



Dyna

ISSN: 0012-7353

dyna@unalmed.edu.co

Universidad Nacional de Colombia

Colombia

Salas-Banuet, Guillermo; Ramírez-Vieyra, José; Restrepo-Baena, Oscar; Noguez-Amaya, María;  
Cockrell, Bryan

La importancia de llamarse afinidad química. Parte IV: Las primeras flores

Dyna, vol. 81, núm. 184, abril, 2014, pp. 225-232

Universidad Nacional de Colombia

Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49630405031>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# The importance of being chemical affinity. Part IV: The first flowers La importancia de llamarse afinidad química. Parte IV: Las primeras flores

Guillermo Salas-Banuet <sup>a</sup>, José Ramírez-Vieyra <sup>b</sup>, Oscar Restrepo-Baena <sup>c</sup>, María Noguez-Amaya <sup>d</sup> & Bryan Cockrell <sup>e</sup>

<sup>a</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, [salasb@unam.mx](mailto:salasb@unam.mx)

<sup>b</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, [jgrv@unam.mx](mailto:jgrv@unam.mx)

<sup>c</sup> Universidad Nacional de Colombia, [ojestre@unal.edu.co](mailto:ojestre@unal.edu.co)

<sup>d</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, [nogueza@unam.mx](mailto:nogueza@unam.mx)

<sup>e</sup> University of California, Berkeley, [bryan.cockrell@berkeley.edu](mailto:bryan.cockrell@berkeley.edu)

Received: December 5th, 2013. Received in revised form: February 20th, 2014. Accepted: February 25th, de 2014

## Abstract

After the power void caused by the Roman Empire's decline, Medieval Europe is involved in a combat climate for the power. The new Christian church from Rome expands and includes kings and emperors. The Christian pope seeks to compel all believers to subscribe the closed religious perspective of that time. However it is religious people who recognize the necessity to observe nature and the world in a different way. The discovery, translation and diffusion of the classic Greek philosophers' texts allow the initiation of independent thinking, which in turn, spurs the Renaissance and Illustration ages. The inductive thinking method begins with the purpose of finding other ways to interpret nature and advance the thought process. Therefore during the XVI century alchemy is questioned and the first treatises on empirical metallurgy appear, considered to be the foundations of modern science. During the XVII century some individuals begin experimenting with residual alchemical concepts. The first hypotheses on key chemical concepts and phenomena appear which frame the logic and rational thought process during the XVIII century. The concept of affinity emerges as a way to describe the relations among substances, observed during the formation of compounds, and as an analogy to human relations. Published works regarding the components of the thinking process consolidate the basic concepts of chemical bonding and related themes.

**Keywords:** Chemical affinity, materials, thinking, chemical bonding, history.

## Resumen

El vacío de poder producido por el derrumbe del Imperio Romano dejó a la Europa Medieval sumida en un ambiente de luchas. La dominante Iglesia Cristiana de Roma batalló para extenderse y someter a reyes y emperadores. La autoridad del papa Cristiano de Roma realizó un esfuerzo para esclavizar al pensamiento de los creyentes religiosos a la cerrada perspectiva religiosa que se tenía en esas épocas. Sin embargo, fue desde el seno mismo de los fieles de donde surgió la necesidad de ver a la naturaleza y sus leyes de otra manera. El descubrimiento, traducción y difusión de los textos de los pensadores griegos clásicos, permitió iniciar el proceso de independencia del pensamiento europeo, lo que llevó al surgimiento del Renacimiento y la Ilustración. Fue entonces cuando comenzó a utilizarse el método inductivo en el afán de encontrar otras maneras de interpretar a la naturaleza y avanzar en el conocimiento. Así, durante el siglo XVI la alquimia fue cuestionada y aparecieron los primeros escritos de una metalurgia empírica, considerados la base de la ciencia moderna; durante el XVII, aún con la existencia de conceptos alquímicos residuales, algunos personajes comenzaron a realizar experimentos, con lo que se establecieron las primeras hipótesis sobre los conceptos y fenómenos químicos clave, los cuales sirvieron de sustento para desarrollar al pensamiento lógico y racional del siglo XVIII, como el relativo a las afinidades, que se basaba en las relaciones entre las sustancias, observadas durante la formación de compuestos y como una analogía de las relaciones humanas. Los trabajos publicados entonces sobre los elementos del proceso del pensamiento, permitieron consolidar los conceptos base relativos al enlace y otros a él relacionados.

**Palabras Clave:** Afinidad química, materiales, pensamiento, enlace, historia.

## 1. Introducción

Se utiliza la visión histórica de la cultura occidental para apreciar el trabajo relativo al entendimiento de la naturaleza de la materia y sus cambios -los naturales y los producidos por el hombre- basado en la facilidad o dificultad para formar enlaces entre átomos o romperlos en variadas situaciones, como una metáfora de las relaciones humanas determinadas

por los distintos tonos de afinidad y antipatía entre las personas. Ese trabajo inicia en las antiguas Mesopotamia (hoy Irak y el noreste de Siria), Egipto y Persia (ahora Irán), cuando los hombres prehistóricos aprendieron a transformar algunos materiales naturales -como minerales, rocas, residuos orgánicos e inorgánicos y cenizas- en otros -con estructuras, propiedades y comportamientos diferentes a los originales- a través de procesos pirotécnicos [1]; con

