historia de la ciencia, yo soy de los que insisten en que hay confluencias entre estas dos disciplinas, y que su interacción puede traer ventajas para ambas, sobre todo para la filosofía. En concreto, coincido con quienes han sugerido que la historia de la ciencia detalla el devenir de *la práctica científica*, es decir, actividades epistémicas *normadas* conforme a un cierto momento histórico (ver Chang H. 2012, Dear 2012 y Richardson 2015)<sup>2</sup>. En este sentido, más que casos que puedan reafirmar o contradecir tesis filosóficas, las narrativas de la historia constituyen episodios con su propia importancia filosófica. Así pues, en este trabajo busco integrar la historia y la filosofía de la ciencia a propósito del episodio de la Revolución Química (RQ, en adelante).

Esta tesis está dividida en dos partes, una más descriptiva y otra más analítica. En la primera parte realizo una revisión historiográfica de la RQ, sobre todo de la literatura posterior a los años 80's y 90's. El énfasis en este periodo obedece al llamado “giro práctico” en los estudios de la ciencia, es decir, el momento en que la historia y la filosofía de la ciencia prestaron más atención a los detalles tácitos del saber-hacer, a las

---

<sup>1</sup> El “falsear” que señalo proviene de un artículo relativamente reciente de James Ladyman (2011).

<sup>2</sup> Chang H. (2014) define una actividad epistémica como “un conjunto más o menos coherente de operaciones físicas o mentales con las que se busca contribuir a la producción o mejoramiento del conocimiento de un cierto tipo y en acuerdo con ciertas reglas discernibles (no obstante, estas reglas pueden no estar articuladas)” (pp.72).

manipulaciones experimentales, así como a factores psicológicos y sociales de la actividad científica, los cuales habían sido relegados por los aspectos teóricos (ver Soler *et al.* 2014)<sup>3</sup>. De esta manera, la panorámica que presento de la química del siglo XVIII, *i.e.*, la época de la RQ, es la de una disciplina polifacética conformada por otras dos actividades epistémicas además de la teórica-conceptual. En este sentido, subrayaré el hecho de que en la química francesa de la época surgió una conceptualización de las sustancias químicas con base en las operaciones de formación de sales y aleaciones; esta conceptualización destacaba la estabilidad y la tangibilidad de las *substancias materiales*, sintetizando sus resultados en tablas. En estas tablas fueron agrupadas clases de sustancias como los metales, los ácidos minerales, las sales metálicas (óxidos) y los azufres (una clase que comprendía al azufre, al fósforo y al carbono), además del famoso flogisto<sup>4</sup>. Mientras esta conceptualización se consolidó en Francia, en el Reino Unido los estudios neumáticos fueron desarrollados con base en la idea de *transmutaciones* entre distintos tipos de aire. De esta manera, para cuando Lavoisier entró a escena, alrededor de 1770, en la química europea había dos tradiciones químicas apartadas. Sin embargo, al mismo tiempo surgió una “zona de intercambio” que propició la confluencia de ambas tradiciones a propósito de los gases<sup>5</sup>.

El objetivo de la primera parte de esta tesis es situar el trabajo de Lavoisier en su contexto a fin de considerar su alcance de manera más adecuada. Si bien los cambios en la química del siglo XVIII han recibido el apelativo de “revolución”, en la historia y la filosofía de la ciencia se ha debatido si es adecuado denominar “revolucionarios” a ciertos momentos en el desarrollo de las ciencias<sup>6</sup>. Sin ahondar en esta discusión, en la primera parte de este trabajo se retrata a la práctica química de manera general a fin de reconocer

---

<sup>3</sup> Si bien el giro historicista extendió el estudio de la ciencia al aspecto diacrónico de ésta, es decir, la dinámica del proceso del cambio científico, su hilo conductor se mantuvo en el aspecto teórico. De esta manera, el giro práctico puede entenderse como una extensión a otros aspectos además del teórico; para una perspectiva general del giro práctico ver (Schatzki *et al.* 2001).

<sup>4</sup> A fin de facilitarle al lector la comprensión de éstos y otros nombres y conceptos ahora en desuso, al final de este trabajo se ha incluido un glosario.

<sup>5</sup> En 1997 el historiador Peter Galison empleó el concepto “*trading zone*” para destacar la interacción, comunicación e intercambio entre distintas subculturas de la física de partículas (ver Galison 1997). En este sentido, dadas las diferencias entre tradiciones químicas en el siglo XVIII, dicho concepto permite caracterizar la relación que hubo entre ellas hacia finales del siglo. Ver Gorman (ed.) (2010) para tener un panorama más general en torno a la noción de “zona de intercambio”.

<sup>6</sup> Véase como ejemplos clásicos de esta discusión los trabajos de Cohen (1985) y Shapere (1989), desde el enfoque histórico y filosófico, respectivamente, y más recientemente Shapin (1996) y Wray (2011).



qué fue lo que cambió y que fue lo que se mantuvo sin cambio. De esta manera, en primera instancia, destaco que las aportaciones de Lavoisier concernieron principalmente a la actividad teórico-conceptual de la química, por lo que sus consecuencias se ciñeron a este dominio. En segunda instancia, que el trabajo de este químico puede ser entendido como fruto de la zona de intercambio entre la química francesa y la neumática británica; más que refutar la teoría del flogisto, el logro de Lavoisier fue introducir los gases en la concepción de las sustancias materiales, cambiando así la categorización de los metales, los ácidos minerales, las sales metálicas y los azufres. En tercera instancia, que ante esta zona de intercambio, otro químico propuso una manera de introducir los gases en la concepción de las sustancias materiales pero preservando la noción de flogisto, se trata de Richard Kirwan. Aunque este químico irlandés fue una figura importante en la RQ, es una pena que no sea tan recordado como Priestley o el propio Lavoisier. En cuarta y última instancia, frente a los detalles de grano fino proporcionados por esta historiografía, se puede notar que Lavoisier era un químico de su época; aunque algunos de sus logros fueron destacados, siempre mantuvo ideas y estándares como los de sus contemporáneos. En este sentido, Lavoisier no inauguró la química moderna, sino que, como se verá más adelante, simplemente modernizó la nomenclatura química. La narrativa histórica planteada en esta primera parte de la tesis revela lo superfluo que resulta resumir la RQ en un “abandono de la teoría del flogisto”.

En la segunda parte de la tesis analizo los cambios conceptuales de la RQ. Ya que las tablas en las que se resumían las operaciones con las sustancias materiales entrañaban modos de clasificar dichas sustancias, las últimas ideas de Thomas Kuhn respecto al cambio conceptual establecen un excelente punto de partida para analizarlas. De acuerdo con Kuhn, los conceptos científicos delimitan taxonomías en la que median relaciones de jerarquía y contraste. De esta manera, en el desarrollo de una disciplina científica suelen ocurrir cambios conceptuales que modifican estas relaciones, pero si éstas son alteradas de modo que se viole el principio de no traslape, entonces se tiene un caso de inconmensurabilidad taxonómica<sup>7</sup>. Las ideas así expuestas por Kuhn han sido desarrolladas

---

<sup>7</sup> De manera general, el principio de no traslape se puede entender como que no haya instancias o clases de instancias que se solapen entre distintas taxonomías; por ejemplo, que no haya una clasificación en la que un animal sea un tipo de perro, pero conforme a otra clasificación sea un tipo de gato.

por Andersen, Baker y Chen (2006). Estos autores han recurrido a ideas más recientes de las ciencias cognitivas a propósito de los conceptos para hacer la propuesta de Kuhn más conveniente. De esta manera, han implementado la herramienta denominada “marcos dinámicos” para estudiar ciertos cambios conceptuales en la historia de la astronomía. Los marcos dinámicos son estructuras simbólicas construidas a partir de nodos que representan conceptos, en este caso científicos. La ventaja de disponer los conceptos en estas estructuras es que se tiene una representación visual de los distintos tipos de cambio conceptual, lo cual permite un análisis más pormenorizado.

De esta manera, el objetivo de la segunda parte de este trabajo es analizar los cambios conceptuales de la RQ, recurriendo a la representación de marcos dinámicos. Con base en el análisis histórico realizado, en un primer momento reconstruyo tres sistemas taxonómicos en torno a las sustancias materiales: un marco flogista de 1718, el cual fundaba la noción de sustancias materiales, otro marco flogista de 1783 contemporáneo al trabajo de Lavoisier, y el marco antiflogista de Lavoisier de 1787, el cual culmina su trabajo. Estos tres marcos me permiten pormenorizar las recategorizaciones en torno a los metales y los ácidos minerales, así como las cales y los azufres. En concreto, argumento que si bien las recategorizaciones del marco de Lavoisier constituyen un caso de inconmensurabilidad, estas recategorizaciones no afectan las nociones de sustancia simple y de sustancia compuesta, las cuales se mantienen sin cambios en todos estos marcos. Otro de los puntos que señalo respecto a estos marcos es el hecho de que en todos ellos figuran algunas sustancias hipotéticas. Contrariamente a la idea de que Lavoisier antepuso la ley de conservación de la materia, su sistema químico incluía una sustancia que no tendría peso y no había sido aislada, el calórico.

Luego de considerar estos cambios diacrónicos en la química, en un segundo momento analizo el sistema químico de Richard Kirwan, el cual constituía una alternativa flogista al sistema de Lavoisier. Así, una vez más, reconstruyo el marco dinámico correspondiente y tras analizarlo en comparación con otros marcos, el punto culminante de este análisis es que el marco de Kirwan no sólo resulta inconmensurable respecto al marco de Lavoisier, sino que también es inconmensurable respecto a los otros marcos flogistas.

Al final de esta tesis y dado el análisis presentado en ella, planteo dos maneras de entender las similitudes y diferencias entre el marco flogista de Kirwan y el marco antiflogista de Lavoisier. Las sugerencias que propongo invitan a entender la RQ de manera más completa, a saber, como un episodio de profundos cambios conceptuales que estuvieron permeados por diversas continuidades. Aunque varias sustancias fueron recategorizadas, estos cambios taxonómicos no afectaron las nociones generales de sustancia simple y de sustancia compuesta. Así pues, se distingue una continuidad a nivel ontológico respecto a cómo eran concebidas las sustancias materiales que, no obstante, es escindida por una diferencia en criterios metodológico: flogistas y antiflogistas propugnaban valores epistémicos opuestos.

## 1. La Revolución Química

### 1.1 Introducción.

Tradicionalmente, el episodio de la Revolución Química (RQ) es resumido en un remplazo de teorías; la teoría del flogisto de Stahl (defendida por Priestley) es abandonada en favor de la teoría del oxígeno de Lavoisier. Si bien este planteamiento captura un hecho histórico incuestionable, *i.e.*, el abandono paulatino de la noción de flogisto, no obstante, tiende a “exagerar la ruptura con el pasado, así como a pasar por alto el hecho de que ‘algo más fundamental ocurrió’” (Holmes 1995: 11), a saber, la inversión en el orden de composición de algunas sustancias. Los metales, por ejemplo, que eran entendidos como sustancias compuestas de flogisto y una tierra metálica, pasaron a ser considerados sustancias simples; y como éstos, otras sustancias fueron reclasificadas.

Al centrar la atención en el nivel teórico, el planteamiento tradicional de la RQ pasa por alto varios hechos históricos relevantes, como son, que la química del siglo XVIII no giraba en torno a la noción de flogisto (Perrin 1988), que las ideas respecto a la combustibilidad no formaban una estructura teórica elaborada (Holmes 2000a) y que, en general, las reflexiones teóricas ni siquiera constituían el quehacer principal de los químicos de la época (Klein 2011). En este sentido, la historiografía de los últimos años permite contextualizar aquella ruptura teórica tan señalada. Klein y Lefèvre (2007), por ejemplo, destacan que la química del siglo XVIII se centraba más bien en el estudio de las propiedades tangibles de las sustancias materiales, y Kim (2003) señala que, si acaso, la mayor preocupación teórica giraba en torno a las “afinidades electivas”, *i.e.*, a las fuerzas que permitirían la separación y reconstitución de sustancias.

Como se puede notar, lo anterior apunta a que, ni el flogisto era el principal tema epistémico de la época, ni las especulaciones teóricas constituían la principal actividad epistémica. De este modo, la afirmación de que Lavoisier fue el supresor de la teoría del flogisto merece ser analizada a detalle y tomando en consideración los estudios históricos más comprensivos. Sólo así se podrá vislumbrar cuáles fueron las transformaciones que en efecto impulsaba, su importancia y las repercusiones que pudieron haber ocasionado.

## 1.2 La práctica de la química en el siglo XVIII.

Contrariamente a lo que la concepción tradicional de la RQ pudiera sugerir, practicar química en siglo XVIII significaba invertir la mayor parte del tiempo en un laboratorio, estudiando las características de diversas sustancias materiales. Mediante distintas operaciones, como calentar, disolver, triturar, etc. los químicos de la época detallaban las transformaciones ocurridas en dichas sustancias. Y aunque en esta tarea destacaban cambios observables y tangibles, sus explicaciones para estos cambios podían apelar a entidades hipotéticas. Así, a nivel operacional, la noción de flogisto era útil y no problemática; “los químicos creían en su existencia debido a su habilidad para manipularlo. Explicaban varios tipos de reacciones mediante su transferencia, y ciertas propiedades debido a su presencia” (Perrin 1988: 60). Sin embargo, cuando se reflexionaba en torno a la naturaleza y la materialidad del flogisto, era cuando las cosas podían volverse problemáticas. En este sentido, una revisión a la química del siglo XVIII, es decir, la química de la época de Lavoisier, permitirá situar en contexto los cambios ocasionados por la supresión del flogisto.

### 1.2.1 Objetos y practicantes polifacéticos.

Las sustancias estudiadas en los laboratorios del siglo XVIII provenían de una gran variedad de sitios (ver Klein y Lefèvre 2007). No se trataba de sustancias halladas en la naturaleza, y tampoco eran el resultado de una investigación académica, sino que eran *productos* largamente empleados en minas, destilerías, boticas y en la siderurgia. Así, para mediados del siglo XVIII, era común que los químicos adquirieran sus materiales de investigación a través de comerciantes, boticarios, mineros y demás artesanos; y que a su vez, estos personajes emplearan y comercializaran muchas de las sustancias aisladas por los químicos académicos. Un ejemplo digno de resaltarse fue el intercambio de los “tipos de aire” asociados a la RQ. Algunos de los gases recién descubiertos fueron rápidamente comercializados. Como se verá más adelante, el aire inflamable (hidrógeno) fue implementado para elevar globos aerostáticos lo cual, a su vez, incentivó su investigación. De esta manera, durante el siglo XVIII, las sustancias materiales circulaban libremente, de

ida y de vuelta, entre los sitios académicos y los extraacadémicos, es decir, entre los sitios de investigación y los de producción y consumo.

Quienes practicaban la química tampoco estaban confinados a los sitios estrictamente académicos. Aunque trabajaran en academias, facultades de medicina, jardines botánicos, museos y lugares de enseñanza pública y privada, los químicos con formación académica también llevaban a cabo sus estudios en laboratorios farmacéuticos, laboratorios de ensaye, arsenales y emplazamientos relacionados con las manufacturas (ver Klein y Lefèvre 2007). Un químico del siglo XVIII bien podía ser un “sabio-tecnólogo” envuelto de manera activa en los oficios de la época y en la vida académica. De esta manera, la relación entre académicos y artesanos “no era meramente la relación técnica, comercial, de compradores y proveedores” (*ibid*: 18), sino la de *colegas* que, además de compartir buena parte de la cultura material (emplazamientos, instrumentos, sustancias), solían compartir saberes, técnicas, objetivos e intereses<sup>8</sup>.

Como se puede notar, la química del siglo XVIII era una actividad en la que dicotomías como “ciencia pura vs aplicada” o “científicos teóricos vs experimentales” no tenían cabida. Los químicos de la época eran sujetos polifacéticos que participaban de las mismas actividades que los artesanos; y por ello “estaban lejos de ser, de manera clara sabios o ‘filósofos experimentales’” (Klein y Lefèvre 2007: 18-19). Ya que las sustancias estudiadas y los hombres que las estudiaban tenían orígenes tan diversos, las sustancias eran estudiadas como aplicaciones, como materiales tangibles y como objetos que conllevaban propiedades imperceptibles, en otras palabras, *el devenir epistémico de estas sustancias estaba constituido, de manera conjunta, por el impulso tecnológico, así como por las prácticas y conceptos científicos*. En consecuencia, la química del siglo XVIII puede entenderse a partir de las actividades epistémicas que llevaba a cabo.

---

<sup>8</sup> Esta relación, que permitía que la distinción entre académico y artesano se flexibilizara, estaba personificada particularmente en boticarios, ensayistas, oficiales de minas y, particularmente en Francia, en comisionados de manufacturas estatales (ver Klein y Lefèvre 2007).

## 1.2.2 Las tres actividades epistémicas de la química.

Sin que esta distinción suponga una división categórica, el proceder en la química puede estudiarse, analíticamente y a nivel comunitario, como atañendo tres actividades epistémicas: mejoramiento tecnológico, filosofía experimental e historia experimental (ver Klein y Lefèvre 2007)<sup>9</sup>.

### 1.2.2.1 Mejoramiento tecnológico.

La cercanía entre los sitios académicos y los de producción y consumo, daba pie a que cualquier químico estuviera familiarizado con las operaciones artesanales e industriales. De este modo, los químicos del siglo XVIII solían estudiar y repetir tales operaciones a fin de aumentar la calidad de los productos y la eficiencia de los procedimientos. Y, de la misma manera, nuevas sustancias y operaciones originadas en los sitios académicos eran aplicadas con fines comerciales. En este sentido, una de las actividades epistémicas más comunes consistía en impulsar el desarrollo de las técnicas y los materiales artesanales e industriales, es decir, el mejoramiento tecnológico.

Pierre Joseph Macquer (1718-1784), por ejemplo, médico de formación, se consagró en la práctica de la química, siendo electo como miembro de la prestigiosa *Académie des Sciences* de París en 1745. Al ser uno de los químicos académicos más destacados, Macquer fue asignado *comissionaire* del *Bureau du Commerce* en 1766, donde se encargaría de inspeccionar diversos productos químicos y de manufactura. En ese mismo año, Macquer publicó su *Dictionnaire de chimie*, un texto que sería influyente a nivel internacional, en el que daba cuenta, entre otras cosas, de varias recetas para preparar éter (éter etílico) y de sus usos medicinales (ver Klein y Lefèvre 2007). Aunque ésta era una sustancia prolífica, Macquer señalaba que los altos costos de producción impedían ampliar aún más sus aplicaciones. Por lo que el mejoramiento de las técnicas de producción del éter comercial constituyó un problema de investigación abordado por toda clase de químicos en la segunda mitad del siglo XVIII. Uno de los avances teóricos más significativos en este tema fue propuesto por Antoine François Fourcroy (1755-1809) quien, en contra de los

---

<sup>9</sup> Los nombres de las tres actividades epistémicas que detallaré continuación son los que Klein y Lefèvre (2007) utilizan.

pronósticos, por tratarse del hijo de un boticario, logró graduarse como médico y llegar a ser uno de los profesores de química más destacados de París. Por otro lado, siendo un químico contemporáneo de Lavoisier, fue el segundo en apoyar sus ideas, llegando incluso a colaborar con él.

Otro químico que mantuvo una relación cercana con las industrias de su época fue el mismo Lavoisier. Desde 1768, como parte de la *Ferme général*, un organismo de la corona encargado de la recolección y administración de ciertos impuestos, solía viajar a la provincia francesa controlando la pureza del tabaco (ver Donovan 1996). Para este fin, la química le proporcionaba un método confiable: si el tabaco estaba adulterado con ceniza, entonces ésta daría efervescencia al contacto con ácido vitriólico (ácido sulfúrico). Años más tarde, hacia 1775 y en el auge de sus investigaciones científicas, Lavoisier fue nombrado uno de los directores de la *Regié des poudres* (la Administración de la pólvora) con el encargo de mejorar la producción de pólvora. Para cumplir su nuevo cargo, Lavoisier debió mudarse al Arsenal de París, instalando un laboratorio bien equipado con la ayuda del reputado químico Jean Baptiste Michel Bucquet (1746-1780). En estas nuevas instalaciones, Lavoisier abordó el estudio del nitro (nitrato de potasio), el ingrediente principal de la pólvora que, convenientemente, formaba parte de sus investigaciones científicas en torno a la combustión, el calor y la producción de otros tipos de aire (ver Mauskopf 1988).

Como estos dos casos permiten destacar, los químicos académicos abordaban los problemas afines a los oficios y la industria. Y aunque las comunidades de químicos académicos y extraacadémicos mantuvieran una dinámica propia, sus integrantes solían coincidir e influenciarse de manera recurrente rumbo a alguna mejora tecnológica.

#### 1.2.2.2 *Filosofía experimental.*

Además de impulsar los oficios y la industria, y en este sentido estudiar las sustancias a nivel operativo, los químicos del siglo XVIII también reflexionaban en torno a los componentes y procesos *imperceptibles* que pudieran estar implicados en las transformaciones químicas. Aunque, evidentemente, esta actividad epistémica entrañaba



una labor abstracta, para inicios del siglo XVIII, particularmente en París, se iba consolidando una aproximación que era más afín a las prácticas artesanales, que a las tradiciones filosóficas previas: el paracelsismo<sup>10</sup> y el atomismo<sup>11</sup> (ver Klein y Lefèvre 2007).

Una de las tradiciones químicas del siglo XVII, el “principionismo”, era el heredero directo de las ideas paracelsianas del siglo XVI (Chang H. 2012a). De acuerdo con el principionismo, un compuesto era *un todo homogéneo* al que cuatro elementos (tierra, agua, aire y fuego) le otorgaban sus propiedades corpóreas, y cinco principios (espíritu, aceite, sal, flema y tierra), sus propiedades químicas (ver Best 2011)<sup>12</sup>. De esta manera, el arte químico consistía en reconfigurar, actualizar o incluso “separar” estos principios, a fin de enfatizar ciertas cualidades en los compuestos. Si bien los principios constituían a las sustancias químicas, éstos no eran unidades de las que se pudiera disponer; sino, que estarían conformando “el mismo cuerpo en todas sus partes”. En otras palabras, un compuesto y sus principios entrañaban una sola unidad (Klein y Lefèvre 2007: 41). Así, aunque las operaciones químicas enfatizaran ciertos principios, estas “exaltaciones” los iban “espiritualizando”; de modo que en su forma más “pura” los principios carecerían de toda corporeidad. De acuerdo con esta tradición química paracelsiana, la noción de compuesto apelaba a los *elementos y principios progenitores de una sustancia* pues ésta era *un todo corporeizado con propiedades de origen no corporal*. Ya que los principios serían no perceptibles y no manejables en su estado más puro, éstos no se podrían aislar.

Otra de las tradiciones químicas del siglo XVII, el atomismo químico, combinaba el paracelsismo con ideas atomistas. De acuerdo con esta filosofía cada uno de los principios estaba conformado de un tipo específico de átomos. Debía haber átomos de espíritu, de aceite, etc. De esta manera, una sustancia adquiriría sus propiedades químicas dada su distribución particular de átomos de los cinco principios. Si bien los átomos eran

---

<sup>10</sup> Como detallaré más abajo, el paracelsismo sugería que ciertos “elementos” le aportaban sus propiedades corpóreas a una sustancia, mientras que los “principios” definían sus propiedades químicas.

<sup>11</sup> De acuerdo con la tradición atomista química, las sustancias debían sus propiedades químicas a su distribución particular de átomos.

<sup>12</sup> Los químicos franceses del siglo XVII añadieron dos principios más, flema y tierra, a los tres propuestos originalmente por Paracelso, espíritu, aceite y sal (ver Best 2011). El principio aceite fue el que Stahl denominaría “flogisto”.

entendidos como las unidades que conformaban a los compuestos, al tratarse de corpúsculos indivisibles e imperceptibles era imposible aislarlos. Además, ya que los principios estarían conformados por un sólo tipo de átomos, tampoco sería posible aislarlos. Para los atomistas, los *efectos* (perceptibles) de las sustancias, incluida su tangibilidad, tendrían su *causa* en átomos (imperceptibles), pero intentar aislar los principios y compuestos de una sustancia sería inútil.

El “composicionismo”, una tercera manera de entender las sustancias, emergió en siglo XVIII con el quehacer práctico de separar y reconstituir sales y aleaciones (ver Chang H. 2012a). Con el creciente interés en estas *operaciones reversibles* las transformaciones químicas fueron entendidas como recombinaciones a partir de “bloques de construcción” (*building blocks*). De acuerdo con el composicionismo, estos bloques correspondían con *sustancias materiales*: eran tangibles, aislables y manipulables. Además, eran los “componentes químicos” de un “compuesto químico” que, para separarse y recombinarse, estarían dirigidos por “afinidades electivas”, *i.e.*, fuerzas selectivas que los hacían unirse en pares (ver Kim 2003). De este modo, aquello que distinguía a esta concepción de la paracelsiana y de la atomista era que, si bien los componentes no pudieran ser distinguidos en un compuesto, podían ser separados y devenir sustancias tan perceptibles y manejables como el compuesto original (ver Klein y Lefèvre 2007). Así, en esta nueva manera de entender las sustancias, contrariamente al paracelsismo, los componentes eran las *unidades heterogéneas* que conformaban un compuesto; y contrariamente al atomismo, eran *separables*.

### 1.2.2.3 Historia experimental.

Esta tercera actividad epistémica entrañaba una labor de observación y organización similar a la de los naturalistas, pero a diferencia de ésta, no se limitaba a describir y clasificar objetos naturales. La historia experimental daba cabida en sus colecciones a fenómenos de intervención en la naturaleza, especialmente aquellos provenientes de los talleres e industrias y los sitios académicos (ver Klein y Lefèvre 2007). Aunque la historia experimental también participaba del conocimiento de la filosofía experimental, no se enfocaba en causas y entidades ocultas, en cambio, enfatizaba las propiedades perceptibles

de las sustancias, en particular, su color, olor, sabor, consistencia, propiedades físicas cuantificables, así como las de las operaciones a las que eran sujetas.

Otra de las singularidades de esta actividad consistía en repetir, ampliar y compendiar los experimentos realizados. Estudiando una multitud de sustancias materiales al mismo tiempo, los químicos del siglo XVIII solían pasar de una a otra sustancia sin organizar sus experimentos conforme a una línea de investigación. Además, la presentación de estos hechos estudiados no necesitaba ser estructurada. De modo que, si no se era capaz de establecer un orden entre los resultados o de descubrir sus regularidades, estos podían presentarse “como habían venido a la mente y la mano” (Klein y Lefèvre 2007: 24). Estas particularidades de la historia experimental han dado pie a que la química de la época sea equiparada con la “colección de estampillas”, desdeñando el hecho de que las colecciones de la química incluían las prácticas de experimentación y de abstracción conceptual del desarrollo tecnológico y la filosofía experimental, las otras dos actividades epistémicas de la química (ver Klein 2012). De cualquier manera, este estilo de experimentación poco sistemática se mantuvo hasta ya entrado el siglo XIX.

