II. LA FILOSOFÍA DE LA QUÍMICA
De la infancia hacia la madurez

JOACHIM SCHUMMER*

INTRODUCCIÓN

Ha pasado la época de quejarse del descuido en que se tenía a la filosofía de la química. Con más de 700 disertaciones y cerca de 40 monografías y colecciones aparecidas desde 1990, éste es uno de los campos de la filosofía de más rápido crecimiento.[1] Quizá demasiado rápido, pues empieza a serles difícil a los entendidos mantenerse al día, problemático a los principiantes iniciar su estudio y prácticamente imposible a los extraños sondear las principales ideas. En cuanto a mí, tras dedicarme a este campo desde fines de los años ochenta, me parece oportuno hacer una pausa y escribir un ensayo del tipo "¿De dónde venimos? ¿Dónde estamos? ¿A dónde deberíamos ir?"[2]

Así, el presente capítulo se divide en tres partes. Venimos del descuido filosófico —es decir, prácticamente de ningún lugar—, lo que trato de explicar en la primera parte recordando la historia disciplinar de la filosofía. Hoy nos encontramos en un estado de crecimiento rápido, de publicación prolífica, a la que doy alguna estructura en la segunda parte, señalando los temas y tendencias más importantes.[3] "¿A dónde deberíamos ir?" es una pregunta a la que no puedo dar más que una respuesta personal, basada en un juicio pragmático de los temas de la infancia y la madurez que intento justificar en la tercera parte.

* Departamento de Filosofía, Universidad de Karlsruhe, js@hyle.org.

[1] Los lectores interesados pueden encontrar una bibliografía en línea, que el autor actualiza periódicamente, en http://www.hyle.org/service/biblio.htm.

[2] Un primer borrador de este capítulo se presentó como conferencia inaugural del VI Simposio de Verano sobre Filosofía de la Química, Washington, D. C., 4-8 de agosto de 2002.

[3] Algunos artículos de reseña anteriores son de Van Brakel y Vermeeren (1981); Van Brakel (1996; 1999; 2000, cap. 1); Ramsey (1998); Brock (2002); Schummer (2003c).

EL DESINTERÉS DE LOS FILÓSOFOS POR LA QUÍMICA EN CONTEXTO

Un principio general sobre el interés de los filósofos por las ciencias

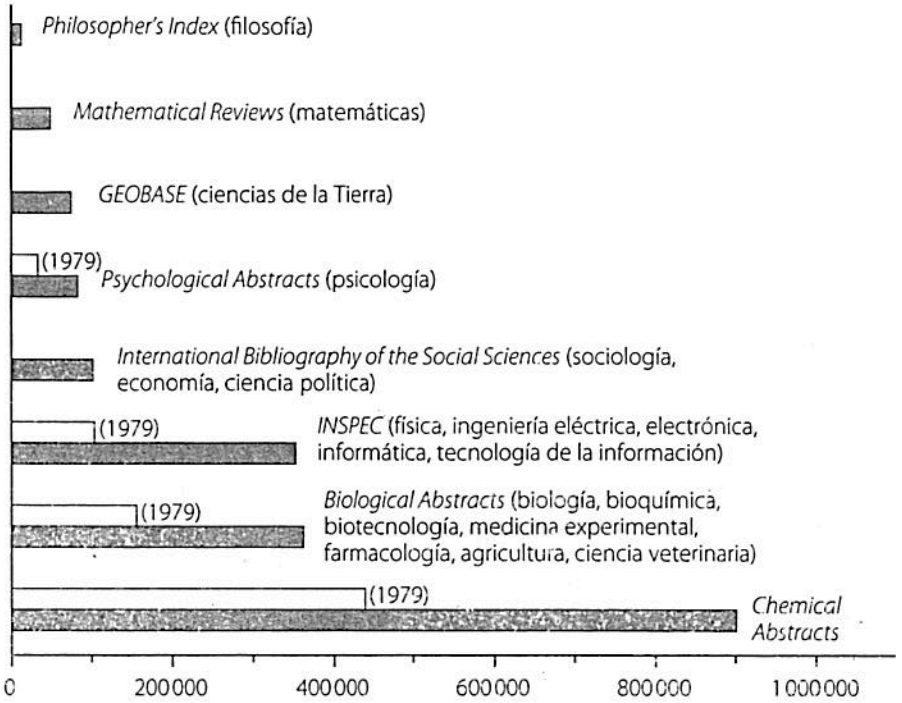
Permítaseme comenzar con una mirada a la cantidad de literatura publicada en las diversas ciencias. Esta información ofrece un buen cálculo del tamaño relativo de las disciplinas, a diferencia de su cobertura mediática y otras referencias a la ciencia. La gráfica II.1 presenta el número de textos nuevos (libros, disertaciones, patentes, etc.) listados en los índices de las más importantes publicaciones periódicas de resúmenes en 2000 y 1979.

Llama la atención, ante todo, que la química no sólo es la disciplina de mayor tamaño, sino que supera a todas las demás ciencias naturales juntas, incluidas sus florecientes tecnologías asociadas. La base de datos *INSPEC* (antes curiosamente llamada *Science Abstracts*) comprende, además de física, "ingeniería eléctrica, electrónica, informática y tecnología de la información", así como "una porción considerable de áreas como ciencia de materiales, oceanografía, ingeniería nuclear, geofísica, ingeniería biomédica y biofísica".[4] Sin embargo, pese al rápido crecimiento de la informática y la tecnología de la información, todo lo anterior representa menos de 40% del volumen de publicación de *Chemical Abstracts*. Además, la base *Biological Abstracts* pudo florecer enormemente durante la década pasada al incluir, además de biología, "bioquímica, biotecnología, medicina preclínica y experimental, farmacología, agricultura y ciencia veterinaria".[5] Pese al auge de las ciencias biomédicas y su parcial superposición con la química, la base representa apenas 40% de *Chemical Abstracts*. Las ciencias de la Tierra, equivalentes a menos de la décima parte de la química, son aún más pequeñas que las ciencias sociales y la psicología.

La supremacía cuantitativa de la química no es un fenómeno nuevo. Al contrario, muchas de las otras publicaciones periódicas de resúmenes crecieron más deprisa que *Chemical Abstracts* durante las últimas tres o cuatro décadas, por varias razones. Se beneficiaron de las tendencias en auge, como *Psycho-*

[4] Citado del sitio web de *INSPEC*.

[5] Citado del sitio web de *Biological Abstracts*.



GRÁFICA II.1. *Número de textos nuevos (ensayos, patentes, libros, etc.) listados en los índices de las más importantes publicaciones periódicas de resúmenes en 2000 y 1979. Los datos de 2000 son de los sitios web de las publicaciones (en miles:* PI, *10;* MR, *47;* GB, *74;* PA, *80;* IBSS, *100; INSPEC, 350;* BA, *360;* CA, *899); los datos de 1979 son de Tague* et al. *(1981).*

logical Abstracts de la psicología cognitiva; absorbieron nuevos campos, como hizo *Science Abstracts* con la informática y la tecnología de la información para terminar siendo *INSPEC,* o aumentaron la superposición parcial con la química, como *Biological Abstracts* hizo al incorporar la bioquímica. En 1979, cuando ningún filósofo de la ciencia sospechaba siquiera la existencia de la filosofía de la química, *Chemical Abstracts* era más de cuatro veces mayor que *Science Abstracts* (física) y unas tres veces mayor que *Biological Abstracts.* Si esos filósofos hubieran entrado sin prejuicios en los laboratorios, se habrían topado con la química casi por todas partes.

Hoy en día los filósofos en conjunto escriben tantas publicaciones en un año como los químicos en cuatro días. Irónicamente, la cifra revela un principio general sobre el interés de los filósofos por las ciencias: *cuanto menor es la disciplina, tanto más escriben los filósofos sobre ella,* a excepción de las ciencias de la Tierra. En orden aproximado, los filósofos escriben:

1) sobre filosofía, como por ejemplo historia de la filosofía o, para ser más preciso, sobre lo que los filósofos clásicos publicaron o dejaron sin publicar;
2) sobre matemáticas, como lógica matemática y filosofía de la física matemática ("filosofía de la ciencia");
3) sobre psicología, como filosofía de la mente o epistemología naturalizada;
4) sobre las ciencias sociales, como la filosofía social y política, y filosofía de las ciencias sociales;
5) sobre física experimental, como "filosofía de la ciencia";
6) sobre biología, como filosofía de la biología, y
7) en mínima medida, sobre química.

Así pues, si los filósofos producen ideas generales sobre la "ciencia", hay buenas razones para desconfiar. Por otra parte, si en verdad se quiere entender las ciencias naturales, hay buenas razones para empezar por la química.

Una explicación según la historia de la filosofía

Se han propuesto muchas explicaciones de por qué los filósofos han descuidado la química tan obstinadamente, casi como si no existiera. ¿Es la falta de "grandes preguntas" de la química, su estrecha relación con la tecnología o el históricamente arraigado pragmatismo de los químicos y su falta de interés por cuestiones metafísicas? ¿O será el principal problema la supuesta reducción de la química a la física (mecánica cuántica), de modo que, si la química no fuera más que una rama aplicada de la física, no habría una verdadera consideración filosófica de ella?

