

Filosofía de la química:

I. Sobre el método y los modelos

José Antonio Chamizo*

ABSTRACT (Philosophy of Chemistry: I. About method and models)

Considering the difficulties identified by the philosophers of science to the universal and unique scientific method, the method of the chemistry is characterized with the analysis and the synthesis. Through same it is possible to explain the exponential growth of the chemical information in the last years.

KEYWORDS: Models, Analysis, Synthesis, Philosophy of Chemistry, Chemistry knowledge growth

En esta ocasión hemos pedido a seis destacados investigadores educativos que nos elaboren un escrito sobre “modelos y analogías en la enseñanza de la química”. Ellos son, en orden alfabético: José Antonio Chamizo, Richard Coll, Rosaría Justi, José María Oliva, Andrés Raviolo y David Treagust, dos de los cuales presentan su trabajo acompañado de una colega: María del Mar Aragón, y un colega: Gail Chittleborough. Agradecemos a todos ellos la entrega puntual de sus escritos. No cabe duda que los temas de la modelización y las analogías llegaron para quedarse muchos años en el análisis de los investigadores educativos de la didáctica de la química. Esperemos que disfruten estos artículos los lectores.

Introducción

La química, tal como la conocemos hoy, es resultado de una multitud de herencias que, concretadas en oficios, influyeron en la vida cotidiana de todas las culturas. No deja de ser sorprendente que prácticas tan diferentes como la del herrero —y la metalurgia—, el curandero —y la farmacia—, el alfarero —y la cerámica—, el panadero —y la biotecnología— hayan podido estar reunidas y terminar por fundirse en un campo común: la química, donde se estudia, se practica y se transmite cómo transformar la materia. Pero esto se lleva a cabo con un método particular y con un lenguaje propio (Chamizo, 2005) o también a través de una lógica específica (Jensen, 1998). El reciente conocimiento de lo anterior no ha permeado aún en la comunidad académica que sigue pensando la química de acuerdo con la visión lógico positivista, como una ciencia reducida a la física. Y así la enseñamos, y así fracasamos, al menos en los niveles básicos (Van Aalsvoort, 2004).

Que la química no puede ser reducida a la física ha sido abordado a partir de dos tipos de reduccionismo: ontológico y epistemológico (Silberstein, 2002). A pesar de los intensos debates que se han dado en este terreno, donde los problemas importantes son aquellos relacionados con “el tipo de relaciones”, o con “la forma en la que se establecen las relaciones”, en los últimos años se ha ido fortificando una nueva postura ‘herética’ llamada “semántica” que niega la posibilidad de la reducción gestada desde el positivismo lógico. Uno de los principales exponentes de esta postura es el filósofo R. Giere que indica (1992, p. 106):

La mayoría de las teorías de la ciencia, viejas o nuevas, suponen que cualquier relación representacional entre la teoría y la realidad ha de entenderse como una ‘correspondencia’ entre los enunciados científicos y el mundo. El destino de cualquier concepción de las teorías como algo que representa la realidad ha sido asociado, de esta forma, con los destinos de la teoría de la correspondencia de la verdad. Es en este punto donde se entabla generalmente la batalla... [...]. En nuestra explicación no existe relación directa entre los conjuntos de enunciados y el mundo real. La relación es indirecta por intermediación de un modelo teórico.

A pesar de la larga historia de la química, su filosofía es prácticamente una nueva actividad intelectual. Sólo hasta hace poco más de una década aparecieron las primeras revistas especializadas en el tema (Hyle y Foundations of Chemistry) en las cuales se reflexiona sobre muchos asuntos, como el de los modelos y el de la relación con la educación, asunto que también se trata en el recientemente aparecido libro *La esencia de la Química* (Chamizo, 2007).

Respecto a los modelos hay que hacer notar que se discute filosóficamente su autonomía respecto a las teorías fundamentales de las ciencias (Fisher, 2003) lo cual permite, como ya se indicó de otra manera, explicar la química sin recurrir a la física.