El propósito de coleccionar y yuxtaponer hechos provenientes de sitios académicos y artesanales, y en torno a una multitud de sustancias, era obtener *pericia* respecto a los materiales, sus variedades, sus transformaciones químicas y sus usos prácticos. De esta manera, las colecciones características de la historia experimental también fungían como libros de texto, cumpliendo así un papel fundamental en la formación de químicos. En este sentido, hacia finales del siglo XVIII algunos desarrollos de la disciplina, los cuales se verán hacia el final de este capítulo, modificaron la manera en que las historias experimentales podían ser presentadas en los libros de texto.

### **1.3 La química antes y después de Lavoisier.**

Antoine Laurent Lavoisier nació en París el 26 de agosto de 1743 en el seno de una familia acomodada pero alejada de los círculos más exclusivos de la sociedad parisina<sup>13</sup>. En

---

<sup>13</sup> Jean Antoine Lavoisier, padre de Lavoisier, llegó a la capital francesa para estudiar derecho por recomendación de su tío, el cual, le heredó su casa y su puesto como notario en el Parlamento de París (ver Donovan 1996.) La madre de Lavoisier, Émilie Punctis, era hija de una familia burguesa; se casó con Jean

el otoño de 1754, Lavoisier ingresó al *Collège des Quatre-Nations*, una institución reconocida por su énfasis en la ciencia pues, luego del ciclo básico de seis años, era posible cursar un año de matemáticas y dos de filosofía (ver Guerlac 1956). Sin embargo, el joven Lavoisier sólo cubrió el año de matemáticas pues, por sugerencia de su padre, abandonó el colegio en 1761 para estudiar leyes. Hacia 1764 Lavoisier completó su formación como abogado, siguiendo paralelamente varios cursos y lecciones privadas de ciencia. Primero en el observatorio de su exprofesor de matemáticas en el *Quatre-Nations*, el Abbé Nicholas Louis de la Caille (1713-1762) y, tras el deceso de éste, con el geólogo Jean Etienne Guettard (1715-1786), con quien colaboró en sus primeros años como científico. Luego, entre 1762 y 1763, estudió con el eminente químico y boticario Guillaume François Rouelle (1703-1770), quien sustentaba una concepción particular del flogisto.

### 1.3.1 El composicionismo y la domesticación del flogisto.

Pese a lo que la concepción tradicional de la RQ sugiere, la teoría contra la que Lavoisier arremetió no era la de Stahl, sino una variante francesa desarrollada a inicios del siglo XVIII. Además, como he sugerido, la especulación teórica no era la actividad principal de los químicos de la época, por lo que, más que constituir una teoría, el flogisto era un concepto más en el discurso y la práctica contemporánea (ver Perrin 1988).

Desde 1710 varios químicos de la *Académie* recurrían en sus investigaciones a los procedimientos y resultados de Stahl respecto a la composición de sales. Además de sugerir que el flogisto sería la substancia responsable de la combustibilidad de cualquier substancia y en este sentido, representar el *principio de combustibilidad*, Stahl había mostrado dos hechos experimentales en torno a este principio: el azufre estaría compuesto de ácido vitriólico (ácido sulfúrico) y flogisto, y el ácido vitriólico poseería mayor afinidad por el flogisto que por cualquier metal (ver Chang K. 2014). Este conocimiento a nivel operativo quedó plasmado en la *Table des differents rapports* (1718) de Etienne François Geoffroy (1672-1731), ahora conocida como tabla de afinidades. En esta tabla se resumían las

---

Antoine en 1742 y murió cuando Lavoisier tenía sólo cinco años. Su padre, el abuelo materno de Lavoisier, formaba parte de la Orden de Abogados del Parlamento de Paris, por lo que intercedió por su yerno para que ingresara a dicha orden, adquiriendo así un cargo más prestigioso que el de notario.

predilecciones de combinación y remplazo entre sustancias relacionadas con la formación de sales y aleaciones, una de las cuales era el flogisto, ver figura 1.

*TABLE DES DIFFERENTS RAPPORTS  
observés entre différentes substances*

The table consists of a grid of symbols. The legend below the table explains these symbols:

- Esprit acide
- Acide du sel marin
- Acide nitreux
- Acide vitriolique
- Sel alkali fixe
- Sel alkali volatil
- Terre absorbante
- SM Substances metalliques
- Mercur
- Regule d'Antimoine
- Or
- Argent
- Cuivre
- Fer
- Plomb
- Etain
- Zinc
- Pierre Calaminative
- Soufre mineral
- Principe huileux ou soufre Principe
- Espirit de vinaigre
- Eau
- Sel
- Espirit de vin et Esprits ardents

**Figura 1.** Tabla de afinidades de Geoffroy (1718). El símbolo que representa al flogisto lo he destacado en rojo; y la explicación de esta simbología, con una flecha donde se puede leer “Principe huileux ou soufre Principe”, es decir, principio aceite o principio azufre.

Para Geoffroy y sus contemporáneos, todos ellos pioneros del composicionismo francés, las especulaciones más teóricas de Stahl tenían menos relevancia que sus resultados empíricos. Stahl no sólo había descompuesto el azufre en ácido vitriólico y flogisto, sino que también lo había recompuesto. Y análogamente, había mostrado que los metales perdían su flogisto al ser calcinados, pero podían recuperarlo al agregar carbón a su cal aún caliente (ver Chang K. 2014). Estas operaciones de separación y reconstitución eran importantes pues indicaban el orden de composición de las sustancias: el azufre y los metales serían sustancias compuestas, mientras que el ácido vitriólico sería una sustancia simple (ver Gough 1988). En conjunto, el trabajo de Stahl mostraba que aunque el principio

flogisto no fuera aislable, éste bien podía ser “domesticado”<sup>14</sup>. El flogisto, una entidad completamente elusiva desde la época de Paracelso (*ca.* siglo XVI), ahora podía ser transferido de un compuesto a otro conforme a la voluntad del químico (ver Perrin 1988). De esta manera, este principio podía ser entendido como una *substancia hipotética*, es decir, una substancia que yacía entre lo abstracto y lo manipulable.

### 1.3.2 El fuego como componente y como instrumento.

Como he señalado, en general, el trabajo de los químicos del siglo XVIII comprendía más manipulaciones experimentales que especulaciones teóricas, por ello me referiré a él como sistema en lugar de teoría. La finalidad de esto es destacar la preeminencia que tenían las técnicas, procedimientos y prácticas a nivel operativo.

Hacia 1750, gracias a las reconocidas lecciones de Rouelle y a los famosos textos de su alumno y colaborador Macquer, el sistema de Stahl se popularizó y se volvió más influyente. Para mediados del siglo XVIII, Rouelle había propugnado un sistema químico que, si bien mantenía las operaciones de Stahl, introducía cambios conceptuales significativos (ver Rappaport 1961).

De acuerdo con Stahl, los cuatro principios eran el aire, el fuego, el agua y la tierra. Los dos primeros, aire y fuego, sólo servían como *instrumentos* que separaban las “partes integrantes” de un compuesto a fin de que sus “partes constitutivas” pudieran recombinarse (ver Gough 1988). En otras palabras, aunque participaban en las reacciones químicas, el aire y el fuego no eran considerados propiamente componentes de las sustancias formadas. En cambio, el agua y la tierra, además de ser instrumentos, podían participar en las combinaciones químicas, jugando así ambos roles: el de componentes y el de instrumentos.

En oposición a estas ideas de Stahl, Rouelle afirmó haber obtenido evidencia de que los cuatro principios podían desempeñar ambas funciones. Así, con Rouelle, aire y fuego, al igual que tierra y agua, podían ser componentes de las sustancias. De esta manera, los

---

<sup>14</sup> Como señalé más arriba, los principios eran entendidos como las entidades que le atribuían propiedades químicas al resto de las sustancias (*e.g.*, el flogisto a la combustibilidad), y la cuestión en torno a ellos era determinar su naturaleza y si serían aislables.

sistemas de Stahl y Rouelle, concebían de forma distinta la naturaleza del flogisto. De acuerdo con Stahl, la tierra era el principio de solidez y reposo, y la había de tres tipos: vitrificable, inflamable y liquidable (ver Rappaport 1961). Para Stahl, el flogisto correspondía con la tierra inflamable. Y aunque estas tierras fueran principios de reposo, el flogisto sería una tierra con propiedades excepcionales: mediante la acción instrumental del fuego podía ser puesto en movimiento o incluso volatilizado. Esto hacía del *flogisto una tierra inflamable con propiedades contrapuestas*, y justamente esta contraposición fue lo que Rouelle modificó.

Para eliminar el contrasentido entre reposo y movimiento, Rouelle dejó de equiparar el flogisto con la tierra y, en cambio, lo identificó con el fuego. Ya que para Rouelle el fuego podía ser un componente y un instrumento, con el término ‘flogisto’ se refirió al fuego en su papel como componente, y con ‘fuego’ simplemente denotó su papel como instrumento. De esta manera, entre algunos químicos franceses se volvió común el referirse al flogisto como “materia del fuego”.

Otro cambio que Rouelle introdujo a propósito de la noción de flogisto fue equipararlo con la tierra liquidable. Para Stahl la tierra liquidable era la responsable de las propiedades de los metales, a saber, brillo, maleabilidad y homogeneidad. Sin embargo, Rouelle sugirió que la tierra liquidable y el flogisto *eran uno y el mismo principio*. De este modo, en su sistema, el flogisto no sólo era responsable de la combustibilidad, sino que también era responsable de las propiedades de los metales. Este sistema químico (en el cual el flogisto correspondía con la materia del fuego y era responsable de las propiedades de los metales) era el que Rouelle enseñaba en sus cursos; y Macquer, en sus textos (ver Rappaport 1961).

De este modo, cuando Lavoisier entró a escena, el énfasis de la química académica francesa había pasado del nivel operativo, a una discusión más abstracta respecto a las operaciones de combustión y calcinación, particularmente en torno al papel que el aire pudiera tener en dichos procesos (ver Chang K. 2014).

### 1.3.3 El sistema de Lavoisier.

1766 es considerado el año en que Lavoisier debuta como químico (ver Donovan 1988). Sus primeros trabajos respondían a sus intereses en la geología. Pero, paralelamente a éstos, mantuvo un extenso proyecto de documentación química<sup>15</sup>. Las notas que Lavoisier realizó en este tiempo revelan algunas de sus particularidades: una mente inquisitiva y atenta a las discrepancias entre autores, así como a los vacíos en el saber químico (Perrin 1988); también, una tendencia a diseñar y realizar experimentos de manera más sistemática, es decir, más orientados conforme una línea de investigación (Duncan 1988)<sup>16</sup>.

El desarrollo del sistema químico de Lavoisier puede ser analizado en tres etapas. Durante la primera etapa (1772), Lavoisier profundizó y sistematizó ciertos resultados respecto a la combustión y a la calcinación. Su objetivo era esclarecer *si el aire jugaba algún papel en estos procesos*. En una primera serie de experimentos, Lavoisier se cercioró de que el peso del fósforo y del azufre *augmentaba* tras su combustión, y que este aumento de peso se debía a la absorción de aire (Perrin 1986)<sup>17</sup>. También indagó lo que había detrás de la reducción de la cal del plomo, conocida como litargirio. Esta cal liberaba un volumen de aire más de mil veces mayor al volumen del material sometido a la calcinación. Aunado a sus resultados anteriores, Lavoisier consideró que estos hallazgos estaban destinados a “generar una revolución en la ciencia” (Lavoisier citado en Perrin 1988: 665). Sin embargo, Lavoisier pronto debió advertir que si bien sus resultados problematizaban el sistema de Stahl, estos resultados no eran suficientemente concluyentes (Perrin 1988). En particular,

---

<sup>15</sup> De este periodo de documentación, que comprende de 1764 y 1768, se sabe que Lavoisier leyó –entre otras cosas– el *Dictionnaire de chymie* de Macquer, un manuscrito sobre el llamado “Tratado sobre el azufre” de Stahl, el texto de Johann Friedrich Meyer (1705-1765) *Essais de chymie, sur la chaux vive, la matière élastique et électrique, le feu, et l’acide universel primitif; avec un supplément sur les élémens*, donde Meyer plateaba la existencia de un principio de causticidad, “*acidum pingue*”, y los ensayos de Johann Theodor Eller (1689-1760), quien –en sus *Dissertation sur les élémens ou premiers principes des corps . . .*– sugería que el aire no era más que agua transformada en vapor debido a su unión con la materia del fuego (Perrin 1988, Holmes 1995).

<sup>16</sup> Dada la tradición de la historia experimental, la manera de trabajar de Lavoisier destaca como un caso singular pues, por lo general, los químicos de su época pasaban de un experimento a otro sin tener una línea de investigación clara (Klein y Lefèvre 2007). Puesto que buena parte del tiempo de Lavoisier era consumido en sus deberes tecno-administrativos (Mason 1995), conjeturo que Lavoisier pudo caer en cuenta de que su trabajo tendría mayor impacto si trataba de seguir un eje temático a que si éste estaba disperso.

<sup>17</sup> Los contemporáneos de Lavoisier sabían que algunas sustancias ganaban peso tras ser quemadas, pero pocos habían explorado este efecto, siendo una de las excepciones el químico francés Louis-Bernard Guyton de Morveau (1737-1816) (Perrin 1986).



ante la relevancia que la neumática inglesa iba ganando en Francia, Lavoisier era incapaz de afirmar algo respecto a la naturaleza del aire en juego. No obstante, para salvaguardar la prioridad de estos resultados, en noviembre de 1772 Lavoisier depositó una nota sellada en la *Académie* relatando brevemente sus hallazgos.

La segunda etapa en el desarrollo del sistema de Lavoisier (1774 a 1780), comprende una investigación respecto a *la naturaleza del aire implicado* en la calcinación y la combustión. Los experimentos que Lavoisier llevó a cabo en este periodo pueden verse como una respuesta a los trabajos de Joseph Priestley (1733-1804), pues frecuentemente hace referencia a sus experimentos y resultados en torno a los distintos tipos de aire. Aunque Priestley no fue un teórico del flogisto como lo fueron Rouelle o Macquer, hacia 1770, en la cúspide de su trabajo como experimentador, expresó sus resultados en términos del sistema flogista de Macquer (Holmes 2002a). Así, hasta 1780 Priestley se mantuvo como la máxima autoridad respecto al flogisto y los distintos tipos de aire.

De acuerdo con Priestley, el flogisto actuaba en el aire mediante “procesos de flogistización” que generaban otros tipos de aire. Su manera de entender estos procesos era más afín a las operaciones transmutativas de la tradición principionista (ver pp. 13), que a las operaciones de separación y reconstitución composicionistas. Para Priestley, en una calcinación el flogisto era absorbido por el aire común, generando aire flogistizado (nitrógeno); y en una reducción, el proceso inverso, la disminución de flogisto en el aire común generaría aire desflogistizado (oxígeno) (ver Boantza 2008). En breve, si bien Priestley mantenía la idea de que las sustancias combustibles contenían flogisto, su manera de concebir al flogisto no era composicionista.

Uno de los resultados más importantes de Lavoisier fue notar que el gas absorbido en la combustión, y al cual se debía el aumento de peso de las sustancias, no era otra cosa que el aire desflogistizado de Priestley. Con base en todos sus resultados, hacia finales de 1777, Lavoisier finalmente presentó un ataque al sistema flogista. Y, aunque en este ataque sugería que criticaba el sistema de Stahl, en realidad estaba atacando el sistema de Rouelle. El argumento más destacado de Lavoisier fue que admitir *que las sustancias combustibles no contenían flogisto*, evitando así la inaceptable conclusión de que, al ser quemados, “los cuerpos que aumentan su peso pierden una parte de su substancia” (Lavoisier 1862b: 232),

es decir, que sustancias como el fósforo y el azufre perdían una parte de su sustancia al tiempo que ganaban peso.

La investigación de Lavoisier en torno a la naturaleza del aire desflogistizado formaba parte de su concepción general del estado gaseoso. Desde mediados de los 1760's, Lavoisier concebía la evaporación y la fusión como combinaciones con un fluido muy sutil, muy elástico y capaz de penetrarlo todo, la materia del fuego. Este fluido ígneo tendría la capacidad de rarificar las sustancias con las que se combinaba, de modo que una cierta cantidad de la materia del fuego fusionaría un sólido, y una cantidad aún mayor lo evaporaría (ver Siegfried 1972). Así, a finales 1777, Lavoisier sugirió que el aire desflogistizado sería una combinación de la materia del fuego con “la base más pura del aire” (Lavoisier 1862b: 229). Sin embargo, esta base podía tener mayor afinidad por otras sustancias por lo que, al unirse a otras sustancias, liberaría su materia del fuego “con flama, luz y calor” en lo que sería una combustión o una calcinación. La manera en que Lavoisier presenta esta parte de su trabajo revela que la materia del fuego cumplía una función instrumental similar a la del flogisto de Rouelle, es decir, que facilitaba la combinación de la base del aire puro al modular su rarificación.

Otro punto que Lavoisier destacaba respecto al aire puro, o desflogistizado, es que éste introducía propiedades químicas distintas, dependiendo de las sustancias con las que se combinaba. Si se unía a una sustancia metálica, se obtenía una cal, pero si se combinaba con una sustancia mineral o carbonosa, entonces, el producto sería un ácido. El conocimiento que Lavoisier obtuvo a partir de sus experimentos con el azufre y el fósforo le hizo conjeturar que si la combustión de estas sustancias producía ácido vitriólico y ácido fosfórico, respectivamente, entonces la parte del aire que se combinaba con estas sustancias debía estar causando su acidez. De este modo, en 1777 Lavoisier anunció que toda combustión volvía ácida la sustancia en cuestión; y hacia finales de 1779, presentó la base del aire puro como el *principio acidificante* u “*oxygene*”, en su forma griega (ver Crosland 1973).

Como se puede notar, en esta segunda etapa Lavoisier desarrolló su sistema en dos ejes. Por un lado, la rarefacción de sustancias dependía de su cantidad de materia del fuego. Por otro lado, el papel del aire puro en la combustión establecía una explicación para la acidez.

La causticidad de una sustancia no metálica se debía a la unión con la base de este aire, el principio acidificante. Conforme a estos dos ejes se tiene que la unión con el principio acidificante ocasionaba nuevas propiedades químicas, y la unión con la materia del fuego sólo cumplía la función instrumental de modificar la rarefacción de las sustancias. Así, aunque en el sistema de Lavoisier la materia del fuego no cumpliera todas las funciones que usualmente se le atribuían (componente e instrumento), no obstante, esta sustancia continuaba desempeñando un papel primordial. De esta manera, como Macquer lo señalaba, Lavoisier había sugerido que “no hay materia inflamable en las sustancias combustibles, [pero que] ésta es una de las partes constitutivas del aire” (Macquer citado en Holmes 1995: 33).

En la tercera y última etapa de su investigación (1780 a 1787), Lavoisier fue incorporando a su sistema los logros que los químicos del Reino Unido iban generando. A finales de 1781 Lavoisier emprendió una serie de experimentos que constituían una respuesta a la relación que Adair Crawford (1748-1795) había señalado entre el flogisto y el calor (ver Morris 1972). Así, en colaboración con Pierre Simon Laplace (1749-1827), Lavoisier adaptó a su sistema ciertas ideas respecto al calor.

En 1783 llegaron a Lavoisier noticias respecto a la síntesis del agua a partir de la combustión de aire inflamable (hidrógeno) y aire desflogistizado (oxígeno). Tras repetir exitosamente dichos experimentos, Lavoisier presentó otro ataque contra la noción de flogisto. Aunque para entonces (1785), Richard Kirwan sugería que el aire inflamable (hidrógeno) equivalía al flogisto en su estado más puro, Lavoisier dirigió este ataque a la concepción del flogisto como “materia del fuego” que Macquer defendía. Tras haber estudiado la naturaleza del calor, la función instrumental del fuego estaba más clara para Lavoisier, por lo que en este segundo ataque distinguía entre los efectos físicos y los efectos químicos de una combustión. Aunque el calor sólo conllevara efectos físicos, Lavoisier lo asociaba con un fluido ígneo muy sutil capaz de combinarse químicamente, de modo que lo denominó “calórico” unos años más tarde.

Desde 1783 algunas de las ideas de Lavoisier empezaron a ganar aceptación, y hacia 1787 los químicos franceses más destacados ya le daban su respaldo. Para quienes consideran que la RQ se centra en tal aceptación, la revolución ya estaría consumada

restando simplemente “consolidar la posición adquirida... superando las actitudes largamente atrincheradas de quienes estuvieron geográfica o profesionalmente lejos de la arena donde se había decidido la batalla” (Holmes 1995: 19-20).

#### **1.3.4 La zona de intercambio entre el composicionismo y la neumática.**

Al enfocarse en el desarrollo del sistema de Lavoisier se puede tener la impresión de que, trabajando de manera aislada y en oposición a las ideas aceptadas, Lavoisier ideó una manera inaudita de entender la combustión y los gases, y luego emprendió una campaña para que ésta fuera aceptada. Nada de esto fue el caso. Si bien Lavoisier y los otros químicos franceses explicaban la combustión de maneras distintas, entre ellos siempre existió un intercambio de ideas. Quizás una brecha más grande estaba situada entre la química composicionista francesa y la química neumática británica pues, hasta mediados del siglo XVIII, la única influencia en Francia respecto al estudio del aire era el trabajo del británico Stephen Hales (1677-1761). Sólo éste químico neumático era abordado en las lecciones de Rouelle (ver Mason 1991)<sup>18</sup>. No obstante, esta brecha se iría cerrando hacia 1770, cuando la comunicación entre los químicos franceses y los británicos se intensificó, propiciando así una zona de intercambio de la que emergieron dos maneras de entender los gases.

Mientras que en el Reino Unido el trabajo de Hales motivó los experimentos de Joseph Black (1728-1799) y Henry Cavendish (1731-1810)<sup>19</sup>, en Francia produjo una discusión teórica en torno al papel del aire en diversas circunstancias: Si éste se combinaba químicamente con las sustancias, si sólo estaba atrapado físicamente o si era creado ficticiamente al momento de separar un compuesto (ver Perrin 1988). Esta discusión se desarrolló ajena al impulso experimental inglés. Pero, hacia 1770, las noticias de la neumática empezaron a ser introducidas a la *Académie* gracias al portugués João Jacinto de Magellan (1722-1790). En abril de 1772, Magellan envió personalmente a Macquer una

---

<sup>18</sup> El texto de Hales *Vegetable Staticks* (1727), un estudio en torno al aire extraído de sustancias animales y vegetales, había sido traducido al francés en 1735 por Georges Louis Leclerc Comte de Buffon (1707-1788).

<sup>19</sup> Entre otros logros destacados, Black aisló el aire fijo (dióxido de carbono) y Cavendish, el aire inflamable (hidrógeno).

carta relatándole los innovadores trabajos de Priestley a propósito del aire atmosférico, el aire fijo y la combustión. Dicha carta fue leída públicamente en la *Académie*<sup>20</sup>.

Si bien Lavoisier ya se había interesado en el hecho de que ciertas sustancias ganaban peso tras su combustión desde 1766 (ver Perrin 1988), él no sería el único químico francés intrigado por este fenómeno. A 310 km al sureste de París, en la ciudad de Dijon, el también abogado Louis Bernard Guyton de Morveau (1737-1816) publicó en 1769 su primer trabajo como químico, estudiando el papel del aire en la combustión<sup>21</sup>. Poco después, en 1772, tras profundizar en torno a este y otros temas, presentó sus *Digressions académiques* que incluían un ensayo sobre el flogisto y otro ensayo en torno a las afinidades electivas. En este último, Guyton de Morveau manifestaba su inquietud por elucidar la ley de atracción entre las partes constitutivas de los cuerpos y dar una explicación mecánica de sus afinidades (ver Kim 2003). Como parte de esta búsqueda, Guyton de Morveau planteaba una explicación mecanicista de la disolución y la cristalización de sustancias, basándose en la noción de afinidades electivas. En el ensayo dedicado al flogisto, por otro lado, concluía que la calcinación generaba indiscutiblemente un aumento de peso en los metales, y que este aumento se debía a la pérdida de flogisto, la materia del fuego (ver Smeaton 1957). De acuerdo con Guyton de Morveau, el flogisto sería más ligero que cualquier sustancia, incluso las más sutiles; por lo que, unido a un metal, le ocasionaría una disminución aparente de peso, pero al ser liberado, el metal recuperaría su peso habitual. Gracias a sus *Digressions*, Guyton de Morveau adquirió reconocimiento en Francia, siendo nombrado corresponsal de la *Académie* en ese mismo año.

Mientras los químicos franceses se enfocaban en la relación del flogisto con los combustibles, Priestley exploraba la relación del flogisto con el aire. En sus *Observaciones en diferentes tipos de aire*, detallaba cómo la calcinación, la combustión y la respiración

---

<sup>20</sup> Gracias a Magellan, también llegó a Francia un panfleto de Priestley, detallando un proceso para producir agua mineral. La tarea de traducir este panfleto le fue comisionada a Lavoisier, pero al no dominar el inglés terminó siendo traducido y publicado por Jean Baptiste François Rozier (1734-1793) en agosto de 1772. Posteriormente, en 1773, Rozier también publicaría algunos trabajos de Black y otros más de Priestley (ver Mason 1991).

<sup>21</sup> Si bien Guyton de Morveau no tuvo la oportunidad de tomar las lecciones de Rouelle, se consideraba a sí mismo un discípulo de los libros de Macquer, estableciendo correspondencia con él a partir de 1769 (ver Kim 2003).

aumentaban la cantidad de flogisto en el aire, es decir, señalaba que se trataba de procesos flogísticos<sup>22</sup>.

A la vez que Lavoisier continuaba con sus experimentos, se iba documentando en torno a los adelantos de la neumática inglesa. Así, a inicios 1774 publicó sus *Opúsculos físicos y químicos*, situando sus propios resultados en términos de la tradición neumática inglesa. Aunque en esta obra Lavoisier no llegó a establecer la naturaleza del aire absorbido en la combustión, ni a atacar al flogisto, se empeñó en mostrar que el aumento de peso en los metales se debía a la absorción de aire, lo cual problematizaba las ideas de Guyton de Morveau. Tras recibir una copia de los *Opúsculos* enviada por el mismo Lavoisier, lejos de generar repudio, Guyton de Morveau confesó sentirse halagado por considerarlo un digno adversario<sup>23</sup>. En este mismo tenor, los revisores del texto, entre ellos Macquer, que habían verificado sin contratiempos los experimentos referidos, recibieron de manera favorable la publicación e hicieron comentarios positivos al respecto ante la *Académie* (ver Perrin 1984). Similarmente, los *Opúsculos* fueron bien recibidos ante la *Royal Society* de Londres.

A finales de 1775, Magellan envió a la *Académie* las primeras páginas de la más reciente publicación de Priestley, *Experimentos y observaciones sobre diferentes especies de aire*. En dicha publicación, Priestley iba más allá de las concepciones que Stahl, Rouelle o incluso Guyton de Morveau tenían del flogisto. En 1772 Priestley simplemente había afirmado que el aire se flogistizaba tras una combustión, pero ahora detallaba que las flogistizaciones eran procesos gradados que generaban distintos aires. Así, a partir de una misma base (el ácido nitroso), se podían obtener secuencialmente los siguientes gases: aire desflogistizado (oxígeno), aire común, aire flogistizado (nitrógeno) y aire nitroso (óxido nítrico) (ver Boantz 2013). Desde esta perspectiva, *el principio de combustibilidad ahora también suscitaba distintos tipos de aire*. Lo que Lavoisier desarrollaría más tarde (entre 1776 y 1777) sería otra manera de concebir estos gases.