ellos se fabricaban objetos útiles, decorativos o sagrados, empleados -como siempre- por las élites del poder. En ese entonces, el entendimiento de la afinidad era intuitivo; evolucionó durante miles de años -de manera incierta y con muchos vericuetos, como toda evolución- hasta que surgió la coyuntura adecuada para comenzar a entender, racionalmente, los fundamentos del amplio abanico de matices que hay entre la afinidad y la antipatía existente entre elementos y compuestos en diferentes circunstancias. Después, en Grecia, durante el periodo que va desde el siglo VI a. C. -cuando inicia la Época de Oro- hasta el siglo III d. C. -en que termina el Tiempo de las Ciencias Exactas- se suscitaron diversas filosofías, ciencias y tecnologías, basadas en un pensamiento independiente del religioso, que definieron los conceptos de átomo, elemento, enlace, compuesto y afinidad [2]. El desarrollo de la idea explícita de la afinidad química ocurrió en el siglo XVII como resultado del descubrimiento europeo de las obras de los pensadores de la cultura clásica griega en el siglo X y con sus primeras traducciones, lo cual permitió a los europeos tomar conciencia de la obscuridad intelectual en la que habían vivido durante cerca de 1000 años (Edad Media) -tiempo en que se trabajó y expandió la alquimia [3]. Esa toma de conciencia incitó, primero, al movimiento conocido como Renacimiento, durante los siglos XV (el de las innovaciones) y XVI (el de los descubrimientos geográficos y el de Oro para las bellas artes) en la Europa occidental, principalmente en Italia y, después, al movimiento intelectual y cultural nombrado como Época de la Ilustración, el cual nació en Francia e Inglaterra y duró los siglos XVII -llamado por muchos el siglo de la física- y XVIII; a este se le conoce como el siglo de las luces, nombre metáfora debido a los usos de la razón -detonados por el descubrimiento de las ideas de los clásicos griegos- como las poderosas luces que disiparon las tinieblas de la Edad Media. Ambos periodos, el Renacimiento y la Ilustración, propiciaron que el sol de la alquimia anoheciera y el de la química, entre otras ciencias y filosofías, amaneciera, impactando el pensamiento y las actividades en Europa y sus colonias de tal manera, que es posible explicar su libertad en la política y la religión, su liderazgo en la economía y el desarrollo constante en la tecnología, que han permitido su poderío mundial.

## 2. Antecedentes

De acuerdo a Pagden [4], la lucha de la poderosa alta jerarquía de la Iglesia Cristiana por la supremacía en Europa, en la batalla por ganar la mente de los conversos, tuvo tres fases: la primera se distinguió por una expansión territorial y la segunda por el liderazgo de los monasterios; estas dos permiten dar una posible explicación para los años de oscuridad en el pensamiento europeo medieval porque se le limitó a cuestiones teológicas, ya que todo se debía de entender desde la perspectiva religiosa; las dos primeras fases también ayudan a comprender la evolución de la tercera fase, la de la búsqueda del dominio de los papas, que los llevó a competir con reyes y emperadores por el gobierno, cuando las poblaciones en Europa eran pequeñas localidades

dispersas y la conciencia personal era colectiva. Es durante el inicio de la tercera fase cuando Hincmar, arzobispo de Reims (806-882), estableció su creencia sobre la predestinación divina y Juan Escoto Eriúgena (815-877) la defendió. Esta decía que la salvación o la condenación de los individuos no depende sólo de Dios, sino también de los propios individuos, con lo cual promovía una libertad de decisión individual inusual, cuestión que motivó el descubrimiento del individuo -el desarrollo cultural más importante en la explicación de lo que hoy es occidente- proceso que ocurriría entre los años 1050 y 1200. Esto hizo surgir múltiples y variados problemas doctrinales y jurídicos que requerían de solución, con lo que se priorizó su exposición y debate en los monasterios, las escuelas -de ahí que se nombre escolástica a esta fase- y en las pocas universidades que comenzaban a surgir. Las activas discusiones ocurridas en los claustros dispersos por Europa, unificados por la Iglesia, el latín y la situación cosmopolita que gozaban los estudiosos eclesiásticos, permitieron el surgimiento de la primera unión europea -que no se dio en la economía sino en el pensamiento- y fomentaron la difusión de las ideas a través de continentes y océanos [5]. El pensamiento no religioso nació para evitar las discusiones caóticas; se hizo necesario darle una alta importancia a las reglas del debate, a las formas de discusión y a los acuerdos sobre las cuestiones fundamentales. Pronto, la teología extendió estas herramientas del pensamiento al derecho -que era eclesiástico, por supuesto-, a las artes liberales -de libros y libros, aquellas disciplinas académicas a las que se dedican los hombres libres, que usando libros buscan el conocimiento y que son opuestas a los oficios viles o mecánicos realizados por esclavos y siervos que necesitaban ganarse el sustento- y a la arquitectura -en avances técnicos que permitieron construir catedrales y castillos más altos y con interiores más amplios- con lo que se cimentó la civilización y el orden europeos durante los siglos XII y XIII [6]. Existen cuatro destacados ejemplos de los primeros frutos cosechados que sirvieron de plataforma para el desenvolvimiento del pensar independiente: 1) El bretón Pedro Abelardo (1079-1142) contribuyó con su *Sic et Non* (Sí y No), alrededor de 1121, que nació de sus propios alumnos, los cuales reclamaban con insistencia razones humanas y filosóficas para algo que entender más que repetir. Su trabajo presenta 158 cuestiones suscitadas a partir de las discordancias entre las sentencias de las autoridades de la Iglesia, principalmente de los Padres fundadores, pues eran ellos quienes tenían la última palabra en la exégesis bíblica. Abelardo llamó la atención sobre el hecho de que la argumentación lógica, si cuestiona las contradicciones y explora los silogismos, puede indagar más allá de la superficie del conocimiento y emitir un juicio que lleve a una correcta comprensión, con lo que estableció un método que impactó al pensamiento. 2) En Boloña, en el año 1140, el monje italiano Graciano (nacido en el siglo XII y muerto en el XIII) publicó, con gran aceptación europea, el *Decretum* (manera en que se conoce la *Concordancia de los cánones discordantes*) [7]; esta obra es el resultado de repensar, reorganizar y racionalizar la ley eclesiástica -la principal forma de ley en la sociedad europea dominada por la religión, que usaba la simple costumbre para aplicarse-;