Inicio con el presente una serie de artículos sobre filosofía de la química en la que intentaré perfilar sus principales características, que la hacen diferente de las otras formas de conocimiento y que, por lo tanto, requieren una forma diferente de enseñar y aprender.

* Facultad de Química, UNAM

El método de la química La ciencia se divide en dos categorías; física y filatelia.

E. Rutherford (1871-1937)

La química crea su objeto

M. Berthelot (1827-1907)

El término “herejía” sugiere una afirmación contraria a principios comúnmente aceptados. Herejía significa elección, opción. Cuando hay una fuerte adhesión por parte de las sociedades humanas a ciertos saberes generales, y por tanto culturales, se habla de “ortodoxia”. No hay herejía si no hay ortodoxia; es en su enfrentamiento donde se reconocen y caracterizan.

La visión ortodoxa de la ciencia moderna está centrada en una elite de protagonistas descubridora del mundo y creadora de teorías y máquinas fascinantes. De manera general esta visión ortodoxa sostiene que el conocimiento se alcanza a través de un método, el denominado método científico, que consiste en una serie de pasos que permiten, en caso de cumplirse rigurosamente, ser aceptado por una comunidad, la comunidad científica, en lo que después de las aportaciones del filósofo alemán H. Reichenbach (Reichenbach, 1938) —uno de los más famosos exponentes del positivismo lógico—, identificamos como contexto de justificación. El mito del ‘método científico universal’ (McComas, 2000) reconocido como el algoritmo del conocimiento aparece en una multitud de libros de texto, generalmente como la secuencia de los siguientes pasos: observación de un fenómeno, elaboración de una hipótesis, prueba de la misma, conclusiones. Este mito ha sido tan poderoso, en parte, porque las publicaciones científicas se escriben siguiendo este protocolo, y porque muchos alumnos, y también profesores que no han sido practicantes profesionales, asumen que así y sólo así se obtiene el conocimiento científico.

La narración histórica de los Galileo, Newton, Pasteur, Einstein y de sus irrepetibles obras siguiendo un ‘método científico’ ha alejado durante muchos años el saber científico del medio cultural en el que nace, crece y se desarrolla. Tanto es así que hoy está de moda el término “ciencia y sociedad”, como si la ciencia, mejor dicho sus practicantes, la hicieran a espaldas de la sociedad en la que se gesta. Es una herencia de la visión ortodoxa, es decir el positivismo lógico (van Aalvoort, 2004):

donde se asume que el conocimiento científico puede ser aplicado en todas las situaciones por cualquier persona, sin importar el tiempo ni el lugar. Es por lo tanto un conocimiento especialmente valioso. La tecnología es la aplicación del conocimiento científico para resolver las necesidades sociales identificadas a partir de ciertos valores. Así la tecnología no es parte de la ciencia. La sociedad usa las aplicaciones que la tecnología le proporciona. Esto significa que el positivismo lógico establece una división entre la ciencia por un lado y la tecnología y la sociedad por el otro.

Una herética revisión sobre la validez de un único método científico de validez universal (Feyerabend, 1975) y sobre la historia de la ciencia y la tecnología (Toulmin, 1972; Christie & Golinski, 1982; Nye 1993; Pickstone, 2000) indica que ésta no se refiere únicamente a una serie de sucesiones, o de reemplazos de una clase de conocimiento por otra; es más una cuestión de acumulación compleja y de variedad simultánea, disputada en un cierto plazo. Así, Pickstone reconoce tres grandes tipos de formas de conocer que aquí permiten esbozar el método de la química:

- La historia natural que se refiere a una primera clasificación de los componentes del mundo. Comprende la variedad de objetos naturales o artificiales, normales o patológicos. Es el espacio de las taxonomías: celestes, geológicas o biológicas y del lugar donde se vuelven públicas, los jardines botánicos, los zoológicos y los grandes museos de ciencias.
- El análisis. Si la variedad y el cambio son identificados por la historia natural, el análisis busca el orden por disección. El análisis aparece cuando los objetos se pueden ver como compuestos de ‘elementos’, o cuando los procesos se pueden ver como el ‘flujo’ de un ‘elemento’ a través de un sistema. Es el espacio de los laboratorios de anatomía, química, física e ingeniería y del lugar donde se vuelven públicos, las escuelas, institutos, politécnicos, hospitales y universidades.
- La síntesis. Si el análisis considera el separar cosas, la síntesis es sobre cómo ponerlas juntas. El análisis especifica la composición de lo ‘conocido’ para posteriormente, poniendo juntos los ‘elementos’, crear nuevos objetos o fenómenos. La síntesis, en la producción sistemática de la novedad. Es el espacio ‘privado’ del control, ya sea por motivos militares o económicos, de los laboratorios de biomedicina y farmacia, de diseño de nuevos materiales o de física nuclear, así como del lugar donde se vuelven públicos, el complejo tecnocientífico industrial.

Esta nueva manera de reconocer —valga la redundancia— el conocimiento no pondera una estrategia sobre las otras, más bien caracteriza su presencia en una determinada época histórica. Ahora bien, al aceptar lo anterior también se van aceptando algunas de las tesis del filósofo croata S. Lelas (Lelas, 1993); es decir, que el conocimiento científico no es únicamente sobre lo que hay en el Universo, sino también sobre lo que puede haber y que lo que puede haber se hace “visible” haciendo y no contemplando. Más aún que la actividad de producir no sólo es relevante para el conocimiento científico sino crucial. Los científicos descubren cuando implementan. O como lo indica el filósofo español J. Echeverría al precisar el concepto de tecnociencia (Echeverría, 2003, p. 318):

La tecnociencia no es sólo la búsqueda de conocimiento representacional adecuado, sino ante todo un sistema de acciones eficientes basadas en conocimiento científico que

transforman al mundo. Están desarrolladas tecnológicamente e industrialmente, y ya no sólo versan sobre la naturaleza, sino que también se orientan a la sociedad y a los seres humanos, sin limitarse a describir, explicar, predecir o comprender el mundo, sino tendiendo a transformarlo basándose en una serie de valores satisfechos, en mayor o menor grado, por la actividad tecnocientífica y por sus resultados.

La historia natural de la química tiene en la multiconocida tabla periódica de Mendeleiev su ejemplo paradigmático. Es el icono de la disciplina, omnipresente en aulas y laboratorios de todo el mundo, y será motivo de una discusión posterior.

Otro es el caso del análisis. Pero antes de continuar es importante aclarar qué entiendo por modelo (Chamizo, 2008). La palabra modelo es polisémica; se ha empleado y se emplea aún con sentidos diversos. Por un lado es ejemplar, es decir, indica aquellas cosas, actitudes o personas que se propone imitar. La valentía de un guerrero, la inteligencia de un sabio, la solidaridad de un médico, la velocidad de un corredor o la belleza de una mujer son ejemplos de modelos en este sentido. En el presente texto se emplea la palabra modelo en su otro y también generalizado sentido. Así, aquí:

Los modelos (**m**) son representaciones, basadas generalmente en analogías, que se construyen contextualizando cierta porción del mundo (**M**), con un objetivo específico.

En esta definición todas las palabras son importantes: las representaciones son fundamentalmente ideas, aunque no necesariamente, ya que también pueden ser objetos materiales. Las representaciones no son autoidentificantes, lo son de alguien que las identifica como tal. Una analogía está constituida por aquellos rasgos o propiedades que sabemos similares en **m** y **M**. *Que se construyen contextualizando*, remite a un tiempo y lugar históricamente definido, lo que además enmarca la representación; *cierta porción del mundo* indica su carácter limitado y finalmente *un objetivo específico*, establece su finalidad, general pero no necesariamente, el explicar. Hay que recordar que la explicación es una de las más significativas características de las ciencias.