---

<sup>22</sup> El trabajo que Priestley llevó a cabo entre 1771 y 1772, y presentó en la Royal Society en marzo de 1772, no se limitaba a la relación entre el aire común, el flogisto y la combustión, sino que también comprendía observaciones variadas en torno al aire fijo, el aire inflamable y el aire nitroso (ver Holmes 2002a). Este trabajo fue publicado en Francia en abril y mayo de 1773.

<sup>23</sup> Otros químicos a los que Lavoisier les envió copias de sus *Opúsculos* fueron Priestley, Black y los suecos Tobern Olof Bergman (1735-1784) y Carl Wilhelm Scheele (1742-1786).

Para mediados 1776 Lavoisier distinguía la composición del aire fijo (dióxido de carbono) y del “aire puro” (oxígeno). Habiendo confirmado que el aire puro también era un componente del ácido fosfórico, Lavoisier sugirió que “la parte más pura del aire [entraba] en la composición de todos los ácidos sin excepción” (Lavoisier 1862a: 130).

Al tener más claro el papel del aire puro, a inicios de 1777, Lavoisier ahondó en las cuestiones físicas y químicas de este gas trabajando en colaboración con dos científicos más jóvenes: Pierre Simon Laplace (1749-1827) y Jean Baptiste Michel Bucquet (1746-1780)<sup>24</sup>. Con Laplace, Lavoisier buscó sustentar empíricamente su idea de que la materia del fuego, o fluido ígneo, era la responsable de los cambios de estado; y con Bucquet, repitió experimentos tradicionales tomando en cuenta el papel que pudiera tener el aire atmosférico<sup>25</sup>.

Las colaboraciones con Laplace y Bucquet fueron determinantes para que Lavoisier presentara su primer ataque al flogisto a finales de 1777. Además, pueden verse como las primeras muestras de apoyo a su trabajo, aunque con ciertas reservas. Si bien Laplace y Lavoisier investigaron el fenómeno del calor de manera conjunta, su manera de concebirlo no era la misma pues, por entonces, Laplace entendía al calor como el movimiento de las partes constitutivas de la materia (ver Guerlac 1976). En el caso de Bucquet, aunque en 1778 éste comenzó a dudar de la existencia del flogisto y a enseñar en sus cursos la alternativa de Lavoisier, todavía compartía la idea de Macquer de que la luz cumpliría un rol similar al del flogisto si se llegara a mostrar que ésta podía combinarse con la materia (ver McDonald 1966)<sup>26</sup>. Lejos de ser excepciones, Laplace y Bucquet son ejemplos de cómo era “aceptado” el sistema antiflogista de Lavoisier, esto es, admitiendo algunos de sus elementos y cuestionando o rechazando otros.

---

<sup>24</sup> Cuando Lavoisier colaboró con Laplace éste aún no era reconocido como un famoso físico y matemático. Bucquet, en cambio, ya era un notable profesor de química en París, tal vez el mejor desde la muerte de Rouelle en 1770 (Holmes 2000a).

<sup>25</sup> Al parecer, Bucquet estuvo en el laboratorio de Lavoisier impartiendo un curso de química dirigido a la esposa de este último (ver Perrin 1989).

<sup>26</sup> Puede ser que si la vida de Bucquet hubiera sido más extensa sus reservas en torno a las ideas de Lavoisier se hubieran despejado; sin embargo, su muerte en 1780 le impidió saber de los últimos desarrollos de los británicos y de la síntesis del agua.

Aunque hacia 1780 Priestley continuaba como referente en los experimentos neumáticos, al no haber desarrollado una conceptualización respecto a la naturaleza del flogisto, otros químicos británicos fueron ocupándose de ello. A mediados de 1779 el irlandés Adair Crawford (1748-1795) publicó un trabajo donde estudiaba los procesos flogísticos y su relación con el calor. Recurriendo a experimentos, Crawford mostró que al aumentar la cantidad de flogisto en una sustancia, ésta liberaba su calor excedente, obteniéndose un efecto contrario mediante una disminución de flogisto (ver Boantza 2008). De este modo, Crawford concluyó que *el flogisto y el calor eran principios opuestos*, y que *el aire era la fuente de calor en los procesos flogísticos*. Dos años después en Francia, en 1781, cuando los últimos trabajos de Lavoisier en torno al calor apenas se publicaban, Magellan daba a conocer estos aportes de Crawford, anteponiendo así una alternativa más comprensiva y mejor sustentada de cómo entender el calor (ver Morris 1972)<sup>27</sup>. Mientras Lavoisier sólo había sugerido que la combinación con la materia del fuego ocasionaría cambios de fase, Crawford había estudiado la capacidad de varias sustancias para absorber calor, había cuantificado dicha capacidad y, lo más importante, había situado sus resultados en términos de las ideas flogistas. De esta manera, Crawford aventajaba a Lavoisier en el estudio del calor. Por esta razón, a finales de 1781, Lavoisier emprendió una nueva serie de experimentos relativos al calor, nuevamente en colaboración con Laplace<sup>28</sup>.

Otro británico que ahondó en la naturaleza del flogisto fue Richard Kirwan (1733-1812), quien a finales de 1780 sugirió que *el aire inflamable equivaldría al flogisto en su estado más puro*<sup>29</sup>. Hacia 1782, Kirwan ya había desarrollado dicha idea tomando en cuenta los aportes de Crawford, Priestley y Lavoisier y afirmaba que, en una combustión, el flogisto y

---

<sup>27</sup> Hasta que los últimos trabajos de Lavoisier, incluyendo su ataque al flogisto de 1777, terminaron de ser publicados, esto es, hacia 1781, Lavoisier comenzó a ser una figura central en la discusión química, sobre todo fuera de Francia (ver Holmes 2000b).

<sup>28</sup> Paralelamente a la comunicación del trabajo de Crawford, a Lavoisier se le comisionó reseñar la traducción del *Tratado químico del aire y del fuego de Scheele* publicado originalmente en 1777. En este texto también Scheele plasmaba la naturaleza del aire y del fuego desde un marco flogista.

<sup>29</sup> Aunque en 1766 Cavendish insinuó que el aire que acababa de aislar, el aire inflamable, podría no ser otra cosa que flogisto, su atisbo no cobró relevancia sino hasta ser retomado por Kirwan en 1780 (ver Mauskopf 2002). Curiosamente, la aseveración de Kirwan formaba parte de sus anotaciones, comisionadas por Priestley, a la traducción inglesa del tratado de Scheele, el mismo texto que se traduciría un año después en Francia y que Lavoisier reseñaría (ver Boantza 2008). Por otro lado, dos datos biográficos interesantes respecto a Kirwan son que también era abogado de formación, y que entre 1754 y 1755, asistió a los cursos de química de Rouelle, de esta manera, fue otro abogado que al final se dedicó a la química.



el aire desflogistizado se transformaban en aire fijo (dióxido de carbono) para combinarse con la sustancia combustionada (ver Mauskopf 2002). Así, conforme a los resultados de Lavoisier, el peso de los combustibles aumentaría y el aire desflogistizado disminuía; pero como Crawford sugería, la liberación de calor sería consecuencia de la flogistización del aire. El trabajo de Kirwan representaba una síntesis de los resultados de la neumática, la naturaleza de los gases y los procesos en torno a ellos, cuyo punto crucial era *la identificación del flogisto con una sustancia material, aislable y ponderable*: el aire inflamable. Estas ideas no tardaron en ganar adeptos en Europa continental pues, siendo políglota, Kirwan pudo comunicar sus ideas en francés y alemán sin problemas<sup>30</sup>.

Hacia 1783, prácticamente todos los químicos aceptaban los resultados de Lavoisier, a saber, que las sustancias ganaban peso tras la combustión y que este aumento de peso se debía a la absorción de aire desflogistizado. Desde 1778 Macquer mantenía una postura similar a la de Guyton de Morveau: Aunque relacionaba al flogisto con la luz, coincidía en que las sustancias absorbían aire y éste desplazaba al flogisto. Por su parte, en 1783, Priestley afirmaba que los experimentos de Lavoisier eran tan sugestivos que él mismo había estado inclinado en adoptar su sistema (Priestley 1783). No obstante, las ideas de Kirwan de que el flogisto era aire inflamable, y que la unión de aire desflogistizado y aire inflamable producía aire fijo, permitían otra manera de interpretar los mismos resultados. Por esta razón, Priestley optaba por la alternativa de Kirwan. No obstante, un experimento reciente en el que se sintetizaba agua a partir de aire desflogistizado y aire inflamable contradecía la manera en que Kirwan concebía al flogisto.

El primer ataque a las ideas flogistas de Kirwan no vino de parte de Lavoisier sino de un británico partidario de la noción de flogisto, Cavendish (ver Mauskopf 2002). Aunque años antes el mismo Cavendish había insinuado que el flogisto podría ser aire desflogistizado, para 1784 dudaba que eso fuera el caso y anteponiendo su experimento de la síntesis de agua, señalaba que la combinación de aire inflamable y aire desflogistizado no producía aire fijo. En respuesta a esta última objeción, en ese mismo año, Kirwan sugirió que dependiendo del estado físico-químico del aire desflogistizado y del aire inflamable al momento de combinarse, estos aires podrían dar distintos productos: en unos casos agua y

---

<sup>30</sup> Aunque estos trabajos de Kirwan no se publicarían en Francia hasta inicios de 1784, Kirwan mantuvo comunicación constante con Guyton de Morveau a lo largo de estos años.

en otros, aire fijo. Aunque la crítica de Crawford al sistema de Kirwan tuvo poca resonancia en el Reino Unido, en París tuvo mayor impacto.

Luego de haber presentado su trabajo a propósito del calor, Lavoisier y Laplace emprendieron la repetición del experimento de Cavendish combustionando aire inflamable y aire desflogistizado. Los resultados que obtuvieron corroboraron la formación de agua, e inmediatamente fueron presentados a la *Académie*<sup>31</sup>. Mientras la síntesis de agua cobraba relevancia académica, la sociedad parisina se interesaba en los distintos tipos de aire pues, en junio de 1783, los hermanos Etienne y Joseph Montgolfier habían elevado un globo de aire caliente; y en agosto del mismo año, Jacques Charles, un globo de aire inflamable (ver Kim 2006)<sup>32</sup>. Como consecuencia de la invención del globo aerostático, a finales de 1783 llegó a la *Académie* el designio real de que se avanzara en el desarrollo tecnológico de estas “maquinas aerostáticas”. Uno de los puntos señalados por la comisión encargada de este designio, de la cual Lavoisier formaba parte, fue optimizar la producción de aire inflamable.

Hacia abril de 1784, Lavoisier y el matemático e ingeniero militar Jean Baptiste Meusnier (1754-1794) introdujeron un nuevo procedimiento para descomponer agua y obtener así una gran cantidad de aire inflamable<sup>33</sup>. En el llamado “experimento del cañón de fusil”, un chorro de agua pasaba a través de un cañón de hierro calentado al rojo vivo procurando aire inflamable en abundancia. Ya que el hierro era una substancia con gran afinidad por el aire desflogistizado, el fusil absorbía el aire desflogistizado, descomponiendo el agua y liberando el aire inflamable. Al año siguiente, en febrero de 1785, Lavoisier perfeccionó este experimento de descomposición, realizándolo a mayor escala y de manera más controlada. Además, Lavoisier complementó este experimento con un procedimiento inverso, es decir, que reconstituyó el agua a partir de los aires

---

<sup>31</sup> Poco tiempo después también llegó a la *Académie* la noticia de que el matemático y físico Gaspard Monge (1746-1818) también había repetido el experimento de Cavendish obtenido el mismo resultado que Lavoisier y Laplace.

<sup>32</sup> Además de volverse un tema de conversación en los cafés, para septiembre de 1783 se comercializaban tantos pequeños globos de aire inflamable que la policía parisina tuvo que vetar su uso por temor a lesiones o incendios.

<sup>33</sup> La manera usual de producir aire inflamable era vertiendo limadura de hierro en ácido vitriólico, pero este procedimiento era poco rentable. Así, la descomposición del agua en aire desflogistizado y aire inflamable parecía un procedimiento más prometedor.

previamente aislados (ver Daumas y Duveen 1959). Este experimento de separación y reconstitución tuvo una duración de dos días y fue atestiguado por todos los químicos de la *Académie*.

Cuando Lavoisier y Meusnier realizaron sus experimentos de análisis y síntesis del agua, algunos químicos franceses ya mantenían posturas similares a la de Kirwan, este era el caso de Claude Louis Berthollet (1748-1822). Médico de formación, Berthollet había sido instruido en la química por los difuntos Rouelle, Maquer y Bucquet, por lo que estaba familiarizado con la noción de flogisto y con la química neumática<sup>34</sup>. Hacia 1782, Berthollet reconocía que Lavoisier había atacado de manera efectiva al flogisto y aceptaba el aspecto empírico de su sistema; no obstante, rechazaba su teoría de la acidez (ver Grand 1975). Sin embargo, los últimos experimentos de Lavoisier y Meusnier convencieron a Berthollet de que la noción de flogisto era innecesaria. Berthollet fue así el primer químico que siguió a Lavoisier y renunció a la noción de flogisto pues, si bien *mantenía reservas a propósito del fluido ígneo y el principio acidificante, abandonaba la idea de que entre ciertos ácidos mediaba una (des)flogistización*.

El apoyo a Lavoisier por parte de Berthollet fue secundado en 1786 por el médico y sucesor de Macquer en el *Jardin du Roi*, Antoine Francois de Fourcroy (1755-1809). Al haber sido uno de los discípulos más cercanos de Bucquet, Fourcroy había estado muy al tanto de la “doctrina neumática”, cómo él se refería al estudio de los gases. Ya desde la primera edición de su exitoso texto *Leçons élémentaires d'histoire naturelle et de chimie* (1782), Fourcroy contrastaba las ideas en torno al flogisto con las de Lavoisier. Aunque parecía preferir esta última alternativa, no fue hasta la segunda edición de su texto, en 1786, que Fourcroy manifestó abiertamente su apoyo a las ideas de Lavoisier (ver Siegfried 1988). El hecho de que el profesor más destacado de París respaldara a Lavoisier procuraba una amplia difusión de las ideas antiflogistas.

Guyton de Morveau había sido comisionado en 1780 para escribir un volumen concerniente a la química en la *Encyclopédie Méthodique*, un trabajo que se inspiraba en el de Diderot y d'Alembert pero buscaba mejorarlo organizando los artículos temáticamente. Esta tarea incitó el carácter reformista de Guyton de Morveau, quien, buscando mejorar la

---

<sup>34</sup> Macquer falleció en febrero de 1784.

nomenclatura química, sugirió denominar las sustancias conforme a su composición química (ver Smeaton 1957). Guyton de Morveau puso en práctica su nueva nomenclatura al caracterizar los ácidos en una primera entrega de la *Encyclopédie* publicada en 1786<sup>35</sup>. Y aunque para esta primera parte Guyton de Morveau pudo implementar una nomenclatura ajena a cualquier postura respecto al flogisto, la segunda parte comprendería los distintos tipos de aire. Por esta razón, era imperativo pronunciarse respecto a casos como el del aire desglofistizado u gas oxygène, como Lavoisier denominaba al oxígeno. Ante esta situación, en 1787, Guyton de Morveau viajó a París para consultar a Lavoisier y sus seguidores. Y luego de algunos meses de discusión y repetición de experimentos, Guyton de Morveau propuso, en conjunto con Lavoisier, Berthollet y Fourcroy, el perfeccionamiento de la nomenclatura química de acuerdo con las ideas antiflogistas del primero (ver Duveen y Klickstein 1956). El resultado de esta colaboración fue la publicación del *Méthode de nomenclature chimique* en septiembre de 1787. En el cual, el aire inflamable pasó a denominarse “hydrogène”; y el fluido ígneo, “calorique” o calórico. Con esta publicación, Guyton de Morveau, el químico más reconocido a nivel internacional se sumaba al bando “antiflogista”<sup>36</sup>.

En 1785 Kirwan se había propuesto refinar sus ideas flogistas y debatir las de los antiflogistas; un proyecto que se concretó hasta 1787 con su *An essay on flogiston and the constitution of acids*. Con este ensayo Kirwan buscaba debatir si el aire inflamable formaba parte de ciertas sustancias, pues de acuerdo con él *la controversia con los antiflogistas podía reducirse a si ciertas sustancias contendrían o no aire inflamable* (flogisto). Aunque Kirwan aceptaba muchos de los experimentos de los antiflogistas, los interpretaba de manera distinta. Y ya que Kirwan era considerado el flogista más influyente en Europa, debatir su ensayo abriría un canal para que los antiflogistas ratificaran y propagaran sus ideas (ver Kim 2003).

En consecuencia, el ensayo de Kirwan fue traducido al francés a fin de que los antiflogistas señalaran sus críticas. Así, al año siguiente, en 1788, este ensayo se publicó

---

<sup>35</sup> Tras retirarse de la labor parlamentaria en 1782, y luego de estar a cargo de la construcción de un globo de aire inflamable en Dijon en 1784, Guyton de Morveau finalmente pudo dedicarse a redactar la *Encyclopédie Méthodique* y a traducir algunos trabajos de Bergman y Scheele, fallecidos en 1784 y 1786 respectivamente.

<sup>36</sup> Desde 1785, en su correspondencia, Kirwan y Guyton de Morveau se venían refiriendo así al sistema de Lavoisier, como “antiflogista” (ver Mauskopf 2002).

“avec des notes de MM. Morveau, Lavoisier, de la Place, Monge, Berthollet, & de Fourcroy”<sup>37</sup>. Con esta publicación, los antiflogistas revelaban que entendían muy bien la postura de Kirwan y eran capaces de debatirla (ver Mauskopf 2002). Uno de los puntos discutidos era *si el aire inflamable y el aire desflogistizado formaban aire fijo*. Mientras los antiflogistas argumentaban en contra a partir de casos particulares de combustión y reducción, Kirwan apelaba a la gran cantidad de sustancias animales y vegetales cuya combustión producía aire fijo. De esta manera, entre flogistas y antiflogistas permeaba una pugna entre los valores epistémicos de simplicidad y generalidad (ver Boantza y Gal 2011)<sup>38</sup>.

Las notas y prefacio de los antiflogistas fueron traducidos al inglés, y Kirwan redactó una serie de réplicas a dichas notas. Así, en 1789, se publicó una segunda edición del ensayo de Kirwan, “*With Additional Remarks and replies By the Author*”. En esta edición, el traductor destacaba lo ventajoso que era “la reducción de esta controversia a un tomo tan pequeño” (Nicholson citado en Boantza 2008: 311), una aseveración que terminó siendo un augurio. A mediados de 1791, Kirwan reconocía que no había ningún experimento claro y decisivo que probara que el aire fijo estaba compuesto de aire inflamable y aire desflogistizado; por el contrario, señalaba que algunos experimentos le hacían dudar de dicho supuesto, de modo que le era imposible sostener que el aire inflamable (flogisto) formaba parte de los metales, el azufre, etc. (ver Mauskopf 2002). De esta manera, el flogista más destacado de Europa abandonaba “el sistema del flogisto de Stahl”, con lo que se puede dar por concluida la RC para fines de esta tesis.

---

<sup>37</sup> La señora Paulze Lavoisier (la esposa de Lavoisier) fue quien se encargó de la traducción del texto de Kirwan, escribiendo además el prefacio. En éste señalaba que Kirwan era “uno de los [filósofos] más capaces de producir incertidumbre en la mente de las personas” que aún no habían rechazado el flogisto, por lo que, refutando sus objeciones, pudiera ser que los antiflogistas estuvieran agotando cualquier objeción posible (Paulze Lavoisier citado en Kim 2003: 380).

<sup>38</sup> Esta afirmación, que entre flogistas y antiflogistas permeaban distintos valores epistémicos, la desarrollaré más en las conclusiones generales.

### 1.3.5 La delimitación del nuevo sistema.

El 8 de mayo de 1794 Lavoisier, su suegro y otros veintidós oficiales de la *Ferme générale* fueron ejecutados<sup>39</sup>. Tras la revolución de 1789, las inestabilidades políticas continuaron en Francia, y en enero de 1794 el Tribunal Revolucionario ordenó la aprensión de los oficiales de la *Ferme*. Luego de ser declarados culpables de conspirar en contra del pueblo de Francia, los oficiales de la *Ferme*, entre ellos Lavoisier, fueron decapitados<sup>40</sup>. Al momento de la muerte de Lavoisier y hasta 1830, los distintos elementos que componían su sistema aún eran evaluados. Con el paso de los años, estos elementos fueron gradualmente aceptados, modificados o rechazados (ver Donovan 1788). Así, para 1815 varios de estos elementos ya se habían señalado inadecuados.

Al poco tiempo de sumarse a la causa antiflogista, Berthollet notó que del ácido marino oxigenado no se ajustaba a las ideas de Lavoisier a propósito de los ácidos (ver Le Grand 1975). De acuerdo con el nuevo sistema, un mayor contenido de oxígeno implicaba una mayor acidez; no obstante, la supuesta oxigenación del ácido marino (ácido clorhídrico) daba como resultado una sustancia prácticamente desprovista de acidez. Así, hacia 1795, dados éste y otros resultados, Berthollet declaraba abiertamente su rechazo a la teoría de la acidez de Lavoisier.

A partir del segundo ataque al flogisto en 1785, en los trabajos de Lavoisier hubo un énfasis en el estado gaseoso, la liberación de luz y calor, y el calórico<sup>41</sup>. Tras su muerte, el desarrollo de esta línea de investigación físico-química fue continuado sobre todo por Laplace. Uno de los trabajos destacados de Laplace consistió en calcular una corrección a la velocidad del sonido tomando en consideración el papel del calórico (ver Finn 1964). Pero, luego de su trabajo en torno a la refracción de la luz como corpúsculo, sus ideas a este respecto empezaron a perder presencia (ver Fox 2013). En 1807, el trabajo de Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) en torno a la propagación del calor, y el de Étienne Louis

---

<sup>39</sup> La *Ferme générale* era el organismo encargado de recolectar y administrar ciertos impuestos a nombre de la corona, y de la gestión de estos recursos obtenían ciertas ganancias.

<sup>40</sup> Lavoisier no fue el único químico víctima de la violencia, Priestley tuvo que exiliarse en Estados Unidos luego de que su casa y su laboratorio fueran allanados por una turba reaccionaria en 1791, dado su apoyo a la Revolución Francesa.

<sup>41</sup> De hecho, esta cuestión es el hilo conductor de su *Traité élémentaire de chimie* (1789), considerado la piedra angular de su labor (ver Siegfried 1788).

Malus (1775-1812) en torno a la reflexión y la refracción de la luz, mostraban que dichos fenómenos podían ser abordados, analíticamente, sin apelar a la concepción corpuscular. De esta manera, hacia 1815 el término ‘calórico’ comenzó a ser remplazado por el término más neutral: ‘calor’.

Aunque prácticamente todos los científicos franceses aceptaron la noción de calórico, su aceptación resultaba un tanto peculiar. Fourcroy, por ejemplo, en 1786, señalaba en el texto con el que se sumaba al bando antiflogista que “la materia del fuego o del calor, la cual el Sr. Lavoisier admite en el aire puro... no puede ser otra cosa que el flogisto de Stahl...” (Fourcroy citado en Boantz y Gal 2011: 319). En este mismo tenor, hacia 1800 Fourcroy insistía que no se había demostrado la inexistencia de “tal principio del fuego fijo en los cuerpos materiales: su existencia es aceptada, mientras su nombre es distinto; y, en lugar de flogisto, ahora es llamado el principio calórico” (*ibidem*). Análogamente, justo antes de aceptar al calórico, Guyton de Morveau entendía al flogisto conforme a su teoría de la solución y la precipitación, esto es, como un fluido capaz de disolverlo todo. Así, su última versión del flogisto se acercaba al calórico de Lavoisier (ver Mocellin 2009)<sup>42</sup>. Al parecer, aceptar la noción de calórico no requirió un alejamiento de la noción de flogisto, al menos en Francia.

Por otra parte, desde finales del siglo XVIII, en el Reino Unido, una nueva generación de científicos instruidos en el nuevo sistema químico ya se mostraba insatisfecha con éste (ver Chang H. 2012b). Cuando en 1800, el astrónomo Sir William Herschel (1738-1822) anunciaba que, mediante un prisma, había separado los rayos de luz de los “rayos calóricos” (radiación infrarroja); el botánico y presidente de la *Royal Society*, Sir Joseph Banks (1743–1820) le escribía para felicitarlo y sugerirle que evitara el término ‘rayos calóricos’, sustituyéndolo por el de ‘calor radiante’. Después de todo, Banks y sus amigos consideraban que las bases del sistema químico francés “ya se estaban estremeciendo” (Banks citado en Chang H. 2012: 33).

Entre los amigos de Banks estaban el militar británico, Sir Benjamin Thompson conde de Rumford (1753-1814), y el joven químico Thomas Thompson (1773-1852). Desde

---

<sup>42</sup> Como señalé más arriba, incluso Macquer afirmó, en 1778, que el trabajo de Lavoisier sugería que la materia inflamable no formaba parte de las sustancias combustibles, sino del aire.

finales del siglo XVIII, Rumford venía realizando diversos experimentos en torno al calor concibiéndolo como un tipo de movimiento, y aunque su trabajo no tuvo repercusiones inmediatas, éste fue ampliamente reconocido con la emergencia de la termodinámica, hacia 1840 (ver Goldfard 1977). Thompson, por otro lado, había estado estudiando reacciones químicas que liberaban luz y calor sin la intervención del oxígeno, y otras, que comprendían un cambio de fase sin liberar ni luz ni calor (ver Chang H. 2012). Ya que Lavoisier había sugerido que el calor y la luz de la combustión eran las manifestaciones del calórico liberándose, este tipo de reacciones ponía en duda sus concepciones del calor y de la combustión<sup>43</sup>.

Otro joven químico que problematizó el sistema de Lavoisier fue Sir Humphry Davy (1778-1829). Tras el anuncio de la pila voltaica en 1800, él inició una serie de investigaciones en torno a la electrólisis del agua (ver Chang H. 2012). La elucidación de este fenómeno motivó ideas neo-flogistas por Europa. Una de éstas, sugería que en la electrólisis no ocurría una descomposición sino una síntesis; de modo que el agua, una sustancia simple, devendría hidrógeno al cargarse negativamente y oxígeno al cargarse positivamente. Después de que este asunto fuera concluido con la reafirmación de la descomposición del agua, Davy empleó esta nueva técnica de descomposición para obtener sodio y potasio como nuevas sustancias simples, y posteriormente, pasó al estudio del ácido marino oxigenado (cloro), buscando aislar su supuesto oxígeno (ver Siegfried 1959). Para 1810, Davy señalaba que, pese a que esta sustancia era tan capaz de mantener una combustión como el oxígeno, era imposible detectar oxígeno en ella. Consecuentemente, propuso considerar al *ácido marino oxigenado como una substancia simple perteneciente a la misma clase del oxígeno*, pues esto explicaría por qué, combinado con este ácido, el hidrógeno obtenía un fuerte comportamiento ácido. De esta manera, el oxígeno perdía su propiedad química distintiva. El cloro, como Davy denominó al ácido marino oxigenado, dado su color verde pálido (del griego *klórós*), era otra sustancia acidificante que posibilitaba la combustión.

