

La esencia
de la **Química**



La esencia de la química

Reflexiones sobre filosofía y educación

José Antonio Chamizo (ed.)



Ilustraciones y diseño de portada
Pablo Rulfo

Diseño y formación
www.YosuneChamizoAlberro.com

Edición
Federico Martínez Delamain

Primera edición 2007

D.R. © **Universidad Nacional Autónoma de México**
Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F.
FACULTAD DE QUÍMICA

ISBN 978-970-32-4548-2

Impreso y hecho en México

Índice

Presentación • 7

Chamizo, J.A. • II

El *curriculum* oculto en la enseñanza de la química

Educación Química, 2001, 12, 194-198

Izquierdo, M. • 27

Aspectos epistemológicos en la enseñanza de la ciencia

En: Perales F.J. y Cañal P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales*,

Editorial Marfil, Alcoy, 2000

Crosland, M. • 61

Alegorías y analogías en la literatura alquímica

Estudios Históricos en el lenguaje de la química,

UNAM, 1988

Bachelard, G. • 95

La paradoja del materialismo de los filósofos.

De la generalidad a la especificidad. De la homogeneidad a la pureza

El materialismo racional, Paidós, Buenos Aires, 1976

Jacob, C. • 125

**Análisis y síntesis. Operaciones interdependientes
entre la práctica y el lenguaje químico**

HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry, 2001, 7, 31-50

Chamizo, J.A. • 159

Hacia una cultura química

Ciencia. Revista de la Academia Mexicana de Ciencias, 2005, 56, 17-26

Scerri, E. • 179

The new philosophy of chemistry and its relevance to chemical education

Chemistry Education Research and Practice, 2001, 2, 165-170

Apéndice: bibliografía sobre filosofía y educación • 193



Presentación

La ciencia es una de las contribuciones más importantes de la gran aventura intelectual de las sociedades humanas a lo largo de su historia, lugar donde se concretan la curiosidad y los incansables intentos de representar el mundo en el que construimos y vivimos. La ciencia es una creación humana, por lo tanto también parte fundamental de su cultura y que, aunque soslayada por muchos, condiciona profundamente las ideas sociales, algunas veces en forma velada pero no por ello menos cierta. A pesar de la inequívoca importancia de la ciencia en la constitución de nuestra cultura, la ciencia que se presenta en la escuela y que reproducen la mayoría de los libros de texto no la refleja, y los profesores encargados de recrearla y transmitirla, seguramente porque no han sido preparados para ello, tampoco lo hacen. Hay, entre muchos de ellos, un desconocimiento parcial de las asignaturas y del quehacer científico. Prácticamente en todo el mundo los profesores reducen la cultura y la tradición científica a una receta, el llamado método científico. Se obliga a los alumnos a memorizar una vía supuestamente universal para lograr hacerse de conocimientos, la cual no usan siquiera en sus propias clases de ciencias y menos en los laboratorios. En el caso de la química el asunto es aún peor. Con el triunfo, a principios del siglo xx, del positivismo axiomático y teórico como la forma de entender la ciencia, su posición central (marcada por su vocación experimental) quedó reducida por la física y utilizada por la biología. Decimos que la química es una ciencia... pero resulta muy difícil decir por qué lo es.

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, con una forma específica de medir y con un lenguaje propio.

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 discute sobre muchos asuntos, uno de ellos es el de la educación. Así, la razón del presente texto es presentar algunas reflexiones sobre la crisis actual de la educación química en el mundo y de cómo un mayor y mejor entendimiento de la filosofía de la química permitirá enfrentarlas. Lo anterior porque no es suficiente profundizar en el conocimiento específico de los contenidos, como sistemáticamente se ha hecho y que sin duda es fundamental. Es necesario, además, incorporar la reflexión sobre la estructura de la ciencia y el papel que ésta ha jugado en nuestra sociedad.