Desde el principio, el análisis de las sustancias, asociado permanentemente al concepto de pureza, ha sido una obsesión para los químicos. Toda vez que las sustancias “naturales” no son puras, la separación de las partes que las constituyen, el aislamiento de lo que se quiere hasta donde sea posible, ha sido una constante del quehacer químico, incluso desde que éste era alquímico. Una buena parte de la historia de la química ha sido la de las técnicas de separación y purificación. El filósofo francés G. Bachelard, en su muy particular estilo, así lo indica (1976, p. 103):

...el químico busca primero la sustancia homogénea, después pone en tela de juicio la homogeneidad, buscando detectar lo otro en el seno de lo mismo, la heterogeneidad oculta en el seno de la homogeneidad evidente.

Después de una larga trayectoria, enmarcada en la búsqueda de la piedra filosofal, queda claro que no hay tal cosa como sustancias puras, lo que hay es un modelo de sustancia pura que se ha venido construyendo a lo largo de los años. De nuevo Bachelard (1976, p. 102):

Pero si verdaderamente se pueden aislar y distinguir especies materiales, será necesario especificarlas dentro de una cierta pureza material, así como se especifica a los objetos geométricos dentro de una determinada pureza formal. Y así como no se tienen en cuenta algunos accidentes contingentes para juzgar acerca de la forma de un objeto, no se debe anegar a las especies materiales en una diversidad superabundante.

La pureza depende de nuestra posibilidad técnica de identificar impurezas. Así la IUPAC define el límite de detección como aquel que indica la concentración c_L o la cantidad q_L obtenida por la medición más pequeña X_L que puede ser detectada con una razonable certidumbre por una técnica analítica particular. Hasta hace pocos años, una sustancia desconocida podía ser identificada mediante espectrometría de masas, teniendo solamente una diezmillonésima de gramo de ella. Si la sustancia es conocida, se requiere menos cantidad para identificarla: una billonésima de gramo. Por ejemplo el ingrediente activo de la marihuana (tetrahidrocannabinol) puede ser encontrado en la sangre después de una semana de haberse ingerido, y en concentraciones tan pequeñas como una cienmillonésima de gramo por mililitro de sangre. Ésta es la misma relación que hay entre un gramo y un poco más de 10 jumbojets cargados. Los avances experimentales van redefiniendo la pureza y con ello el propio conocimiento químico. Hace un año ya era posible detectar 0.01 ng/L de Li, 1 ng/L de Hg o 20 ng/L de As. Cuando nos referimos a moléculas se trata (depende de su propio tamaño) de aproximadamente 100 millones de moléculas por litro. Por ello S. Rowland, ganador del premio Nobel de Química en 1995 (con Mario Molina) por su trabajo sobre el adelgazamiento de la capa estratosférica de ozono, ha dicho que la química atmosférica “apareció” con el advenimiento de las técnicas de análisis capaces de detectar una parte en mil millones; es decir, cuando se estuvo en posibilidad de distinguir una molécula específica entre mil millones de moléculas distintas.

Así, el máximo de garantía de pureza no reside en el valor natural sino en una aplicación rigurosa de los métodos. Es merced a la aplicación vigilada de los métodos que el materialismo establece un nuevo sustancialismo: el de las sustancias sin accidente. La constitución técnica de una sustancia enteramente normalizada excluye toda fantasía y toda incertidumbre. La química prepara una sustancia en serie [...] con las sustancias sin accidentes provistas de cualidades sin fluctuaciones, la química ya no permite al filósofo plantear un irracionalismo dentro de una profundidad indecible, de un sustancialismo inanalizable. Un medicamen-

to creado por la química no tiene ya derecho a la individualidad: cumple sin accidente su esencia, corresponde a lo absoluto de su fórmula (Bachelard, 1976, p. 129).