---

<sup>43</sup> Aunado a estos trabajos, la posición de Berthollet respecto a los ácidos también pudo estar resonando en la afirmación de Banks pues el entonces secretario de la *Royal Society*, Sir Charles Brian Blagden (1748-1820), era un buen amigo tanto de Berthollet como de Banks (ver Crosland 2005). Otro trabajo destacado de 1800 fue el del joven médico Thomas Young (1773-1829), que sugería el carácter ondulatorio de la luz.



#### 1.4 El efecto de la nueva nomenclatura: la inversión del orden de composición.

En los veinte años posteriores al surgimiento del nuevo sistema químico, los contemporáneos de Lavoisier y una nueva generación fueron delimitando el alcance de dicho sistema. Se mostró que no todos los ácidos contenían oxígeno y que aquellos que sí lo contenían presentaban dicha acidez sólo en condiciones particulares (oxiácidos). En este sentido, se destacó que la combinación con oxígeno producía, más bien, sustancias básicas (óxidos metálicos). De manera similar, la combustión pasó a ser entendida de forma más amplia: Contrariamente a lo sugerido por Lavoisier, la liberación de luz y calor no era exclusiva del oxígeno pues había otras sustancias que también podían liberarlos. Por último, las distintas propuestas respecto a la luz y el calor, las cuales apoyaban ontologías alternativas o planteaban una neutralidad analítica, fueron ganando relevancia y restándole presencia al calórico. Ante este panorama surge la pregunta de cuál fue el legado de Lavoisier, y tal vez la respuesta más adecuada sea la más evidente: Lavoisier legó una nueva nomenclatura química.

Hacia el último cuarto del siglo XVIII, cuando Lavoisier entró a escena, en la química francesa se había instaurado una concepción teórica que se distanciaba de las especulaciones ontológicas de corpúsculos y principios últimos: el composicionismo. De esta manera, si bien los nombres de las sustancias apelaban a cualidades y a procesos de exaltación, estos no correspondían a las concepciones en torno a las sustancias materiales. Incluso químicos como Stahl, Rouelle y Macquer se iban distanciando de aquellas ideas en torno a transmutaciones y a principios inmateriales, subrayando en cambio que uno de los cometidos más importantes de la química era *determinar de qué estaban constituidas las sustancias* (ver Gough 1988). La manera de cumplir este objetivo sería *separar* las sustancias en sus compuestos para, acto seguido, *reconstituirlas* a partir de éstos; es decir, mediante una operación de análisis seguida de otra de síntesis.

Los frutos de este proyecto fueron las tablas de afinidad (ver Kim 2003). Las operaciones de descomposición y recomposición, principalmente de sales y aleaciones, habían afianzado la habilidad manipulativa de los químicos en torno a dichas “materias principales”, es decir, *sustancias estables con comportamientos químicos definidos*. Las tablas de afinidad resumían la predilección de combinación entre dichas sustancias

materiales. De esta manera, a propósito de las reacciones químicas, las nociones de desplazamiento y remplazo se anteponían a las viejas ideas de destrucción y transmutación. Sin embargo, las tablas de afinidad eran “exactas y precisas” hasta el mejor nivel de análisis disponible.

El énfasis del conocimiento químico en torno a las sustancias materiales era una tendencia de la química del siglo XVIII. Macquer, partidario de las tablas de afinidad, estipulaba la definición de las sustancias materiales en su *Dictionnaire* de 1766; Guyton de Morveau, teórico de las fuerzas de afinidad, la enseñaba en sus cursos de química desde 1776, reafirmando en su propuesta de reforma a la nomenclatura química en 1782. De esta manera, que Lavoisier propugnara la supresión de la noción de flogisto a partir de la estabilización y perfeccionamiento de ciertas operaciones, no debe ser descrito como un aporte inaudito, sobre todo frente a dos hechos destacados: Primero, que el sistema de Lavoisier incorporaba una sustancia no material, el calórico, y además, apelaba a la transferencia de cualidades con su noción de *principio* acidificante u oxígeno. Segundo, que el flogisto pasó de ser una entidad hipotética a estar delimitado químicamente por Stahl y a ser materializado por Kirwan. En medio de estos refinamientos conceptuales, la noción compositivista de sustancia material era el hilo conductor. Es decir, que *la nueva nomenclatura no introducía otra manera de concebir las sustancias en general, sino una nueva organización taxonómica*. En otras palabras, las sustancias seguían clasificándose en simples y compuestas, pero los contenidos de estos dos conjuntos cambiaron. Los metales, de estar clasificados como sustancias compuestas pasaron a la clase de sustancias simples; ocurriendo un reacomodo inverso para los ácidos fosfórico y vitriólico, *i.e.*, de simples a compuestas. Sencillamente, como Kirwan lo señaló en su ensayo de 1787, “Lavoisier invirtió la antigua hipótesis”<sup>44</sup>.

Esta inversión en el orden de composición fue enteramente obra de Lavoisier. Y aunque esto constituyera un evento destacado para la filosofía experimental, en sí, no conllevaba mayores efectos para la práctica química. Como se verá en el siguiente capítulo, esta inversión de orden puede ser representada como una reclasificación de ciertas sustancias materiales dentro de un mismo marco conceptual. No obstante, al estar asociado a un

---

<sup>44</sup> Siendo aún un flogista, Fourcroy destacó este mismo hecho en la primera edición de sus *Leçons élémentaires d'histoire naturelle et de chimie* (1782).

cambio de nomenclatura, el cambio de orden trajo otra clase repercusiones para las otras dos actividades epistémicas de la química. En la historia experimental, esta inversión robustecía la noción de sustancia simple, facilitando así otras maneras de presentar los saberes químicos. Hasta entonces, la tradición de libros de texto era manifiestamente cercana a la historia natural: Aunque los textos químicos podían dividirse en una parte teórica y una parte práctica, el grueso de su contenido se organizaba distinguiendo entre el reino mineral, el vegetal y el animal (ver Bensaude-Vincent 1990). Cada una de estas secciones detallaba sustancias y objetos conforme a su origen natural y sin importar si se trataba de sustancias preparadas. En el caso del reino vegetal, por ejemplo, las partes de plantas, como semillas y raíces, se enlistaban junto con los aceites y resinas extraídas de ellas. En armonía con esta organización, los nombres de las sustancias denotaban su procedencia, sus modos de preparación y sus usos. La nueva nomenclatura, en cambio, antepone su composición. Y si bien el análisis de los componentes de las sustancias vegetales y animales aún probaba ser difícil, este no era el caso para el reino mineral. Así, algunas sustancias minerales podían ser presentadas en los cursos y en los libros de texto partiendo de las sustancias simples y llegando a las sustancias compuestas, es decir, más en conformidad con la nueva nomenclatura (ver Siegfried 1988). En lo que respecta al mejoramiento tecnológico, la nueva nomenclatura tuvo mayores efectos. Buena parte de los nombres arcaicos, ahora en desuso, tenían su origen en el trabajo realizado en boticas, talleres y demás sitios extraacadémicos. El que toda la comunidad química los empleara afianzaba la validez de las prácticas y saberes ahí generados. Y aunque el estrecho intercambio entre químicos-artesanos y académicos se mantuvo, gracias a la nueva nomenclatura, los saberes provenientes de los sitios académicos se distinguían y mostraban superiores a los de los sitios extraacadémicos (ver Klein y Lefèvre 2007). Gracias a la nueva nomenclatura, la química podía ser presentada al público ilustrado como una disciplina a la par con la filosofía natural: con saberes más allá de las colecciones de la historia natural y con prácticas distintas a las de los talleres.

## 1.5 Conclusión.

Lavoisier fue un químico de su época. Aunque es cierto que llevó a cabo experimentos imponentes que le permitieron concluir que la noción de flogisto era innecesaria, propugnando su abandono, el sistema químico que proponía no se alejaba de las concepciones de su tiempo. Su noción de calórico era semejante a la de flogisto, y la de oxígeno (principio acidificante) recordaba la transferencia de cualidades. Más aún, estos conceptos formaban parte de un sistema más amplio que incluía una teoría de la combustión, de la acidez y del calor como sustancia, las cuales nunca fueron completamente aceptadas, y en cambio, fueron relegadas veinte años después de haber sido propuestas.

Lo que la prueba del tiempo dejó de su sistema fue una nueva nomenclatura química propuesta por Guyton de Morveau y desarrollada en conjunto con Berthollet, Fourcroy y el propio Lavoisier. Esta nomenclatura destacaba un reordenamiento de composición basado en su sistema químico. Revirtiendo la idea de sus predecesores, Lavoisier concibió a los metales y a los ácidos, por vez primera, como sustancias simples. Si bien este logro fue algo destacado, y a nosotros nos lo sigue pareciendo, no hay que olvidar que la química del siglo XVIII era una disciplina polifacética, con una distintiva circulación de personas, materiales e instrumentos entre sitios académicos y extraacadémicos. En este sentido, tal vez la repercusión más aguda de este aporte haya sido rumbo a la consolidación de la química como una disciplina académica. La nueva nomenclatura, un logro de los laboratorios académicos, introducía una distinción respecto a los sitios extraacadémicos.

## 2. Cambios taxonómicos en la Revolución Química

### 2.1 Introducción.

Desde que, en 1962, Thomas Samuel Kuhn (1922-1996) publicó *La estructura de las revoluciones científicas*, el problema del cambio científico ha sido uno de los más notables en la filosofía de la ciencia (véase Soler *et al.* eds. 2008). Mediante una combinación *sui generis* de historia y filosofía, en *La estructura* Kuhn buscó modelar el cambio asociado a las revoluciones científicas, empleando para ello la noción de inconmensurabilidad. En ese entonces, esta noción tenía un sentido amplio, refería a cómo paradigmas subsecuentes presentan diferencias en conceptos, problemas, métodos, valores epistémicos y supuestos ontológicos (ver Pérez Ransanz 1999). Sin embargo, a partir de diversas críticas, Kuhn fue restringiendo la noción de inconmensurabilidad a su dominio semántico (ver Sankey 1993). Así, en sus últimos trabajos, la inconmensurabilidad implica que los conceptos de clase establecen estructuras no homologables<sup>45</sup>. Las estructuras taxonómicas de dos sistemas teóricos agrupan los objetos de maneras divergentes (Pérez Ransanz 1999).

En el marco del 50 aniversario de *La estructura*, los estudios en torno al trabajo de Kuhn han cobrado un nuevo vigor desde enfoques novedosos (véase Kindi y Arabatzi eds. 2012; Devlin y Bokulich eds. 2015; Richards y Daston eds. 2016). Una de estas líneas de investigación explora la conexión entre inconmensurabilidad, cambio conceptual y ciencias cognitivas. Andersen, Baker y Chen (2006), por ejemplo, han recurrido a las últimas teorías de los conceptos para desarrollar las ideas de Kuhn a propósito del cambio conceptual y la inconmensurabilidad taxonómica. De este modo, han implementado la herramienta denominada “marcos dinámicos”, y con ella han analizado los cambios conceptuales de la Revolución Copernicana. Ya que la RQ fue otro de los episodios históricos favoritos de Kuhn y ésta también introdujo importantes cambios conceptuales vale la pena analizarla detenidamente. Por lo que presento un análisis de este episodio de la historia de la química mediante marcos dinámicos. Una pregunta interesante será si los cambios conceptuales de la RQ prueban ser un caso de inconmensurabilidad taxonómica.

---

<sup>45</sup> Gramaticalmente, los conceptos de clase corresponden a los “sustantivos que pueden tomar el artículo indefinido (un, una), y en el caso de los sustantivos de masa (*mass nouns*), como ‘oro’, lo toman cuando se unen a un sustantivo contable (*count noun*), como en ‘un anillo de oro’” (Pérez Ransanz 1999: 109).

## **2.2 Conceptos, estructuras conceptuales e inconmensurabilidad taxonómica.**

Los conceptos son las unidades de pensamiento que participan en procesos psicológicos como clasificar, inferir y resolver problemas, además, son los componentes de creencias y teorías. De acuerdo con la postura estándar en ciencias cognitivas, los conceptos son representaciones mentales que siguen una sintaxis similar a la del lenguaje natural y una semántica de tipo composicional, esto es, que el significado de las unidades complejas se deriva de las unidades más simples (ver Margolis y Stephen 2014). De este modo, los componentes básicos de los pensamientos son representaciones parecidas a las palabras, denominadas *conceptos léxicos*, y tienen propiedades extensivas e intensivas.

De acuerdo con la teoría clásica de los conceptos, éstos obedecen a un conjunto de condiciones necesarias y suficientes que delimitan su aplicación. Adicionalmente, los conceptos suelen ser entendidos como objetos abstractos: se trataría del *sentido* de los términos, a la manera en que Gottlob Frege (1848-1925) lo detalló. Sin embargo, la teoría clásica ha resultado poco tratable pues, fuera de algunos conceptos como ‘soltero’ o ‘triángulo’, no ha sido posible proveer un análisis completo de las condiciones necesarias y suficientes que delimitan a un concepto. Las investigaciones que los psicólogos emprendieron en los años 70’s dieron lugar a una teoría de los conceptos más afin a las ideas del segundo Ludwig Wittgenstein (1889-1951), esto es, una teoría que antepone las prácticas lingüísticas sobre la búsqueda de reglas que estipulen su definición y aplicabilidad. En concreto, esta teoría da cuenta de que los sujetos no obedecen a un conjunto de reglas a la hora de emplear conceptos, sino que recurren a consideraciones de qué tan buen o mal ejemplo da un concepto, partiendo de relaciones de semejanza y diferencia. Estos estudios también apoyan la idea de que los conceptos no serían objetos abstractos sino representaciones mentales con una organización particular.

### **2.2.1 La teoría de conceptos de Kuhn.**

Aunque Kuhn no desarrolló una teoría de conceptos de manera sistemática, su versión más afinada del cambio científico comprende una manera particular de entender la naturaleza de los conceptos. Esta idea general queda ilustrada en cómo un niño aprendería a

reconocer aves acuáticas (ver Andersen *et al.* 2006). En el ejemplo de Kuhn, diversas instancias de patos, cisnes y gansos son presentadas a un niño hasta que éste adquiere los conceptos pertinentes y puede emplearlos por sí mismo. Inicialmente, un adulto le señala ciertas instancias de estos conceptos, y luego lo incita a hacerlo por su cuenta, corrigiéndole o felicitándolo dependiendo de si señala o no una instancia adecuada. Mediante este proceso el niño aprende a reconocer las semejanzas entre objetos de una misma clase (patos, por ejemplo), pero también aprende a identificar las diferencias entre objetos de clases distintas (patos  $\neq$  cisnes), adquiriendo así los conceptos en juego. Al final, el niño es capaz de señalar cualquier instancia e identificarla correctamente.

A partir del ejemplo anterior, la teoría de conceptos de Kuhn establece que “la estructura conceptual básica de la ciencia es un sistema de clasificación que agrupa los objetos de acuerdo con relaciones de semejanza y diferencia” (Andersen *et al.* 2006: 20). De este modo, la teoría de Kuhn comprende dos aspectos a propósito de las estructuras conceptuales: las características de su organización, es decir, *su topología*, y cómo se modifican dichas estructuras, es decir, *su dinámica cognitiva*. Según Kuhn, estos cambios traen como consecuencia problemas de comunicación entre quienes propugnan una y otra estructura conceptual. Así, hacia el final de este trabajo consideraré si las diferencias en las estructuras conceptuales que estuvieron en juego durante la RQ tuvieron los efectos que Kuhn señala.

### 2.2.1.1 Jerarquías de tipos

Aunque Kuhn sólo haya bosquejado una teoría de conceptos de manera general, sus ideas delimitan ciertas características distintivas. Andersen *et al.* (2006) han desarrollado estas características, las cuales presento aquí. La primera particularidad de la teoría de Kuhn es el dominio que comprende, a saber, *conceptos de clase*. Estos conceptos corresponden a aquellos sustantivos que toman el artículo indefinido, y son los que introducen particiones en los referentes. De esta manera, establecen los *tipos de objetos* descritos por las leyes y teorías científicas. Retomando el ejemplo de Kuhn, los conceptos de clase ‘pato’, ‘cisne’ y ‘ganso’ estarían determinando tres tipos de aves acuáticas. Otra particularidad en la teoría de Kuhn es que los conceptos se organizan formando *conjuntos*

*de contraste*, lo cual quiere decir que los conceptos que se subordinan a un mismo concepto *no se traslapan*. Siguiendo con el ejemplo de Kuhn, ‘pato’, ‘cisne’ y ‘ganso’ se subordinan al concepto ‘aves acuáticas’. Esta relación de subordinación revela las relaciones de semejanza que hay entre tales conceptos (todos son tipos de ave acuática) así como las relaciones de diferencia que permiten distinguirlos inequívocamente (ningún pato ha de ser también un cisne). A su vez, lo que permite identificar a las *instancias* de los conceptos de clase es un conjunto particular de relaciones de semejanza y diferencia. Por otro lado, cuando esta diferenciación es extendida a los conceptos subordinados (tipos de patos) y a los superordinados (aves de tipo acuático vs aves de tipo terrestre) surge una estructura conceptual denominada *jerarquía de tipos*. Estas estructuras contrastan varios grupos de conceptos super- y subordinados, por lo que comprenden relaciones de semejanza y diferencia a distintos niveles. Por último, de acuerdo con la teoría de conceptos de Kuhn, los miembros de una misma clase no son todos iguales, sino que poseen simplemente un “aire de familia” (*family resemblance*), idea que Kuhn retoma del segundo Wittgenstein. Esto quiere decir que no todos los miembros de una clase han de compartir una característica común, sino que, al contrario, pudieran compartir características con los miembros de clases contrastantes. Con esto se asume que los conceptos de clase no están dados por condiciones necesarias y suficientes, y que no hay distinción categórica entre características definitorias y contingentes. En otras palabras, *las semejanzas entre instancias de una misma clase no dependen de un conjunto fijo de características*. Esta particularidad trae como consecuencia que, por un lado, distintos agentes pueden emplear características diferentes para identificar las mismas instancias de una clase y, por otro lado, las instancias que poseen más características de su clase y menos características de clases contrastantes, puedan ser consideradas mejores o peores representantes de su clase. Como la noción de aire de familia sugiere, las semejanzas y diferencias entre conceptos y sus instancias despliegan *estructuras en gradación*.

### **2.2.2 Inconmensurabilidad taxonómica.**

En sus últimos trabajos Kuhn asoció la inconmensurabilidad a una diferencia estructural entre las jerarquías de tipos: Si la disposición de instancias viola el principio de no traslape



(ver Kuhn 1983, 1991). En el desarrollo de las ciencias las estructuras conceptuales suelen modificarse, algunas clases e instancias suelen recategorizarse saltando de una clase a otra. Si las clases de origen y de destino estuvieran al mismo nivel jerárquico, es decir, constituyendo conjuntos de contraste, entonces este salto daría lugar a estructuras conceptuales con clases contrastantes que comparten instancias, lo que significa trasgredir el principio de no traslape. Puesto que las estructuras conceptuales así formadas siempre resultan no homologables, se estaría frente a un caso de inconmensurabilidad taxonómica.

Aunque Kuhn solamente enfatizó el principio de no traslape a propósito de la organización de las jerarquías de tipos, estas estructuras conceptuales siguen otros dos principios organizacionales estrechamente relacionados con aquél, a saber, el principio exhaustivo y el de inclusión (ver Andersen *et al.* 2006). El principio exhaustivo estipula que si un concepto se divide en conceptos subordinados, entonces éstos no pueden dejar ninguna instancia residual, es decir, que la extensión de las clases subordinadas, en conjunto, abarca toda la extensión de la clase superordinada (en el ejemplo de Kuhn cualquier ave acuática debe ser o un pato, o un ganso, o un cisne). Por otro lado, el principio de inclusión precisa que cualquier instancia de un concepto subordinado también ha de ser instancia del concepto superordinado, dicho de otro modo, los atributos de una clase han de estar presentes en las instancias de los conceptos subordinados (si un atributo de las aves es ser ovíparas, entonces las aves acuáticas y los patos también lo son).

Los tres principios señalados, de no traslape, exhaustivo y de inclusión, dirigen la topología de las jerarquías de tipos, y de esta manera, fijan las condiciones por las que se generan estructuras no homologables e inconmensurables. Otra manera de que emerjan estructuras conceptuales no homologables consiste en la simple añadidura de un nuevo concepto de clase, por ejemplo, si se sumara ‘pato-cisne’ como un nuevo tipo de ave acuática en virtud del hallazgo de una nueva especie. Sin embargo, esta añadidura supondría una estructura inconmensurable únicamente si su adición violara el principio de no traslape, es decir, si viejas instancias o clases pasaran al concepto recién añadido (Andersen *et al.* 2006). Desarrollando el ejemplo de ‘pato-cisne’, si las instancias de este concepto no se limitaran a una nueva especie e incluyeran algún tipo de ‘pato’, de ‘cisne’ o de alguna otra ave, entonces se tendría un caso de inconmensurabilidad. Esta importante

particularidad del cambio conceptual fue la que Kuhn asoció con las revoluciones científicas en sus últimos trabajos. Para él, las estructuras conceptuales separadas por una revolución científica clasifican *los mismos objetos* en clases mutuamente excluyentes, no sólo objetos nuevos (ver Wray 2011).

### **2.3 Conceptos e inconmensurabilidad desde la representación de marcos dinámicos.**

En los años 70's la psicóloga estadounidense Eleanor Rosch estudió la manera en que individuos de diferentes culturas, y en diversas situaciones, clasificaban objetos. Este trabajo evidenció que las categorizaciones seguían una estructura en gradación, es decir, que los humanos no sólo clasificamos los objetos como miembros de una cierta clase, sino que también los clasificamos conforme a qué tan bien o mal ejemplifican dicha clase, acción conocida como *tipicidad*. Investigaciones como las de Rosch contribuyeron a un alejamiento de la noción clásica de los conceptos y al desarrollo de alternativas para estudiar la organización de nuestras estructuras conceptuales.

También durante los años 70's los marcos (estructuras simbólicas formadas por nodos) fueron aplicados para diversos propósitos en inteligencia artificial. Y en los 80's el psicólogo cognitivo Lawrence Barsalou los empleó a fin de representar estructuras conceptuales organizadas conforme a los estudios de Rosch. En años recientes, los “marcos dinámicos” desarrollados por Barsalou han sido implementados por Andersen *et al.* (2006) para capturar la gradación y el detalle del cambio conceptual en ciencias.

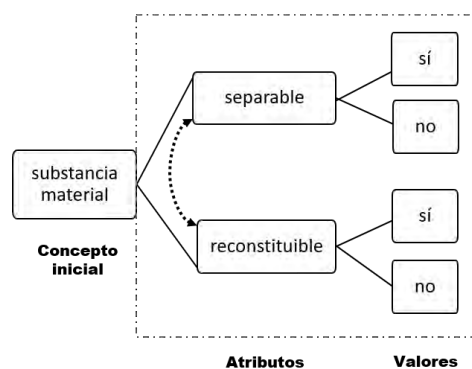
#### **2.3.1 Marcos dinámicos y conceptos.**

Los marcos son estructuras simbólicas que fijan diversos nodos (*slots*) y diversos valores definidos para cada uno de estos nodos (ver Thagard 1992). Así, un concepto puede ser representado mediante dos capas de nodos en las que cada nodo constituye un concepto subsidiario que permite caracterizar al concepto inicial (ver Andersen *et al.* 2006). Por ejemplo, en la figura 2, se representa el concepto inicial SUBSTANCIA MATERIAL<sup>46</sup> de acuerdo

---

<sup>46</sup> En adelante distinguiré los conceptos que aparecen en los marcos mediante el uso de mayúsculas.

con la química francesa de 1718<sup>47</sup>. La primera capa de nodos representa algunos de los *atributos* de este concepto inicial, como son, ser RECONSTITUIBLE; y la segunda capa de nodos representa los *valores posibles* para tales atributos, en este caso si una cierta substancia sí o NO había sido reconstituida a partir de sus componentes.



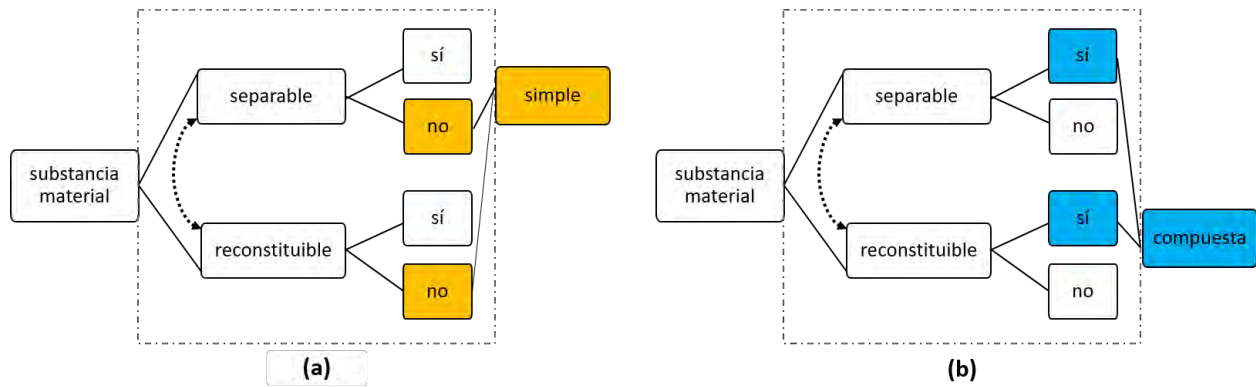
**Figura 2.** Marco para el concepto SUBSTANCIA MATERIAL hacia 1718. Representación basada en la de Andersen *et al.* (2006).

El orden en que se disponen los nodos de atributos y valores en un marco no es un reflejo de su relevancia. Sin embargo, el acomodo en capas introduce una relación de dependencia. Los nodos en la segunda capa siguen a los de la primera en el sentido de que se trata de *valores para un cierto atributo*, en otras palabras, son los valores posibles que le corresponden a un atributo particular. Otras relaciones entre nodos son las *constricciones*, representadas mediante flechas punteadas. En la figura 2, por ejemplo, una de estas flechas une SEPARABLE con RECONSTITUIBLE. Esta restricción indica que si SEPARABLE toma el valor NO, entonces RECONSTITUIBLE sólo puede de tomar el valor NO, mas si SEPARABLE toma el valor SÍ, entonces RECONSTITUIBLE también ha de tomar el valor SÍ<sup>48</sup>. Es importante señalar que en los marcos los atributos sólo pueden tener un valor “activo” a la vez, por lo que las distintas combinaciones de valores activos configuran “racimos” (*clusters*) mutuamente excluyentes. De esta manera, los distintos patrones de activación son identificados con conceptos que se subordinan al concepto inicial. Por ejemplo, los patrones de activación

<sup>47</sup> Los marcos que presento a lo largo de esta sección están basados, principalmente, en las tablas de afinidad del siglo XVIII. Estas tablas representan uno de los sistemas de clasificación de la época del que destacaré únicamente a las substancias relevantes al tema del flogisto.

<sup>48</sup> En la química del siglo XVIII, esta restricción fijaba las operaciones de análisis y síntesis químicos.