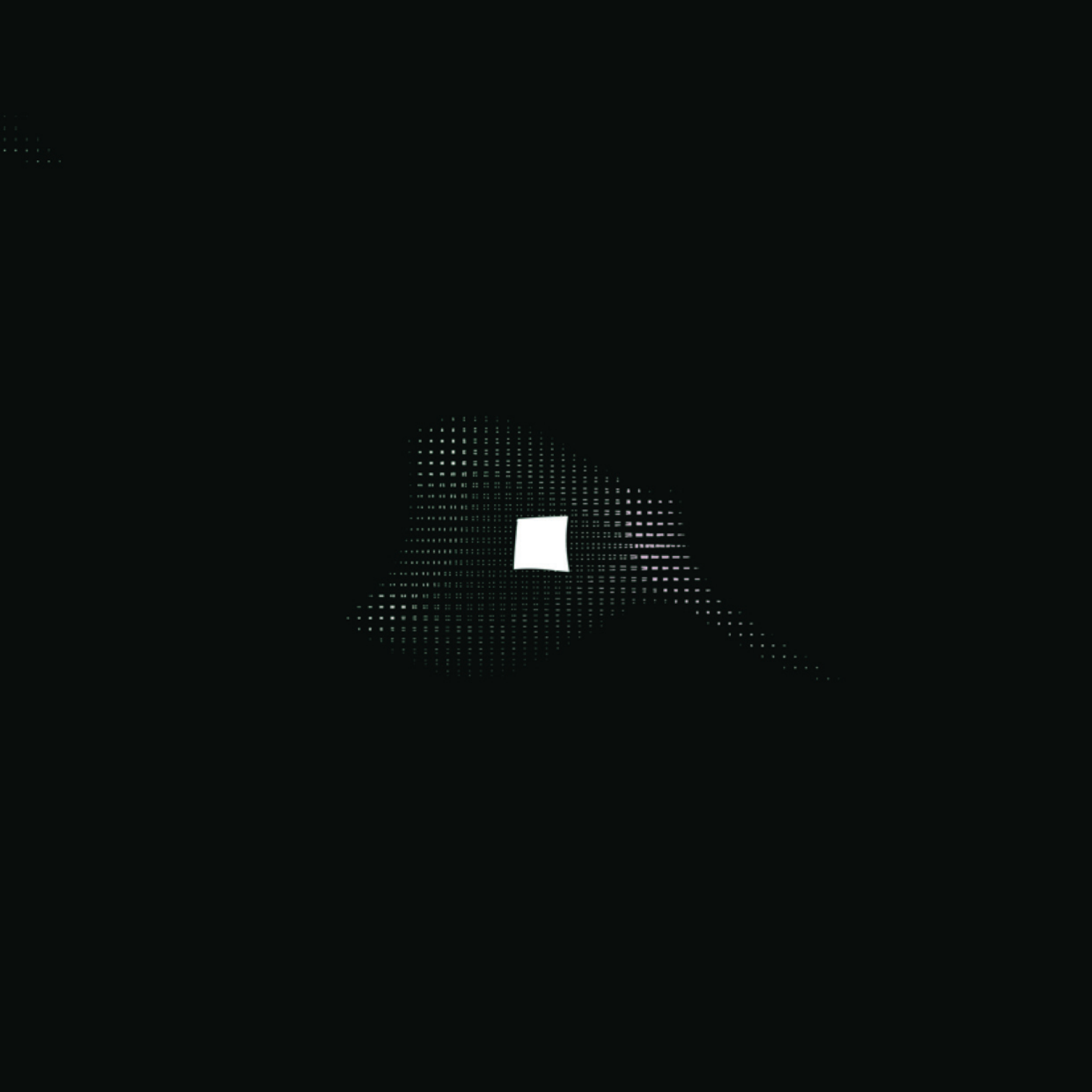
Esta reflexión teórica es acompañada por la interpretación que un artista gráfico, Pablo Rulfo, hizo de lo que en su entender, y después de la intensa y gozosa conversación que sostuvimos, es la esencia de la química. Así el lector encontrará no sólo discursos sobre educación, filosofía, métodos o lenguaje, sino también sobre la emoción de la transformación. Espero que sea compartida.

El presente libro le debe a Dulce María su alegría, a Karen Álvarez su paciente transcripción de algunos de los textos y a José Ruíz, Yosune Chamizo Alberro y Federico Martínez su diligente y profesional participación, así como al Programa de Apoyo a Proyectos Institucionales para el Mejoramiento de la Enseñanza de la UNAM (PE204206) su apoyo económico y al Comité Editorial de la Facultad de Química sus sugerencias y aprobación.

Finalmente los químicos hacemos experimentos, ya sea para medir alguna propiedad particular de la materia, ya sea para preparar nuevas formas de materia. Lo hacemos de manera específica, nos guía nuestro lenguaje... esa es nuestra cultura. Aprender de ella nos permitirá reconocernos como parte de esa vieja tradición de los que cambian y construyen el mundo.

José Antonio Chamizo

Septiembre 2007



El *curriculum* oculto en la enseñanza de la química

José Antonio Chamizo

Voy a lanzar ciertas acusaciones contra los enseñantes de ciencias y la enseñanza de la ciencia. En primer lugar, los acuso a ustedes, enseñantes de ciencias, de dedicar sus energías a la mera transmisión de conocimientos y principios científicos; de ser, en otras palabras, libros de texto animados hasta el punto de que sus alumnos creen que la ciencia no es nada más que eso. En segundo lugar, los acuso de dar a sus alumnos una idea falsa de la esencia de la ciencia los acuso de no transmitir la gran verdad de que la esencia de la ciencia es un método, una empresa desordenada, imaginativa, con frecuencia poco sistemática donde la suerte y la perseverancia desempeñan un papel importante. Los acuso, pues, de transmitir a sus alumnos la idea falsa de que los modelos y analogías que utilizan para explicar ideas científicas son representaciones exactas de la realidad, en vez de ser, como son en realidad, construcciones imaginativas de la mente humana. Mi tercera acusación es que no han hecho mucho para ayudar a sus alumnos normales y por debajo de lo normal para que sepan distinguir entre lo que es ciencia y lo que no lo es.

W. J. Fletcher, 1979

La enseñanza de la química, prácticamente en todo el mundo, asume un *currículum* químicamente puro que los estudiantes tienen que aprender. Independientemente del nivel escolar, se indica que la química es una ciencia (como acto de fe), que la materia está compuesta por átomos y moléculas, que hay cambios físicos y químicos y que una manera de reconocerlos es a través de la reacción química, sin duda el corazón de todo *currículum*. Sin embargo, la energía y el tiempo asociados a las reacciones químicas parecen ser asuntos de segunda importancia y generalmente son relegados u ocupan un espacio menor. ¿Es ésta la estructura conceptual coherente de la química? ¿Se puede aprender química de otra manera? ¿Cuáles son, si las hay, las ideas fundamentales que hay que considerar en un *currículum* de química básica para que todo ciudadano pueda apreciarla? Aprender, entender, apreciar palabras que muchas veces quedan huecas de contenido. A pesar de que los ya no tan nuevos proyectos curriculares que relacionan de una manera mucho más explícita la química con la sociedad (en la tradición de Science and Technology in Society como ChemCom (Chem- Com, 1988) y Salters (Salters, 1987)) o de aproximaciones intermedias (Chamizo, 1997) que intentan dar una respuesta, la discusión sobre la coherencia interna de esa cosa que llamamos química sigue abierta (de Vos, 1994; Jensen, 1998; Scerri, 2000). Más aún, la forma en la que se aborda el *currículum* explícito, es tan importante como este mismo. De hecho, desde hace muchos años se ha acuñado el término "*currículum* oculto" para identificar todos aquellos aspectos que no son revelados y que, sin embargo, subyacen en toda estructura curricular. Retomando a Bohoslavsky (Bohoslavsky, 1975):

Insisto en que se enseña tanto con lo que se enseña como con aquello que no se enseña; muchas veces lo que no se enseña es lo vital el especialista no es más que un ilustre enajenado.