Lo que todos estos supuestos tienen en común es que intentan explicar el descuido de los filósofos en función de la química, como si esta ciencia tuviera la culpa. Si hubiera sólo un poco de verdad en nuestro principio general, lo

que exigiría una explicación es el extraño orden de los intereses de los filósofos. En tal explicación, el descuido de la química resultaría ser un simple caso especial, aunque extremo. No me propongo dar una explicación completa, sino algunos indicios que ofrece la historia *disciplinar* de la filosofía. Aunque podemos, en retrospectiva, construir una historia de textos a los que hoy en día llamamos filosofía, hay lo que se quiera menos una historia continua de una disciplina llamada así, en el sentido de historia de una profesión. Las preferencias temáticas de los filósofos de hoy reflejan lo asombrosamente joven e inadecuada que es la historia de su disciplina.

La relación con las matemáticas se remonta a una época, todavía a principios del siglo XIX, en que "filosofía" no era más que el nombre genérico de todas las artes y ciencias reunidas en las facultades de filosofía, de las cuales las artes matemáticas constituían la mayor parte desde tiempos medievales. Así, los profesores de las facultades de filosofía, es decir, los "filósofos" profesionales, tenían que enseñar muchas matemáticas, incluidas matemáticas aplicadas como mecánica y óptica geométrica, que a mediados del siglo XIX entrarían a formar parte de la física moderna. Otras ciencias naturales como la química y la biología (historia natural) se enseñaban sobre todo en las facultades superiores de medicina y, por lo mismo, permanecieron más bien ajenas a los filósofos hasta el día de hoy. Cuando, durante el siglo XIX, la mayoría de las disciplinas, incluida la física moderna, maduraron hasta salir del ámbito de la filosofía en el sentido genérico, la psicología y las ciencias sociales ("filosofía moral") permanecieron bajo la etiqueta de "filosofía". Su separación definitiva no ocurrió mucho antes de principios del siglo XX. En términos generales, cuanto más tarde se independizó de la filosofía (en el sentido genérico) una disciplina, tanto más pequeña es ahora y más estrechos son sus vínculos históricos con los filósofos actuales, de acuerdo con nuestro principio general.

La separación de las disciplinas produjo una crisis seria en torno a la pregunta de si quedan temas para la filosofía como disciplina en sí misma. Aunque la mayoría de las disciplinas se independizaron definiendo un tema propio que investigar por métodos empíricos, los filósofos que quedaban se negaron a hacer lo mismo. Muchos recogieron las ideas dieciochescas de Kant (propuestas antes de la formación disciplinar de las ciencias modernas), quien había reservado fundamentos metafísicos y epistemológicos de las ciencias matemáticas como temas filosóficos genuinos, además de la ética y la estética.

Eso les permitió, ciertamente, reconstruir una tradición que se remonta a los principios de la era moderna.

Si examinamos la tradición que la moderna filosofía de la ciencia considera propia, resulta ser una tradición sumamente parcial, centrada en la mecánica que antes se enseñaba en las facultades de filosofía con el nombre de matemáticas "mixtas" o "aplicadas". Unos cuantos puntos podrían ilustrar esto. Primero, el surgimiento de la primitiva epistemología moderna, tanto en su rama racionalista como en la empirista, con excepción de Francis Bacon, tuvo una relación estrecha con el surgimiento de la filosofía mecánica, que se oponía férreamente a varias clases de filosofía química. Segundo, como las raíces teóricas de la física moderna están en la mecánica analítica o "racional", que todavía a principios del siglo XIX no pertenecía a las ciencias físicas, sino a las matemáticas, los debates filosóficos sobre el "método científico" giraban, en gran medida, en torno a si establecer la mecánica como ciencia *física*. El anterior principio de Kant de que, a diferencia de las ciencias experimentales, sólo la mecánica es una ciencia propiamente dicha porque tiene fundamentos *a priori* en las matemáticas, representó un temprano e influyente prejuicio favorable a incluirla en la física. Lo anterior propició que los kantianos se centraran en la mecánica y se olvidaran de las demás ciencias. Por último, durante la fase decisiva de profesionalización de la filosofía de la ciencia en el siglo XX, fueron ante todo los físicos teóricos interesados en filosofía quienes configuraron el campo con sus numerosas disertaciones sobre los enigmas de la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad. Pronto ocuparon la mayoría de las recién creadas cátedras de filosofía de la ciencia, situación que no ha cambiado mucho desde entonces.

Su afinidad con la física teórica, antigua pero históricamente incidental, hizo que los "filósofos de la ciencia" descuidaran no sólo la química, sino todas las demás ramas de las ciencias naturales, incluida hasta hace poco la física experimental. Los vestigios del más antiguo sentido de "física" como nombre genérico de las ciencias naturales todavía a principios del siglo XIX, y la ambigüedad del adjetivo inglés *physical*, contribuyeron a la confusión de la filosofía de la física con la filosofía de la ciencia. No fue hasta principios de los años setenta del siglo XX cuando los biólogos reaccionaron al estrecho enfoque y establecieron grupos propios conjuntamente con filósofos interesados en la biología. Pasaron todavía dos décadas más para que se produjera un movi-

miento parecido con respecto a la química. En cierto sentido, la filosofía de la ciencia repite hoy tardíamente el proceso decimonónico de ramificación y profesionalización de las ciencias naturales.

La filosofía de la química antes de los años noventa[6]

Aunque la principal corriente occidental de la filosofía de la ciencia ha descuidado la química, no es cierto que no hubiera filosofía de la química antes de los años noventa. Veremos más adelante (segunda parte del capítulo, "Tendencias y temas recientes de la filosofía de la química") que la corriente imperante de la historiografía de la filosofía simplemente ignoró lo que los filósofos clásicos habían dicho de la química. En segundo lugar, otros estudiosos, en particular químicos e historiadores de la química, llenaron el vacío dejado por los filósofos profesionales. En tercer lugar, la filosofía de la ciencia en los países comunistas fue lo bastante amplia para incluir la química, sobre todo en el periodo transcurrido de fines de los años cincuenta a 1990.[7]

Filosofía dialéctica de la química

La filosofía de la química en los países comunistas se inspiró en el materialismo dialéctico de Engels, donde la química cumplía una función prominente como argumento contra lo que él llamaba el materialismo vulgar o francés, es decir, la filosofía mecánica. Al igual que Comte pocas décadas antes, pero en relación con la distinción de Hegel entre "mecanismo", "quimismo" y "organismo", Engels propuso una jerarquía no reductiva de las ciencias. Para el nivel mecánico, el químico y el fisiológico postuló distintas "formas de movimiento", cada una con leyes propias, además de "leyes dialécticas" generales para la transformación desde los niveles inferiores a los superiores.

[6] Esta sección y la segunda parte del capítulo citan a Schummer (2003c). Por razones de brevedad, las referencias bibliográficas se limitan en su mayoría a monografías y colecciones; pueden encontrarse más referencias en la bibliografía en línea citada en la nota 1.

[7] Desafortunadamente, aún no se revisa la literatura de la filosofía de la química en los países comunistas, excepto la de la República Democrática Alemana; véase Laitko (1996). Una bibliografía se encuentra en Schummer (1996b).

Aunque el propio tratamiento de la química de Engels permaneció fragmentario, filósofos del siglo XX desarrollaron sus ideas. No tardaron en comprender que los fenómenos químicos podían servir para ilustrar leyes universales de la doctrina de Engels. Por ejemplo, las reacciones ácido-básicas se usaron para ejemplificar su "ley de las contradicciones" en torno a las fuerzas opuestas de la naturaleza. Además, las reacciones ácido-básicas, cuando se llevaban a cabo por volumetría con indicadores, permitían visualizar a todo color su ley general "del paso de lo cuantitativo a lo cualitativo". Los filósofos de la ciencia en los países comunistas tenían una función establecida en la educación superior científica y estaban oficialmente obligados a interpretar hechos, problemas y avances científicos concretos dentro del marco general del materialismo dialéctico e histórico. Como Engels había reservado una "forma de movimiento" propia para la química, los filósofos tenían libertad para tratar la química como campo autónomo. De hecho, produjeron un rico acervo de estudios sobre fenómenos, leyes, teorías, dinámica de teorías y formación de subdisciplinas de la química moderna. Es imposible revisar la literatura en la materia, ya que hay estudios sobre casi todos los temas filosóficos, aunque de distinta calidad. Podría decirse al menos que el marco decimonónico de Engels fue lo bastante liberal para ampliar en detalle temas complicados como la relación entre la química y la mecánica cuántica, pero demasiado ingenuo desde el punto de vista epistemológico para abordar conceptos de química cuántica como las estructuras de resonancia de Pauling.[8]

La argumentación de la filosofía dialéctica de la química demuestra que la filosofía poskantiana de la ciencia no habría hecho caso omiso de la química de haber confiado en autoridades posteriores. Engels publicó su trabajo en la década de los setenta del siglo XIX, cuando la formación de las disciplinas científicas modernas estaba casi completa, sin que la mecánica fuese más que una subdisciplina de la física moderna. Kant había publicado hacía un siglo, antes de la formación de las disciplinas modernas, en la actitud premoderna de establecer la mecánica racional como única ciencia real y desacreditar las entonces nacientes ciencias experimentales. Aunque a ambos se les ha erigido en autoridades históricas de validez eterna en distintas ideologías filosóficas,

[8] Puede consultarse el trasfondo histórico de los debates sobre las estructuras de resonancia en Rocke (1981). Para encontrar análisis filosóficos, véanse Laitko y Sprung (1970), pp. 80-109; Vermeeren (1986); Schummer (1996a, sección 6.5.2).

hoy en día sus opiniones sobre la ciencia revisten sólo interés histórico, y la opinión de Kant resulta sin duda mucho más anacrónica que la de Engels. Sin embargo, el legado kantiano aún predomina en la filosofía de la ciencia. Por ejemplo, cuando la parte oriental de Alemania se unió con la occidental en 1990, la filosofía dialéctica de la química desapareció de inmediato, en beneficio del kantismo falto de inspiración que ha permeado la parte occidental. Por ende, el descuido de la química es también consecuencia de la elección arbitraria de autoridades anacrónicas. En la segunda parte del capítulo argumentaré a favor de un entendimiento de la filosofía que se deshaga tanto de anacronismos como de autoridades.