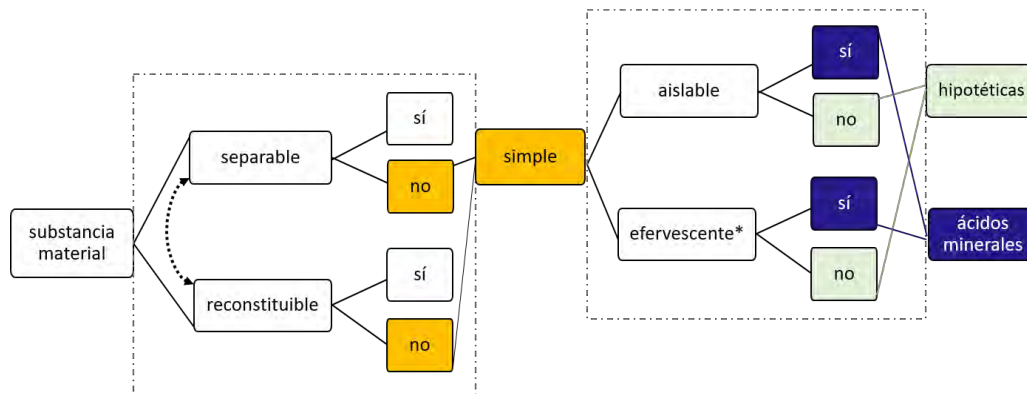
para SUBSTANCIA MATERIAL generaran los conceptos subordinados SIMPLE y COMPUESTA, los cuales representan tipos de sustancias materiales (ver figura 3). Dada esta particularidad, a saber, que los atributos representados en los marcos puedan tomar valores distintos, la versión de Barsalou de los marcos se conoce como marcos *dinámicos*.



**Figura 3.** Distintos patrones de activación para SUBSTANCIA MATERIAL hacia 1718. El patrón en (a) corresponde al concepto SIMPLE; y el patrón en (b), al concepto COMPUESTA.

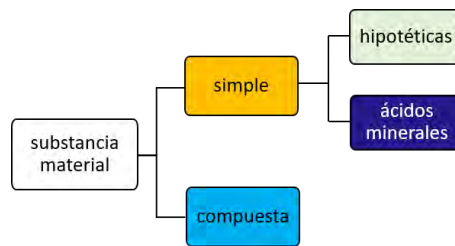
### 2.3.2 Marcos dinámicos y jerarquías de tipos.

Si a un marco dinámico se le añaden más capas de atributos y valores, entonces éste puede capturar los conceptos y relaciones de una jerarquía de tipos. Mientras que éstas últimas sólo comprenden tipos de entidades y relaciones de instanciación, los marcos dinámicos representan visualmente las relaciones de semejanza y diferencia entre nodos de entidades. En el ejemplo de la figura 4 se ha añadido otra capa de nodos al concepto de substancia SIMPLE.



**Figura 4.** Extensión del nodo SIMPLE en un nuevo marco. \*El atributo EFERVESCENTE se refiere a la efervescencia con tiza (carbonato de calcio).

La capa de nodos recién añadida permite más patrones de activación, los cuales dan pie a nuevos conceptos subordinados: HIPOTÉTICAS y ÁCIDOS MINERALES. Estos nuevos conceptos constituyen *tipos* de substancia SIMPLE, y a su vez, *tipos* de SUBSTANCIA MATERIAL, ver figura 5. Los marcos como el de la figura 4 ilustran las relaciones de semejanza y diferencia que las jerarquías de tipos no capturan.



**Figura 5.** Jerarquía de tipos para substancia material simple.

### 2.3.3 La inconmensurabilidad taxonómica en los marcos dinámicos.

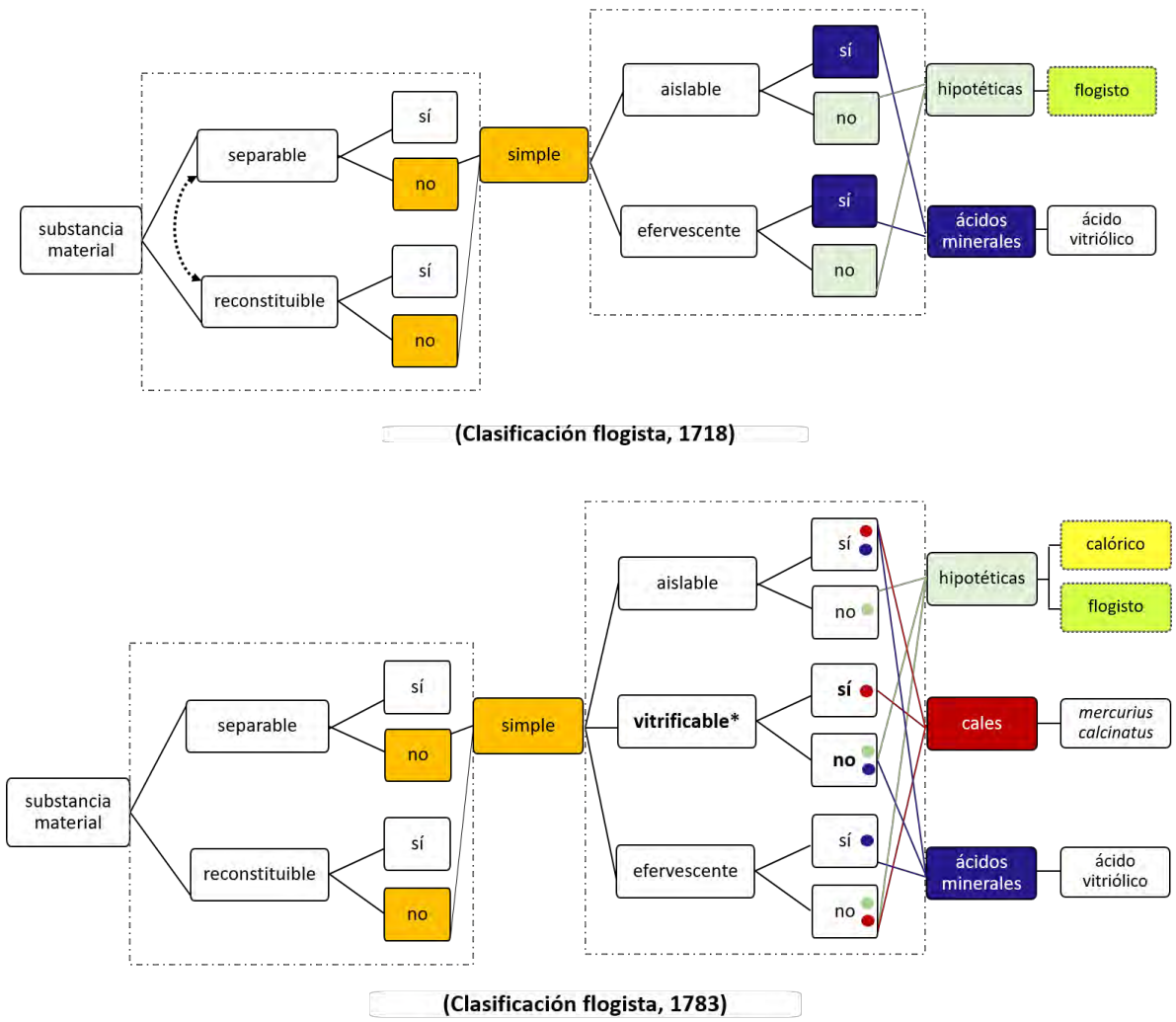
De manera general, los marcos dinámicos permiten identificar la inconmensurabilidad con *diferencias gráficas* entre estructuras conceptuales (ver Andersen *et al.* 2006). Cuando surge una nueva estructura conceptual que, en comparación con su antecesora, presenta discrepancias en los nodos, decimos que las estructuras no son homologables. En adición, si estas discrepancias comprenden una redistribución de nodos que viola el principio de no traslape, entonces se tiene un caso de inconmensurabilidad taxonómica. Es importante

destacar que *la mera añadidura o supresión de nodos no necesariamente provoca inconmensurabilidad, sino sólo cuando va acompañada de una recategorización de viejas clases de entidades*<sup>49</sup>.

Partiendo de la figura 4 se puede ejemplificar un caso de cambio conceptual que conlleva el surgimiento de una estructura no homologable pero no constituye un caso de inconmensurabilidad. El marco de la figura 4 representa algunas de las clases de sustancias incluidas en la tabla de afinidades de Geoffroy: las sustancias hipotéticas y los ácidos minerales. Durante buena parte del siglo XVIII éstas fueron las únicas sustancias simples que, a propósito del flogisto, eran incluidas en las tablas de afinidades. Sin embargo, hacia 1780, dados los trabajos de Lavoisier respecto a la combustión y la materia del calor, algunos químicos flogistas incorporaron más sustancias simples en sus tablas de afinidades. Así, para su tabla de 1783, Bergman tomó en cuenta una sustancia hipotética más, el calórico, además de una clase adicional de sustancias simples, las cales (ver figura 6).

---

<sup>49</sup> En adelante me referiré a los conceptos que denotan clases de entidades simplemente como entidades.



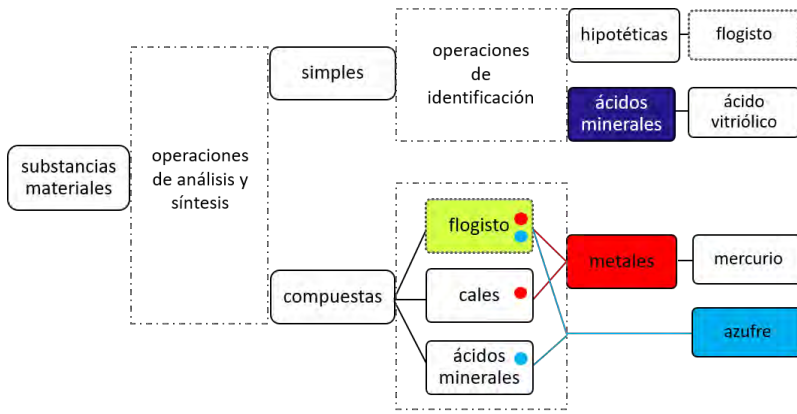
**Figura 6.** Marcos flogistas de 1718 y 1783 a propósito de las sustancias simples. \*El atributo VITRIFICABLE se refiere a la posibilidad de formar una sal cristalina al ser combinada con un ácido.

Como se puede notar en la figura 6, el marco flogista de 1718 no es homologable con el de 1783 ya que este último comprende nuevos nodos de entidades y de atributos y valores. Sin embargo, estos marcos no constituyen un caso de inconmensurabilidad taxonómica. Nótese que si bien la incorporación de las CALES supone añadir más nodos de atributos y valores, esto no altera las viejas configuraciones entre nodos. El que las viejas combinaciones de nodos simplemente vayan acompañadas de nodos adicionales, significa que *los nuevos atributos son compatibles con los atributos previos* (ver Andersen *et al.* 2006). Por lo que se puede concluir que *el marco flogista de 1783 no precluye las*

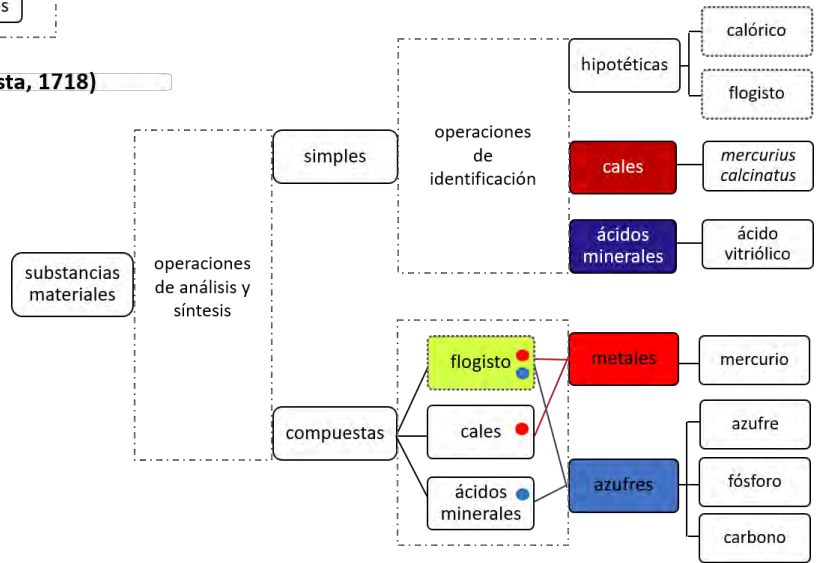
*relaciones de semejanza y diferencia del marco de 1718*. Este caso ejemplifica cómo la incorporación de nuevas clases no siempre ocasiona inconmensurabilidad.

Cambios taxonómicos más significativos ocurrieron hasta 1787 con la tabla antiflogista que Lavoisier y sus seguidores presentaron en el *Méthode de nomenclature chimique*. De acuerdo con esta tabla, las cales y los ácidos no eran sustancias simples sino sustancias compuestas. Y sus contrapartes, los metales y los azufres, no eran sustancias compuestas, sino simples. Como se puede ver en la figura 7, estos cambios representan una serie de “saltos” entre clases: las CALES y los ÁCIDOS MINERALES pasan de la clase de las sustancias SIMPLES a la clase de las sustancias COMPUESTAS, mientras que los METALES y los AZUFRES pasan de la clase de sustancias COMPUESTAS a la de SIMPLES. En realidad, en el marco antiflogista de la figura 7 ocurre algo más que esta serie de saltos. Dada la nueva nomenclatura, las CALES y los AZUFRES son renombrados ÓXIDOS y BASES ACIDIFICABLES, respectivamente. A primera vista pudiera parecer que esta inversión del orden de composición se debe a la mera supresión del flogisto, siendo remplazado por el “oxigene”. Sin embargo, como argumentaré hacia el final de este trabajo, la anexión de los gases a los sistemas de clasificación tradicionales fue en sí lo que motivó estos cambios. De cualquier manera, estos saltos suponen una redistribución que viola el principio de no traslape. Por lo que la clasificación antiflogista constituye un ejemplo de inconmensurabilidad taxonómica respecto a las clasificaciones flogistas.

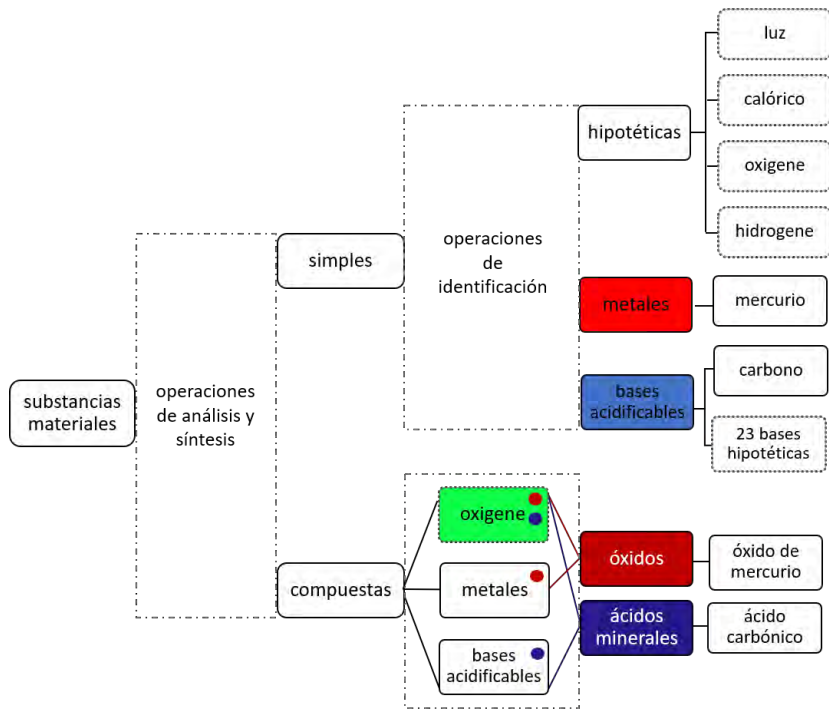




(Clasificación flogista, 1718)



(Clasificación flogista, 1783)



(Clasificación antiflogista, 1787)

**Figura 7.** Marco flogista de 1718, flogista de 1783 y antiflogista de 1787. A fin de presentar la información relevante de manera más clara sólo se muestran los nodos de atributos de las sustancias COMPUESTAS, éstos representan los componentes de dichas sustancias. Las “operaciones de análisis y síntesis” representan los atributos que permitían distinguir entre sustancias SIMPLES y COMPUESTAS; y las “operaciones de identificación”, los atributos que permitían distinguir entre tipos de sustancias SIMPLES.

### 2.3.4 Grados en el cambio conceptual.

Los cambios discutidos en la sección anterior muestran que no todas las modificaciones en las estructuras conceptuales constituyen casos de inconmensurabilidad taxonómica. Aunque la adición de clases e instancias en las clasificaciones flogistas determinan marcos no homologables, sólo con el sistema antiflogista ocurre una redistribución de clases y, por ende, inconmensurabilidad. Esto sugiere que el cambio conceptual, en general, es una cuestión de grado y que la inconmensurabilidad es solamente *uno* de los casos posibles de cambio conceptual (Andersen *et al.* 2006). Siguiendo a Thagard (1992), el cambio conceptual se puede sistematizar conforme a la siguiente tabla.

<i>Grado</i>	<i>Tipo</i>
1	<b>Adición/supresión de instancias.</b> Por ejemplo, la adición del CALORICO como un tipo de sustancia HIPOTÉTICA en el marco flogista de 1783.
2	<b>Adición/supresión de constricciones.</b> Este cambio ocurre en el marco de 1783 con la supresión de la constricción entre los atributos SEPARABLE y RECONSTINTUIBLE, ver figura 6. Esto permitió incluir ciertas sustancias separables que no eran reconstituibles, a saber, algunos ácidos vegetales y animales.
3	<b>Adición/supresión de atributos.</b> En el marco de 1783 el atributo VITRIFICABLE es incorporado.
4	<b>Adición de clases.</b> Por ejemplo, la adición de las CALES en el marco flogista de 1783.
5	<b>Coalescencia y colapso de clases.</b> La coalescencia supone agrupar clases bajo una nueva superclase, por ejemplo, si hipotéticamente, ÁCIDOS y METALES fueran agrupados en la superclase “ACITALES”. Siguiendo con este ejemplo hipotético, si ÁCIDOS y METALES dejaran de diferenciarse, y todas sus instancias fueran agrupadas en ACITALES, entonces se tendría un caso de colapso de categorías.
6	<b>“Salto de instancias” o redistribución de entidades.</b> Este cambio ocurre cuando los conceptos de clase <i>al nivel jerárquico más bajo</i> cambian de clase. Un ejemplo hipotético sería si el <i>MERCURIUS CALCINATUS</i> , una instancia de CALES, pasara a ser una instancia de AZUFRES.

<b>7</b>	<b>“Salto de ramas” o redistribución de clases.</b> Este cambio es análogo al salto de instancias pero comprende conceptos a niveles superordinados. Esto es justamente lo que ocurre entre los marcos flogistas y antiflogista pues los METALES y todas sus instancias, por tomar un ejemplo, pasan de la clase de substancias COMPUESTAS a la de substancias SIMPLES.
<b>8</b>	<b>“Remplazo de árbol” o cambio de principio organizativo.</b> Como su nombre lo indica, este cambio supone la substitución del criterio que dirige una clasificación particular. Hacia el final de este trabajo argumentaré que esto es justamente lo que ocurre a propósito de los gases.

**Tabla 1.** Tipos y grados de cambio en las estructuras conceptuales. Modificado de Thagard (1992).

Tomando en cuenta esta tabla, los cambios en los marcos revisados anteriormente pueden ser resumidos de manera más concisa. Entre los marcos flogistas de 1718 y 1783 se da:

- La adición de una instancia (CALÓRICO);
- La supresión de una constricción (aquélla entre SEPARABLE y RECONSTITUIBLE);
- La adición de un atributo (VITRIFICABLE);
- La adición de una clase (CALES).

Ya que la adición de esta clase representa el cambio de mayor grado, el marco flogista de 1783 constituye un cambio conceptual de grado 4 respecto al marco flogista de 1718.

En lo que respecta al marco flogista de 1783 y al antiflogista de 1787, los cambios entre ellos son menos cuantiosos. Sólo ocurre:

- La adición y supresión de instancias (el FLOGISTO es suprimido y el OXIGENE es añadido);
- Algunos saltos de ramas (entre CALES y ÁCIDOS, y entre METALES y AZUFRES).

Aunque en este caso haya menos cambios, los saltos de ramas constituyen cambios de grado 7, es decir, que se está ante una redistribución de clases, por lo que estos marcos resultan inconmensurables.

Un punto que vale la pena subrayar a propósito de la tabla 1 es que ésta simplemente proporciona una escala para sopesar grados de cambio conceptual, y no grados de inconmensurabilidad. Mientras que algunos cambios no conducen a marcos no homologables (los de grado 2 y 3), otros sí lo hacen (los de grado 1, 4 y 5), pero sólo los cambios de grado 6 y 7 comprenden casos de inconmensurabilidad.

## **2.4 Los cambios de la Revolución Química a partir de los marcos dinámicos.**

Como hemos visto, el sistema químico de Lavoisier introdujo cambios en la manera de concebir varias sustancias. Una de las primeras consecuencias de la RQ fue brindar una concepción de la combustión que prescindía del flogisto, lo cual alteró cómo eran entendidas las cales, el azufre, el fósforo y el carbono. No obstante, la adición del oxígeno como sustancia simple también trajo una nueva manera de entender los ácidos, y similarmente, la adición del calórico motivó otra concepción de los gases. De esta manera, la RQ prueba ser un caso en el que ocurren diversos cambios taxonómicos. Por lo que los marcos dinámicos aquí presentados permitirán analizar las recategorizaciones implicadas y sopesar su trascendencia.

### **2.4.1 La operatividad de las sustancias simples y compuestas.**

Si bien uno de los cambios conceptuales más importantes en la RQ consistió en una serie de saltos de ramas, es importante notar que las clases de origen y destino se mantuvieron sin cambios. Esto refleja que entre los sistemas flogistas y antiflogista subyacían las mismas nociones respecto a las sustancias (ver Siegfried 1982). Volviendo a los marcos de la figura 7, las “operaciones de análisis y síntesis” se refieren a las *reacciones de remplazo* que permitían reconstituir a las sustancias COMPUESTAS a partir de las SIMPLES<sup>50</sup>. Estas nociones anteponían la manera operacional de entender las sustancias y de representarlas en las tablas de afinidades.

---

<sup>50</sup> Una reacción de remplazo en la sustancia AB permitía substituir B con otra sustancia C, dando como resultado AC y B. Luego, mediante una operación análoga en AC, se podía obtener A y DC para volver a formar AB a partir de A y de B.

Dada la complejidad y variedad de sustancias estudiadas en el siglo XVIII, las operaciones de análisis y síntesis sólo eran realizables en un grupo reducido de sustancias. De entre las sustancias del reino animal, vegetal y mineral, sólo algunas de este último reino cumplían con tal operatividad, a saber, aquéllas en torno a la producción de sales y aleaciones. El primer compendio de este conocimiento operativo lo constituye la Tabla de Afinidades de Geoffroy (1718), la cual destacaba el orden de remplazo entre 22 sustancias simples y esbozaba tácitamente sus combinaciones. Con el paso de los años más sustancias pudieron analizarse y sintetizarse, lo cual permitió añadir nuevas sustancias a las tablas de afinidades. De este modo, para 1775 la tabla de Tobern Bergman incluía 50 sustancias simples; y en su versión revisada de 1783, incluía un total de 59 sustancias simples.

La tabla que los antiflogistas presentaron en 1787 pertenece a la misma tradición de tablas de afinidad por dos razones: ahonda en el mismo dominio de sustancias y mantiene las mismas concepciones de sustancias simples y compuestas. No obstante, esta tabla se distingue por ser la primera en organizar las sustancias a partir de su composición, y en incorporar un nuevo grupo de sustancias: los gases.

#### **2.4.2 Flogisto, calórico y oxígeno: sustancias hipotéticas.**

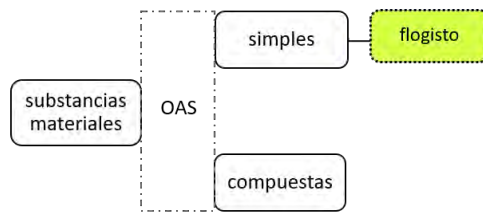
Partiendo de la tabla de Geoffroy de 1718 y hasta la tabla de Bergman de 1783, todas las tablas de afinidades incluyeron al flogisto como una sustancia simple *hipotética*. Esto significa que, si bien el flogisto no había sido aislado, su existencia se fundaba en que *daba cuenta de ciertas operaciones de análisis y síntesis*. Como señalé en el primer capítulo, Geoffroy y Stahl domesticaron al flogisto en lo que respecta a la calcinación y reducción de metales, así como a la descomposición y recomposición del azufre. Para los químicos de esta época la presencia o ausencia del flogisto explicaba los cambios en dichas sustancias frente a tales operaciones. Por esta razón, el flogisto mereció un lugar en cualquier tabla de afinidades. Dadas las operaciones de las que daba cuenta, el flogisto quedó representado en la tabla de Geoffroy como la sustancia que tenía mayor afinidad con el ácido vitriólico, ver figura 8.



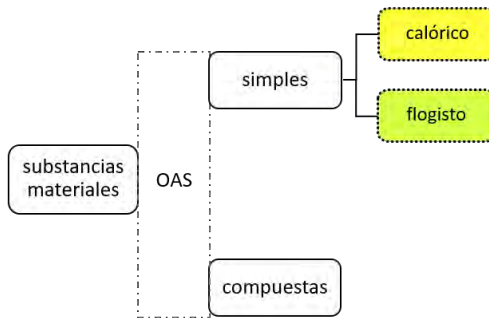
I.		II.	
SUBSTANCES NON DÉCOMPOSÉES.		MISES A L'ÉTAT DE GAZ PAR LE CALORIQUE.	
NOMS NOUVEAUX, OU ADOPTÉS.	NOMS ANCIENS.	NOMS NOUVEAUX, OU ADOPTÉS.	NOMS ANCIENS.
1 Lumière.			
2 Calorique.	<i>Chaleur latente, ou matière de la chaleur.</i>		
3 Oxigène.	<i>Base de l'air vital.</i>	Gaz oxigène. <i>Nota. Il paroît que la lumière concourt à le mettre en état de gaz.</i>	<i>Air déphlogistiqué, ou air vital.</i>
4 Hydrogène.	<i>Base du gaz inflammable.</i>	Gaz hydrogène.	<i>Gaz inflammable.</i>

Figura 9. Detalle de la Tabla de nomenclatura química del *Méthode* (1787). En la columna I aparecen las sustancias más simples, de las cuales el oxígeno y el hidrógeno podían ser gasificadas mediante el calorífico, conforme a la columna II.