Tabla 1. Participantes del Foro Internacional por país de origen.

Alemania	3	Gramm, A., Minssen, M., Sumfleth, E.
Australia	5	Chittleborough G., Cross, R., Davies, A., Fensham,P, Strube, P.
Canadá	2	Gillespie, R., Mahaffy, P.
Estados Unidos	3	Hawkes, S., Key M.B., Spencer, J.
Hungría	1	Kisfaludi, A.
México	1	Chamizo, J.A.
Nueva Zelandia	1	Schollum, B.
Reino Unido	10	Adey, P., Akeroyd, M., Barker, V., Braund, N., Jenkins, E., Kempa,R., Millar, R., Ramsden, J., Smith, N., Sutton, C.
Rusia	1	Grot, V.
Sudáfrica	1	Bradley, J.

En 1991 durante la realización de la XI Conferencia Internacional en Educación Química en York, Inglaterra, un grupo de profesores e investigadores de diversos lugares del mundo (Tabla 1) fuimos invitados a participar en el proyecto Conceptual Structure of School Chemistry (cssc) que se estaba llevando a cabo en la Universidad de Utrech, en Holanda. La idea fundamental de dicho proyecto consistía en reconocer si había una estructura común en la enseñanza de la química en los diferentes países y en caso de que así fuera, identificar sus orígenes. Después de una primera reunión con todos los participantes, los responsables del proyecto escribieron

un documento, alrededor de 10 premisas sobre la enseñanza de la química escolar, el cual fue sometido a la consideración de todo el grupo a lo largo de los subsiguientes años (Tabla 1). Los integrantes del denominado Foro Internacional, basados en nuestra propia experiencia, comentamos y sugerimos correcciones de este primer documento con el que mostramos una gran cantidad de discrepancias. Sin embargo se identificó, respecto al *currículum* en química, una posición dominante que, como su nombre lo indica, es la que prevalece prácticamente en todo el mundo. Así, por ejemplo, la premisa número 9, cuya idea central es que todo el *currículum* químico escolar tiene una estructura conceptual que no implica una posición filosófica o pedagógica, fue corregida por:

Todo el *currículum* químico escolar actual tiene una estructura dominante basada en la teoría corpuscular, la cual es rígidamente combinada con una estructura filosófica, el positivismo educativo y una estructura pedagógica, la preparación del futuro químico profesional.

Finalmente, una versión corregida en la que se indica un consenso entre todos los participantes acaba de ser publicada (van Berkel, 2000) (Tabla 2). Como integrante de este Foro Internacional considero que la discusión allí sostenida es de capital importancia para el desarrollo futuro de los planes de estudio en química, a cualquier nivel de escolaridad (pero particularmente a nivel preuniversitario). A pesar de lo limitado del grupo y del complejo proceso de discusión, los acuerdos obtenidos sobre los aspectos más generales permiten suponer que, con las precauciones del caso, el resultado es suficientemente provocador para ser ignorado. Ésa es la razón de este documento, dar a conocer las importantes carencias del *currículum* actual, el *currículum* oculto de la química escolar en su posición dominante.

Tabla 2. Diez premisas sobre la enseñanza de la química.

1. La química se incorpora como disciplina en la educación secundaria a partir del siglo XIX y siempre ha sido enseñada como una ciencia. Se hace explícito, muchas veces desde las primeras páginas de los libros de texto, que la química es una de las ciencias naturales. Los conceptos que van a ser enseñados son seleccionados de acuerdo con su relevancia científica. El estudiante es visto como un futuro científico que buscará especializarse en diversos aspectos de la investigación química. El uso de productos químicos y procesos en la sociedad es presentado como algo que se desprende de la ciencia.

2. La química es inmediatamente distinguida de otras ciencias naturales por su objeto de investigación que es la reacción química. El concepto de reacción es introducido muy temprano en el *currículum* y es definido de manera muy general como el proceso a través del cual una o más sustancias son convertidas en otras sustancias. Cada sustancia es caracterizada por un conjunto de propiedades intrínsecas. Además, los fenómenos químicos son frecuentemente presentados como irreversibles y más fundamentales que los fenómenos físicos. La definición de reacción química requiere del concepto específico de sustancia.

3. El concepto de reacción es ejemplificado a través de reacciones específicas. En ellas se enfatiza el hecho de su espectacularidad y su diversidad, y ocasionalmente su impredecibilidad. Desde ese momento, el *currículum* aparece como un intento de respuesta a la posibilidad de predecir el producto de las reacciones.