con el *Decretum* la ley se sujetó más a las pruebas de la razón y la lógica. 3) Un graduado de la Universidad de Oxford, el inglés Roberto Grosseteste (1186-1253), quien había participado en el proceso de traducción de las obras científicas griegas e islámicas del árabe al latín -otro elemento base de la cultura occidental- el cual había comenzado unos cincuenta años antes de su nacimiento, fue el inventor del método experimental. Se dio cuenta de que si se quería avanzar en el conocimiento, no había que quedarse en los clásicos ni en los avances prácticos *ad hoc* logrados por la deducción, sino que había que resolver la cuestión del método científico; lo hizo a partir de Aristóteles desarrollando un modelo de inducción, donde el primer paso de una indagación consistía en observar de forma cuidadosa el fenómeno sujeto a estudio para descomponerlo en principios y elementos; el segundo residía en la realización de experimentos metódicos con acercamientos sistemáticos. Grosseteste aplicó su modelo a la observación del arco iris en las distintas circunstancias en las que aparece; con el resultado de esas observaciones, Teodorico de Friburgo tuvo la idea de la refracción de la luz, que Newton explicaría con detalle; así se tiene el primer ejemplo del enfoque experimental [8]. Con el método de Grosseteste -que Sir Francis Bacon (1561-1626) usaría de base para establecer su método científico de razonamiento inductivo- se inició el interés por la exactitud, la cuantificación, la medición y la eficiencia, lo cual repercutió psicológica, social y tecnológicamente, motivando un cambio de actitud hacia el tiempo y la forma de entender el espacio, dos conceptos hasta entonces vagos, cambiando a la sociedad europea de estar centrada en una percepción cualitativa a estarlo en una cuantitativa. Roger Bacon (1214-1294), alumno y amigo de Grosseteste, apasionado filósofo franciscano inglés, mostró los defectos del debate académico y de la experimentación en la ciencia natural existentes e insistió en que los teólogos aprendieran griego, para evitar los errores nacidos de las malas traducciones al latín (idioma que utilizaban los teólogos) y de las equivocadas interpretaciones de los textos clásicos griegos y de las sagradas escrituras. 4) El alemán Alberto Magno (alrededor del 1200-1280), académico parisino, maestro, teólogo, filósofo y santo católico, se le reconoce como el primer pensador medieval que distinguió con claridad entre el conocimiento, producto de la teología y el derivado de la ciencia; valoró el saber científico y las observaciones empíricas, en un tiempo en que el único significado y orden que tenía el mundo se daba a través de Dios; así inició una revolución mundial sobre el saber y el pensamiento, de alcances insospechados. Su alumno, Tomás de Aquino (1224-1280), teólogo, filósofo, devoto fraile y también santo católico, al conocer y convencerse del pensamiento de Aristóteles y de otros clásicos, intentó reconciliarlos con el cristianismo, en un proceso intelectual muy creativo y provocador -cuyo resultado se conoce como la revolución tomista- similar al que había hecho el judío español Maimónides (1135-1204) con la religión judía en 1190, en el trabajo conocido como *La guía de los Perplejos*. La buscada reconciliación entre la fe y la razón (tradicionalmente, se había supeditado la razón a la fe, pues

todo pensamiento debía someterse al principio de autoridad divino o papal) provocó su definitiva separación. Antes de Aquino la enseñanza se limitaba, en principio, a la repetición de los textos antiguos, sobre todo los de la Biblia, considerada la principal fuente de conocimiento, y la vida intelectual se identificaba con la contemplación y la meditación en solitario. Aquino insistió en que había una “ley natural” que podía captarse y entenderse a través de la razón, con lo que distinguió entre lo natural y lo sobrenatural, la naturaleza y la gracia, la revelación y la razón, e hizo posible el estudio objetivo del orden natural y la idea de un estado laico [9].

Para los europeos, la recuperación de la filosofía de los griegos clásicos fue el mayor logro conocido de la razón, sin una referencia religiosa, que inspiró su pensar.

Se ha considerado al siglo XV como el último de la Edad Media y el primero de la Moderna, aunque los frutos de las actividades de los pensadores de la metalurgia y la química se encuentran hasta el siglo XVI. En 1540, el italiano Vannuccio Biringuccio (1480-1539) publicó *Pirotechnia, Le Dieci Libri Della Pirotechnia*, considerado el primer libro europeo sobre metalurgia, que inició la tradición respecto a la literatura científica y técnica. Este texto contiene: 1. Un tratado sobre semiminerales, los licuables por fuego y los que se disuelven en agua y el Hg que desaparece con el fuego; el cristal, las gemas y la fabricación del vidrio. 2. La práctica correcta de la fusión de los metales y el modo de separarlos: el Pb, el Cu, el Au y la Ag. 3. La separación y purificación del Au y la Ag, así como la preparación del ácido nítrico. 4. Las aleaciones de Au, Ag, Cu, Pb y Sn. 5. Las grandes fundiciones de bronce, piezas de artillería y campanas. 6. El tipo de hornos, la mecánica de los fuelles, las ruedas hidráulicas y las armas. 7. La fundición de objetos pequeños y de uso común. 8. El arte de la alquimia, las técnicas de destilación, la orfebrería, la forja del hierro, los objetos de Cu y Sn, los batidores de Au y Ag, la acuñación de monedas y la preparación de argamasa y ladrillos. 16 años después (1556) Georg Pauer (1494-1555), médico, químico, alquimista y mineralogista alemán -mejor conocido como Georgius Agricola-, sacó a la luz la obra *De Re Metallica*, en la que sienta las bases de la mineralogía moderna. Su obra es un compendio de 12 libros, en los que presenta lo que se conocía y sabía de los temas metalúrgico y minero e incluye lo relativo a ellos desde el punto de vista médico, químico, matemático e histórico. La importancia capital de su obra está en que por primera vez se presentan los métodos de caracterización de minerales y se clasifican según sus características externas usando la observación directa; su método es considerado fundamental para la ciencia empírica moderna. En el siglo XVII los experimentos descubrieron cómo crear un vacío, algo que Aristóteles había declarado imposible. En 1630, Giovanni Battista Baliani (1582-1666), matemático, astrónomo y físico italiano, envió una carta a Galileo Galilei donde le notificaba que no lograba que el agua en los sifones subiera más de 10 m; Galileo le propuso como explicación que el vacío no tenía fuerza suficiente nada más que para levantar esa altura. En 1640, Gasparo Berti, tratando de explicar lo que ocurría con los sifones, realizó el primer experimento con el vacío: creó lo que constituye