Resumiendo, los laboratorios en todo el mundo ejemplifican una manera de conocer la materia. Las botellas y los diversos recipientes con 'reactivos químicos' que en ellos se encuentran, ya no son objetos de la historia natural sino productos del análisis químico que hoy se lleva a cabo principalmente a través de instrumentos. Como lo indica el filósofo norteamericano D. Rothbart (Rothbart, 2000, p. 87):

Durante un experimento utilizando instrumentos analíticos, las sustancias químicas y los instrumentos experimentales están unidos en un complejo sistema de capacidades y potencialidades. Dicha investigación expresa de manera positiva nuestras creencias acerca de la existencia de los instrumentos y de los especímenes. Las modernas técnicas instrumentales presuponen una condición de lo que llamamos sustancia para ser examinada en el laboratorio. Las sustancias químicas son reveladas a través de las técnicas diseñadas para obtener evidencia experimental.

Así, lo que tenemos es un modelo de sustancia pura y con el advenimiento de más y mejores técnicas analíticas, se va construyendo la pureza que, de alguna manera, pudiera ser un artefacto, es decir un producto generado por la manipulación experta de cierto material. Su realidad no reside en su existencia sino en la manera en la que es conocida.

Como es sabido, la cienciometría es uno de los diversos métodos usados en el estudio del desarrollo de la ciencia. Con algunas limitaciones teóricas la cienciometría da una imagen amplia del trabajo científico y particularmente en el estudio de la ciencia moderna, es un indicador eficaz de sus tendencias del crecimiento. *El Chemical Abstracts* es una base de datos que incluye alrededor de 8,000 publicaciones de química, de bioquímica e ingeniería química, y es elaborado por el

Chemical Abstracts Service de los Estados Unidos. Se utiliza como la fuente principal de la información en química. Esta base de datos tiene limitaciones puesto que depende (como todos los otros) de las características metodológicas de los programas para recuperar la información; en los criterios de la selección de los documentos que se incluirán y en la representatividad de su contenido en el conjunto del universo definido previamente. Sin embargo, no tiene hoy ningún rival en lo que concierne a la información química alrededor de todo el mundo.

Contrariamente a lo que se informa en los libros de texto, el *Chemical Abstract Service* identifica como sustancias no sólo a compuestos con estructura y composición definida, sino también a polímeros, proteínas (completas o secuencias de las mismas) y a mezclas homogéneas de composición definida (aleaciones). Al 26 de septiembre de 2008 se habían identificado 38,232,538 sustancias diferentes (y se van añadiendo más de 4,000 cada día), de las cuales 24,379,646 se comercializan. Aquí no hay que olvidar lo que se dijo sobre la realidad de las 'sustancias químicas'; es decir, que es adquirida física, social y conscientemente a través del tiempo.

De acuerdo con el número de autores de los artículos incluidos en el *Chemical Abstracts* hay en la actualidad poco más de tres millones de químicos en todo el mundo que publican cerca de 1,250,000 documentos al año (artículos, libros y patentes) (*Chemical Abstracts*, 2007). Producen sustancias nuevas, la mayoría de las cuales son artificiales (ver tabla 1).

La última columna de la tabla 1 muestra que en los primeros siete años de este siglo más de seis millones de resúmenes del mismo número de fuentes primarias de información (artículos, libros y patentes) han sido producidos, casi la misma cantidad generadas aproximadamente en las tres cuartas partes iniciales del siglo XX y que desde luego no es parte de la enseñanza de la química.

Algunas precisiones sobre lo anterior (Schummer, 1999):

- Se deben de leer más de 20 revistas todos los días para alcanzar el 1% de toda la información química que se produce mundialmente.

Tabla 1. Crecimiento de la información química. Número de resúmenes incluidos en *Chemical Abstracts* desde su inicio.