4. Una manera de predecir las reacciones químicas es desarrollando una teoría explicatoria. El *currículum* implícitamente ofrece dicha teoría demandando que una reacción debe cumplir las siguientes tres condiciones:

- a)** Conservación de los elementos. Toda reacción que ocurre puede ser balanceada.
- b)** Disminución de la energía libre del sistema de reacción (o incremento de la entropía del sistema que acompaña a la reacción). Muchas veces no se dice de esta manera pero se usa esta condición en los ejemplos de reacciones ácido-base y óxido-reducción.
- c)** La velocidad de la misma debe ser “adecuada”. Sin embargo la explicación de valores grandes (o pequeños) de energía de activación no forma parte del *currículum*. La ausencia de una de estas tres condiciones es explicación suficiente para que no ocurra una reacción química.

5. La posibilidad de predecir reacciones químicas se complementa a través de la química descriptiva. La teoría establece las fronteras de las reacciones químicas mientras que la química descriptiva llena el espacio con ejemplos concretos, como las reglas de solubilidad en inorgánica, o las reacciones de grupos funcionales en orgánica.

6. A pesar de que el concepto de reacción es el más fundamental en la química escolar, se relaciona estrechamente con el concepto de sustancia químicamente pura. Este último permite distinguir entre cambio químico y cambio físico. Los estudiantes deben aprender que un cambio de fase y la formación de una mezcla no son reacciones químicas, a pesar de que en esta última sus propiedades no sean las de sus componentes. Como cada sustancia pura está caracterizada por un conjunto de propiedades, es importante aprender cómo aislar e identificar sustancias puras. Esto explica el tema de técnicas de separación tan pronto en el *currículum*.

7. La posibilidad de predecir también se aplica a las sustancias y, como en el caso de las reacciones, la respuesta está en dos direcciones: por el lado teórico se introduce el concepto de valencia, con el cual se pueden predecir formulas, mientras que por el lado descriptivo se ejemplifican sustancias individuales y en grupos.

8. Se realiza una distinción entre el nivel de fenómenos y el nivel de corpúsculos (átomos, moléculas, electrones). Una vez que se introduce el nivel corpuscular se usa para explicar reactividades y/o convenciones (como es el caso de la nomenclatura).

9. La estructura conceptual del *curriculum* no implica una filosofía específica de la ciencia o de la química en particular. Tampoco prescribe una forma de enseñar. Mientras que muchos profesores (y libros) aspiran a una transferencia directa del conocimiento, otros prefieren que los estudiantes descubran lo más que puedan por sí mismos. Ambos métodos de enseñanza están basados en el mismo *curriculum*.

10. En su desarrollo histórico, la estructura tradicional del *curriculum* ha mostrado un desplazamiento desde la química descriptiva a la teórica. Resultado de su enorme crecimiento en los últimos años, la aproximación teórica ofrece una forma más eficiente de organizar el conocimiento; sin embargo, al mismo tiempo hace la química más difícil de aprender por los estudiantes.

Generalmente, al abordar un nuevo *curriculum* disciplinario, al menos ésta ha sido la tradición al interior de la química, las preguntas a resolver son aquellas relacionadas con los temas a tratar intentando no dejar fuera ninguno de los que en ese momento se conside-

ran los más importantes, sin preocuparse ni de la coherencia interna, ni de las razones por las cuales hay o no que enseñar (mejor dicho incorporar en el *currículum*) dichos temas. El análisis más somero del *currículum* en muchos lugares del mundo y a diferentes niveles educativos nos muestra un mapa de compromisos, cacicazgos y modas. Peor aún, la razón de enseñar la química como ciencia de la manera más anticientífica que se pueda (muchos sabemos, por ejemplo, de la patética práctica en la secundaria de aprenderse de memoria todos los símbolos de los elementos como equivalente a ¡saber química!) para “formar” futuros científicos, además de arrogante, es a todas vistas un fracaso.

Una característica importante del *currículum* actual es la rígida relación existente entre las temáticas, las posturas filosóficas inherentes a la química y la pedagogía. Lo anterior se puede comparar con las ideas de Kuhn (que más en la importancia de la educación en la científico) acerca de cómo se realizan que ningún otro filósofo ha insistido aceptación de determinado concepto las revoluciones científicas, en las que se logra un cambio de paradigma por otro, lo que llevó a identificar cual es la estructura pedagógica de la posición dominante del *currículum* químico (Tabla 3). La principal conclusión obtenida del Foro Internacional, que hay que entender como un diagnóstico, fue: “La educación química normal está aislada del sentido común, de la vida cotidiana, de la sociedad, de la historia y filosofía de la ciencia, de la tecnología, de la física escolar y de la investigación química actual”. Dura y pesimista como es, refleja semejanzas con otras posiciones obtenidas de diversas investigaciones educativas. En particular, las extraídas a partir de las ideas previas de los estudiantes de química (Garnett, 1995; Treagust, 2000) donde se ha reconocido que los estudiantes tienen grandes dificultades con el abstracto e inobservable mundo de la química y más específicamente con la manera en que los profesores se mueven entre las representaciones microscópicas y simbólicas de sustancias y procesos.

Tabla 3. Estructura pedagógica de la posición dominante del *curriculum* químico (van Berkel, 2000).

Características	Posición dominante del <i>curriculum</i> químico*	Enseñanza de la Ciencia Normal**
Objetivos	<ul style="list-style-type: none">• Iniciación y preparación para el futuro químico profesional.• Aprender a sistematizar información química: explicación y predicción de propiedades y formulas.	<ul style="list-style-type: none">• Curriculum preprofesional; iniciación dogmática a problemas preestablecidos.• Mayor entendimiento de los problemas a resolver de acuerdo con el paradigma dominante.
Enseñanza	<ul style="list-style-type: none">• Dogma: propuestas teóricas y algoritmos que se reproducen según la capacidad de la escuela.• Actividades que realizan los profesionales de la química.	<ul style="list-style-type: none">• Los libros de texto conducen a los alumnos en la resolución de problemas empleando lápiz y papel o prácticas cerradas en el laboratorio.
Aprendizaje	<ul style="list-style-type: none">• Memorización sin comprensión de diversos algoritmos (hechos, definiciones, teorías, técnicas).	<ul style="list-style-type: none">• Informar a los estudiantes de la manera más económica y sencilla acerca de los resultados de la investigación química.