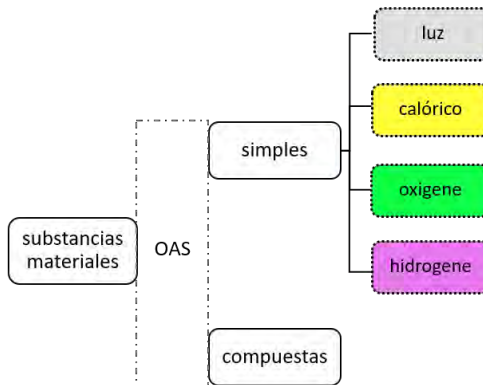
Aunque ninguna de estas cuatro sustancias hipotéticas figuró en la tabla de Geoffroy, las últimas tablas de Bergman incluyeron al calorífico. De esta manera, a propósito de las sustancias hipotéticas se pueden reconstruir los marcos dinámicos de la figura 10.



(Clasificación flogista, 1718)



(Clasificación flogista, 1783)



(Clasificación antiflogista, 1787)

**Figura 10.** Marcos flogistas parciales de 1718 y 1783, y marco antiflogista de 1787. El acrónimo OAS significa operaciones de análisis y síntesis.

La diferencia entre el marco flogista de 1718 y el de 1783 está en la añadidura de una instancia, el CALÓRICO. Un cambio similar ocurre respecto al marco antiflogista. En este último la LUZ, el OXIGENE y el HIDROGENE son añadidos, mientras que el FLOGISTO es



suprimido. De esta manera, los cambios entre estos marcos constituyen modificaciones de primer grado, es decir, adición y supresión de instancias.

### **2.4.3 Cales y metales, ácidos minerales y azufres.**

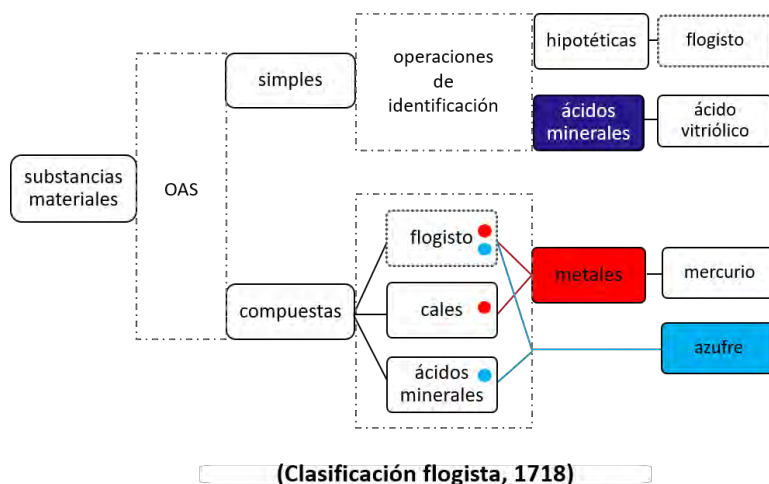
La postulación del calórico y el oxígeno conllevó otra manera de concebir las cales y los ácidos minerales. Si bien las cales no figuraron en las primeras tablas de afinidades, éstas sustancias eran conocidas desde la antigüedad. Así, uno de los logros más destacados de Stahl fue concebir la calcinación y la combustión como procesos análogos. De acuerdo con él, ambos procesos entrañaban la liberación de flogisto y podían ser revertidos. Así, conforme a las concepciones flogistas, calentar un metal a altas temperaturas implicaba liberar su flogisto, dejando una cal metálica como residuo, una sustancia simple; y para recuperar el metal a partir de esta cal, bastaba con mezclarla con una sustancia rica en flogisto, por ejemplo carbón, y calentarla.

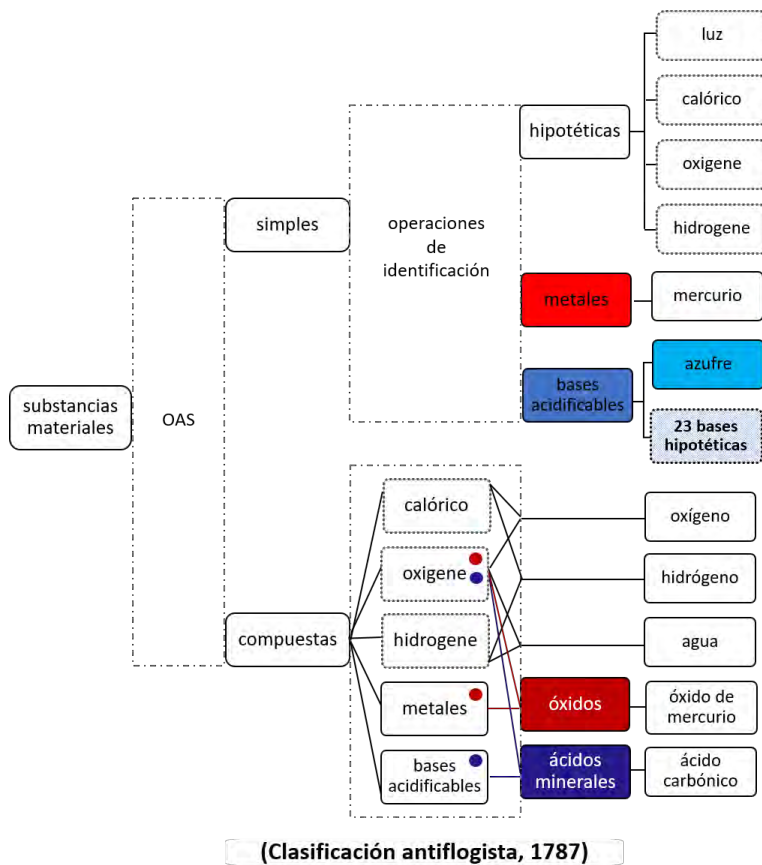
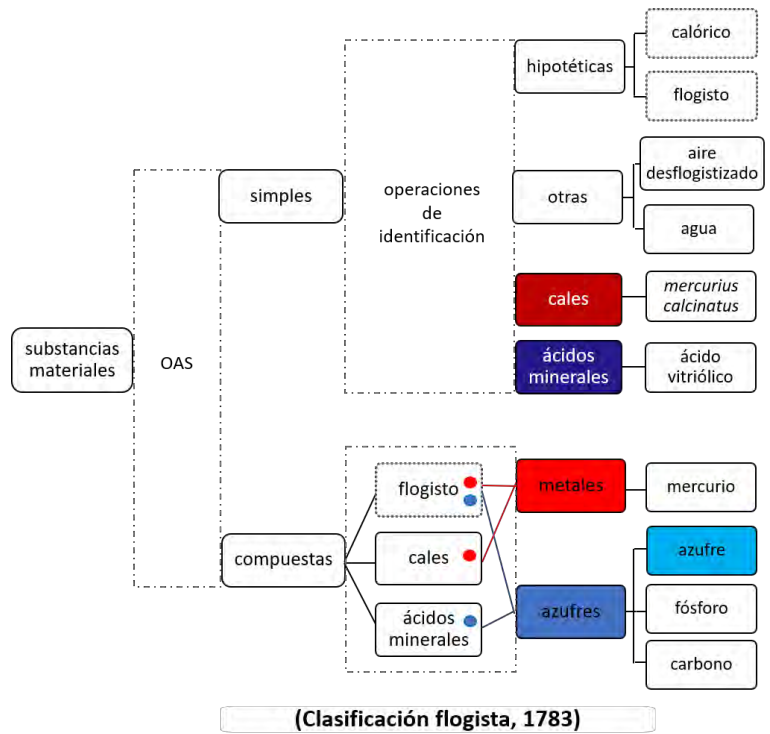
Los ácidos minerales, por otro lado, eran concebidos por los flogistas como las contrapartes de las sustancias denominadas “azufres”. Otro de los logros de Stahl y Geoffroy había sido reconstituir azufre a partir del ácido vitriólico y flogisto, una operación conocida como “saturación”. De esta manera, para los flogistas el combustionar una sustancia no-metálica implicaba la liberación de flogisto y la obtención de un ácido que podía ser saturado de flogisto, reconstituyendo así la sustancia original. Aunque por varios años el ácido vitriólico fue el único ácido saturable, en 1740 se consideró que el ácido fosfórico también había sido saturado, y hacia 1780 los resultados de Lavoisier fueron interpretados como un éxito en la saturación del aire fijo. Ya que para 1783 estos tres ácidos eran los únicos saturables, sólo el azufre, el fósforo y el carbono (sus supuestas contrapartes) conformaban la clase de los “azufres” en las tablas de afinidades. La manera de denominar a este grupo de sustancias hacía notar que la saturación del azufre con flogisto era el arquetipo de la clase.

Ya que el flogisto mediaba entre las cales y los metales, y entre los ácidos y los azufres, su supresión cambió la manera de concebir todas estas sustancias. De acuerdo con los antiflogistas, los metales no contenían flogisto y no podían descomponerse más, por lo que

eran sustancias simples. A la inversa, las cales podían obtenerse combinando cada metal con oxígeno, por lo que estas eran sustancias compuestas. Así, la nomenclatura antiflogista no hacía más que subrayar esta nueva concepción. Por ejemplo, renombrar al *mercurius calcinatus* como “óxido de mercurio” permitía presentarlo como una sustancia *compuesta* de mercurio y oxígeno. Por otro lado, ya que el sistema antiflogista no alteraba la analogía de Stahl entre calcinación y combustión, los azufres pasaron a tipificar sustancias simples, y los ácidos minerales pasaron a tipificar sustancias compuestas. El ácido vitriólico, por ejemplo, fue renombrado “ácido sulfúrico”, pues era concebido como una sustancia compuesta de azufre y oxígeno.

Como se puede ver en la figura 11, estos cambios conceptuales constituyen varios saltos de ramas entre el marco flogista de 1783 y el antiflogista de 1787. En otras palabras, constituyen cambios de séptimo grado y ejemplos de inconmensurabilidad taxonómica. Las CALES y los ÁCIDOS MINERALES pasan a la clase de las sustancias COMPUESTAS, mientras que los METALES y los AZUFRES pasan a la de las sustancias SIMPLES. La nueva manera de denominar a las cales y a los azufres, esto es, ÓXIDOS y BASES ACIDIFICABLES, respectivamente, destacaba que los primeros estaban compuestos de oxígeno y que los últimos formaban ácidos al combinarse con él.





**Figura 11.** Marcos parciales flogista de 1718 (pp.62), flogista de 1783 y antiflogista de 1787.

#### 2.4.3.1 Otras sustancias hipotéticas.

Si bien los cambios conceptuales de mayor grado ocurren entre el marco flogista de 1783 y el antiflogista de 1787, entre los marcos flogistas también ocurrieron cambios importantes. Uno de los cambios que vale la pena destacar es la creación de la clase de los azufres. Ya que para 1783 se consideraba que, además del ácido vitriólico, el ácido fosfórico y el aire fijo habían sido saturados, en consecuencia las contrapartes de estos dos ácidos, a saber, el fósforo y el carbono, fueron agrupados con el azufre dando lugar así a la clase de los azufres.

La adición de esta clase es relevante por el tipo de expectativas que había en torno a ella. Por un lado, los flogistas esperaban que más ácidos pudieran ser saturados; sin embargo, tenían bien claro que no siempre era posible combinar cualquier par de sustancias. Así, ante la posibilidad de que no todos los ácidos pudieran ser saturados de flogisto, los químicos flogistas no se aventuraron a asumir la existencia de más azufres. Por esta razón, aunque mantuvieran la expectativa de saturar más ácidos para obtener más azufres, en el marco flogista de 1783 sólo el AZUFRE, el FÓSFORO y el CARBONO forman la clase de los AZUFRES. Los antiflogistas, por otro lado, mantuvieron una expectativa análoga. Para ellos el ácido sulfúrico era el arquetipo que ejemplificaba cómo los ácidos estaban compuestos de oxígeno y una sustancia mineral simple como el azufre. Ya que las bases de los ácidos fosfórico y carbónico habían sido aisladas exitosamente, los antiflogistas mantenían la expectativa de descomponer cualquier ácido conocido en oxígeno y alguna otra sustancia simple<sup>52</sup>. Esta expectativa quedó plasmada en la manera en que los antiflogistas renombraron a los azufres, esto es, “bases acidificables”. Este nombre reflejaba la creencia de que había toda una clase de sustancias simples que, combinadas con el oxígeno, daría lugar a todos los ácidos conocidos.

Si bien flogistas y antiflogistas mantuvieron una expectativa similar a propósito de los azufres o bases acidificables, los flogistas moderaron su expectativa pues no incluyeron ningún azufre hipotético en sus tablas. Los antiflogistas, en cambio, no tuvieron reparo en introducir veintitrés bases acidificables hipotéticas, una por cada ácido conocido. De esta

---

<sup>52</sup> Técnicamente no se obtenía oxígeno sino oxígeno pues a la hora de separar el oxígeno, éste se combinaba con suficiente calórico como para formar oxígeno.

manera, como se puede notar en la figura 11, *la clasificación antiflogista comprende más substancias hipotéticas que las clasificaciones flogistas previas.*

#### **2.4.4 El marco de Kirwan.**

Como señalé en el primer capítulo, el mismo año en que los antiflogistas dieron a conocer la tabla del *Méthode*, Kirwan publicó un ensayo desarrollando un sistema químico contrario al antiflogista. Las innovaciones de Kirwan consistían en identificar al flogisto con el hidrógeno y en considerar al ácido carbónico (dióxido de carbono) como compuesto de hidrógeno y oxígeno<sup>53</sup>. Estos dos supuestos le permitieron a Kirwan proponer una alternativa flogista para aquellos resultados que no habían sido incluidos cabalmente en las tablas de afinidades. Estos resultados eran el análisis y síntesis del agua, y el papel químico de los distintos tipos de aire.

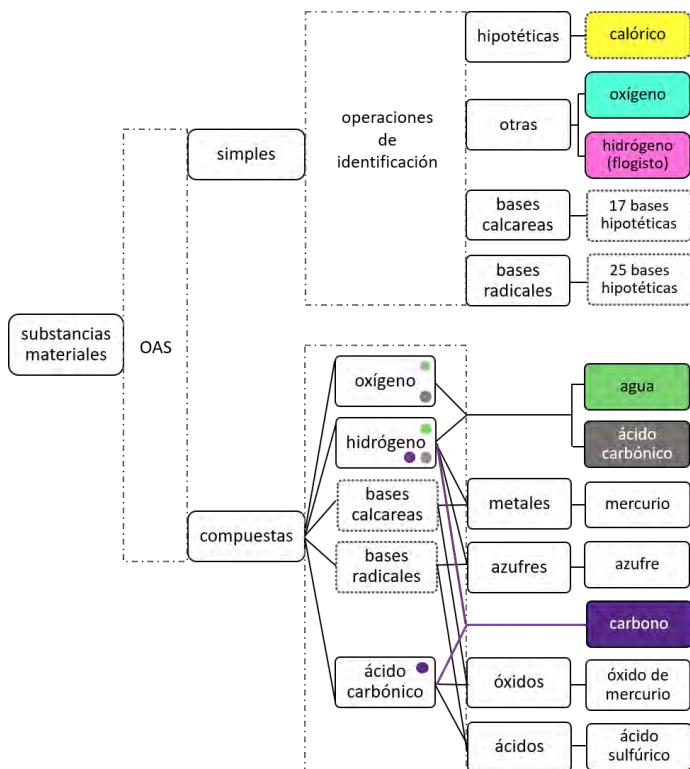
##### *2.4.4.1 El agua y el ácido carbónico.*

Aunque Kirwan admitía que el agua era producto de unir hidrógeno y oxígeno, él consideraba que los experimentos de síntesis del agua realizados hasta entonces no estaban completos. Su argumento enfatizaba que la unión entre hidrógeno y oxígeno sólo se había llevado a cabo “al rojo vivo”, es decir, a altas temperaturas. Y Kirwan sugería que a temperaturas más bajas la unión de hidrógeno y oxígeno produciría ácido carbónico (dióxido de carbono). Por otro lado, Kirwan afirmaba que los experimentos de descomposición del agua no eran concluyentes. Si bien Kirwan no detalla las razones que tenía para afirmar esto, su tendencia a conservar y estudiar hasta el último residuo de las reacciones químicas, así como a no idealizar las descomposiciones de las substancias, me inclina a pensar que tal vez esperaba hallar algún otro componente en el agua<sup>54</sup>. De ser así, este componente adicional distinguiría al agua del ácido carbónico. Estas ideas de Kirwan respecto a la composición del agua y del ácido carbónico quedan representadas en el marco de la figura 12.

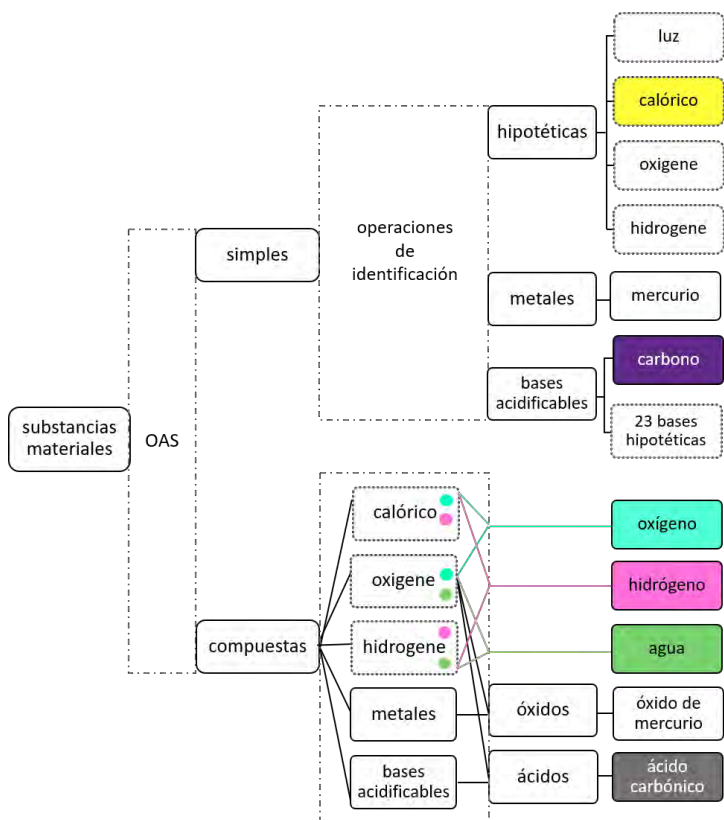
---

<sup>53</sup> Aunque Kirwan mantuvo la nomenclatura flogista, *i.e.*, aire inflamable (hidrógeno), aire desflogistizado (oxígeno), aire fijo (dióxido de carbono); yo emplearé la nomenclatura antiflogista a fin de facilitar el análisis.

<sup>54</sup> Hacia el final de este trabajo diré un poco más de los valores epistémicos de Kirwan y Lavoisier.



(Clasificación flogista de Kirwan, 1787)



(Clasificación antiflogista, 1787)

Figura 12. Marcos parciales flogista y antiflogista de 1787.

La particularidad del marco flogista de Kirwan es que presenta una coalescencia entre CARBONO, ÁCIDO CARBÓNICO y AGUA, es decir, que estas clases quedan unidas como un mismo tipo de sustancia. Aunque Kirwan y los antiflogistas coincidían en que el agua y el ácido carbónico eran sustancias compuestas, para Kirwan estas dos sustancias estaban compuestas de oxígeno e hidrógeno pese a tener propiedades químicas distintas. Como su nombre lo indica, el ácido carbónico era una sustancia ácida, mientras que el agua carecía de acides y era buen disolvente. De este modo, en el marco flogista de Kirwan, el AGUA y el ÁCIDO CARBÓNICO representan *el mismo tipo de sustancia compuesta, pero distintos tipos de sustancias químicas*. Para los antiflogistas, en cambio, el ácido carbónico era una sustancia completamente distinta al agua. Dada esta relación con el carbono, la coalescencia entre el AGUA y el ÁCIDO CARBÓNICO en el marco flogista también afecta al CARBONO. Para Kirwan el CARBONO era producto de saturar de hidrógeno (flogisto) al ácido carbónico. Por ello en su marco AGUA, ÁCIDO CARBÓNICO y CARBONO, todos estaban compuestos, en última instancia, de HIDRÓGENO y OXÍGENO.

#### 2.4.4.2 Los distintos tipos de aire.

En lo que respecta a los gases, Kirwan y los antiflogistas también mantenían ideas contrapuestas. Para Kirwan había dos gases simples (oxígeno e hidrógeno), y al combinarlos se obtenía los distintos tipos de aire. En cambio, de acuerdo con Lavoisier, cualquier gas era una sustancia compuesta de calórico, ingrediente responsable de la rarificación. De esta manera, para los flogistas, incluso el oxígeno y el hidrógeno eran sustancias compuestas. Sus componentes eran el calórico y una base hipotética, el oxigene y el hidrogene, respectivamente. Si bien Kirwan reconocía que el calórico habría de cumplir un rol en los cambios de estado y de temperatura, no consideraba que esta sustancia se combinase químicamente (ver figura 12).

Más allá de si el OXÍGENO y el HIDRÓGENO eran sustancias SIMPLES o COMPUESTAS la diferencia más significativa entre el sistema de Kirwan y el de Lavoisier está en el papel químico que estos dos gases cumplían en cada sistema. De acuerdo con el sistema antiflogista, el oxígeno era la forma gaseosa del oxigene, y desempeñaba un papel primordial en la combustión y en la formación de los ácidos. El hidrógeno, por su parte, era

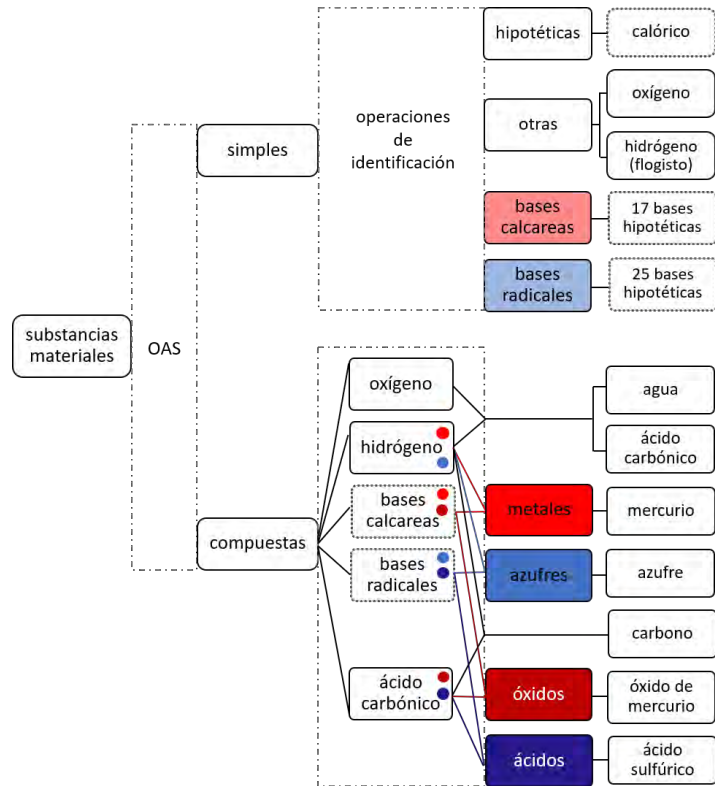
la forma gaseosa del hidrogene, la substancia generadora del agua. En contraposición, de acuerdo con Kirwan el hidrógeno correspondía con el mismo flogisto, por lo que éste dejaba de ser una entidad inasible y podía mantener sus viejas atribuciones, como eran la combustibilidad y el brillo metálico. Respecto al oxígeno, aunque Kirwan aceptaba que este gas era absorbido en la combustión y tenía un rol fundamental en la conformación de los ácidos, para él éste no era el principio acidificante. De acuerdo con Kirwan el oxígeno debía combinarse con hidrógeno (flogisto) para formar así ácido carbónico, el auténtico principio acidificante.

Ahora bien, si se retoman las ideas de Kirwan y Lavoisier respecto a la composición de los gases, se pueden reconstruir sus concepciones generales del estado gaseoso. Por un lado, ya que Kirwan consideraba que todos los gases eran combinaciones de los gases simples, se tiene que, para él, cualquier gas estaba compuesto de hidrógeno (flogisto) y oxígeno. Lavoisier, en cambio, tomaba al calórico como el único componente común a los gases, por lo que cualquier substancia podría ser gasificada al ser combinada con la cantidad adecuada de calórico. Así, mientras que Lavoisier consideraba al calórico algo así como un principio de rarificación, para Kirwan el hidrógeno (flogisto) y el oxígeno eran como las unidades fundamentales del resto de los gases.

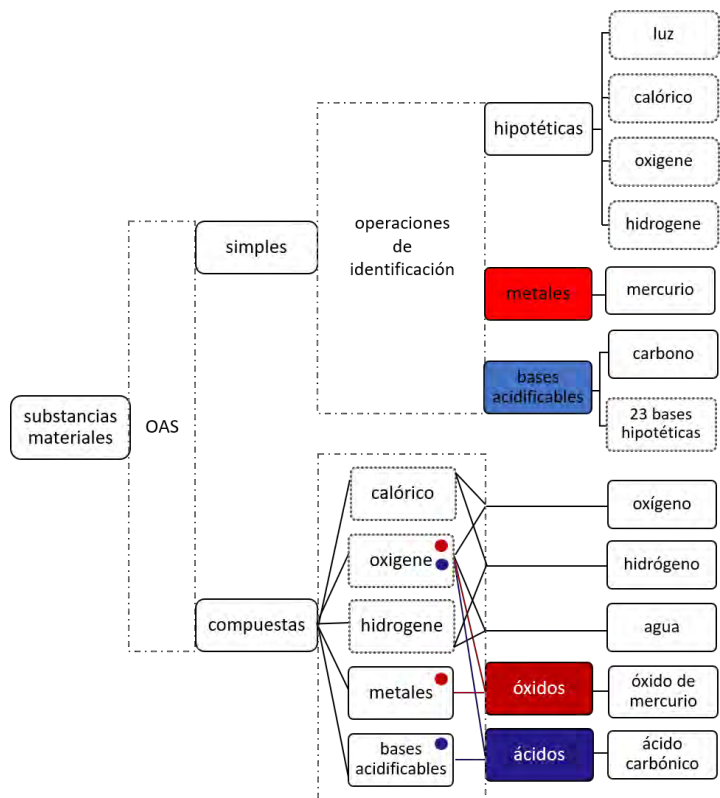
#### *2.4.4.3 Bases calcáreas y bases radicales.*

Ya que Kirwan no tomaba al oxígeno como el causante de la acidez, sino al ácido carbónico, su manera de entender la combustión y la calcinación era distinta a la del resto de los químicos. De acuerdo con Kirwan, en estos procesos el hidrógeno contenido en los azufres y los metales no se liberaba, sino que se combinaba con el oxígeno para formar ácido carbónico. Una vez formado el ácido carbónico, éste se unía inmediatamente a la “base radical” de los azufres para formar ácidos, o a la “base calcárea” de los metales para formar cales. Estas ideas de Kirwan quedan representadas en el marco dinámico de la figura 13.





(Clasificación flogista de Kirwan, 1787)



(Clasificación antiflogista, 1787)

Figura 13. Marcos parciales flogista y antiflogista de 1787.