Año	Número de resúmenes			Páginas de resúmenes	Número total de resúmenes a la fecha
	Artículos	Libros	Total		
1907	7,994	-	11,847	3,074	11,847
1910	13,066	785	17,545	3,314	60,020
1920	13,619	1,275	19,326	3,826	256,122
1930	32,731	1,169	55,146	6,066	586,029
1940	40,624	1,421	53,680	4,170	1,206,377
1950	47,496	1,539	59,098	5,592	1,662,559
1960	104,484	2,096	134,255	13,014	2,613,069
1970	230,902	2,728	276,674	23,792	4,712,125
1980	407,342	6,399	475,739	38,188	8,544,440
1990	394,945	3,490	489,517	41,097	13,226,889
2000	573,469	5,136	725,195	74,245	19,754,207
2007	816,778	4,526	1,086,941	120,036	26,077,824

- Para saber de toda la química, hay que leer más de 2,000 revistas por día, o si sólo se leen los resúmenes, se necesita leer más de 200 páginas al día (hasta un total de 70,000 páginas al año). Más aún, como el número de revistas relacionadas con la química también se está incrementando, habrá que duplicar nuestra capacidad de lectura para el año 2015.
- Los químicos hacen nuevas sustancias. De algunos cientos en 1800 a 38 millones hoy, el número se ha venido duplicando cada 13 años, por lo que podemos extrapolarlo a cerca de 80 millones en 2025 y 300 millones en 2050.
- Hoy, cada resumen del *Chemical Abstracts* presenta en promedio dos nuevas sustancias, mientras que en 1950 sólo informaba en promedio de 0.5.

Lo primero que hay que decir de lo anterior es que ante la enorme avalancha de información proveniente de la investigación en química y desarrollada a través de la síntesis, los profesores de esta disciplina no somos profesores de química, somos, en el mejor de los casos, profesores de historia de la química (Chamizo, 2007a). Por otro lado, hay que hacer notar que la síntesis química actual aspira a explicar sus resultados; es decir, no se trata únicamente de obtener determinado producto sino dar razones por las cuales se obtuvo. Si un experimento de síntesis falla lo usual es buscar en las condiciones del experimento las causas del inesperado resultado. En la síntesis el químico modela lo que sucederá con los reactivos para obtener el producto. Si un modelo falla en explicar el

resultado experimental, se construye otro modelo. Sin una explicación generalmente basada en la estructura molecular el experimento de síntesis es una receta de cocina que sólo es exitosa a nivel fenomenológico.

Este brutal crecimiento de la información química resulta a su vez más relevante al reconocer, como ya se ha hecho desde hace décadas, que los químicos escriben más artículos que todas las demás ciencias juntas (Tague, 1981), incluidas las sociales. El asunto no es menor. A pesar del enorme crecimiento de las tecnologías de la información y las biotecnologías, éstas representaban cada una en el año 2000, menos de 40% del total reportado en el *Chemical Abstracts* (Schummer, 2006). El *Chemical Abstracts* es cuatro veces más grande que el *Science Abstracts* (principalmente dedicado a la física) y cerca de tres veces mayor que el *Biological Abstracts*.

Se puede reconocer de esta manera la enorme presencia en la forma de conocer experimental del sesgo tecnocientífico. La síntesis bajo 'patente' rige una buena parte del conocimiento químico actual, según se indica en un informe reciente del National Research en diferentes partes (Breslow, 2003):

El aspecto más distintivo de la química y de la ingeniería química es la capacidad de crear nuevas moléculas en diversas cantidades, sin limitarse al estudio de las que ya existan en naturaleza [...] la promesa de medicinas mejores y de materiales mejores depende de la capacidad de los químicos especialistas en síntesis por diseñar nuevas formas de transformar la materia y de utilizarlas en la crea-