primordialmente un barómetro de agua, el cual resultó capaz de producir vacío. Al analizar el informe experimental de Berti, Evangelista Torricelli (1608-1647) captó con claridad el concepto de presión de aire, por lo que diseñó (1644) un dispositivo para demostrar los cambios de presión en el aire. Construyó un barómetro que empleaba mercurio, en lugar de agua y, sin proponérselo, comprobó la existencia del vacío. La aceptación del concepto de vacío se dio en 1648, cuando Blaise Pascal comparó las diferencias observadas en su barómetro al nivel del mar y a 1000 metros de altura y entendió cómo afectaba la presión del aire. El paso final lo dio Torricelli al construir un barómetro de mercurio que contenía en la parte vacía del tubo otro barómetro para medir la presión del aire en esa región. Así, se puso en evidencia la presión del aire y, lo más importante, la producción y existencia del vacío. Con ello, en 1654, Otto Von Guericke (1602-1686) construyó bombas de vacío de pistón; esto atrajo la atención sobre la antigua teoría de Demócrito, que había supuesto que los átomos se movían en un vacío, y sobre el trabajo con gases, con lo cual nació la química neumática. La mayoría de los iatroquímicos -seguidores de una forma primitiva de la bioquímica- y los filósofos naturales de la época, suponían que los gases no tenían propiedades químicas, de aquí que su atención se centrara en su comportamiento físico, por lo que comenzó a desarrollarse una teoría cinético-molecular de los gases. Estas experiencias -que requerían de valorar la observación cuidadosa y la experimentación exacta, características esenciales del trabajo para entender la naturaleza en la Edad Moderna- iniciaron una transición no simple, porque los paradigmas y prejuicios no son fáciles de cambiar; así, hubo un amplio periodo de sincretismos en el pensamiento respecto a la alquimia y la química, entre muchos otros. Ejemplos representativos de los siglos XVI y XVII están en las vidas y obras de Teophrastus Von Hohenhen, conocido como Paracelso (1493-1541), Jan Baptiste Van Helmont (último cuarto del siglo XVI-1644) y Robert Boyle (1627-1691).

Von Hohenhen es considerado el primer médico moderno, muy adelantado a sus contemporáneos; en una época en que se dejaba la cirugía en manos de los barberos, él refutó públicamente esa idea publicando su principal obra *La gran cirugía* (Die Grosse Wundartzney) y encamina a la medicina por una senda protocientífica; su campo predilecto de investigación fue la mineralogía, lo que lo llevó a utilizar minerales y elementos como medicamentos, “para ayudar al cuerpo en su lucha contra la enfermedad”; por esto, además de médico, se le conoce como químico. Describió muchas enfermedades -como el bocio y la sífilis- por haberlas estudiado en sus pacientes, a las cuales trató con azufre y mercurio. Sin embargo, también fue alquimista, astrólogo y mago, creyente en criaturas mitológicas, campos en los que su obra es considerable. Su principal teoría, la *tría prima* (los tres principios que integran al hombre): la sal, que forma al cuerpo, el azufre, el alma y el mercurio, el espíritu, de ella viene el uso de estos componentes en su medicina.

Van Helmont incursionó en varias disciplinas científicas, pero se centró en la medicina y en la química. Se le considera el fundador de la iatroquímica, por realizar experimentos

sobre el crecimiento de las plantas, identificando a los gases que hoy llamamos dióxido de carbono y óxido de nitrógeno; aplicó principios químicos en sus investigaciones sobre la respiración, la digestión y la nutrición, al estudiar problemas fisiológicos; y fue el primero que señaló una diferencia entre el aire y un gas, palabra que introdujo al vocabulario de la ciencia. Mientras, tenía inclinaciones místicas ya que creía en la piedra filosofal y sostenía la teoría de la generación espontánea, la cual explicaba con su receta para generar ratones “con colocar ropa sucia y unos pocos granos de trigo, en un tonel, al cabo de 21 días aparecerán ratones”.

Boyle, inventor, filósofo y físico irlandés, considerado el primer químico, es un ejemplo claro de la transición que estaba ocurriendo respecto a la ciencia. En 1657 Boyle leyó sobre la bomba construida por Otto Von Guericke y, con la ayuda de Robert Hooke (1635-1703), construyó una mejor. Con ella realizó experimentos sobre el aire, que se encuentran en su obra *Nuevos experimentos físico-mecánicos, sobre la elasticidad del aire, y sus efectos* (1660), en la que no aparece la famosa ley que establece que el volumen de un gas varía inversamente con la presión del gas, de Boyle-Mariotte -debido a Edme Mariotte (1620-1684), quien llegó a la misma conclusión que Boyle, aunque especificando que la temperatura sería que ser una constante (1676)- la cual publicó posteriormente. Realmente fueron Henry Power (1623-1668) y Richard Townwley (1629-1707) quienes (1661) originalmente la formularon. Los resultados de su trabajo le abrieron las puertas del Colegio Invisible, el cual (1663) cambiaría su nombre por el de Sociedad Real (Royal Society). Boyle explicó que los físicos, los “filósofos herméticos”, sostenían la doctrina Peripatética o Aristoteliana de los cuatro elementos, aire, tierra, fuego y agua; mientras que los químicos, “espagiristas vulgares”, los discípulos de Paracelso, creían en la *tría prima*. Boyle demostró lo poco satisfactorio que ambas teorías eran para la química y dio una definición conveniente de elemento químico: “Entiendo por elementos, con la misma convicción con que aquellos químicos hablan categóricamente de sus Principios, a ciertos cuerpos primitivos y simples o perfectamente no mezclados que, no estando constituidos por otros cuerpos -o uno por otro-, son los ingredientes de los cuales todos los cuerpos perfectamente mixtos se encuentran compuestos y en los cuales estos últimos se resuelven cuando son divididos hasta las últimas consecuencias” [10], que se asemeja a la definición de algunos griegos para el *arjé* [2]. Según esto, una sustancia simple podía considerarse un elemento, sólo hasta que pudiera convertirse en dos o más sustancias aún más simples todavía. No obstante, Boyle era un alquimista convencido de la transmutación de los metales, al grado de que su intervención fue fundamental para abolir una ley real que prohibía la creación de oro y plata a través de la alquimia.