Filosofía de la química sin filósofos

Mientras los filósofos profesionales de los países de Occidente desatendían la química, estudiosos de diversas disciplinas abordaron el tema, cada uno desde una perspectiva propia y con preguntas específicas. Los estudiosos de la enseñanza de la química, en particular, siempre han reconocido la necesidad de reflexionar en los métodos y trabajar en la aclaración de conceptos, de modo que la mayoría de sus publicaciones periódicas siguen siendo una fuente abundante de estudio para los filósofos. Los químicos prácticos solían tropezar con problemas filosóficos cuando sus investigaciones los desafiaban a reflexionar sobre nociones o ideas metodológicas generalmente aceptadas. Entre los ejemplos destacados de los primeros tiempos se cuentan Benjamin Brodie, Frantisek Wald, Wilhelm Ostwald y Pierre Duhem. Sin embargo, la serie de químicos con inquietudes filosóficas no terminó a principios del siglo XX.[9] Por ejemplo, la obra de Paneth (1962) sobre los isótopos lo hizo pensar en el concepto de elementos químicos. La reflexión de Mittasch (1948) acerca de la noción de causalidad en química se derivó de sus estudios de la catálisis química. Ante la renuencia de sus contemporáneos científicos a aceptar sus teorías, y con base en su concienzuda experiencia en la práctica de laboratorio, Polanyi (1958) cuestionó las metodologías científicas racionalistas aceptadas señalando la importancia de los factores sociales y del papel del conocimiento tácito. Caldin (1959, 1961), quien como cualquier químico trabajó sobre todo en el laboratorio, alegó que la metodología popperiana entonces imperante era incapaz de comprender la función de la experimentación en las ciencias experimentales y el modo en que los científicos se ocupan de las teorías.

[9] Los lectores interesados pueden encontrar más información sobre los químicos mencionados en esta sección en la serie de *Hyle* Short Biographies of Philosophizing Chemists.

Desde fines de los años setenta, por otra parte, químicos teóricos que trabajaban en el desarrollo de *modelos* de la química cuántica para fines químicos empezaron a poner en duda la ingenua opinión reduccionista, que no obstante era común entre los filósofos de la ciencia occidentales, según la cual los conceptos y leyes químicos podían inferirse simplemente de principios mecanocuánticos.[10] En un fecundo ensayo, Woolley (1978) afirmó que el concepto de estructura química no podía deducirse de la mecánica cuántica. Primas (1981, 1985) dedicó todo un libro al tema del reduccionismo, sosteniendo que el holismo mecanocuántico no permite inferir aseveraciones sobre objetos químicos sin presupuestos adicionales. Del Re y Liegener consideraban que los fenómenos químicos se dan en un nivel de complejidad superior que se deriva del nivel mecanocuántico, mas no se reduce a él (Del Re, 1987; Liegener y Del Re, 1987a, 1987b). También otros químicos empezaron a cuestionar el reduccionismo ingenuo (Theobald, 1976; Lévy, 1979; Bunge, 1982; Weininger, 1984).

Como nunca se ha trazado una frontera nítida entre la filosofía y la historia de la ciencia, no es de extrañar que muchos historiadores de la química hayan abordado el campo ocupándose de consideraciones filosóficas del pasado, dos de las cuales llegaron a distinguirse tanto entre los temas históricos de la química que es imposible reseñar aquí la literatura. Se trata de la consideración metafísica del atomismo y la consideración metodológica del cambio conceptual y el progreso teórico según los ejemplifica la exposición de Thomas Kuhn de la "revolución química".[11] Desde luego, ambos temas atrajeron también a muchos filósofos. El segundo tema, en particular, produjo durante un tiempo un alto grado de colaboración y competencia fructíferas, y un aluvión de estudios casuísticos. Cuestionados por el rigor historiográfico de sus colegas, los estudios de los filósofos a menudo no diferían gran cosa de

[10] Un ensayo anterior, obra de un químico teórico, que incluye muchas ideas críticas posteriores es Hartmann (1965).

[11] Hoyningen-Huene (1998) ha afirmado que la revolución química fue incluso el caso paradigmático que inspiró a Kuhn su noción de revoluciones científicas.

las obras históricas, salvo en la mayor ambición de convertirlos en argumento a favor o en contra de una postura metodológica general, por ejemplo, la de Popper, Kuhn, Lakatos, etc. Sin embargo, elegir historias de la química como pruebas de una u otra metodología general de la ciencia en conjunto difícilmente es un argumento concluyente, y no puede contar como filosofía de la ciencia propiamente dicha. Esto nunca ha recibido mejor crítica que la de la química y filósofa Ströker (1982), en uno de los relatos históricos más detallados de la "revolución química".

Más que en otras ramas de la historia, los historiadores de la química trataron cuestiones filosóficas en un abundante acervo de excelentes estudios sobre la historia de las ideas, las teorías y los métodos, y de las mutuas repercusiones entre la química, por un lado, y las disciplinas contiguas, la filosofía, las humanidades, la religión y la sociedad en general, por el otro.[12] En la medida en que lo hicieron a fin de lograr un mejor entendimiento de nuestra actual cultura intelectual y del papel que en ella desempeña la química, desarrollaron un trabajo que los filósofos profesionales se negaron a hacer. Es interesante que los pocos filósofos occidentales que se ocuparon de la química por extenso en libros, por ejemplo, Bachelard (1932, 1953), Ströker (1963, 1982) y Dagognet (1969), tuvieran marcados intereses en la historia. Volveré a este punto, que de ninguna manera es mero azar (véase la sección "Análisis de la estructura de la química").

El ejemplo de la historia anterior a 1990 en los países occidentales ilustra que se necesitan reflexiones filosóficas sobre la química, les interese o no les interese a los filósofos profesionales. Esta necesidad comprende tanto el análisis de hechos y aspectos específicos de la química como perspectivas integradoras para situarla en el conjunto de la cultura y la historia de las ideas. Gracias a su formación, los filósofos suelen tener aptitudes particulares para satisfacer estas necesidades si se acompañan de cierto conocimiento de la química e interés en ella. Uno y otro faltaban, sin embargo, salvo en unas cuantas personas ajenas a los círculos establecidos.

[12] Entre los historiadores que tienen evidentes intereses filosóficos están J. H. Brooke, W. Brock, M. P. Crosland, A. G. Debus, E. Farber, R. Hooykaas, D. Knight, T. H. Levere, A. N. Meldrum, H. Metzger, M. J. Nye, A. Rocke y muchos más.

Tendencias y temas recientes de la filosofía de la química

Establecimiento social

La distinción más evidente de la emergencia de la filosofía de la química en los años noventa con respecto al periodo precedente fue su establecimiento social. Mientras que los estudiosos anteriores trabajaron en relativo aislamiento, la nueva generación buscó contactos e intercambios de ideas entre sí. Desde fines de los años ochenta, químicos, filósofos e historiadores de la química empezaron a reunirse en grupos de trabajo más o menos formales, con encuentros periódicos en muchos países, como el Werkgroep Filosofie van de Chemie en Holanda, el Gruppo Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica en Italia y el Arbeitskreis Philosophie und Chemie en Alemania. Además, las industrias químicas hicieron un llamado para tender puentes entre la química y las humanidades a fin de mejorar la mala imagen pública de esta ciencia.[13] En 1994 los encuentros nacionales se convirtieron en una serie de conferencias internacionales en Londres (marzo), Karlsruhe (abril), Marburgo (noviembre) y Roma (diciembre). En 1997 los vínculos internacionales posibilitaron el establecimiento formal de la Sociedad Internacional para la Filosofía de la Química, que sostiene simposios anuales en verano. Se iniciaron dos publicaciones periódicas: *Hyle: International Journal for Philosophy of Chemistry* (desde 1995, dirigida por el autor) y *Foundations of Chemistry* (desde 1999, dirigida por Eric Scerri). El surgimiento paralelo de las tecnologías de Internet, que pronto se utilizaron para muchos fines (publicaciones electrónicas, foros de discusión por correo electrónico, bibliografías de actualización periódica, tableros de información de conferencias, planes de estudios, etc.), fue una ayuda esencial para establecer una comunidad y atraer a un público más amplio.

[13] Dos publicaciones valiosas de estas iniciativas son Mittelstraß y Stock (1992), y Mauskopf (1993).