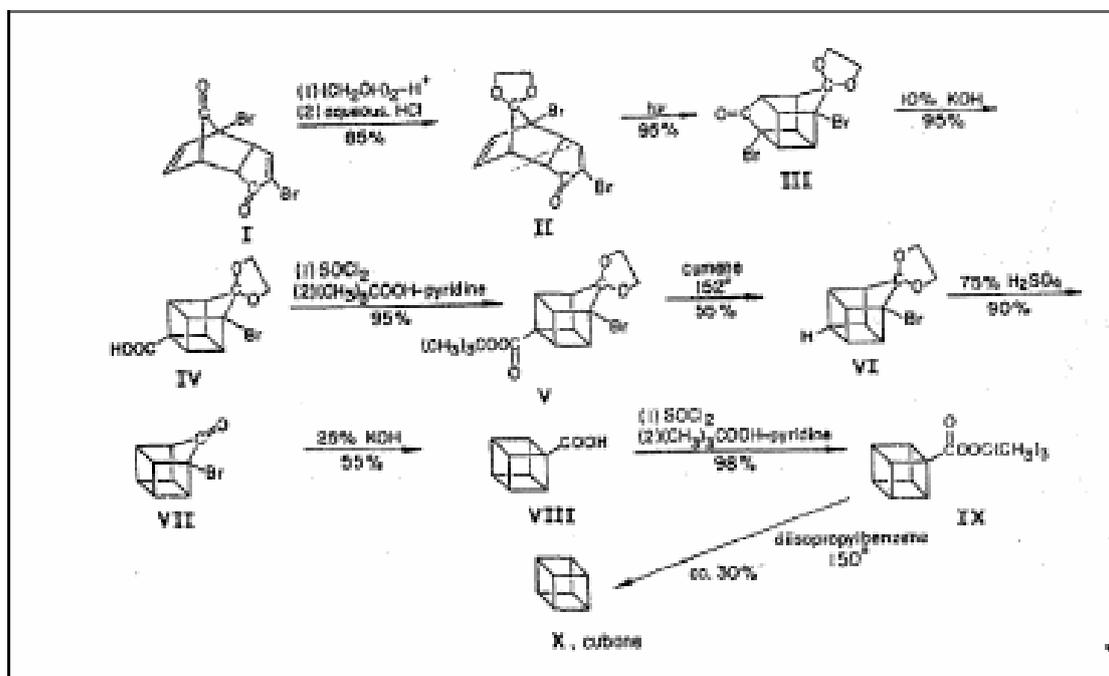


Figura 1. Ecuaciones de reacción para la síntesis del cubano. En cada flecha se incluye el reactivo necesario para lograr la transformación y el rendimiento obtenido. Cada uno de los nueve pasos involucra de entre cinco a veinte procedimientos diferentes: pesado, disolución, mezclado, calentamiento, separación y caracterización analítica (Garritz, 1999).

ción y la fabricación de sustancias nuevas. No es ninguna sorpresa que la síntesis sigue siendo la preocupación principal de una fracción grande de los químicos practicantes, y permanecerá así por un buen tiempo.

Sin embargo, hay síntesis con otras ambiciones. Por ejemplo, el número de nuevas sustancias crece más rápido que el de patentes. En promedio los químicos sintetizan el doble de nuevas sustancias que las que se patentaban en 1980. De lo anterior resulta que muchos y herejes químicos, particularmente en instituciones públicas, hacen materia que no necesariamente es "utilizable". Hacerla es un fin en sí mismo como se muestra en la figura 1 sobre la síntesis del 'imposible' cubano, cuyo objetivo último puede ser su belleza. Por ello, la química no sólo crea objetos; crea desde que lo nombra, una vez que el lenguaje es considerado por algunos autores como un tipo de modelo, su propio objeto. No existe previamente, es inventada en la medida que progresa.

Resumiendo, la síntesis es una actividad tecnocientífica que modifica al mundo introduciendo en él nuevas sustancias. Es una actividad que modela, que no tiene paralelo en otras ciencias y que ha sido ignorada por los filósofos de la ciencia preocupados, sobre todo en un inicio por su tradición empírico positivista, por la física y la biología.

La síntesis y el análisis son dos actividades construidas con y sobre modelos. El análisis y la síntesis integran el método de la química o como lo ha dicho el premio Nobel de Química J. M. Lehn (1995, p. 206):

La esencia de la química no sólo es descubrir sino inventar y, sobre todo, crear. ¡El libro de química no es sólo para ser leído, sino para ser escrito! Si fuera música ¡la pieza de química no sólo sería para ser ejecutada, sino para ser compuesta!