*De acuerdo con el Foro Internacional.

**De acuerdo con Kuhn (Kuhn, 1971).

Retomemos la lúcida presentación de Claxton (Claxton, 1991) acerca de para qué enseñamos ciencia, en la que distingue ocho posibles objetivos:

- Transmitir conocimientos científicos.
- Mejorar las teorías de los jóvenes sobre el mundo, para que lo puedan comprender mejor y actuar sobre él con más eficacia.
- Hacer que los jóvenes aprendan mejor.
- Formar científicos rutinarios.
- Ser científicos de frontera.
- Pensar rectamente.
- Ofrecer a los estudiantes una comprensión del mundo de la verdadera ciencia.
- Establecer una alfabetización científica.

La ciencia en general y la química en particular que aparece en la posición dominante se centra, como ya se dijo, en el primero de ellos. Transmitir la mayor cantidad posible de conocimientos científicos, por lo que ¡hay que cubrir los programas! ¿Para qué? ¿Quién sabe? Poco se ha hecho y discutido sobre los otros objetivos (aunque desde hace muchos años hay posturas muy claras al respecto como Varsavsky 1975, Bybee 1994, o más recientemente Adúriz 2000). La existencia de una fuerte tradición alrededor del *currículum* (en su posición dominante la cual es avalada por los diferentes exámenes a los que son sometidos los alumnos) plantea la enorme dificultad de su cambio. Como ya se ha discutido cuando se intenta desarrollar un *currículum* alternativo a nivel preuniversitario (Garforth, 1983):

Está claro que hay un cuerpo de conocimientos sin el cual un currículum no puede ser llamado química. Además, por nuestra propia experiencia en la escuela, en la práctica profesional y en la enseñanza, no podemos ver nada diferente que llene adecuadamente el espacio que llamamos química a ese nivel.

La experiencia desarrollada alrededor de los proyectos curriculares más ambiciosos en cuanto al cambio, Salters y ChemCom, indica la difícil tensión existente entre lo ya conocido y lo nuevo por descubrir, entre la tradición y la novedad. Sin embargo, el construir un proyecto curricular anclado en el contexto de vida de los estudiantes, importante como lo es, no es suficiente. En éste, como en muchos otros casos, la intención determina el contenido y la forma. En su idea original el proyecto ChemCom no aspira a cambiar el *currículum* en su posición dominante, sino únicamente a complementarlo de hecho, se recomienda su uso para aquellos estudiantes que no van a continuar una carrera científica (Sanger, 1996). Y aquí regresamos a la cita previa de Garforth: ¿Qué debe tener un *currículum* para que sea considerado de “química”? Muchos detractores de ChemCom y Salters no consideran que sean de química, entre otras cosas, porque además de lo ya dicho, no tienen el nivel suficiente de fisicoquímica (Greenbowe, 1996). Con los riesgos que ello conlleva a esta difícil pregunta, hemos intentado dar una respuesta desde hace varios años: química es una ciencia que tiene un lenguaje particular (las palabras y los conceptos de la química), un método propio (análisis y síntesis) y una manera específica de contar (empleando la unidad de cantidad de materia, el mol) (Garritz, 1994). Discutible como lo es, a fin de cuentas eso es lo primero que hay que hacer, indicar intenciones y derivar de ellos contenidos y formas. De otra forma no tiene sentido hablar de educación química (Schummer, 1999). El *currículum* cambiará en la medida en que los que lo imparten acepten cambiar (lo cual no solo significa los temas a tratar sino también, y esto es de fundamental

importancia, la manera de evaluarlos) (Chamizo, 2000) y es allí donde hay gran resistencia de muchos profesores a hacerlo. Como se ha dicho en esta misma revista (Talanquer, 2000):

Algunas de las ideas del enfoque Ciencia Tecnología y Sociedad han cobrado fuerza en nuestro país porque la filosofía detrás de ellas, la propuesta de 'ciencia para todos', resulta muy atractiva. Sin embargo, no basta con que unos pocos, los que dirigen y planean estén convencidos; eso es sólo la primera batalla. La Guerra requiere de soldados reflexivos y comprometidos, con la preparación y el apoyo suficientes para hacer de ellos un aliado, y no saboteadores inconscientes o enemigos declarados.

Parece ser que la moda en la vida académica actual es ¡cambiar para que nada cambie! Después de lo aquí dicho sobre el *currículum* oculto, ¿está usted de acuerdo profesor en continuar con lo mismo o en verdaderamente cambiar?