Como se puede notar, la diferencia más significativa entre los marcos de la figura 13 es que, una vez más, ciertas clases saltan de ramas, lo cual constituye un caso de inconmensurabilidad. Ahora bien, a diferencia de lo que ocurre en los otros marcos flogistas, en los que algunas clases pasan de simples a compuestas y viceversa, en este caso *todas las clases en cuestión, i.e., METALES, ÓXIDOS, AZUFRES y ÁCIDOS, pasan a ser sustancias COMPUESTAS*. Este particular reacomodo de clases obedece al papel que el hidrógeno, el oxígeno y el ácido carbónico cumplían en el sistema de Kirwan. Coincidiendo con Lavoisier, Kirwan reconocía que el oxígeno era absorbido en una combustión, de modo que las sales y los ácidos debían ser sustancias compuestas. Sin embargo, conforme a las viejas ideas flogistas, Kirwan mantenía que las sustancias combustibles contenían flogisto, por lo que también eran sustancias compuestas. Al proponer que el flogisto (hidrógeno) no era liberado, sino que se unía al oxígeno para formar así ácido carbónico, Kirwan concilió las ideas flogistas con las antiflogistas. De esta manera, en el marco de Kirwan se añaden dos nuevas clases de sustancias simples: BASES CALCAREAS y BASES RADICALES; las cuales, combinadas con hidrógeno formarían METALES y AZUFRES, respectivamente, pero combinadas con ácido carbónico formarían ÓXIDOS y ÁCIDOS.

#### **2.4.5 Inconmensurabilidad entre marcos flogistas.**

Si bien el marco de Kirwan es inconmensurable con el marco antiflogista, esto no significa que sea compatible con los marcos flogistas predecesores. En este sentido, vale la pena destacar los cambios conceptuales que hay entre el marco flogista de Kirwan y el marco flogista de 1783.

Entre estos marcos flogistas los cambios de menor grado consisten en la adición de nuevas clases e instancias. En el marco de 1787 se añaden las BASES CALCAREAS y las BASES RADICALES, un cambio de cuarto grado. El siguiente cambio representa uno de quinto grado, y consiste en la coalescencia entre AGUA y ÁCIDO CARBÓNICO. Ya que Kirwan consideraba que estas dos sustancias tenían la misma composición, la distinción que habían tenido en el marco de 1783 es suprimida. Aumentando el grado de cambio conceptual, se tienen algunos casos de redistribución de entidades y de clases. En el marco flogista de 1783 el AGUA está clasificada como una sustancia simple, pero en el marco de Kirwan ésta salta

hacia las sustancias compuestas. De manera análoga, las clases de las CALES y los ÁCIDOS antes eran sustancias simples, y pasan a ser sustancias compuestas. Una última diferencia implica una transgresión al principio exhaustivo. Nótese que en el marco de 1787 el ÁCIDO CARBÓNICO deja de ser una instancia de los ÁCIDOS, y el CARBONO deja de ser una instancia de los AZUFRES. Dado el papel del ácido carbónico en el sistema de Kirwan, esta sustancia y su contraparte, el carbono, ya no tenían cabida en sus antiguas clases. Sin embargo, al no formar parte de ninguna otra clase quedan como instancias residuales, violando así el principio exhaustivo.

Las diferencias que se revelan al analizar los sistemas flogistas de 1783 y de 1787 quedan representadas en la figura 14. Estos cambios van de la mera adición de instancias hasta los saltos de ramas. Lo cual significa que así como los marcos flogistas de 1718 y de 1783 son inconmensurables respecto al marco antiflogista, *también el marco flogista de Kirwan es inconmensurable respecto a los marcos flogistas de 1718 y 1783*. En breve, la manera en que Kirwan clasificaba a las sustancias materiales no era compatible con el sistema de Lavoisier, ni con las ideas de los flogistas que le precedieron.

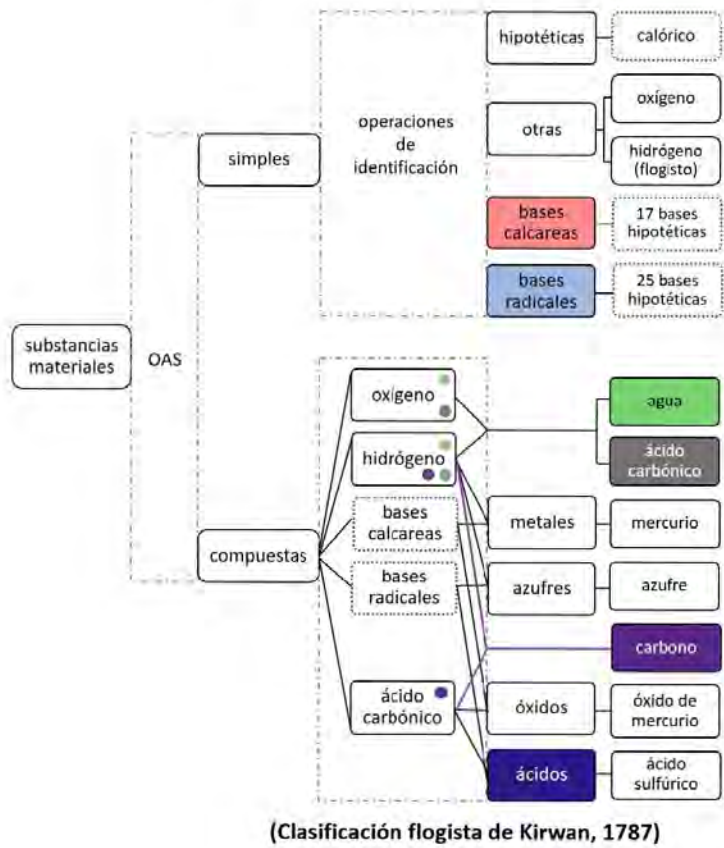
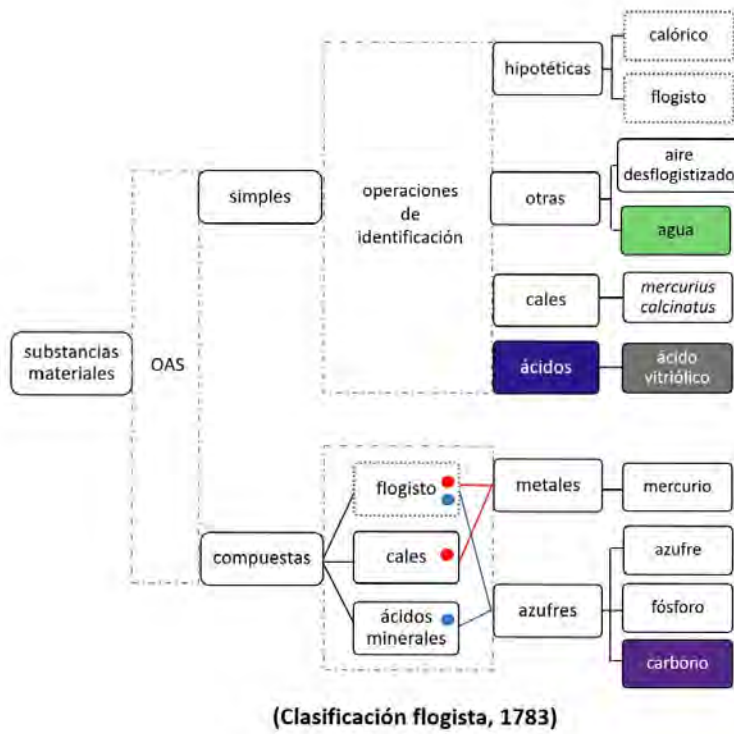


Figura 14. Marcos parciales flogistas de 1783 y 1787.

## 2.5 Conclusión.

Los últimos desarrollos de Kuhn a propósito de la inconmensurabilidad ciñen esta noción a diferencias específicas entre jerarquías de tipos, a saber, a redistribuciones entre conjuntos de contraste distintos. Estas diferencias conceptuales pueden ser representadas de manera conveniente mediante los marcos dinámicos, una herramienta de las ciencias cognitivas que ilustra gráficamente las conexiones y relaciones en una estructura conceptual. De esta manera, los marcos dinámicos constituyen una herramienta para analizar la organización de una jerarquía de tipos, así como los cambios entre distintas jerarquías de tipos. Como consecuencia, la inconmensurabilidad taxonómica queda representada como “saltos de ramas” o “saltos de instancias” entre nodos de clases en distintos marcos.

La implementación de los marcos dinámicos al episodio de la RQ permite analizar de manera pormenorizada los cambios conceptuales en cuestión. Estos marcos revelan varias adiciones y supresiones de clases, así como varios saltos de ramas. Lo cual confirma que el sistema antiflogista impulsado por Lavoisier es inconmensurable respecto a los viejos sistemas flogistas.

De manera concisa, el nuevo sistema químico invierte la clasificación de ciertas clases de entidades: METALES y AZUFRES pasan de sustancias compuestas a sustancias simples, y ÁCIDOS y CALES, de simples a compuestas. Aunque estas inversiones constituyen cambios conceptuales significativos, los marcos dinámicos revelan que las sustancias SIMPLES y COMPUESTAS se mantienen sin cambios en estos sistemas químicos. Esto significa que *si bien flogistas y antiflogistas clasificaban ciertas sustancias de manera distinta, empleaban el mismo sistema general de clasificación.*

Otro punto que se destaca gracias a la implementación de los marcos dinámicos es la relación que hay entre sistema de Kirwan y el sistema de Lavoisier. El análisis del marco de Kirwan revela que, aunque éste preserva la noción de flogisto, es inconmensurable respecto a los marcos flogistas previos.

El análisis del sistema de Kirwan plantea una cuestión sugestiva a propósito de la RQ. El hecho de que este marco preserve la noción de flogisto y, no obstante, resulte

inconmensurable con los marcos flogistas, indica que *la supresión del flogisto no necesariamente conducía a que el sistema de Lavoisier fuera inconmensurable*. Para tener una explicación de por qué tanto el marco de Kirwan como el de Lavoisier son inconmensurables se debe argumentar algo más allá de la aceptación o rechazo del flogisto por parte de estos químicos.

Finalmente, el que las clases de sustancias SIMPLES y COMPUESTAS se mantengan sin cambios entre todos estos marcos, se explica al reconocer que tanto flogistas como antiflogistas mantenían una concepción particular respecto a las sustancias materiales, el composicionismo. Esta concepción refleja una continuidad ontológica en la química de la época, pero también sugiere que tradicionalmente esta disciplina ha mantenido cierta independencia de las ontologías de la física, por ejemplo. Por otro lado, frente al hecho de que las operaciones en torno a las sustancias materiales se mantuvieron sin cambios durante el siglo XVIII, se puede afirmar que, hasta cierto punto, las diversas clasificaciones sencillamente reflejaban *distintas maneras de interpretar las mismas operaciones*.

### 3. Conclusiones generales

#### 3.1 Dos propuestas composicionistas para entender los gases.

Como señalé en el primer capítulo, el composicionismo tiene sus orígenes en las operaciones de análisis y síntesis (ver pp. 14). Esta concepción se consolidó en 1718 con la tabla de afinidades de Geoffroy, la cual comprendía veintidós sustancias simples, siendo el flogisto una de ellas. Con el paso de los años más sustancias simples se sumaron a las tablas de afinidades. De este modo, para 1775 la tabla de Bergman incluía cincuenta, y en la versión revisada de 1783 ya sumaban cincuenta y nueve sustancias simples. Esto indica que la filosofía experimental composicionista constituía una actividad epistémica fructífera. No obstante, este éxito se centraba mayormente en sustancias del reino mineral, es decir, los metales, las sales, los ácidos minerales y otras sustancias relacionadas con la formación de sales y aleaciones. Mientras tanto, buena parte de las sustancias del reino vegetal y del animal quedaban fuera de esta concepción. Y aunado a esto, hacia 1780 un nuevo grupo de sustancias que no era estudiado por los composicionistas iba cobrando relevancia: los gases.

Si bien hacia fines del siglo XVIII el composicionismo se iba consolidando como la concepción predominante en la química, particularmente en Francia, la tradición paracelsiana aún tenía vigencia. De esta manera, los resultados que Priestley había desarrollado en torno a los distintos tipos de aire correspondían a la concepción “principionista” (ver Chang H. 2012a). De este modo, el composicionismo y el principionismo constituían dos maneras alternativas de entender ciertas sustancias químicas<sup>55</sup>. Aunque Priestley sugirió que al “flogistizar” una base, es decir, al incrementar su cantidad de principio flogisto, se generaban distintos tipos de aire, nunca especuló cuál sería la naturaleza de este principio. No obstante, en 1777 Scheele sugirió que una flogistización mediaba entre el calor y la luz; y en 1779, Crawford mostró que, en los gases, el flogisto se oponía al calor. Así, *hacia 1780 los estudios en torno a los distintos tipos de aire estaban situados en la concepción principionista*. Sin embargo, la zona de intercambio

---

<sup>55</sup> Tómese como ejemplo al flogisto. En el caso del principionismo éste era un *principio químico*, pero en el caso del composicionismo se trataba de una *substancia simple hipotética*. Así, ser flogista o antiflogista no significaba ser composicionista o principionista.

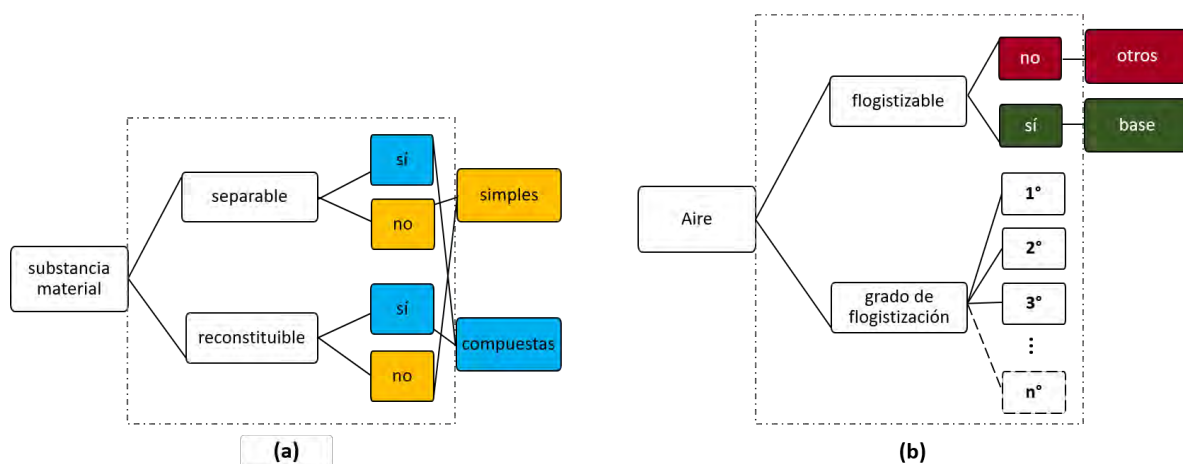
entre el composicionismo francés y la neumática inglesa propició la incorporación de los gases a la concepción composicionista.

El sistema flogista de Kirwan y el antiflogista de Lavoisier constituyen dos propuestas composicionistas para entender los gases. *Que estos químicos introdujeran los resultados de la neumática en la concepción composicionista, es la razón por la que ambos sistemas son inconmensurables respecto a los viejos sistemas flogistas.* El análisis mediante marcos dinámicos realizado en esta tesis ilustra que, hasta 1787, ÓXIDOS y ÁCIDOS eran sustancias SIMPLES, pasando a ser sustancias COMPUESTAS en los sistemas de Kirwan y Lavoisier. Esta recategorización obedece al reconocimiento del papel químico del oxígeno, esto es, que dicho gas es absorbido durante la calcinación y la combustión. Así, mientras que en la vieja concepción composicionista los óxidos y los ácidos eran sustancias simples por haber perdido su flogisto, ahora Kirwan y Lavoisier coincidían en que éstas debían ser sustancias compuestas pues, *independientemente de lo que ocurriera con el flogisto, estaban compuestas de oxígeno.* La inclusión del oxígeno en la concepción composicionista fue lo que alteró la taxonomía de las tablas de afinidades, en otras palabras, el reconocer que *el oxígeno era una substancia material* capaz de combinarse químicamente con otras sustancias materiales. Esto es lo que distingue al sistema de Kirwan y al de Lavoisier de sistemas flogistas que les antecedieron, y a su vez hace que sus taxonomías sean inconmensurables.

Los sistemas de Kirwan y Lavoisier no sólo introdujeron el oxígeno en la concepción composicionista, sino que propusieron dos alternativas para incorporar el estado gaseoso en general. De acuerdo con la concepción principionista, el flogisto era el principio que permitía la trasmutación entre gases: los distintos grados de flogistización de una misma base generaban distintos tipos de aire. Y mientras los gases así generados fueran tangibles, la materialidad del principio flogisto podía dispensarse. De este modo, los compuestos y los componentes no estaban al mismo nivel ontológico. En oposición a esta concepción, en el sistema de Kirwan y en el de Lavoisier los gases eran situados en el esquema de las sustancias simples y compuestas. Al entender los gases desde la concepción composicionista ambos propugnaban la materialidad tanto de los compuestos como de los componentes. De esta manera, como se puede ver en la figura 16, al clasificar los gases en



substancias SIMPLES o COMPUESTAS, Kirwan y Lavoisier destacaban si un gas era SEPARABLE o RECONSTITUIBLE. Al enfatizar estos atributos también señalaban cuáles eran los componentes de un gas, de ser el caso. En cambio, conforme a la concepción principionista, los atributos destacados de un gas eran si éste era FLOGISTIZABLE y cuál era su GRADO DE FLOGISTIZACIÓN. Las taxonomías principionista y composicionista dependían de conjuntos de atributos que eran divergentes. Por ello, *al introducir los distintos tipos de aire en la concepción composicionista en realidad se estaba reemplazando el principio organizativo del estado gaseoso*. Este cambio conceptual representa un “reemplazo de árbol”, una modificación más profunda que un salto de instancias o de ramas.



**Figura 16.** Marcos representando (a) los atributos relevantes conforme a la concepción composicionista, y (b) los atributos relevantes en la concepción principionista de los gases.

### 3.2 Valores epistémicos divergentes.

Como he venido señalando, entre el sistema de Kirwan y el de Lavoisier hay convergencias importantes. Ambos son composicionistas, reconocen el papel químico del oxígeno y dan cuenta del estado gaseoso, sin olvidar que ambos admitían sustancias hipotéticas. Pese a estas convergencias, el análisis mediante marcos dinámicos revela que se trata de sistemas inconmensurables. Frente a esta situación, si simplemente concluyera que la postulación del flogisto y el calórico conducían a clasificaciones divergentes, no estaría diciendo mucho respecto a este episodio histórico. Una cuestión más interesante consiste en señalar por qué, pese a sus coincidencias, ni Kirwan ni Lavoisier aceptaban la

propuesta del otro. Siguiendo a Chang (2012a), yo sugiero que esto obedecía a que Kirwan y Lavoisier mantenían valores epistémicos divergentes.

A la hora de aceptar explicaciones para los resultados empíricos, mientras Kirwan favorecía la *generalidad*, Lavoisier propugnaba por la *simplicidad*. Esta situación se evidencia en la postura que cada uno mantenía respecto al flogisto. Tradicionalmente, la noción de flogisto contribuía a dos objetivos epistémicos: *clasificar* todo tipo de sustancias con base en sus propiedades observables, y *transformar* dichas sustancias interviniendo en los principios que se creía que las constituían (ver Chang H. 2012b). Dados estos objetivos epistémicos, las investigaciones que se llevaban a cabo eran muy variadas. A fin de hallar relaciones entre diversas sustancias, éstas abarcaban la meteorología, la mineralogía, la nutrición y la ecología. Así, los químicos que buscaban unificar fenómenos en torno a la luz, el calor, la electricidad y el magnetismo, empleaban la noción de flogisto por su *generalidad explicativa*. Éste daba cuenta de la solidez, la pigmentación y el brillo metálico, entre otras cosas. El antiflogismo de Lavoisier, en cambio, obedecía al objetivo epistémico de *separar y reconstituir* sustancias materiales, lo cual significaba restringir la variedad de fenómenos y sustancias que se podía explicar. Ya que las operaciones de análisis y síntesis eran realizables principalmente en las sustancias del reino mineral, esto centraba la atención en unas cuantas sustancias, aquellas relacionadas con la producción de sales y aleaciones. Esta limitación en el dominio de interés volvía prescindible al flogisto pues, sin recurrir a esta entidad, el sistema de Lavoisier explicaba *algunos fenómenos de manera más simple*. Sin embargo, esta simplicidad tenía un costo: Como Kirwan argumenta, el sistema de Lavoisier soslayaba ciertas particularidades químicas.

El análisis químico de los ácidos vegetales mostraba que sus componentes eran agua, ácido carbónico, hidrógeno, azote pero no oxígeno. Kirwan sugería que la no obtención de oxígeno constituía evidencia en contra del sistema antiflogista y, que en cambio, ésta sí era explicada por su sistema. De acuerdo con Kirwan, el oxígeno de los ácidos vegetales se unía a una parte del hidrógeno formado así ácido carbónico, un gas que efectivamente era obtenido en las operaciones de análisis. Otra particularidad que el sistema antiflogista no explicaba satisfactoriamente era que el oxígeno liberado en la reducción de un óxido casi

siempre iba acompañado de otros gases como hidrógeno o ácido carbónico. Ya que estos gases también estaban presentes en las sustancias animales y vegetales, para Kirwan esto revelaba que había relaciones más intrincadas entre las sustancias de los tres reinos, mineral, vegetal y animal. Para Lavoisier, en cambio, la presencia de tales gases sólo revelaba impurezas que podían ser desdeñadas.

Los señalamientos de Kirwan no se debían a que fuera incapaz de entender el sistema de Lavoisier, o a que no vislumbrara su simplicidad. Por el contrario, el hecho de que ambos químicos hayan dedicado una serie de críticas y réplicas en torno al ensayo que Kirwan publicó en 1787, revela que ambas partes entendían muy bien los argumentos del bando rival. Así, las particularidades antes señaladas simplemente revelan un desacuerdo a nivel metodológico. Si bien Kirwan advertía las virtudes epistémicas del sistema antiflogista, él buscaba “ser capaz de relacionar todos, o al menos la mayor cantidad posible, de fenómenos químicos en un [sólo] sistema” (Kirwan citado en Mauskopf 2002: 185). De esta manera, las limitaciones del sistema antiflogista le parecían como las de “un microscopio que muestra muy claramente algunos objetos cercanos a nosotros, pero deja los más distantes en completa obscuridad” (*ibid*: 185). Kirwan comparaba su propio sistema flogista con “la simple vista, la cual muestra los objetos cercanos suficientemente bien para cualquier uso práctico y al mismo tiempo comprende aquellos muy lejanos” (*ibid*: 185-186). La insistencia de Kirwan en preservar la noción de flogisto y con ello mantener una taxonomía inconmensurable respecto a la antiflogista, sencillamente obedecía a que *el sistema antiflogista no promovía el valor epistémico que Kirwan consideraba apremiante*<sup>56</sup>.

### **3.3 Rupturas y continuidades en la Revolución Química.**

El análisis de la RQ realizado en esta tesis permite considerar los cambios conceptuales de manera más sutil y precisa. Los marcos dinámicos prueban ser una herramienta adecuada para pormenorizar el desarrollo de las concepciones químicas del siglo XVIII. Ya

---

<sup>56</sup> Chang H. (2012a, 2012b) sostiene que entre flogistas y antiflogistas mediaban los valores epistémicos divergentes de generalidad y uniformidad, respectivamente. Además, él argumenta esto en el caso de Priestley y Lavoisier. De esta manera, mi sugerencia de que esto también es el caso a propósito de Kirwan y Lavoisier apoya su afirmación general.

que la filosofía experimental era una actividad epistémica de carácter abstracto, los marcos proveen una representación visual que facilita la identificación de distintos grados de cambio conceptual. De esta manera, en un primer momento, se puede reconocer que flogistas y antiflogistas por igual mantenían el mismo esquema taxonómico de sustancias materiales, sin importar que sus sistemas químicos conllevaran un acomodo divergente para los metales, las sales, los ácidos y los azufres. Esta divergencia involucra categorías que se mantienen constantes. Así, pese a la inconmensurabilidad entre los sistemas flogista y antiflogista, se distingue una continuidad ontológica. Independientemente de cómo categorizaran las clases en cuestión, flogistas y antiflogistas coincidían en clasificar sustancias materiales. En un segundo momento, también gracias a los marcos dinámicos, se puede reconocer que la incorporación de los gases al esquema taxonómico de las sustancias materiales constituye un cambio conceptual más profundo. Dado que los gases habían sido estudiados conforme a las ideas principionistas, su introducción en la concepción composicionista transformaba drásticamente la manera de entenderlos. Mientras que esto representó un cambio de principio organizativo respecto al estado gaseoso, para la ontología de las sustancias materiales esto simplemente motivó la recategorización de algunas de sus clases. Por último, cabe destacar que la introducción de los gases en la concepción composicionista explica por qué los sistemas químicos de Kirwan y de Lavoisier son inconmensurables respecto a los viejos sistemas flogistas. El reconocimiento del papel del oxígeno conducía a clasificar de manera distinta ciertas sustancias materiales.

En medio de estas rupturas y continuidades, cabe subrayar que el sistema de Lavoisier abonaba a la tradición de las tablas de afinidad. Esto significa reconocer que la concepción que Lavoisier perpetuó, el composicionismo, *era de raigambre flogista*. Por lo que no debe sorprendernos que su sistema mantenga ciertos rasgos usualmente atribuidos a los sistemas flogistas. Algunos de estos rasgos son asociar una propiedad química como la acidez a la presencia de una sustancia, el oxígeno; y postular una sustancia imponderable, el calórico, a fin de explicar ciertos fenómenos. Ya que Lavoisier encarna las ideas y estándares de su época, tampoco debe resultar raro que Kirwan, un flogista contemporáneo, también diera una propuesta composicionista para entender los gases.

Las particularidades del sistema de Kirwan conducen a entender la RQ de manera más completa. En primera instancia, el trabajo de Kirwan no suele ser tan recordado como el de Lavoisier. Sin embargo, su controversia con los antiflogistas muestra que el papel de Kirwan en la RQ es el que usualmente se le atribuye a Priestley. Es decir, que Kirwan era el flogista más destacado y a quien los antiflogistas tenían como el rival principal. Tal vez la marginación de la figura de Kirwan se deba a su renuncia a la noción de flogisto, mientras que Priestley preservó dicha noción hasta el fin de sus días. En segunda instancia, el hecho de que el sistema de Kirwan sea inconmensurable respecto a los sistemas flogistas previos, apoya la tesis historiográfica de que la noción de flogisto no tenía el papel preponderante que se le suele atribuir (ver Holmes 2002a). En cambio, el flogisto era uno más de los recursos conceptuales de una filosofía en desarrollo: el composicionismo. Así, aunque el sistema de Kirwan mantenía la noción de flogisto, su sistema recategorizaba la taxonomía flogista antecesora. En tercera instancia, el hecho de que los sistemas de Kirwan y de Lavoisier apuntalen el composicionismo y, no obstante, sean inconmensurables entre sí, sugiere que sus diferencias más significativas no están a nivel conceptual sino a nivel metodológico: flogistas y antiflogistas mantenían valores epistémicos opuestos. Mientras Lavoisier propugnaba la simplicidad, Kirwan en cambio defendía la generalidad.