Redescubrimiento de los filósofos clásicos

El mencionado descuido histórico de la química es también, en parte, producto de historiadores de la filosofía que simplemente ignoraron lo que los filósofos clásicos habían dicho de la química. Esto se ha sacado a la luz en un número cada vez mayor de estudios recientes. Un ejemplo destacado es la *Opus postumum* de Kant, que no se publicó hasta principios del siglo XX (y una traducción inglesa muy tardía, en 1993), a pesar de que contenía una revisión completa de su anterior filosofía teórica contra los principios de la moderna química de Lavoisier.[14] Además, los extensos textos de Hegel sobre química, aunque incluidos en sus libros más famosos, no se sometieron a investigaciones académicas hasta hace poco.[15] Aunque hace mucho que el libro de Duhem *La théorie physique. Son objet—sa structure* (1905-1906) se volvió un clásico de la filosofía de la ciencia y se tradujo a muchos idiomas, otra obra suya, *Le mixte et la combinaison chimique* (1902) no se tradujo al inglés hasta 2002. ¿Quién habría dicho que incluso Rousseau escribió un libro sobre química (Bensaude-Vincent y Bernardi, 1999)? Corresponde a los historiadores de la filosofía explorar más textos sobre química en filósofos clásicos como Leibniz, Schelling, Shopenhauer, Herschel, Comte, Peirce, Broad, Alexander, Mill, Cassirer y Bachelard, por mencionar sólo algunos que acuden de inmediato a la mente.

La lucha con el reduccionismo

Un tema todavía importante de la actual filosofía de la química es la reducción, no de la biología a la química, sino de la química a la física. La crítica del reduccionismo cumple distintas funciones. Primero, ofrece un entendimiento más preciso y técnico de las limitaciones de los enfoques mecanocuánticos de la química y, por lo mismo, define áreas independientes para la filosofía de la química. Por ejemplo, en una serie de ensayos, Scerri (1991, 1994) alega de manera convincente que los enfoques mecanocuánticos no son capaces de calcular las configuraciones electrónicas precisas de los átomos. Dado que lo anterior se ha tomado, desde la primitiva teoría atómica de Bohr, como la explicación

[14] Carrier (1990), Vasconi (1999), Van Brakel (2000, cap. 1.2).
[15] Engelhardt (1976), Burbidge (1996), Ruschig (1997).

y reducción mecanocuánticas del sistema periódico de los elementos químicos, este último está abierto a nuevos análisis filosóficos (véase la sección "Análisis de la estructura de la química"). Pueden encontrarse argumentos similares en relación con el concepto de estructura molecular, que dan seguimiento a las cuestiones planteadas por Woolley (véase la sección "Filosofía de la química sin filósofos"). En segundo lugar, la crítica del reduccionismo en el nivel "más bajo" de la química a la mecánica cuántica pone en duda el microrreduccionismo como postura metafísica, epistemológica o metodológica general y contribuye así a la filosofía general. En el más detallado estudio filosófico de varias formas de reduccionismo (incluidos la superveniencia y el esencialismo microestructural a la manera de Putnam y Kripke), Van Brakel (2000) hace de la química un argumento a favor de una especie de pragmatismo en el que la "imagen manifiesta" del sentido común y las ciencias empíricas prima sobre la "imagen científica" de la microfísica. En Psarros (1999), el rechazo del reduccionismo es incluso un presupuesto necesario para su extenso trabajo sobre el fundamento culturalista de conceptos, leyes y teorías químicas, los cuales busca en prácticas, normas y valores culturales precientíficos. Para muchos otros, entre quienes me incluyo, ese rechazo respalda una postura pragmática y pluralista sobre métodos que distinguen claramente entre campos de investigación donde los enfoques mecánico-cuánticos son inadecuados o incluso inútiles en comparación con otros enfoques, y campos donde son eficaces y aun indispensables. En tercer lugar, perdida la confianza en el reduccionismo para garantizar la unidad de las ciencias, las nuevas relaciones entre las ciencias autónomas, como las semejanzas estructurales y la interdisciplinariedad, han quedado sujetas a investigación tanto filosófica como histórica.[16]

Adaptación de conceptos filosóficos

Los conceptos de la corriente dominante de la filosofía de la ciencia, a causa de su estrecho enfoque de la física teórica, suelen requerir una revisión considerable para que arrojen alguna luz sobre la química. La brecha entre lo que Kuhn (1976) ha llamado las "ciencias matemáticas" y las "baconianas" es lo que los

[16] Por ejemplo, Danaher (1988), Janich y Psarros (1988), y Reinhardt (2001).

filósofos de la química deben sortear, porque la química moderna comprende ambas. Como la química es por mucho la disciplina científica con mayores repercusiones en todas las demás ciencias experimentales, los filósofos de la ciencia también hacen contribuciones valiosas a nuestro entendimiento filosófico de las ciencias cuando adaptan conceptos clásicos para comprender la química. Los ejemplos, dispersos en las dos publicaciones periódicas citadas y en numerosas antologías y colecciones generales,[17] incluyen los conceptos de experimento, ley, modelo, predicción, explicación, clases naturales, sustancia y proceso; los enfoques científicos de la construcción de conceptos y modelos, y la clasificación; el tratamiento de teorías contradictorias; métodos de investigación en el sentido de explorar lo nuevo; la función de los instrumentos en la investigación; la distinción y relación entre ciencia y tecnología, etc. Además, el tema del realismo científico, a veces mal usado para distinguir la física teórica de las otras ciencias, que por lo mismo se descalifican llamándolas "ciencias inmaduras", aparece bajo una nueva luz si se aplica a la química, y aun se vuelve un concepto metodológico de investigación si se aplica a la química sintética (Schummer, 1996a). Aunque los filósofos de la física matemática han confinado la metodología al "contexto de justificación", si no a teoría confirmatoria, los filósofos de ciencias experimentales como la química ponen el acento en el "contexto de descubrimiento", es decir, en la metodología de la investigación científica.

Análisis de la estructura de la química

Como cada disciplina científica tiene conceptos, métodos y teorías fundamentales propios, la filosofía de la química alcanza un estado de madurez, en mi opinión (véase la última parte de este capítulo), cuando se centra en peculiaridades de la química. Esto exige no sólo una doble competencia en química y filosofía, sino un entendimiento profundo de la historia de la química, porque nuestras disciplinas científicas actuales, con todas sus peculiaridades, son entidades históricas, fotografías instantáneas en un proceso de desarrollo. Así, a diferencia de los filósofos generales de la ciencia, con sus ideas eternas, aunque a veces personales, de la "ciencia general", muchos filósofos de la química convergen con los historiadores de la química en el análisis de conceptos, métodos y teorías fundamentales de la química moderna. Es en estas áreas donde se han hecho muchos estudios durante la última década, de manera que puedo dar sólo una breve lista de los temas más importantes.

[17] Además de las mencionadas en otras partes, éstas incluyen Janich (1994); Psarros, Ruthenberg y Schummer (1996); Mosini (1996); McIntyre y Scerri (1997); Psarros y Gavroglu (1999); Sobczynska y Zeidler (1999); Bhushan y Rosenfeld (2000); Earley (2003), y Sobczynska, Zeidler y Zielonacka-Lis (2004).

En cuanto a conceptos fundamentales, los análisis filosóficos e históricos comprenden conceptos químicos como elemento, sustancia pura, especie química, compuesto, afinidad, reacción química, átomo, estructura molecular y aromaticidad.[18] El reciente interés en los métodos químicos se ha centrado no sólo en métodos prácticos como la experimentación e instrumentación y la quimiosíntesis,[19] sino en métodos cognitivos como el lenguaje gráfico de la química y las varias formas de construcción de modelos y representación.[20] Siguen descuidados los métodos de clasificación —probablemente un legado del enfoque tradicional en la física moderna "exenta de clasificaciones" antes del surgimiento de la era de las partículas—, aunque recientes estudios del sistema periódico combinan aspectos clasificatorios y teóricos.[21] Por lo que respecta a las teorías químicas, las estructuras matemáticas axiomáticas de la física, con su validez aparentemente universal, han hecho que los filósofos se resistan a aceptar lo que los químicos llaman, casi sin distinción alguna de significado, teorías, modelos o leyes. Así, salvo los mencionados estudios sobre los modelos en química, la mayoría de los trabajos actuales sobre teorías químicas tienen una fuerte orientación histórica o son sobre química cuántica y química física.[22]

Trascender fronteras

Irónicamente, los filósofos de la química emergieron en una época en que las actividades científicas trascendían cada vez más las fronteras disciplinares ha-

[18] Entre los estudios filosóficos o históricos que, con extensión de libro, se ocupan de conceptos químicos están Klein (1994), Schummer (1996a), Psarros (1999), Görs (1999), Brush (1999), Van Brakel (2000) y Neus (2002).

[19] Baird (1993), Rothbart y Slayden (1994), Schummer (1996a, 1997a, 1997b, 2002a), Holmes y Levere (2000), Morris (2002) y Baird (2004).

[20] Laszlo (1993), Janich y Psarros (1996), Francoeur (1998), Schummer (1999-2000), Van Brakel (2000) y Klein (2001).

[21] Scerri (1998, 2001 y en preparación) y Cahn (2002).