### 3. El concepto de la afinidad química y su analogía con la afinidad humana

En el año 2009 se cumplieron 200 años de la publicación de la famosa novela de Johann Wolfgang Goethe: *Las afinidades electivas*. La novela tiene dos personajes



principales, la pareja formada por Eduard y Charlotte, que se ve alterada por la llegada de otra pareja: El Capitán y Otilie; cada personaje tiene características específicas, igual que los elementos químicos. Goethe explica, a través de la descripción que da El Capitán, sobre las atracciones electivas o afinidades dobles: “Supóngase al elemento A conectado tan cercanamente al elemento B, que todo tipo de medios usados para separarlos -aun la violencia- ha sido infructuoso. Luego suponga al elemento C, en la misma posición con respecto al D. Ponga los dos pares en contacto; A se arrojará sobre D y C sobre B, sin poder decir cuál dejó primero a su primera conexión o hizo el primer movimiento hacia el segundo”. Esto es, cuando un compuesto "AB" se une con otro "CD" para dar lugar a los compuestos "AC" y "BD", como es el caso del nitrato de plata que se combina en disolución acuosa con el cloruro de potasio para producir nitrato de potasio, en la solución y cloruro de plata, precipitado:  $\text{AgNO}_{3(\text{ac})} + \text{KCl}_{(\text{ac})} \rightarrow \text{KNO}_{3(\text{ac})} + \text{AgCl}_{(\text{s})}$  pareciendo que los ingredientes de los primeros compuestos estuvieran prefiriendo la segunda relación. La pasión que surge entre Eduard y Otilie los une fuerte pero parcialmente, porque la culpa que siente Eduard -por haber traicionado a Charlotte- los separa, hasta que ambos se unen en una la muerte que llega por decisión propia y que hace que su unión sea incompleta- mientras que el amor medurado y considerado que nace entre El Capitán y Charlotte permanece, con inciertas posibilidades de una unión permanente. “Justo como resulta imposible la completa unión de un ácido y un álcali, excepto en la forma de un precipitado, Eduard y Otilie se “filtran” de la vida hacia el lugar de una eterna unión, la cripta, dejando a El Capitán y a Charlotte en un enlace más móvil “dentro de la solución”, la vida [11]. La analogía usada por Goethe entre las relaciones humanas y químicas es explícita [12].

*Las afinidades electivas* de Goethe son el resultado de su interés por la química, motivado por la imagen pública que ella desarrolló durante el siglo XVIII; para inicios del XIX era una ciencia pujante, pertenecía a la alta burguesía y se fortalecía en los salones y las salas de entretenimiento; nada que ver con sus inicios en el siglo XVII, cuando se crean sus antecedentes. Uno importante sobre la afinidad química lo establece Boyle (1675) al reflexionar sobre las experiencias, observaciones e ideas relativas a la afinidad registradas por varios de los primeros químicos, algunos de ellos colaboradores suyos: 1) El holandés Johann Rudolf Glauber (1604-1670), quien se concentró desde el inicio de su trabajo en las sales ácidas, descubrió (1655) el sulfato sódico ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), partiendo de sal ( $\text{NaCl}$ ) y ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentrado, conocido como sal de Glauber o Mirabilis, y comenzó su fabricación con un proceso que es considerado como el iniciador de la industria química; escribió cerca de 40 libros relativos a la química de las sales y describió múltiples recetas de productos químicos y farmacéuticos. 2) Franciscus Sylvius (1614-1672), alemán fundador de la Escuela iatroquímica de Medicina, quien creía que todos los procesos vitales y las enfermedades se basaban en reacciones químicas, por lo que intentaba comprender la medicina en términos de reglas universales fisicoquímicas; introdujo el concepto de “afinidad química” como una

manera de entender los mecanismos electrolíticos del cuerpo humano. 3) El alemán Otto Tachenius (1610-1680) -quien junto a Boyle sentó las bases del análisis químico cualitativo- escribió el libro *Hippocrates chemicus* (1666) para replicar en defensa ante los ataques sobre la novedad y eficacia de su sal *viperina*; en él elaboró su teoría de los álcalis y otra más avanzada en la que establecía que los ácidos y los álcalis eran los dos principios o elementos de todas las cosas. 4) El inglés John Mayow (1640-1679), quien publicó cinco escritos diferentes entre 1668 y 1674, donde decía: “los experimentos de Boyle han probado que algo del aire es necesario para la producción del fuego, se ha demostrado que una llama se apaga mucho antes en un vaso que no contiene aire que uno que sí contiene, lo que demuestra que la llama se apaga, no porque sea estrangulada por su propio hollín como algunos han supuesto, sino porque es privada de su “alimentación aérea”; Mayow llegó a pensar que no todo el aire alimentaba al fuego, sino sólo una parte de él lo hacía, la más activa y sutil, a la que llamó “aire-ígneo”; también llegó a la conclusión de que este componente era absolutamente necesario para la vida y creía que los pulmones lo extraían de la atmósfera y lo pasaban a la sangre; que era necesario para todos los movimientos musculares y que había razones para pensar que la contracción repentina -un espasmo- de los músculos era producida cuando se combinaba con otros combustibles del cuerpo (salino-sulfurosos, especificaba), por lo que el corazón, siendo un músculo, deja de latir cuando la respiración se detiene. 5) El francés Nicolás Lemery (1645-1715), fue quien desarrolló la primera teoría sobre la química del ácido-base (1680), aplicando a la química la filosofía mecánica; era esta una forma de filosofía natural popular en el siglo XVII -enriquecida por el filósofo, matemático y físico francés René Descartes (1596-1650) quien pensaba que todo lo físico en el universo estaba hecho de pequeñas partículas o corpúsculos (retomando el atomismo griego) y que no podía haber un vacío porque toda la materia estaba constantemente girando en remolinos-. Lemery impartió cursos en los jardines reales, en los cuales expresó su oposición a la alquimia y expuso muchos de sus trucos, la llamó “el arte sin arte”, definiendo a la química como “el arte que enseña como separar las diferentes sustancias que se encuentran en un compuesto”. Propuso que debía existir otro tipo de explicaciones, con lo que imaginó que la superficie de las partículas elementales de las sustancias ácidas tenían picos o puntas, como los cardos -con eso explicaba su sabor agrio, picor y capacidad para atacar y corroer sustancias- mientras que las alcalinas poseían agujeros o poros; al mezclarse, los picos de las ácidas se introducían en los agujeros de las alcalinas, neutralizándose las sustancias al perderse los picos y los poros y enlazándose para formar compuestos. Debido a que su libro *Cours de Chymie*, publicado por él en 1675, constituyó la suprema autoridad química en Europa durante más de un siglo -tuvo múltiples ediciones y fue traducido a casi todas las lenguas europeas- la teoría de afinidad mecánica sobrevivió muchos años.