Referencias

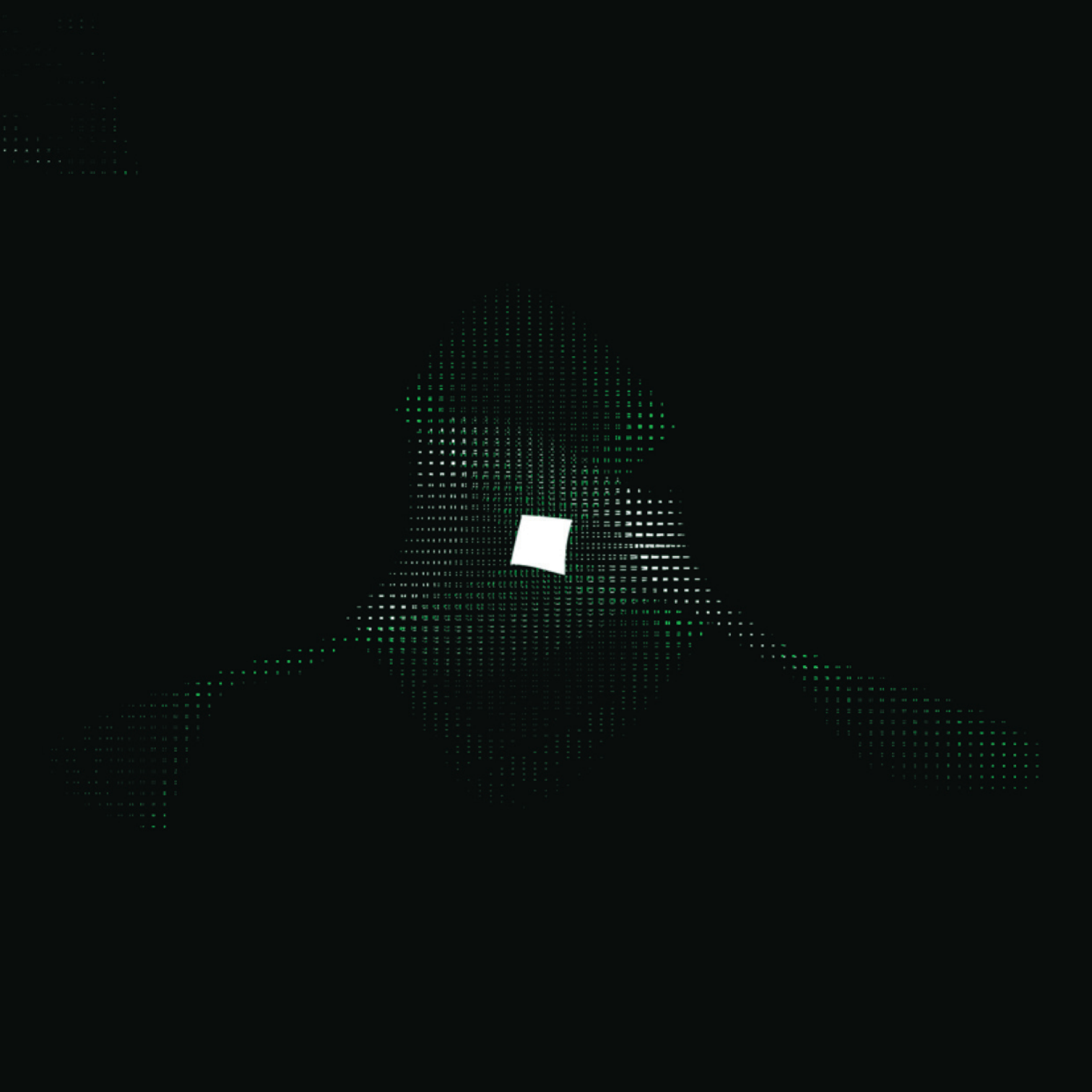
- Adúriz-Bravo A. y Meinardi E. (2000). "Dos debates actuales en la investigación en didáctica de las ciencias experimentales", *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 14, 69-85.
- Bohoslavsky, R. (1975). "Psicopatología del vínculo profesor-alumno: el profesor como agente socializante", *Problemas de Psicología Educativa, Revista de Ciencias de la Educación*, Rosario, Argentina.
- Bybee R.W. and DeBoer G.E. (1994). "Research on goals for the science curriculum", *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, NSTA, Washington.

- Claxton, G. (1991). *Educar mentes curiosas*, Aprendizaje. Visor, Madrid.
- Chamizo, J.A. y Garritz A. (1997). "La química con nosotros. Una propuesta desde Nepantla", *Tarbiya*, 16, 51-67.
- Chamizo, J.A. y Hernández, G. (2000). "Construcción de preguntas, la Ve epistemológica y examen ecléctico personalizado. Evaluación de los aprendizajes. Cuarta y última parte", *Educación química*, 11, 132-137.
- ChemCom Chemistry in the Community*, (1988). ACS, Kendall/ Hunt, Dubuque.
- de Vos, W.; van Berkel, B. and Verdonk, A. (1994). "A coherent conceptual structure of the chemistry curriculum", *J. Chem. Ed.*, 71, 743-746.
- Fletcher, W.J. (1979). "Science teaching: Are we nurturing scientist or conformists?", *New Zealand Science Teacher*, 21, 46-54.
- Garforth, F. (1983). "Chemistry to 16 + Examination: Work in progress-Help needed!", *Education in Science*, 29-30.
- Garritz, A. and Chamizo, J.A. (1994). "Chemistry teaching through the students world", *J. Chem. Ed.*, 71, 143-145.
- Garnett, P.; Garnett, P., Hacling, M. (1995). "Students alternative conceptions in Chemistry: A review of research and implications for teaching and learning", *Studies in Science Education*, 25, 69-95 .
- Greenbowe, T.J. and Sanger M.J. (1998). "The ChemCom Curriculum", *J.Chem Ed.*, 75, 691-693.
- Jensen, W.B. (1998). "Does Chemistry have a logical structure?", *J.Chem. Ed.*, 75, 679-687; "Can we unmuddle the chemistry textbook?", *J.Chem. Ed.*, 75, 817-828; "One Chemical revolution or three?", *J. Chem. Ed.*, 75, 961-969.
- Kuhn, T. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica, México.
- Salter's GCSE Chemistry Course* (1987). University of York Science Education Group, York.
- Sanger, M.J. and Greenbowe, T.J. (1996). "Science-Technology- Society, STS and ChemCOM courses versus college chemistry courses: Is there a mismatch?", *J. Chem. Ed.*, 73, 532-536.
- Scerri, E.R. (2000). "Philosophy of chemistry-A new interdisciplinary field?", *J. Chem Ed.*, 77, 522-525.
- Schummer, J. (1999). "Challenges for chemistry documentation, education and working chemist", *Educación química*, 10, 92-101.
- Talanquer, V. (2000). "El movimiento CTS en México, ¿vencedor vencido?", *Educación química*, 11, 381-386.