[22] Por ejemplo, Nye (1993), Schummer (1998b) y Gavroglu (2000).

cia una investigación orientada a los problemas. Desde la ciencia ambiental hasta la nanotecnología (Schummer, 2004c), los químicos se dedican intensamente a estas actividades, de manera que retan a los filósofos de la química a que los tomen en serio. Tres libros recientes, cada uno combinando a su modo análisis filosóficos e históricos de la investigación interdisciplinaria, han aceptado este reto. Rheinberger (1997) analizó los entornos experimentales, las condiciones epistemológicas y la cultura interdisciplinaria donde la investigación del cáncer de los años cincuenta avanzaba hacia la síntesis de proteínas como base bioquímica de la biología molecular. Aplicando ideas de la antigua filosofía de la naturaleza y la tecnología, Bensaude-Vincent (1998) investigó la moderna ciencia de materiales, que se ha desplazado de los materiales puros a los compuestos diseñados especialmente para diversos fines tecnológicos. Con una opinión crítica de los enfoques clásicos de la filosofía de la ciencia, Christie (2001) examinó la base metodológica sobre la cual las ciencias atmosféricas aceptaron, desde los años setenta, las teorías del agotamiento de la capa de ozono.

Además de las fronteras disciplinares de las ciencias, hay fronteras disciplinares dentro de la filosofía que los filósofos de la química están a punto de trascender. Si por "filosofía de la ciencia" se entiende reflexión filosófica sobre la ciencia, no hay necesidad de restringir ésta al razonamiento epistemológico, metodológico y metafísico, como han hecho los filósofos de la física. La filosofía es un campo mucho más rico, y ciencias como la química tienen muchos más aspectos interesantes, a veces incluso más apremiantes, que los filósofos pueden tratar. Así, los trabajos recientes y en preparación incluyen números especiales sobre ética de la química *(Ethics of Chemistry,* por *Hyle),* química verde *(Green Chemistry,* por *Foundations of Chemistry),* y estética y visualización en química *(Aesthetics and Visualization in Chemistry,* por *Hyle).* Una vez que se reconoce toda la esfera de acción de la filosofía, los temas de la filosofía de la química germinan en abundancia (véase la sección "Descubrir temas de filosofía de la química: algunos ejemplos"). Esto podría ir en detrimento de paradigmas simples del campo, pero la ganancia intelectual es incomparablemente mayor.

De la infancia hacia la madurez: un punto de vista pragmático

Así como todo relato histórico ordena la información de acuerdo con ciertas preferencias y valores, así también mi revisión del desarrollo reciente de la filosofía de la química en la última parte del capítulo es personal. Se basa en determinadas ideas de lo que la filosofía puede y debería hacer, en mi opinión, para satisfacer necesidades generales de la sociedad y para evitar las deficiencias de estancamiento y anquilosamiento de las que tenemos abundantes pruebas en otros campos de la filosofía. En esta parte, que trata la pregunta normativa "¿a dónde deberíamos ir?", voy a argumentar a favor de estas ideas distinguiendo entre temas de la infancia y temas de la madurez desde un punto de vista pragmático.

Temas de la infancia

Para evitar malentendidos, insisto en que los temas de la infancia son muy importantes y no deberían descuidarse. Son importantes, sin embargo, sólo durante el estado de autodefinición y estructuración de un campo, y para preparar los temas de la madurez. Creo que la filosofía de la química aún se encuentra, en gran medida, en ese estado.

Redescubrir a los filósofos clásicos de cierto campo es un tema característico de la infancia o la crisis (en el sentido original griego de separación). Pertenece al tema general de escritura de una historia disciplinar. Lejos de no venir de ningún sitio, se demuestra que el nuevo campo está arraigado en una antigua tradición, de la cual recibe autoridad e importancia. Los ejemplos clásicos son la historia de la electricidad de Priestley, de 1767, y la historia de la electroquímica de Ostwald, de 1896. De igual manera, las quejas y los análisis del anterior descuido de un campo son temas de la infancia, como todo lo que hago en el presente capítulo. Por otra parte, redescubrir a los clásicos puede ser una empresa inspiradora en cuanto nos muestra perspectivas olvidadas a las cuales dar seguimiento en la futura investigación filosófica.

En segundo lugar, luchar con el reduccionismo es en la mayoría de los casos, mas no siempre, un tema de la infancia en relación con la química, pero

de la madurez tratándose de la filosofía de la física. Una vez más, insisto, es importante para la filosofía de la química. Sienta las bases de estudios más serenos y profundos de temas cuya independencia lógica se ha demostrado y tiende, por tanto, hacia temas de la madurez. Además, sitúa la filosofía de la química en el contexto de la filosofía general y contribuye así a su aceptación más amplia. Nos ayuda a desarrollar una mejor comprensión de las relaciones mucho más complejas entre las ciencias, tanto históricas como lógicas.

En tercer lugar, adaptar conceptos filosóficos clásicos a un análisis de la química es también un tema preliminar, mientras que el análisis en sí no lo es. Para los filósofos, los conceptos son herramientas como los espectrómetros lo son para los químicos. Si emplean herramientas inadecuadas, los resultados son, a lo sumo, irrelevantes. Por ejemplo, desde el punto de vista de la filosofía aceptada de la ciencia, un experimento es un medio para probar, mejorar o desarrollar una teoría. Podemos encontrar esta noción también en la química, y hallamos incluso ejemplos de todas las funciones que los filósofos han asignado alguna vez a los experimentos. Sin embargo, si examinamos lo que los químicos entienden por "experimento", resulta que la gran mayoría utiliza el término en un sentido del que los filósofos difícilmente están al corriente (Schummer 2004a).

Una definición pragmática de los temas de la madurez

Los temas que he mencionado hasta ahora se refieren a la infancia sólo en relación con lo que considero temas de la madurez. Sostengo que un campo filosófico alcanza un estado de madurez sólo si define aspectos propios con respecto a las peculiaridades de su objeto. En nuestro caso eso significa que los temas de la madurez son aquellos que se derivan de las peculiaridades de la química. Esto no es en absoluto una perogrullada en filosofía. De hecho, muchos filósofos rechazan esta idea y sostienen, al contrario, que las consideraciones filosóficas tienen anterioridad o independencia de cualesquiera objetos particulares, y que los temas filosóficos verdaderos no son otra cosa que presuntos problemas perennes o generales. Para ellos, la química sería interesante sólo si les diera ejemplos o explicaciones de los problemas generales de la filosofía, y en la medida en que así lo hiciera. Si la opinión de perennidad fuera correcta, no habría jamás una filosofía particular de la química, ni de la

biología, etc., porque el interés filosófico en tales campos sería sólo instrumental, a fin de resolver cuestiones perennes. Como he indicado con mis comentarios históricos de la filosofía en la primera parte de este capítulo, hay buenas razones para dudar de tales problemas perennes de la filosofía, que más bien son consecuencia de una historiografía arbitraria de la filosofía en función de autoridades preferidas. En lugar de eso, yo defendería una especie de pragmatismo según el cual las consideraciones filosóficas deberían derivarse siempre de los objetos específicos (los *prágmata* en griego).

A diferencia de la opinión de perennidad, la opinión pragmática requiere una comprensión detallada de la química, no sólo en su estado presente, sino en su desarrollo histórico. Por eso la filosofía de la química debe estar estrechamente ligada a la historia de la química. Además, debido al increíble tamaño de la química contemporánea (alrededor de un millón de publicaciones al año), se necesitan métodos nuevos para comprender lo que los químicos hacen en realidad. No ayuda mucho preguntar a uno o dos químicos qué hacen sus cuatro millones de colegas. Eso simplemente está fuera del alcance intelectual de las personas (Schummer, 1999). Más bien se necesitan métodos empíricos para emitir juicios válidos. Por ejemplo, la mayoría de la gente no creería que mucho más de la mitad de los químicos sintetizan sustancias nuevas de manera sistemática; sin embargo, eso es lo que dice el análisis estadístico (Schummer, 1997b). Por último, y no menos importante, las consideraciones filosóficas de la química deberían guardar relación con los problemas que los químicos afrontan realmente.

Una vez que entendemos mejor lo que hacen y lo que les preocupa, podemos hacer los análisis filosóficos que considero temas de la madurez. Éstos incluyen las investigaciones conceptuales, metafísicas y metodológicas antes mencionadas. Sin embargo, también comprenden temas que están fuera del alcance de la filosofía convencional de la ciencia.

Una mirada a la filosofía de la biología

Es instructivo ver lo que los filósofos de la biología consideran hoy los principales temas de su disciplina, en un estado de madurez como podemos suponer. Tómese, por ejemplo, el índice de la reciente antología *The Philosophy of*

Biology, coordinada por David L. Hull y Michael Ruse, y publicada por la Oxford University Press en 1998 (véase el cuadro II.1). Se trata de una colección de 36 artículos dividida en 10 secciones temáticas. Las cuatro primeras secciones son sobre asuntos metafísicos, metodológicos y conceptuales de la teoría evolutiva; la sección V está dedicada a cuestiones ontológicas de la taxonomía. La segunda mitad del libro asocia diversos temas de la biología con distintas ramas de la filosofía de la ciencia, como la antropología, la ética teórica, la ética aplicada, la filosofía de la historia y la filosofía de la religión. No hay un esquema general de cómo se relacionan los temas científicos con asuntos filosóficos, de modo que pudiéramos trasladarlos simplemente a los asuntos filosóficos de la química. En vez de eso, los asuntos filosóficos se derivan de las peculiaridades de los temas biológicos.