Para finalizar, vale la pena recordar que la química del siglo XVIII enfatizaba tres actividades epistémicas distintas: el mejoramiento tecnológico, la filosofía experimental y la historia experimental. De esta manera, los cambios conceptuales de la RQ solamente constituyen una ruptura en una de las actividades epistémicas de la química: la filosofía experimental. Aunque en esta época también hayan ocurrido algunos cambios tecnológicos, el trabajo de Lavoisier se ciñó principalmente a la filosofía experimental. Por lo tanto, la RQ, *no debe entenderse como una transformación de la práctica química en sentido amplio*, ver figura 17.



**Figura 17.** Representación esquemática de la RQ. La discontinuidad conceptual en la filosofía experimental estuvo acompañada de una relativa continuidad en las otras dos actividades epistémicas de la química.

Dada la circulación entre sitios académicos y extraacadémicos de la época, puede que la repercusión más aguda de la RQ haya sido rumbo a la consolidación de la química como una disciplina académica. La nueva nomenclatura que acompañaba al sistema de Lavoisier introducía una distinción academicista para caracterizar las mismas sustancias que circulaban en los sitios extraacadémicos.

## **Anexo: Glosario de nombres y conceptos químicos arcaicos**

**Aceite, principio** - uno de los cinco principios propuestos por los químicos del siglo XVII y que era responsable de la combustibilidad. Aunque Paracelso lo denominó originalmente principio azufre, en el siglo XVII algunos químicos franceses lo llamaron principio aceite, y a inicios del siglo XVIII Stahl lo nombró simplemente flogisto.

**Ácidos** - esta clase agrupaba aquellas sustancias que daban efervescencia ante el carbonato de calcio y volvían rojos los jugos vegetales. Estos eran clasificadas de acuerdo con su origen en:

**Ácidos animales** - aquellos ácidos obtenidos principalmente de sustancias del reino animal, como el "ácido de las hormigas" que fue denominado ácido fórmico con la nomenclatura de 1787.

**Ácidos minerales** - aquellos ácidos obtenidos principalmente del reino mineral, como el "ácido vitriólico", denominado ácido sulfúrico en 1787.

**Ácidos vegetales** - ácidos obtenidos principalmente del reino vegetal, como el "ácido del azúcar", renombrado oxálico en 1787.

**Ácido fosfórico** - denota a la misma sustancia que hoy día. En el siglo XVIII éste se obtenía luego de que el fósforo fuera combustionado y absorbiera humedad ambiental.

**Ácido marino** - se trata de ácido clorhídrico en solución. También era denominado espíritu de sal, y en 1787 se nombró ácido muriático.

**Ácido marino desflogistizado** - se trata del elemento cloro. Lavoisier lo denominaba ácido muriático oxigenado, es decir, ácido muriático con exceso de oxígeno.

**Ácido nitroso** - denotaba a lo que hoy conocemos como ácido nítrico. También era denominado espíritu de nitro o *aqua fortis*. El nombre actual se instauró en 1787.

**Ácido vitriólico** - es lo que hoy denominamos ácido sulfúrico. También era denominado espíritu de vitriol, aceite de vitriol o aceite de azufre. El nombre actual data de 1787.

**Afinidades electivas** – paralelamente con la noción de sustancia material, la de afinidades electivas fue clave en la química del siglo XVIII. Este concepto apelaba a las predilecciones de combinación que se daban en las reacciones de remplazo. Así, si una sustancia C remplazaba a la sustancia B en el compuesto AB formando AC, entonces se podía afirmar que C tenía mayor afinidad que B por A. Esta noción aludía indistintamente a las fuerzas que unían y separaban compuestos, así como a las causas de estas fuerzas.

**Agua, común** - hasta finales del siglo XVIII ésta fue considerada una sustancia simple. En 1783 Cavendish llevó a cabo los primeros experimentos de síntesis de agua, combustionando oxígeno e hidrógeno.

**Agua, elemento** – uno de los cuatro elementos aristotélicos que los químicos del siglo XVII mantuvieron. Se trataba de una entidad no aislable.

**Agua, principio** - también denominado flema, era uno de los cinco principios de la química del siglo XVII. Se trataba de una entidad no aislable.

**Aire, elemento** - uno de los cuatro elementos aristotélicos que los químicos del siglo XVII mantuvieron. Se trataba de una entidad no aislable.

**Aire, tipos de** – este concepto apelaba, de manera global, a los distintos gases descubiertos en el siglo XVIII. Este concepto sugería que, tal vez, todos estos gases no eran más que variaciones de un mismo aire.

**Aire atmosférico** – también era conocido como aire común.

**Aire desflogistizado** - aquella sustancia que hoy día denominamos oxígeno. Aunque éste fue aislado por vez primera por Scheele en 1772, no lo anunció sino hasta 1777, denominándolo aire de fuego. Por su parte, Priestley lo aisló independientemente y lo anunció primero, en 1774. De modo que los químicos del siglo XVIII adoptaron el nombre dado por Priestley, aire desflogistizado. Lavoisier le dio varios nombres: aire puro, aire vital y finalmente gas oxígeno, ver Gas oxígeno.

**Aire fijo** - denota la sustancia que conocemos como dióxido de carbono. Su obtención fue anunciada por Black en 1755. Lavoisier lo denominó gas ácido carbónico.



**Aire flogistizado** - apela a la substancia que hoy llamamos nitrógeno. Lavoisier lo llamó gas azote, nombre que aún se mantiene en Francia.

**Aire inflamable** - denota el gas que hoy llamamos hidrógeno. Éste fue identificado por Cavendish en 1766. Con la nomenclatura de 1787 se denominó gas hidrógeno.

**Aire nitroso** - denota la substancia conocida hoy día como óxido nítrico. También era denominado gas nitroso.

**Aleaciones** - los químicos del siglo XVIII consideraban estos compuestos análogos a las sales. Se pensaba que éstas últimas no necesariamente mantenían proporciones simples y enteras, sino mixtas y variables, como las aleaciones.

**Átomo** - en la química del siglo XVII éstos eran entendidos como aquellas entidades imperceptibles, heterogéneas e indivisibles que formaban un compuesto. Algunos químicos consideraban que tanto los principios como los elementos estarían formados por un tipo específico de átomos.

**Azufres** - esta clase agrupaba a todas aquellas substancias sólidas inflamables que se suponía eran obtenidas al saturar de flogisto un ácido. Hacia 1783 ésta agrupaba al azufre (la substancia arquetipo), al fósforo y al carbono.

**Azufre, común** - hasta finales del siglo XVIII fue considerado una substancia compuesta de ácido vitriólico y flogisto. Lavoisier fue quien sugirió que se trataba de una substancia simple.

**Azufre, principio** - nombre con el que Paracelso designó al principio de combustibilidad. En el siglo XVII los químicos franceses lo denominaron principio aceite, y en el siglo XVIII Stahl lo llamó flogisto.

**Cales metálicas** - también denominadas tierras metálicas, esta clase agrupaba a las substancias que hoy denominamos óxidos metálicos. Hasta finales del siglo XVIII se consideraba que éstas eran substancias simples; y que combinadas con flogisto daban lugar a los metales. Lavoisier sugirió que éstas eran substancias compuestas de un metal y oxígeno, y con la nomenclatura de 1787 se les denominó óxidos.

**Cal viva** - así se denominaba a la sustancia que hoy conocemos como óxido de calcio. También era conocida como tierra calcárea o tierra alcalina, y con la nomenclatura de 1787 sencillamente se le denominó cal.

**Calcinación** - los químicos del siglo XVIII denominaban así al proceso de calentar un metal a fin de oxidarlo. El nombre apelaba al resultado de este proceso: la obtención de una cal metálica, un óxido.

**Calor** - en el siglo XVIII los químicos debatían cuál era su naturaleza. Había quienes sugerían que se trataba de algún tipo de movimiento de las partes constitutivas de la materia; y otros, que era una entidad independiente, una sustancia o un corpúsculo.

**Calórico** - así denominó Lavoisier a la sustancia del fuego. Esta sustancia sería la responsable de los cambios de fase y de la liberación de calor.

**Carbono** - carbono mineral.

**Combustión** - hasta finales del siglo XVIII este proceso era asociado a la pérdida de flogisto. Lavoisier sugirió que esta implicaba la absorción de oxígeno y la liberación de calórico.

**Elementos** – siguiendo la tradición aristotélica, los químicos del siglo XVII responsabilizaban a estas entidades abstractas de las propiedades físicas de las sustancias. Se consideraba que los elementos eran cuatro: tierra, fuego, aire y agua. Aunque algunos principios químicos llevaran el mismo nombre que los elementos, eran entendidos de manera distinta. Algunos químicos sugerían que los elementos darían lugar a los principios, y los principios a las sustancias.

**Espíritu, principio** – también conocido como principio mercurio, era uno de los cinco principios de la química del siglo XVII. Se trataba de una entidad no aislable.

**Éter** – designa a la sustancia que hoy conocemos como éter etílico. En la química del siglo XVIII fue una de las sustancias más prolíficas en cuanto a su estudio y aplicaciones.

**Flema, principio** – otro de los nombres con los que se conocía al principio agua.

**Flogisto** – nombre que Stahl dio al principio de combustibilidad. También era conocido como principio azufre, principio aceite o materia del fuego.

**Fuego, elemento** - uno de los cuatro elementos aristotélicos que los químicos del siglo XVII mantuvieron. Se trataba de una entidad no aislable.

**Fuego, materia del** - uno de los nombres con los que también era conocido el flogisto, sobre todo en Francia. Lavoisier entendía otra cosa este término, para él la materia del fuego era un fluido ígneo que no aportaba propiedades químicas sino que sólo cambiaba el estado de agregación de la materia. Más adelante Lavoisier se refirió a este fluido ígneo con el nombre de calórico.

**Gases** – este término era usado indistintamente con el de tipos de aire. En el siglo XVIII no había un conocimiento preciso del estado gaseoso ni de los cambios de fase.

**Gas oxígeno** – así denominó Lavoisier a la sustancia que hoy conocemos como oxígeno, aunque para él se trataba de una sustancia compuesta de calórico y oxígeno, una base hipotética. Priestley y otros químicos flogistas se referían a este gas como aire desflogistizado.

**Gas hidrógeno** – con la nomenclatura de 1787, así se denominó a la sustancia que hoy día conocemos como hidrógeno. Su nombre se debe a que, en combinación con oxígeno, daba lugar a agua, principio hídrico. Los químicos flogistas se referían a él como aire inflamable, y Kirwan lo identificó con el mismo flogisto.

**Mercurio, principio** – también conocido como principio espíritu, era uno de los cinco principios de la química del siglo XVII. Se trataba de una entidad no aislable.

***Mercurius calcinatus*** – denotaba al óxido de mercurio producido por medio de calcinación y hasta finales del siglo XVIII se distinguía del óxido de mercurio obtenido mediante la acción de un ácido en mercurio.

***(Mercurius) precipitatus per se*** - denotaba al óxido de mercurio producido al mezclar un poco de mercurio en ácido nítrico, evaporar el ácido, y calentar el residuo.

**Metales** – esta clase agrupaba a aquellas sustancias que presentaban brillo metálico, fusibilidad y maleabilidad. Hasta finales del siglo XVIII los metales fueron considerados sustancias compuestas de flogisto y una cal o tierra metálica.

**Nitro** – nitrato de potasio. En el siglo XVIII esta sustancia era importante pues combinada con carbón y azufre era la receta para fabricación de pólvora. Lavoisier dedicó buena parte de su trabajo a estudiar esta sustancia, luego de mudarse al Arsenal de París.

**Oxigene** - La supuesta base del gas oxígeno que combinada con calórico daría lugar al oxígeno, según Lavoisier. Lavoisier también solía referirse a esta base como principio acidificante o base del aire puro.

**Oxígeno, gas** - uno de los nombres con el que Lavoisier se refería a lo que hoy día denominamos simplemente oxígeno. De acuerdo con Lavoisier este gas estaba compuesto de calórico y oxigene.

**Principios (químicos)** – algunas veces denominados principios últimos, se trataba de entidades abstractas que debían ser las responsables de las propiedades químicas de las sustancias. Paracelso sugirió que había tres de estos principios: mercurio, azufre y sal. En el siglo XVII los químicos franceses añadieron otros dos principios: flema y tierra. Aunque estas entidades no fueran aislables ni manipulables se creía que las operaciones químicas eran capaces de modificar su presencia en las sustancias.

**Reducción** – operación inversa a la calcinación y por medio de la cual se obtiene un metal a partir de su óxido. Hasta finales del siglo XVIII se creía que esta operación implicaba que una cal metálica absorbiera flogisto. Lavoisier sugirió que esta operación implicaba la liberación de oxígeno.

**Sales** - en la química de los siglos XVIII, esta era la clase conformada por todas aquellas sustancias no combustibles, solubles en agua y que producían un sabor "picante" en la lengua. De esta manera, algunas sustancias que hoy día consideramos ácidas o básicas, en el siglo XVIII eran clasificadas como sales ácidas o sales alcalinas, respectivamente; y sustancias que hoy día sencillamente denominamos sales eran denominadas sales neutras, por no ser ni ácidas ni básicas.

**Sal, principio** - era uno de los cinco principios de la química del siglo XVII. Se trataba de una entidad no aislable.

**Substancia material** – concepto a nivel operativo que surgió en la química del siglo XVIII. Dada la consolidación de operaciones químicas reversibles como la formación de sales y aleaciones, los químicos comenzaron a concebir las sustancias compuestas y sus componentes al mismo nivel ontológico: como entidades tangibles y manipulables por igual. Esta concepción se distanciaba de las nociones químicas del siglo XVIII, es decir, de las ideas de elementos y principios. De acuerdo con estas ideas, si bien un compuesto era tangible y manipulable, sus componentes no lo eran.

**Tierras** – esta clase agrupaba aquellas sustancias no combustibles, insolubles en agua y no volatilizadas en una destilación. Hacia finales del siglo XVIII esta clase comprendía lo que hoy denominamos óxidos y carbonatos.

**Tierras metálicas** – se trataba de la clase de los óxidos metálicos, también eran conocidos como cales metálicas, ver cales metálicas.

**Tierra, principio** - era uno de los cinco principios de la química del siglo XVII. Se trataba de una entidad no aislable. Stahl consideraba ésta conformaba toda una clase; y, que la había en tres tipos: vitrificable, inflamable y liquidable.

**Tiza** - carbonato de calcio. Con la nomenclatura de 1787 ésta fue denominada carbonato calcáreo.

## Bibliografía

- Andersen, H., P. Barker y X. Chen. (2006). *The cognitive structure of scientific revolutions*, Cambridge University Press.
- Bergman, T. (1784). “An essay on the usefulness of chemistry, and its application to the various occasions of life”, Murray J., Reino Unido.
- Best, N. (2011). “Principios, elementos y sustancias” en *Mètode* no. 69, Afinidades electivas: los rostros de la química. Recuperado el 7 de julio de 2017 de <<https://metode.es/revistas-metode/monograficos/principios-elementos-y-sustancias.html>>
- (2015). “Meta-incommensurability between theories of meaning: chemical evidence” en *Perspectives on Science* vol. 23, no. 3, pp. 361-378.
- (2015b) “Lavoisier’s ‘Reflections on phlogiston’ I: against phlogiston theory” en *Foundations of chemistry* vol. 17, no. 2, pp. 137-151.
- Bensaude-Vincent, B. (1990). “A view of the Chemical Revolution through contemporary textbooks: Lavoisier, Fourcroy and Chaptal” en *The British Journal for the History of Science* vol. 23, no. 4, pp. 435-460.
- Boantza, V. (2008). “The phlogistic role of heat in the Chemical Revolution and the origins of Kirwan’s ‘ingenious modifications... into the theory of phlogiston’” en *Annals of science* vol. 65, no. 3, pp. 309-338.
- Boantza, V. y O. Gal. (2011). “The ‘absolute existence’ of phlogiston: the losing party’s point of view” en *The British Journal for the History of Science* vol. 4, no. 3, pp. 317-342.
- Buchwald, J. y R. Fox. (2013). eds., *The Oxford handbook of the history of physics*, Oxford University Press, Reino Unido.
- Chang, H. (2012). “Beyond case-studies: history as philosophy” en Mauskopf S. y T. Schmaltz (eds.) (2012), *Integrating history and philosophy of science*, pp. 109-124.

- (2012a). "Incommensurability: revisiting the Chemical Revolution" en Kindi V. y Arabatzi T. (eds.) (2012), *Kuhn's Structure of scientific revolutions revisited*, pp. 153-176.
- (2012b). *Is water H<sub>2</sub>O? Evidence, realism and pluralism*. Springer.
- (2014). "Epistemic activities and systems of practice: units of analysis in philosophy of science after the practice turn" en Soler, L. *et al.* (eds.) (2014), *Science after the practice turn in the philosophy, history, and social studies of science*, pp. 67-79.
- Chang, K. (2014). "Communications of chemical knowledge: Georg Ernst Stahl and the chemists at the French Academy of Sciences in the first half of the Eighteenth Century" en *Osiris* vol. 29, no 1, Chemical knowledge in the early modern world, pp. 135-157.
- Chen, X. (2002). "The 'platforms' for comparing incommensurable taxonomies: a cognitive-historical analysis" en *Journal for General Philosophy of Science* vol. 33, no. 1, pp. 1-22.
- Cohen, I. B. (1985). *Revolution in Science*. Harvard University Press, EUA.
- Crosland, M. (1973). "Lavoisier's theory of acidity" en *Isis* vol. 64, no. 3, pp. 306-325.
- (2005). "Relationships between the Royal Society and the Académie des Sciences in the late Eighteenth Century" en *Notes and records of The Royal Society of London* vol. 59, no. 1, pp. 25-34.
- Daumas, M. y D. Duveen. (1959). "Lavoisier's relatively unknown large-scale decomposition and synthesis of water, February 27 and 28, 1785" en *Chymia* vol. 5, pp. 113-129.
- Dear, P. (2012). "Philosophy of science and its historical reconstructions" en Mauskopf S. y T. Schmaltz (eds.) (2012), *Integrating history and philosophy of science*, pp. 67-82.
- Devlin, W. J. y A. Bokulich. (eds.) (2015). *Kuhn's Structure of Scientific Revolutions—50 Years On*, Springer, Suiza.

- Donovan, A. (1988). "Lavoisier and the origins of modern chemistry" en *Osiris* 2<sup>a</sup> serie, vol. 4, The Chemical Revolution: essays in reinterpretation, pp. 214-231.
- (1996). "*Antoine Lavoisier: science, administration and revolution*". Cambridge University Press, Reino Unido.
- Finn, B. (1964) "Laplace and the speed of sound" en *Isis* vol. 55, no. 179, pp. 7-19.
- Fox, R. (2013). "Laplace and the physics of short-range forces" en Buchwald J. y R. Fox. (2013) (eds.), *The Oxford handbook of the history of physics*, pp. 406-431.
- Galison, P. (1997). *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*, University of Chicago Press, EUA.
- Goldfarb, S. (1977). "Rumford's theory of heat: a reassessment" en *The British Journal for the History of Science* vol. 10, no. 1, pp. 25-36.
- Gorman, M. (ed.) (2010). *Trading zones and interactional expertise: creating new kinds of collaboration*, The MIT Press, EUA.
- Gough, J. B. (1988). "Lavoisier and the fulfillment of the Stahlian Revolution" en *Osiris* 2<sup>a</sup> serie, vol. 4, The Chemical Revolution: essays in reinterpretation, pp. 15-33.
- Guerlac, H. (1956). "A note on Lavoisier's scientific education" en *Isis* vol. 47, no. 3, pp. 211-216.
- (1959). "Some french antecedents of the Chemical Revolution" en *Chymia* vol. 5, pp. 73-112.
- (1976). "Chemistry as a branch of physics: Laplace's collaboration with Lavoisier" en *Historical studies in the physical sciences* vol. 7, pp. 193-276.
- Holmes, F. L. (1995). "The boundaries of Lavoisier chemical revolution" en *Revue d'histoire des sciences* vol. 48, no. 1, pp. 9-48.
- (2000a). "The 'revolution in chemistry and physics': overthrow of a reigning paradigm or competition between contemporary research programs?" en *Isis*, vol. 91, no. 4, pp. 735-753.



- (2000b). “Phlogiston in the air” en *Nuova Voltiana: studies on Volta and his times* vol. 2, pp. 73–111.
- Kim, M. (2003). *Affinity that elusive dream: a genealogy of the Chemical Revolution*. The MIT Press. EUA
- (2006). “‘Public’ science: hydrogen balloons and Lavoisier's decomposition of water” en *Annals of Science* vol. 63, no 3, pp. 291-318.
- Kindi, V. y T. Arabatzi. (eds.) (2012). *Kuhn's Structure of scientific revolutions revisited*, Roudlege, Reino Unido.
- Kirwan, R. (1787). *An essay on phlogiston, and the constitution of acids*, Davis J., Reino Unido.
- Klein, U. (2011). “Objects of inquiry in classical chemistry: material substances” en *Foundations of Chemistry* vol. 14, pp. 7-23.
- Klein, U. y W. Lefèvre. (2007). *Materials in Eighteenth-Century science: a historical ontology*. The MIT Press, EUA.
- Kuhn, T. S. (1983). “Commensurability, comparability, communicability” en T. S. Kuhn (2000), *The Road Since Structure: Philosophical Essays, 1970–1993, with an Autobiographical Interview*, pp. 34-57.
- (1991). “The road since *Structure*” en T. S. Kuhn (2000), *The Road Since Structure: Philosophical Essays, 1970–1993, with an Autobiographical Interview*, pp. 90-104.
- (2000). *The Road Since Structure: Philosophical Essays, 1970–1993, with an Autobiographical Interview*. Conant J. y J. Haugeland (eds.), University of Chicago Press, EUA.
- Ladyman, J. (2011). “Structural realism versus standard scientific realism: the case of phlogiston and dephlogisticated air” en *Synthese* vol. 180, pp. 87-101.

- Lavoisier, A. (1862a). “Mémoire sur l’existence de l’air dans l’acide nitreux et sur les moyens de décomposer et de recomposer cet acide” en *Œuvres de Lavoisier* vol 2, pp. 129-138.
- (1862b). “Mémoire sur la combustion en général” en *Œuvres de Lavoisier* vol 2, pp. 225-233.
- Le Grand, H. (1975). “The ‘conversion’ of C. L. Berthollet to Lavoisier’s chemistry” en *Ambix* vol. 22, no. 1, pp. 58-70.
- Malaquias, I. (2008). “Aspects of the scientific network and communication of John Hyacinth de Magellan in Britain, Flanders and France” en *Ambix* vol. 55, no. 3, pp. 255-273.
- Margolis, E. y L. Stephen. (2014). "Concepts" en *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, E. N. Zalta (ed.). Recuperado el 19 de octubre de 2017 de <<https://plato.stanford.edu/archives/spr2014/entries/concepts/>>.
- Mason, S. (1991). “Jean Hyacinthe de Magellan, F.R.S., and the Chemical Revolution of the Eighteenth Century” en *Notes and records of The Royal Society of London* vol. 45, no. 2, pp. 155-164.
- Mauskopf, S. (1988). “Gunpowder and the Chemical Revolution” en *Osiris* 2ª serie, vol. 4, The Chemical Revolution: essays in reinterpretation, pp. 93-118.
- (2002). “Richard Kirwan’s phlogiston theory: its success and fate” en *Ambix* vol. 43, no. 3, pp. 185-205.
- Mauskopf S. y T. Schmaltz (eds.) (2012), *Integrating history and philosophy of science: problems and prospects*, Springer.
- McDonald, E. (1966). “The collaboration of Bucquet and Lavoisier” en *Ambix* vol. 13, no. 2, pp. 74-83.
- Mocellin, R. (2009). *Louis-Bernard Guyton de Morveau (1737-1816): chimiste et professeur au siècle des lumières*. Tesis de doctorado, Université Paris Ouest (Paris X – Nanterre).

- Morris, R. (1972). "Lavoisier and the caloric theory" en *The British Journal for the History of Science* vol. 6, no.1, pp. 1-38.
- Pérez Ransanz, A.R. (1999). *Kuhn y el cambio científico*, Fondo de Cultura Económica, México.
- Perrin, C. (1984). "Did Lavoisier report to the Academy of Sciences on his own book?" en *Isis* vol. 75, no. 2, pp. 343-348.
- (1986.) "Lavoisier's thoughts on calcination and combustion" en *Isis* vol. 77, no. 4, pp. 647-666.
- (1988). "Research traditions, Lavoisier, and the Chemical Revolution" en *Osiris* 2<sup>a</sup> serie, vol. 4, The Chemical Revolution: essays in reinterpretation, pp. 53-81.
- (1989). "The Lavoisier–Bucquet collaboration: a conjecture" en *Ambix* vol. 36, no. 1, pp. 5-13.
- Priestley, J. (1783). "Experiments relating to phlogiston, and the seeming conversion of water into air" en *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* no. 73, pp. 398-434.
- Rappaport, R. (1961). "Rouelle and Stahl: the Phlogistic Revolution in France" en *Chymia* vol. 7, pp. 73-102.
- Richards, R. y L. Daston. (eds.) (2016). *Kuhn's Structure of Scientific Revolutions at Fifty: Reflections on a Science Classic*, The University of Chicago Press, EUA.
- Richardson, A. (2015), "From Troubled Marriage to Uneasy Colocation: Thomas Kuhn, Epistemological Revolutions, Romantic Narratives, and History and Philosophy of Science", en W. J. Devlin y A. Bokulich (eds.) (2015), *Kuhn's Structure of Scientific Revolutions—50 Years On*, pp. 39-50.
- Sankey, H. (1993). "Kuhn's Changing Concept of Incommensurability" en *The British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 44, pp. 759-774.
- Schatzki, T., K. Knorr Cetina y E. von Savigny. (eds.) (2001). *The practice turn in contemporary theory*, Routledge, EUA.

- Schoefield, R. (1997). *The enlightenment of Joseph Priestley: a study of his life and work from 1733 to 1773*. The Pennsylvania State University Press, EUA.
- Shapere, D. (1989). "Evolution and continuity in scientific change" en *Philosophy of Science* vol. 59, pp. 419-437.
- Shapin, S. (1996). *The Scientific Revolution*, University of Chicago Press, EUA.
- Siegfried, R. (1972). "Lavoisier's view of the gaseous state and its early application to pneumatic chemistry" en *Isis* vol.63, no.1, pp. 59-78.
- (1982). "Lavoisier's table of simple substances: its origin and interpretation" en *Ambix* vol. 29, no.1, pp. 29-48.
- (1988). "The Chemical Revolution in the history of chemistry" en *Osiris* 2<sup>a</sup> serie, vol. 4, The Chemical Revolution: essays in reinterpretation, pp. 34-50.
- Smeaton, W. (1957). "L. B. Guyton de Morveau (1737-1816) a bibliographical study" en *Ambix* vol. 6, no. 1, pp. 18-34.
- Soler, L., H. Sankey, y P. Hoyningen-Huene. (eds.) (2008). *Rethinking Scientific Change and Theory Comparison: Stabilities, Ruptures, Incommensurabilities*, Springer, Holanda.
- Soler, L., S. Zwart, M. Lynch *et al.* (eds.) (2014). *Science after the practice turn in the philosophy, history, and social studies of science*, Routledge, EUA.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton University Press, EUA.
- Wray, B. (2011). *Kuhn's evolutionary social epistemology*. Cambridge University Press, Reino Unido.