Treagust, D. Duit, R. Nieswand, M. (2000). "Sources of students difficulties in learning Chemistry", *Educación química*, 11, 228-235.

van Berkel, B. de Vos, W.;Verdonk, A.H. and Pilot A. (2000). "Normal science education and its dangers: The case of School Chemistry", *Science & Education*, 9, 123-159.

Varsavsky, O. (1975). *Ciencia, Política y Cientificismo*, Centro Editor de América Latina, Buenos Aires.



Fundamentos epistemológicos en la enseñanza de la ciencia¹

Mercè Izquierdo

Introducción: Aportación de la filosofía de la ciencia a la didáctica de la ciencia

En este capítulo vamos a tratar dos ideas fundamentales:

- Que las ciencias constituyen una “actividad humana” muy amplia, uno de cuyos aspectos (no el único) es la elaboración del conocimiento justificado;
- Que la epistemología es una guía para enseñar a pensar científicamente, porque establece las pautas para justificar los conocimientos, relacionando las teorías científicas y los fenómenos.

Estas dos ideas nos van a servir para sustituir el modelo tradicional de ciencia como “conocimiento justificado experimentalmente” por otro más rico y útil, la ciencia como “actividad humana”. Lo veremos en el segundo apartado. Este nuevo modelo resulta de gran utilidad para la Didáctica de las Ciencias porque nos va a permitir considerar también la clase de ciencias como “actividad científica” identificando sus propios valores, y a sugerir nuevos contenidos para la enseñanza de las ciencias y para la formación de profesores. Este aspecto se abordará en el tercer apartado. Además nos va a ayudar a establecer la epistemología apropiada para el conocimiento científico escolar, lo veremos en el cuarto apartado.

La Didáctica de las Ciencias es la ciencia de enseñar ciencias. Por ello uno de sus fundamentos teóricos lo constituye la reflexión sobre qué es la ciencia, y ésta nos la proporciona la filosofía de la ciencia. Esta reflexión no es sencilla, puesto que la ciencia tampoco lo es. Sin embargo, es importante, puesto que nos permite “ver” las ciencias desde fuera de ellas, de tal manera que podamos apreciar la aportación de las ciencias y los procesos de construcción de los conocimientos sobre el mundo como resultados de una aventura humana que tiene relación con la aventura de aprender.

La auténtica educación científica debe capacitar para la crítica y debe permitir que los jóvenes consideren que su intervención en la sociedad es necesaria y va a ser posible, en una perspectiva de cambio para mejorar colectivamente. Desde este enfoque, educar es un término de significado abierto que depende, en gran parte, del porcentaje de utopía que sepamos injertar en nuestro trabajo de didactas.

Por ello, la aportación de la filosofía de la ciencia (que nos ofrece conocimientos sobre qué es la ciencia, diversos e incluso contradictorios según las diferentes escuelas que coexisten ahora o las que han existido a lo largo de la historia) es imprescindible para fundamentar teóricamente la didáctica de las ciencias, pero debe elaborarse desde la propia didáctica para que sintonice con las otras aportaciones (de la psicología y la sociología, por ejemplo, que nos ofrecen conocimientos sobre el alumnado y la escuela también diversos y contradictorios). En este ajuste entre las diferentes aportaciones dejaremos de lado algunos planteamientos y seleccionaremos otros, finalmente, emergerá un modelo de ciencia y de pensamiento científico que sirva de fundamento a la ciencia escolar, como conjunto de conocimientos a enseñar y de aprendizajes a conseguir para la educación científica de la población (Mellado y Carracedo, 1993).

¿Qué es la ciencia? Cambios en el concepto de la ciencia experimental a lo largo del siglo xx. Contextos de actividad científica.

En un artículo de hace ya varios años, se decía que es imprescindible poder responder a la pregunta ¿qué es la ciencia? Para poder enseñar ciencias de tal manera que se contribuya a la formación integral del alumnado (Izquierdo, 1990). Empecemos pues por intentar responder a esto:

¿Qué es la ciencia?

Para unos, la ciencia corre el peligro de convertirse en un dogmatismo opresor y la rechazan y critican; para otros, de llegar a ser la gran desconocida de la mayor parte de la población, que valora cada vez más, en cambio, las pseudociencias o las supersticiones. Estos últimos, entre los cuales hay muchos profesores de ciencias, buscan mecanismos nuevos de difusión y de enseñanza de las ciencias; sin embargo, se encuentran con muchas dificultades, porque el concepto de ciencia experimental ha cambiado profundamente en los últimos 25 años.