CUADRO II.1. *Índice de* The Philosophy of Biology, *coordinado por David L. Hull y Michael Ruse, Oxford University Press, Oxford, 1998; 36 artículos agrupados en 10 secciones temáticas*

Encabezados de sección	*Ramas filosóficas relacionadas*
I. Adaptación	
II. Desarrollo	Cuestiones metafísicas, metodológicas y conceptuales de la teoría evolutiva
III. Unidades de selección	
IV. Función	
V. Especie	Ontología, clasificación
VI. Naturaleza humana	Antropología
VII. Altruismo	Ética teórica
VIII. Proyecto del genoma humano	Ética aplicada
IX. Progreso	Filosofía de la historia, epistemología
X. Creacionismo	Filosofía de la religión

Descubrir temas de filosofía de la química: algunos ejemplos

Lo que los filósofos de la química pueden aprender, y en mi opinión deberían aprender, de la filosofía de la biología es a descubrir cuestiones filosóficas derivadas de las peculiaridades de la química. No hay reglas sencillas ni recetas para hacerlo, ya que la filosofía es una empresa creativa. Sin embargo, se pueden tomar las ramas de la filosofía como guía, como instrumentos analíticos antes que como conjuntos de temas perennes. Para ilustrar esto, ofrezco por último algunos ejemplos de mi obra reciente, organizados de acuerdo con distintas ramas de la filosofía y cada uno relacionado, en mi opinión, con peculiaridades evidentes de la química.[23]

1) Lógica. La lógica filosófica, anterior a la lógica formal o simbólica, explora estructuras conceptuales con las que representamos y reflejamos el mundo. Si estudiamos la estructura conceptual de la química, resulta que está construida sobre una clase peculiar de relaciones (Schummer, 1997c, 1998a). Por ejemplo, una propiedad química describe una compleja relación dinámica entre varias sustancias que depende del contexto, y no algo que es propio de una cosa aislada. Algunos filósofos clásicos, como Hegel, Cassirer y Bachelard, reconocieron hace tiempo la peculiar estructura relacional de la química, que también está profundamente arraigada en nuestro sentido común, por ejemplo, cuando usamos metáforas de la química para describir relaciones sociales. Sin embargo, con excepción del filósofo químico Peirce y sus seguidores, los lógicos han descuidado gravemente las relaciones, tanto que apenas comprendemos la manera en que las complejas estructuras conceptuales de la química se construyen a partir de relaciones químicas básicas (Schummer, 1996c, 1998a).

2) Ontología. Cuando usamos estructuras conceptuales para expresar el mundo, entramos en el terreno de la ontología. La química ha construido el sistema de clasificación más avanzado de todas las ciencias para sus más de 20 millones de sustancias, del que no existe modelo alguno en otros campos. Tomar en serio la química como ciencia clasificatoria, desde el punto de vista ontológico, requiere la investigación de nociones muy abstractas, como entidad química, especie, identidad, semejanza, pertenencia a clases, distinciones

[23] Schummer (manuscrito de libro en preparación) hará una exposición integral de estos temas.

y jerarquías. También en este caso, estamos apenas al principio de un entendimiento que demuestra que la estructura ontológica de la química sigue en estado de cambio (Schummer, 2002a). Por ejemplo, aunque la clasificación química clásica se basaba en una estricta correspondencia entre sustancias y moléculas puras, recientes tendencias a incluir también especies cuasimoleculares ponen en duda el sistema tradicional y suscitan profundas cuestiones ontológicas sobre los criterios de identidad de las especies.

3) Metodología. Aunque los filósofos de la ciencia nos han venido diciendo que los científicos aspiran a una descripción teórica verdadera del mundo natural, la gran mayoría de los químicos (lo que también significa la gran mayoría de los científicos; véase la gráfica II.1) se han dedicado en realidad a sintetizar sustancias nuevas, es decir, a cambiar el mundo natural. No cabe duda de que la quimiosíntesis es la peculiaridad más evidente de la química, pero también la más descuidada porque es ajena a cualquiera de las ideas aceptadas de la filosofía de la ciencia. Puesto que la metodología se ocupa de los métodos científicos, una comprensión metodológica de la química sintética requiere un análisis de las metas, procedimientos, técnicas y dinámica de ese quehacer (Schummer, 1997a, 1997b). Necesitamos, en particular, un mejor entendimiento de los conceptos teóricos de la química, que, a diferencia de los conceptos mecanocuánticos, no sólo predigan fenómenos naturales, sino que sirvan de guía para producir sustancias nuevas un millón de veces al año.

4) Filosofía del lenguaje y semiótica. Los químicos tienen un lenguaje propio de signos de fórmulas estructurales y mecanismos de reacción, que exige un análisis semiótico (Schummer, 1996c). Lejos de ser un simple conjunto de signos icónicos, simbólicos o denotativos de índices (según la semiótica clásica de Peirce y Morris), es un sistema lingüístico particular dotado de elementos de teoricidad que permite a los químicos comunicarse entre sí de manera concisa y precisa en torno a entidades y relaciones químicas; es también el principal dispositivo teórico para predecir y producir nuevas sustancias químicas (Schummer, 1998a). En comparación con su extraordinaria eficacia, es todavía muy poca nuestra comprensión filosófica de la manera en que se codifica la teoría en el lenguaje, y de si el sistema es un nuevo tipo de teoría, diferente de lo que conocemos de otras ciencias.

5) Filosofía de la tecnología. Aunque la química sintética se distingue por su productividad, esto no implica que sea una especie de tecnología. De hecho, es un buen ejemplo para evaluar varias distinciones convencionales entre ciencia y tecnología según sus ideas subyacentes de ciencia (Schummer, 1997d). Resulta que todas estas ideas difícilmente concuerdan con la ciencia experimental contemporánea. El caso de la química sintética podría ayudar a afinar los conceptos de ciencia y tecnología para aumentar la comprensión de sus relaciones. Por ejemplo, los historiadores de la tecnología hoy consideran que la industria química es la única industria de base efectivamente científica. Si esto es cierto, los filósofos afrontan el reto de explicar la peculiar relación epistemológica entre el conocimiento químico y la tecnología sin confundirlos.

6) Filosofía de la naturaleza. Mientras que en todas las demás ciencias naturales la naturaleza es, por definición, el objeto de su estudio, la química rompe la regla en virtud de la extraña oposición entre "lo natural y lo químico", sostenida lo mismo por químicos que por no químicos. En este caso, compete a los filósofos analizar en qué noción peculiar de naturaleza radica la oposición, y si ésta tiene o no tiene fundamento. Los análisis históricos revelan que la oposición es posterior a la antigua filosofía griega y ha permeado la era cristiana desde los primeros tiempos hasta el presente (Schummer, 2001a, 2003b, 2004b). Los análisis sistemáticos muestran que la oposición, aun siendo insignificante desde el punto de vista descriptivo, cumple fines normativos en juicios cuasimorales implícitos (Schummer, 2003b). He aquí también una tarea para los filósofos: sentar las bases de un discurso normativo haciendo explícito lo implícito.

7) Filosofía de la literatura. Otro campo importante para hacer explícito lo implícito es la literatura, en la medida en que uno y otro son vehículos de la imagen pública de los científicos. Hay muchas quejas de la brecha entre las "dos culturas" y de la mala imagen de los científicos, expresada en personajes como el "científico loco". También es bien sabido que los científicos con frecuencia aparecen en los medios de comunicación como una mezcla del alquimista medieval y el químico moderno. Sin embargo, poco se sabe de por qué los escritores dieron forma a estos personajes. Investigaciones de la literatura del siglo XIX revelan que los escritores escogieron de entre todas las ciencias la química como blanco de ridículo por consideraciones metafísicas, teológicas y morales (Schummer, en preparación). Una vez más, compete a los filósofos de la química analizar esas acusaciones de particularismo, materialis-

mo, ateísmo y soberbia, que conforman históricamente el trasfondo filosófico de la imagen pública de la ciencia actual.

8) Ética. Aunque la ética aplicada es hoy un floreciente campo de la filosofía, la química no recibe casi atención. Esto es más que asombroso porque muchas cuestiones morales importantes, desde consideraciones ambientales y farmacológicas hasta la investigación de armas químicas, tienen una estrecha relación con la química. El hecho de que los especialistas en química sintética no sólo produzcan conocimiento, sino que cambien el mundo material, ha suscitado preocupaciones públicas desde hace por lo menos dos siglos. Se necesitan análisis éticos sobrios que separen las cuestiones morales propiamente dichas de las preocupaciones cuasimorales transmitidas por la literatura o por las nociones normativas de la naturaleza, a fin de preparar un marco ético para un discurso moral (Schummer, 2001b, 2001-2002, y en preparación).