Ese mismo año, Boyle, con las ideas de sus contemporáneos y las propias, usó su claridad mental y su

influyente pluma para escribir un libro en el que plasma una teoría [13] planteando tres hipótesis químicas: 1. La existencia de dos principios salinos contrarios (al observar las muy diferentes propiedades entre las sustancias ácidas y alcalinas); 2. La presencia de un conflicto entre ellas (la intensidad de la reacción al juntar una sustancia ácida con una alcalina); y 3. La anulación de las propiedades de las sustancias originales al unir las (la sustancia producida, una sal, era neutra). Así, explicaba los átomos, los enlaces, la afinidad química y el cambio en las propiedades de las sustancias afines reaccionantes.

En 1718, Etienne Francois Geoffroy (1672-1731) presentó ante la Académie des Sciences de París una “tabla cualitativa de las diferentes relaciones químicas empíricas entre diversas sustancias” [14], la cual contiene 16 columnas, una por cada sustancia, representadas por sus símbolos medievales. Geoffroy explicaba: “se observan ciertas relaciones -no quería llamarlas afinidades- que hacen que los cuerpos se unan fuertemente los unos con los otros...; se observan diferentes grados de relación, de arriba hacia abajo, por lo que las sustancias en la posición más alta en las columnas, los *espíritus ácidos*, son seguidos por las *sales álcalis fijas*, uniéndose siempre entre ellas, preferiblemente a todas las que le siguen, sin que ninguna pueda separarlas; si la unión es entre cualquiera de las tres que les siguen con los *espíritus ácidos*, ocurrirá que cuando se les aproximen las *sales álcalis fijas*, las primeras quedarán en libertad, dejándoles su lugar para que unan con los ácidos”. Este concepto de relación entre sustancias implicaba una explicación en términos de afinidades; seguramente Geoffroy buscaba una pauta que le permitiera entender el orden de los comportamientos de las sustancias al unirse, para poder hacer predicciones. Su tabla tiene ese gran valor lo que llevó a la proliferación de trabajos similares, los de: Jean Grosse (1730) con 19 columnas; Chistlieb Ehregot Gellert (1750) con 28; Antoine Rüdiger (1756) con 25; Jean Philippe Limbourg (1758) con 33; Philipi Ambrosii Marherr (1762) con 20; Jacob Reinbold Spielmann (1763) con 28; Guillaume Francois Rouelle (1763) con 19; Jacques Francois De Machy (1769) con 20; Antoine Francois de Fourcroy (1773) con 36; y Denis Diderot (1778) con 12. Más adelante (1749), con un mayor conocimiento de la química, Pierre Joseph Macquer, hizo una distinción entre la afinidad simple entre dos sustancias y la compleja, entre tres o más. En el mismo sentido, Antoine Baumé (1788) distinguió siete tipos diferentes de afinidad, según las características de la reacción e indicó la necesidad de 2 juegos de tablas, una para la vía seca y otro para la húmeda [15]. Torbern Bergman (1775) construyó varias tablas con información sobre la afinidad química. Una primera versión de estas fue editada por el propio Bergman en 1775 y otras dos ediciones mejoradas de las mismas se publicaron en el texto de Bergman *Disquisitio de Attractionibus Electivis* en 1775 y en 1783 [16]; algunas de ellas incluyen 29 columnas con información sobre la afinidad química de 27 ácidos, 8 bases y 14 metales, diferenciando entre reacciones por vía húmeda, seca o forzadas por el fuego [17], resultando una verdadera herramienta visual sobre las afinidades, que no ayudó para encontrar una pauta sobre la

unión química. El francés Antoine Lavoisier (1743-1794) construyó una tabla de *acidez* (cuando Lavoisier comprobó la existencia del oxígeno, lo definió como un *principio ácido*), basada en la afinidad del oxígeno con 25 sustancias y las combinaciones (afinidades) del nitrógeno, hidrógeno, azufre, fósforo, carbón y alrededor de 25 ácidos con diversas sustancias, las cual publicó en su libro *Traité élémentaire de chimie* (1789) [18]. La mayor experiencia y conocimiento respecto a sus antecesores, lo llevó a considerar que cualquier tabla de afinidad debía de expresar la temperatura a la que era válida, ya que las reactividades relativas dependen de este factor y del grado de concentración de las disoluciones. El carácter de las tablas era claramente cualitativo; algunos intentaron medir las afinidades, con lo que se obtendría un método cuantitativo. En 1700, Wilhelm Homberg (1652-1715) trató de encontrar la cantidad de base que lograría neutralizar distintos ácidos, cosa que lograría (1777) Carl Friederich Wenzel (1740-1793) al demostrar que 123 partes de  $\text{Ca(OH)}_2$  y 222 de  $\text{KOH}$  debían de ser consideradas equivalentes para neutralizar 181.5 partes de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  o 240 partes de  $\text{HNO}_3$ , que vino a ser la base del *peso equivalente*; luego, intentó determinar las velocidades relativas de la disolución de los metales en los ácidos conocidos; y, en 1781, Richard Kirwan (1733-1812) expresó que los pesos de las distintas bases, necesarios para saturar un peso conocido de un ácido, eran la medida de la afinidad de los últimos por las primeras y construyó una tabla con sus resultados. Se propusieron los diagramas de afinidad también como un intento de cuantificar la afinidad, los cuales servían para mostrar las *atracciones electivas dobles*: tres ingleses lo iniciaron: William Cullen (1710-1790), George Fordyce (1736-1802) y Joseph Black (1728-1799); este último adicionó una columna a la tabla de Geoffroy, gracias a su trabajo con el carbonato de magnesio y los ácidos. A modo de ejemplo, Fourcroy incluyó en su libro de texto el diagrama de afinidades para el sulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) [19]. Dice Fourcroy que el diagrama, un cuadrado, sirve para apreciar que, cuando el compuesto no puede ser destruido por una tercera o cuarta sustancia, se necesita del contacto de otro compuesto para que ambos se descompongan. En la parte exterior del diagrama, a la mitad de los lados del cuadrado: a la izquierda se ubica al  $\text{K}_2\text{SO}_4$  y a la derecha el nitrato de calcio,  $\text{Ca(NO}_3)_2$ ; arriba se encuentra el nitrato de potasio,  $\text{KNO}_3$  y abajo el sulfato de calcio,  $\text{CaSO}_4$ . En la parte interior: en la esquina superior izquierda está colocado el hidróxido de potasio,  $\text{KOH}$ , y en la de la derecha el ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$ ; en la esquina inferior izquierda está el ácido sulfúrico,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , y en la de la derecha el hidróxido de calcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ . Fourcroy explica que el  $\text{K}_2\text{SO}_4$  es el resultado de una combinación del  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y del  $\text{KOH}$ :  $2\text{KOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ , que no puede ser descompuesto individualmente por el  $\text{Ca(OH)}_2$  ni por el  $\text{HNO}_3$  en frío, pero que poniendo una cantidad conveniente de  $\text{Ca(NO}_3)_2$  -formado por la unión del  $\text{HNO}_3$  y del  $\text{Ca(OH)}_2$ - dentro de una solución de una sal neutra del  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , los dos compuestos se descompondrán mutuamente: el  $\text{HNO}_3$  se unirá con el  $\text{KOH}$  para formar  $\text{KNO}_3$ :  $\text{HNO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ , mientras que el  $\text{H}_2\text{SO}_4$  se une