Referencias

- Bachelard, G. *El materialismo racional*, Paidós, Buenos Aires, 1976.
- Breslow, R. *Beyond the Molecular Frontier: Challenges for Chemistry and Chemical Engineering*, Washington, The National Academy Press, 2003.
- Chamizo J.A., *La enseñanza de la química a través de sus modelos*, en preparación, 2008.
- Chamizo J.A., *La esencia de la química*, FQ-UNAM, México, 2007.
- Chamizo J.A., *Science&Education*, **16**, 197-216, 2007a.
- Chamizo J.A., *La esencia de la química*, *Ciencia*, **56**, 17-26, 2005.
- Chemical Abstracts Service, *Statistical Summary 1907-2007*, Chemical Abstracts, Columbus, 2007.
- Christie J.R.R. & Golonski J.V., *The Spreading of the Word: New Directions in the Historiography of Chemistry 1600-1800*, *History of Science*, **XX**, 235-266, 1982.
- Echeverría J., *Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX*, Cátedra, Madrid, 2003.
- Feyerabend, P., *Contra el método. Esquema de una teoría anarquista del conocimiento*, Ariel, Barcelona, 1975.
- Fisher, G., *Explaining explanation in Chemistry*. En: Earley J. (ed.) *Chemical Explanation*, *Annals of the New York Academy of Sciences*, volume 988, 2003.
- Garriz, A., *El escepticismo y los retos de la síntesis*, *Educ. quim.*, **8**(4), 78-79, 1997.
- Giere, R.N., *La explicación de la ciencia*, Conacyt, México, 1992.
- Jensen, W., *Does Chemistry have a Logical Structure*, *Journal of Chemical Education*, **75**, 679-687, 1998; *Can we unuddle the chemistry textbook?*, *Journal of Chemical Education*, **75**, 817-828, 1998; *One Chemical Revolution or Three?*, *Journal of Chemical Education*, **75**, 961-969, 1998.
- Lelas, S., *Science as technology*, *Britain Journal of Philosophy of Science*, **44**, 423-442, 1993.
- Lehn, J.M., *Supramolecular Chemistry. Concepts and Perspectives*, VCH, Weinheim, 1995.
- McComas, W., *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*, Kluwer, Dordrecht, 2000.
- Nye, M.J., *From Chemical Philosophy to Theoretical Chemistry*, University of California Press, Berkeley, 1993.
- Pickstone, J.V., *Ways of Knowing*, Manchester, Manchester University Press, 2000.
- Reichenbach, H., *Experience and Prediction. Analysis of the Foundation and the Structure of Knowledge*, University of Chicago Press, Chicago, 1983.
- Rothbart, R., *Substance and Function in Chemical Research*. En: N. Bhushan and S. Rosenfeld, *Of Minds and Molecules. New Philosophical Perspectives on Chemistry*, Oxford University Press, Oxford, 2000.
- Schummer, J., *Challenges for chemistry documentation, education and working chemist*, *Educ. quim.*, **10**, 92-101, 1999.
- Schummer, J., *The Philosophy of Chemistry: From Infancy to Maturity*. En: Baird, D., et al., *The Philosophy of Chemistry. Synthesis of a New Discipline*, Springer, Dordrecht, 2006.
- Silberstein, M., *Reduction, Emergence and Explanation*. En: P. Machamer and M. Silberstein, *Philosophy of Science*, Blackwell, Oxford, 2002.
- Tague, J., Beheshti, J., Rees-Potter, L., *The law of exponential growth: Evidence implications and forecasts*, *Library Trends*, **30**, 125-150, 1981.
- Toulmin, S., *Human Understanding*, Princeton University Press, Princeton, 1972.
- Van Aalsvoort, J., *Logical positivism as a tool to analyse the problem of chemistry's lack of relevance in Secondary School chemical education*, *International Journal of Science Education*, **26**, 1151-1168, 2004.