9) Estética. Más que cualesquiera otros científicos, los químicos hacen uso intensivo de toda clase de medios de visualización, desde simples dibujos hasta la realidad virtual. Además, han sostenido cada vez más que sus productos sintéticos son bellos, y hay evidentes pruebas empíricas de que esto constituye una motivación real de la investigación. Por estas dos razones es necesario estudiar la función de la estética en la investigación química (Schummer, 1995, 2003a; Spector y Schummer, 2003). El análisis estético, en particular, puede ayudar a entender aspectos decisivos de creatividad e innovación en la investigación. Si la belleza es un valor aceptado en la investigación, tenemos que comprender en qué teoría estética se basa esa noción de belleza y cómo se relacionan los valores estéticos con otros valores, tanto epistemológicos como morales, de la investigación.

La lista de temas podría extenderse fácilmente. Sin embargo, no quiero dirigir la atención hacia mi propia investigación. Si el capítulo tiene un mensaje, éste consiste en animar a los filósofos de la química a pensar de forma independiente, ser escépticos ante los problemas perennes y descubrir nuevos temas filosóficos de la química. Quedan muchos por hallar.

Permítaseme por último volver a la gráfica II.1. Si se compara el tamaño de la filosofía con el de la química, es evidente que la filosofía de la química jamás será siquiera visible en esa cifra. Sin embargo, la sola masa de la química y su omnipresencia hacen de la filosofía de la química uno de los más importantes y difíciles campos de la filosofía.

BIBLIOGRAFÍA

Bachelard, G., *Le pluralisme cohérent de la chimie moderne,* J. Vrin, París, 1932.

——, *Le matérialisme rationnel,* Presses Universitaires de France, París, 1953.

Baird, D., "Analytical Chemistry and the Big Scientific Instrumentation", *Annals of Science,* núm. 50, 1993, pp. 267-290.

——, *Thing Knowledge: A Philosophy of Scientific Instruments,* University of California Press, Berkeley/Los Ángeles, 2004.

Bensaude-Vincent, B., *Éloge du mixte. Matériaux nouveaux et philosophie ancienne,* Hachette, París, 1998.

——, y B. Bernardi (eds.), *Jean-Jacques Rousseau et la chimie,* número especial de *Corpus,* núm. 36, 1999.

Bhushan, N., y S. Rosenfeld (eds.), *Of Minds and Molecules. New Philosophical Perspectives on Chemistry,* Oxford University Press, Nueva York, 2000.

Brakel, J. van, "Über die Vernachlässigung der Philosophie der Chemie", en N. Psarros, K. Ruthenberg y J. Schummer (eds.), *Philosophie der Chemie: Bestandsaufnahme und Ausblick,* Königshausen & Neumann, Würzburg, 1996.

——, "On the Neglect of the Philosophy of Chemistry", *Foundations of Chemistry,* núm. 1, 1999, pp. 111-174.

——, *Philosophy of Chemistry. Between the Manifest and the Scientific Image,* Leuven University Press, Lovaina, 2000.

——, y H. Vermeeren, "On the Philosophy of Chemistry", *Philosophy Research Archives,* núm. 7, 1981, pp. 501-552.

Brock, W., "The Philosophy of Chemistry", *Ambix,* núm. 49, 2002, pp. 67-71.

Brush, S. G., "Dynamics of Theory Change in Chemistry", *Studies in History and Philosophy of Science,* vol. 30, 1999, pp. 21-79, 263-302.

Bunge, M., "Is Chemistry a Branch of Physics?", *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie,* núm. 13, 1982, pp. 209-223.

Burbidge, J. W., *Real Process: How Logic and Chemistry Combine in Hegel's Philosophy of Nature,* University of Toronto Press, Toronto, 1996.

Cahn, R. M., *Historische und philosophische Aspekte des Periodensystems der chemischen Elemente*, Hyle Publications, Karlsruhe, 2002.

Caldin, E. F., "Theories and the Development of Chemistry", *The British Journal for the Philosophy of Science*, núm. 10, 1959, pp. 209-222.

——, *The Structure of Chemistry in Relation to the Philosophy of Science*, Sheed & Wards, Londres/Nueva York, 1961 [reimpreso en *Hyle*, vol. 8, núm. 2, 2002, pp. 103-121].

Carrier, M., "Kants Theorie der Materie und ihre Wirkung auf die zeitgenössische Chemie", *Kantstudien*, vol. 81, núm. 2, 1990, pp. 170-210.

Christie, M., *The Ozone Layer: A Philosophy of Science Perspective*, Cambridge University Press, Cambridge, 2001.

Dagognet, F., *Tableaux et langages de la chimie*, Seuil, París, 1969.

Danaher, W. J., *Insight in Chemistry*, University Press of America, Lanham, Maryland, 1988.

Del Re, G., "The Historical Perspective and the Specificity of Chemistry", *Epistemologia*, núm. 10, 1987, pp. 231-240.

Duhem, P., *Mixture and Chemical Combination, and Related Essays*, edición y traducción de P. Needham, Kluwer, Dordrecht, 2002.

Earley, J. E. (ed.), *Chemical Explanation: Characteristics, Development, Autonomy*, New York Academy of Science (Anales de la Academia de Ciencia de Nueva York, vol. 988), Nueva York, 2003.

Engelhardt, D. V., *Hegel und die Chemie: Studie zur Philosophie und Wissenschaft der Natur um 1800*, Pressler, Wiesbaden, 1976.

Francoeur, E., *The Forgotten Tool: A Socio-historical Analysis of Mechanical Molecular Models*, tesis de doctorado, Universidad McGill, Montreal, 1998.

Gavroglu, K. (ed.), *Theoretical Chemistry in the Making: Appropriating Concepts and Legitimising Techniques*, número especial de *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, vol. 31, núm. 4, 2000.

Görs, B., *Chemischer Atomismus. Anwendung, Veränderung, Alternativen im deutschsprachigen Raum in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts*, ERS-Verlag, Berlín, 1999.

Hartmann, H., "Die Bedeutung quantenmechanischer Modelle für die Chemie", en *Sitzungsberichte der Johann Wolfgang Goethe-Universität*, F. Steiner, Wiesbaden, 1965, pp. 151-168.

Holmes, F. L., y T. H. Levere (eds.), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2000.

Hoyningen-Huene, P., "Kuhn and the Chemical Revolution", en SILFS (ed.), *Atti del Convegno Triennale della SILFS, Roma, 3-5 de enero de 1996*, Edizioni ETS, Pisa, 1998, pp. 483-498.

Janich, P. (ed.), *Philosophische Perspektiven der Chemie*, Bibliographisches Institut, Mannheim, 1994.

——, y N. Psarros (eds.), *Die Sprache der Chemie*, Königshausen & Neumann, Würzburg, 1996.

——, y N. Psarros (eds.), *The Autonomy of Chemistry*, Königshausen & Neumann, Würzburg, 1998.

Klein, U., *Verbindung und Affinität: Die Grundlegung der Neuzeitlichen Chemie an der Wende vom 17. zum 18. Jahrhundert*, Birkhäuser, Basilea, 1994.

—— (ed.), *Tools and Modes of Representation in the Laboratory Sciences*, Kluwer, Dordrecht, 2001.

Kuhn, T. S., "Mathematical vs Experimental Traditions in the Development of the Physical Sciences", *The Journal of Interdisciplinary History*, núm. 7, 1976, pp. 1-31.

Laitko, H., "Chemie und Philosophie: Anmerkungen zur Entwicklung des Gebietes in der Geschichte der DDR", en N. Psarros, K. Ruthenberg y J. Schummer (eds.), *Philosophie der Chemie: Bestandsaufnahme und Ausblick*, Königshausen & Neumann, Würzburg, 1996, pp. 37-58.

——, y W. D. Sprung, *Chemie und Weltanschauung*, Urania, Leipzig, 1970, pp. 80-109.

Laszlo, P., *La Parole des choses ou le langage de la chimie*, Hermann, París, 1993.

Lévy, M., "Les relations entre chimie et physique et le problème de la réduction", *Epistemologia*, núm. 2, 1979, pp. 337-369.

Liegener, C., y G. del Re, "Chemistry vs. Physics, the Reduction Myth, and the Unity of Science", *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, núm. 18, 1987(a), pp. 165-174.

——, y G. del Re, "The Relation of Chemistry to Other Fields of Science: Atomism, Reductionism, and Inversion of Reduction", *Epistemologia*, núm. 10, 1987(b), pp. 269-283.

Mauskopf, S. H. (ed.), *Chemical Sciences in the Modern World*, University of Pennsylvania Press, Filadelfia, 1993.

McIntyre, L., y E. R. Scerri (eds.), *The Philosophy of Chemistry*, número especial de *Synthese*, vol. 111, núm. 3, 1997.

Mittasch, A., *Von der Chemie zur Philosophie*, Ebner, Ulm, 1948.

Mittelstraß, J., y G. Stock (eds.), *Chemie und Geisteswissenschaften: Versuch einer Annäherung*, Akademie Verlag, Berlín, 1992.

Morris, P. J. T. (ed.), *From Classical to Modern Chemistry. The Instrumental Revolution*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2002.

Mosini, V. (ed.), *Philosophers in the Laboratory*, Accademia Nazionale di Scienze, Lettere ed Arti di Modena, Roma, 1996.

Neus, J., *Aromatizät: Geschichte und Mathematische Analyse eines fundamentalen chemischen Begriffs*, Hyle Publications, Karlsruhe, 2002.

Nye, M. J., *From Chemical Philosophy to Theoretical Chemistry. Dynamics of Matter and Dynamics of Disciplines 1800-1950*, University of California Press, Berkeley, 1993.