con el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  para formar el  $\text{CaSO}_4$  que precipitará por ser menos soluble que el  $\text{KNO}_3$ :  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ . En el mismo interior del diagrama, junto al  $\text{K}_2\text{SO}_4$  está el número 8, que representa el valor asignado (supuesto por Fourcroy) a la fuerza de adhesión del  $\text{H}_2\text{SO}_4$  con el  $\text{KOH}$  y junto al  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  está un 4 que representa la fuerza de adhesión entre el  $\text{HNO}_3$  y el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; ambos números, cuya suma es 12, están unidos por la frase *quiescent attractions*, que es la tendencia a preservar a los dos compuestos unidos; justo debajo del  $\text{KNO}_3$  está un 7 y sobre el  $\text{CaSO}_4$  se ubica un 6, que son los valores estimados de la fuerza de adhesión del  $\text{KOH}$  con el  $\text{HNO}_3$  y del  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , respectivamente; ambos números, cuya suma es 13, están unidos por la frase *divellent attractions* para indicar el valor (supuesto) que contraataca y destruye a las *quiescent attractions*, por lo que, si el valor de la suma de las primeras (en este caso 13) es mayor al de las segundas (12) existirá una doble descomposición y una nueva doble combinación. En la descripción anterior se ha traducido el lenguaje alquímico que se continuaba usando en el siglo XVI -el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  aparece en el diagrama como *cal*, el  $\text{KOH}$  como *potasa*, el  $\text{CaO}$  como *cal viva* y el  $\text{KNO}_3$  como *nitreal* lenguaje químico actual, cuyas bases sentaron Lavoisier y sus colaboradores y que Fourcroy incluyó en la última edición de su libro (1791). Del ejemplo de Fourcroy nace la idea de las dos parejas de la novela de Goethe. No todos los químicos de la época estaban de acuerdo con la teoría de la afinidad por lo que hubo objeciones, una general procedió de las condiciones en las que se medía la afinidad: en seco o por vía húmeda; otra, vino de Antoine Fizes (1689-1765), quien afirmó que afinidad y atracción eran conceptos incapaces de explicar ningún hecho químico y otra más de Antoine Monnet (1744-1829), quien decía que era quimérico pensar que la afinidad pudiera aportar algo útil a la ciencia. Su intuición fue cierta pues los intentos no fueron exitosos; sin embargo, el trabajo realizado alrededor de estos conceptos permitió entender y avanzar en otros importantes para la química.

Durante los primeros tres cuartos del siglo XVIII lo comúnmente aceptado era que las sustancias que se unían perdían algunas de sus propiedades, mientras que los compuestos resultantes tomaban algo de esas propiedades originales. Las ideas respecto a la afinidad, que prevalecieron durante un poco más del tercer cuarto del siglo XVIII en Europa e Inglaterra, se encuentran en el libro del francés Pierre J. Macquer (1718-1784) [20], en el cual establece siete propuestas para explicar “la naturaleza de las afecciones de la materia”; en ellas están dos definiciones de afinidad, una en el aspecto físico “todas las sustancias similares tienen una Afinidad entre ellas y están consecuentemente dispuestas a unirse; como el agua con el agua y la tierra con la tierra; y otra en el químico, “si un cuerpo consiste de dos sustancias y se le presenta una tercera, que ninguna afinidad tiene con una de las primeras, pero tiene una gran afinidad con la otra, mayor de lo que las dos primeras tienen entre ellas, habrá una descomposición y una nueva unión; esto es, la tercera sustancia separará a las dos primeras para unirse con la que tiene gran afinidad, dejando en libertad a la otra. Algunas

veces la tercera sustancia no separa la unión de las dos primeras, sino que se une al compuesto, formando uno nuevo. En 1789, 25 años después de la publicación de los libros de Macquer, sale a la luz el libro de un colaborador del francés Antoine Lavoisier, el también francés Antoine Francois Fourcroy (1755-1809) *Elements of Natural History and of Chemistry* [19]. Él también hace una distinción entre una afinidad física y otra química; a la primera le llama “Atracción” o “Afinidad de agregación” y ofrece como ejemplo “cuando dos glóbulos de mercurio están separados por cierta distancia y tienden, en virtud a una fuerza, a unirse para formar una esfera”; a la segunda la define como “Atracción” o “Afinidad de composición”; para esta plantea ocho leyes, en las que puede notarse un cambio respecto a las 7 proposiciones de Macquer; en resumen dicen: 1. Las sustancias deben de ser de naturaleza diferente; 2. La atracción actúa sólo entre las partículas diminutas de los cuerpos; 3. Se pueden unir más de dos sustancias; 4. Por lo menos una de las sustancias debe de estar en estado fluido; 5. Al combinarse dos sustancias sufren un cambio de temperatura; 6. Dos sustancias unidas forman un compuesto cuyas propiedades son diferentes al de las sustancias que lo formaron; 7. La afinidad es medible por la dificultad de destrucción del compuesto formado; y 8. Existen diferentes grados de atracción química entre las sustancias, que puede determinarse por observación. Este resumen presenta la idea que para entonces se tenía de la afinidad.