Paneth, F. A., "The Epistemological Status of the Chemical Concept of Element", *The British Journal for the Philosophy of Science*, núm. 13, 1962, pp. 1-14, 144-160 [publicado en alemán en 1931].

Polanyi, M., *Personal Knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy*, University of Chicago Press, Chicago, 1958.

Primas, H., *Chemistry, Quantum Mechanics and Reductionism. Perspectives in Theoretical Chemistry*, Springer, Berlín/Heidelberg/Nueva York, 1981.

——, "Kann Chemie auf Physik reduziert werden?", *Chemie in unserer Zeit*, núm. 19, 1985, pp. 109-119, 160-166.

Psarros, N., *Die Chemie und ihre Methoden. Ein philosophische Betrachtung*, Wiley-VCH, Weinheim, 1999.

——, y K. Gavroglu (eds.), *Ars Mutandi: Issues in Philosophy and History of Chemistry*, Leipziger Universitätsverlag, Leipzig, 1999.

——, K. Ruthenberg y J. Schummer (eds.), *Philosophie der Chemie: Bestandsaufnahme und Ausblick*, Königshausen & Neumann, Würzburg, 1996.

Ramsey, J. L., "Recent Work in the History and Philosophy of Chemistry", *Perspectives on Science*, núm. 6, 1998, pp. 409-427.

Reinhardt, C. (ed.), *Chemical Sciences in the Twentieth Century: Bridging Boundaries*, Wiley-VCH, Weinheim, 2001.

Rheinberger, H. J., *Toward a History of Epistemic Things. Synthesizing Proteins in the Test Tube*, Stanford University Press, Stanford, 1997.

Rocke, A. J., "Kekulé, Buletrov, and the Historiography of the Theory of Chemical Structure", *The British Journal for the History of Science*, núm. 14, 1981, pp. 27-57.

Rothbart, D., y S. W. Slayden, "The Epistemology of a Spectrometer", *Philosophy of Science*, núm. 61, 1994, pp. 25-38.

Ruschig, U., *Hegels Logik und die Chimie. Fortlaufender Kommentar zum "realen Maß"*, Bouvier, Bonn, 1997.

Scerri, E. R., "The Electronic Configuration Model, Quantum Mechanics and Reduction", *The British Journal for the Philosophy of Science*, núm. 42, 1991, pp. 309-325.

——, "Has Chemistry Been at Least Approximately Reduced to Quantum Mechanics?", *PSA*, núm. 1, 1994, pp. 160-170.

——, "The Evolution of the Periodic System", *Scientific American*, vol. 379, núm. 3, 1998, pp. 56-61.

—— (ed.), *The Periodic System*, número especial de *Foundations of Chemistry*, vol. 3, núm. 2, 2001.

——, *The Story of the Periodic System*, McGraw-Hill, Nueva York (de próxima aparición).

Schummer, J., "Ist die Chemie eine schöne Kunst? Ein Beitrag zum Verhältnis von Kunst und Wissenschaft", *Zeitschrift für Ästhetik und allgemeine Kunstwissenschaft*, núm. 40, 1995, pp. 145-178.

——, *Realismus und Chemie. Philosophische Untersuchungen der Wissenschaft von den Stoffen*, Königshausen & Neumann, Würzburg, 1996(a).

——, "Bibliographie chemiephilosophischer Literatur der DDR", *Hyle*, núm. 2, 1996(b), pp. 2-11.

——, "Zur Semiotik der chemischen Zeichensprache: Die Repräsentation dynamischer Verhältnisse mit statischen Mitteln", en P. Janich y N. Psarros (eds.), *Die Sprache der Chemie*, Königshausen & Neumann, Würzburg, 1996(c), pp. 113-126.

——, "Scientometric Studies on Chemistry I: The Exponential Growth of Chemical Substances, 1800-1995", *Scientometrics*, núm. 39, 1997(a), pp. 107-123.

——, "Scientometric Studies on Chemistry II: Aims and Methods of Producing new Chemical Substances", *Scientometrics*, núm. 39, 1997(b), pp. 125-140.

——, "Towards a Philosophy of Chemistry", *Journal for General Philosophy of Science*, núm. 28, 1997(c), pp. 307-336.

——, "Challenging Standard Distinctions between Science and Technology: The Case of Preparative Chemistry", *Hyle*, núm. 3, 1997(d), pp. 81-94.

——, "The Chemical Chore of Chemistry I: A Conceptual Approach", *Hyle*, núm. 4, 1998(a), pp. 129-162.

——, "Physical Chemistry: Neither Fish nor Fowl?", en P. Janich y N. Psarros (eds.), *The Autonomy of Chemistry*, Königshausen & Neumann, Würzburg, 1998(b), pp. 135-138.

——, "Coping with the Growth of Chemical Knowledge: Challenges for Chemistry Documentation, Education, and Working Chemists", *Educación Química*, vol. 10, núm. 2, 1999, pp. 92-101.

Schummer, J., (ed.), *Models in Chemistry,* número especial de *Hyle,* vol. 5, núm. 2. ("Models in Theoretical Chemistry"); vol. 6, núm. 1 ("Molecular Models"); vol. 6, núm. 2 ("Modeling Complex Systems"), 1999-2000.

——— (ed.), *Ethics of Chemistry,* número especial de *Hyle,* vol. 7, núm. 2, y vol. 8 , núm. 1, 2001-2002.

———, "Aristotle on Technology and Nature", *Philosophia Naturalis,* núm. 38, 2001(a), pp. 105-120.

———, "Ethics of Chemical Synthesis", *Hyle,* núm. 7, 2001(b), pp. 103-124.

———, "The Impact of Instrumentation on Chemical Species Identity: From Chemical Substances to Molecular Species", en P. J. T. Morris (ed.), *From Classical to Modern Chemistry. The Instrumental Revolution,* The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2002(a).

———, "Aesthetics of Chemical Products: Materials, Molecules, and Molecular Models", *Hyle,* núm. 9, 2003(a), pp. 73-104.

———, "The Notion of Nature in Chemistry", *Studies in History and Philosophy of Science,* núm. 34, 2003(b), pp. 705-736.

———, "The Philosophy of Chemistry", *Endeavour,* núm. 27, 2003(c), pp. 37-41.

———, "Why Do Chemists Perform Experiments?", en D. Sobczynska, P. Zeidler y E. Zielonacka-Lis (eds.), *Chemistry in the Philosophical Melting Pot,* Peter Lang, Fráncfort, 2004(a).

———, "Naturverhältnisse in der modernen Wirkstoff-Forschung", en K. Kornwachs (ed.), *Technik–System–Verantwortung,* LIT Verlag, Münster, 2004(b), pp. 629-638.

———, "Multidisciplinarity, Interdisciplinarity, and Patterns of Research Collaboration in Nanoscience and Nanotechnology, *Scientometrics,* núm. 59, 2004(c), pp. 425-465.

———, "Forschung für die Armen versus Forschung für die Reichen: Verteilungsgerechtigkeit als moralisches Kriterium zur Bewertung der angewandten Chemie", en C. Sedmak (ed.), *Option für die Armen in den Wissenschaften,* Herder, Friburgo (de próxima aparición).

———, "Historical Roots of the 'Mad Scientist': Chemists in 19th-Century Literature", *Ambix* (en preparación).

———, *Chemical Relations. Topics in the Philosophy of Chemistry* (manuscrito de libro en preparación).

Sobczynska, D., y P. Zeidler (eds.), *Chemia: Laboratorium, Mysli i Dzialan,* Wydawnictwo Naukowe Instytut Filozofii UAM, Poznań, 1999.

———, P. Zeidler y E. Zielonacka-Lis (eds.), *Chemistry in the Philosophical Melting Pot,* Peter Lang, Fráncfort, 2004.

Spector, T., y J. Schummer (eds.), *Aesthetics and Visualization in Chemistry,* número especial de *Hyle,* núm. 9, 2003.

Ströker, E., *Denkwege der Chemie. Elemente ihrer Wissenschaftstheorie,* Alber, Friburgo, 1967.

———, *Theoriewandel in der Wissenschaftsgeschichte: Chemie im 18. Jahrhundert,* Klostermann, Fráncfort, 1982.

Tague, J., J. Beheshti y L. Rees-Potter, "The Law of Exponential Growth: Evidence, Implications, and Forecasts", *Library Trends,* núm. 30, 1981, pp. 125-150.

Theobald, D. W., "Some Considerations on the Philosophy of Chemistry", *Chemical Society Reviews,* vol. 5, núm. 2, 1976, pp. 203-214.

Vasconi, P., *Sistema delle scienze naturali e unità della conoscenza nell'ultimo Kant,* Olschki, Florencia, 1999.

Vermeeren, H. P. W., "Controversies and Existence Claims in Chemistry: The Theory of Resonance", *Synthese,* núm. 69, 1986, pp. 273-290.

Weininger, S. J., "The Molecular Structure Conundrum. Can Classical Chemistry Be Reduced to Quantum Chemistry?", *Journal of Chemical Education,* núm. 61, 1984, pp. 939-944.

Woolley, R. G., "Must a Molecule Have a Shape?", *Journal of the American Chemical Society,* núm. 100, 1978, pp. 1073-1078.