#### 4. La afinidad química a través de la lógica

El mismo año (1789) Antoine Lavoisier publicó su libro *Traité Élémentaire de Chimie*; en el *Discurso preliminar* Lavoisier explica dos aspectos muy importantes: 1. Que en sus trabajos anteriores no había evidenciado los principios de la lengua establecidos por su amigo el abad Etienne Bonnot De Condillac (1715-1780), contenidos en su obra relativa a la lógica [21], los cuales establecen que “no pensamos más que con el auxilio de las palabras; que las lenguas son verdaderos métodos analíticos; que el álgebra más sencilla, exacta y adecuada en la forma de expresar su objeto, es a la vez una lengua y un método analítico; y que el arte de razonar no es más que una lengua bien hecha”, por lo que, dice, recapacitó y estableció que su único objeto al ocuparse de la nomenclatura era perfeccionar la lengua química. Lavoisier había publicado el trabajo *Méthode de nomenclature chimique* (1787), realizado junto a Louis Bernard Guyton de Morveau (1737-1816), quien había tenido la idea de reformarla, Claude Louis Berthollet (1748-1822) y Antoine Fourcroy. Ellos quedarían como herederos del prestigio de Lavoisier después de que murió guillotinado durante la revolución francesa. 2. Que él mismo se había impuesto una ley rigurosa: la de nunca pasar más que de lo conocido a lo desconocido; de no deducir ninguna consecuencia que no se derive inmediatamente de las experiencias y observaciones; y de encadenar los hechos y las verdades químicas en el orden más apropiado que facilite la comprensión, todos principios contenidos en la obra del abad de Condillac- y que, fundamentado en esta ley, decidió omitir el tema de las



afinidades químicas o atracciones electivas en su libro porque “sin dejar de apreciarlo como la parte de la química más susceptible quizá de llegar a ser un día una ciencia exacta, no se tienen aún los datos básicos o estos no son lo bastante precisos y exactos como para que puedan llegar a ser el apoyo fundamental de una parte tan importante de la química”. Sin la influencia del pensamiento del abad De Condillac, la obra de Lavoisier no sería lo que es.

#### 4. Conclusión

Sin la liberación del pensamiento europeo, suscitado por el conocimiento del pensamiento clásico griego, la historia del desarrollo de la ciencia hubiera sido diferente y habría tomado otros caminos y, tal vez, mucho más tiempo. De cualquier forma, no fue sencillo desembarazarse de las creencias medievales y lograr encauzar el entendimiento por el camino de la lógica y la razón. La idea de crear tablas y diagramas de afinidad entre las sustancias y todo el trabajo desarrollado a su alrededor como instrumentos para entenderla, no fueron del todo vanos pues abrieron otros caminos.

#### 5. Referencias

- [1] Salas, G., Ramírez, J., Restrepo, O., Cockrell, B. y Noguez, M. La importancia de llamarse afinidad química. Parte I: La semilla. Dyna, Año 79, No. 173, pp. 135-144, 2012.
- [2] Salas, G., Ramírez, J., Restrepo, O., Noguez, M. y Cockrell, B. La importancia de llamarse afinidad química. Parte II: La semilla germina. Dyna, Año 80, No. 177, pp. 162-170, 2013.
- [3] Salas, G., Ramírez, J., Restrepo, O., Noguez, M. y Cockrell, B. La importancia de llamarse afinidad química. Parte III: El crecimiento vano. Dyna, Año 80, No. 181, pp. 219-144, 227, 2013.
- [4] Pagden, A. The idea of Europe, Cambridge University Press/Woodrow Wilson Center Press, Cambridge y Washington, p.81, 2002.
- [5] *Ibid.*, p.84.
- [6] Southern, R.W. Scholastic humanism and the unification of Europe Volume I: Foundations, Basil Blackwell, Oxford, p.1, 1995.
- [7] *Ibid.*, pp. 205-206.
- [8] Crombie, A.C. Grosseteste's position in the history of science, en Robert Grosseteste: Scholar and Bishop, D. A. Callus (ed.), Clarendon Press, Oxford, p. 98, 1955.
- [9] Morris, C. The discovery of the individual: 1050-1200, SPCK, Londres, pp.161-166, 1972.
- [10] Boyle, R. The sceptical chymist, en Birch, T. (ed.) The Works of the Honorable Robert Boyle, Johnson *et. al.*, Londres, 1772.
- [11] Mi Gyung, K. Affinity, that elusive dream, The MIT Press, Cambridge y Londres, p. 1, 2003.
- [12] Adler, J. Goethe's use of chemical theory in his elective affinities, en Cunningham, A. and Jardin, N (eds). Romanticism and Sciences, Cambridge University Press, Cambridge, p. 263-279, 1990.
- [13] Boyle, R. About the mechanical origin or production of divers particular qualities among which is inserted a Discourse of the imperfection of the chemist's doctrine qualities; Together with some Reflections upon the Hypothesis of Alkali and Acidum, Flesher, Oxford, 1675.
- [14] Geoffroy, E.F. Table des différents rapports observés en Chimie entre différentes substances, Histoire de l'Académie Royale des Sciences. Avec des Mémoires de Mathématique & de Physique pour la même Année, 202-212, 1718.
- [15] Portela, E. La química ilustrada, Vol. 33; Akal, Madrid, p. 20, 1999.
- [16] Grapí, P. La relevancia de la textualización en la implantación de una innovación científica, el caso de las afinidades químicas a principios del siglo XIX en Francia, ÉNDOXA, Series Filosóficas, No. 14, pp. 137-155, 2001.
- [17] Bertomeu, J.R. La constitución de la química moderna, disponible en <http://www.uv.es/~bertomeu/material/museo/GUIA4.html>. [Consultado el 8 de enero de 2014].
- [18] Lavoisier A. Traité élémentaire de chimie présenté dans un ordre nouveau et d'après les decouvertes modernes, Tome premier, Paris, chez Couchet libraire, pp. 203-322, 1789.
- [19] Fourcroy, A.F. Elements of natural history and of chemistry, Vol. I, impreso para C. Elliot and T. Kay; and C. Elliot (Edimburgo), Londres, pp 63-65, 1790.
- [20] Maquer, P.J. Elements of the theory and practice of Chemistry, Vol. I, impreso para A. Millar y J. Nourse, Londres, p. 11-14, 1758.
- [21] De Condillac, E.B. La logique, ou les premiers développemens de l'art de penser, L'esprit & Debure l'ainé, Paris, 1780.