La reflexión sobre qué es la ciencia se ha hecho tan compleja que pocos científicos la conocen y se interesan por ella, aunque, de una manera algo vaga, se continúan considerando herederos de los pensadores griegos y, a partir de ellos, de una secuencia larguísima de personajes que, a lo largo de los tiempos, han ido elaborando los conocimientos experimentales reconstruidos y rehechos mil veces, que han podido aplicarse en los artefactos técnicos que hacen que nuestra vida sea ahora más cómoda que la de hace unos siglos. Pero esta imagen de la ciencia, que se transmite al enseñar ciencias se ha ido convirtiendo en algo cada vez más problemático, generador de las más importantes tasas de fracaso en la escuela.

Los científicos ya no son los únicos que reflexionan sobre qué es la ciencia, de esta reflexión también se ocupan ahora los filósofos, los historiadores de la ciencia, los sociólogos de la ciencia... El debate se ha especializado y las respuestas han abierto perspectivas muy novedosas, que los profesores de ciencias deben conocer para poder responder honestamente a la pregunta ¿qué con las ciencias? Que se formulan cada vez que, al encontrarse con un nuevo grupo de estudiantes de ciencias, deben decidir qué enseñar y como hacerlo.

Antes de responder qué es la ciencia, hagamos un poco de historia

La filosofía de la ciencia nace con entidad propia en el marco del llamado “Círculo de Viena”, hacia 1922, en la escuela filosófica conocida con el nombre de “positivismo lógico”. El desarrollo de la lógica matemática en esta misma época (con la emergencia de la teoría de conjuntos) favorece el desarrollo de una “lógica de la ciencia” con la cual relacionar las entidades experimentales y las entidades científicas (teóricas). De esta manera la filosofía se ponía a la altura de las innovaciones revolucionarias de Einstein y de los otros físicos que estaban inventando la mecánica cuántica y salía del “impasse” al que se había llegado, tanto a partir del positivismo de Comte, que negaba las entidades teóricas como del idealismo alemán, que no vinculaba seriamente sus propuestas al funcionamiento experimental del mundo ni al método utilizado por los científicos.

Este modelo de ciencia centrado en la epistemología aún perdura ahora, y se conoce como “concepción heredada” (Hempel, 1973). Se sitúa en lo que se ha venido llamando “el contexto de justificación”: lo que vale de las ciencias es el conocimiento teórico, matematizado, que se obtiene mediante el método científico hipotético-deductivo a partir de la experimentación. El

“Método Científico” constituye así la garantía de la racionalidad científica, porque asegura que el conocimiento teórico se ha obtenido de manera rigurosa y experimental.

Sin embargo, este modelo de racionalidad científica entró en crisis debido a factores diversos. En primer lugar, no se consiguió para las ciencias el lenguaje preciso que conectase los términos experimentales y los términos teóricos, tal como se pretendía. Esta dificultad afectó de manera diversa a los componentes del Círculo de Viena. Se evolucionó hacia la aceptación de que la experimentación y la teoría se condicionan de tal modo que resultan difícilmente separables y, con Wittgenstein, hacia el reconocimiento de que el lenguaje toma sentido en la comunicación y por ello no puede fijarse su significado de una manera definitiva.

En segundo lugar, el estudio histórico de la actividad científica mostró que los científicos se comportan de manera diferente a como se supone que deberían hacerlo (su trabajo no siempre es ejemplo del “método científico”) y mostró también que la emergencia de las ideas científicas no se adapta a ninguno de los modelos de ciencia que pretendían mostrarla como prototipo de actividad racional (Laudan, 1986, Lakatos, 1983).

En tercer lugar, las ciencias sociales y de la comunicación han puesto ahora en evidencia la influencia de los factores sociales en la emergencia del conocimiento científico, además, como que la mediación de los instrumentos y las aplicaciones técnicas son tan importante en las ciencias, se puede considerar que ciencia y técnica están indisolublemente unidos, hasta el punto de constituir una “tecnociencia”.

Por todo ello, disponemos en la actualidad de nuevos modelos de ciencia, surgidos gracias a aportaciones de disciplinas como la historia de la ciencia, la sociología de la ciencia, la psicología cognitiva o la lingüística. Se ha pasado de considerar que la ciencia es un conjunto organizado y validado de conocimientos que explican cómo es el mundo en que

vivimos a considerar que la ciencia es un tipo de actividad humana y, por ello, compleja y difícil de describir.

Las propuestas actuales admiten que la “racionalidad fuerte” (la que se identifica con la lógica) no es una buena explicación para el progreso científico y se refieren a la racionalidad moderada, contextual o hipotética para explicar ahora cómo impulsan los científicos el proceso de creación científica (Newton-Smith, 1987, Chalmers, 1992). Con este nuevo modelo de racionalidad se destaca el aspecto tentativo, constructivo y “humano”²) de las ciencias y del pensamiento científico.

Modelo de ciencia y enseñanza de las ciencias

Esta nueva visión de las ciencias (llamado “modelo contextual” o “pragmático”, véase Koulaidis y Ogborn) ha fundamentado numerosas propuestas didácticas de tipo constructivista y es aceptado por un número creciente de profesores en esta última década (Nussbaum, 1989). Pero debemos ser cautelosos, porque no se trata en realidad de un único modelo, sino de una diversidad de enfoques que tienen en común una crítica a la “concepción heredada” Todos ellos constituyen aportaciones al debate, pero aquellos que optan por el relativismo epistemológico y el escepticismo no son compatibles con la enseñanza y aprendizaje de las ciencias porque, como veremos más adelante, no se adaptan a los condicionantes de la escuela, en la cual la ilusión por conocer debería ser uno de los principales estímulos (Izquierdo, 1995).

Creo que el modelo cognitivo de ciencia, como por ejemplo el que propone Giere (1999) y el concepto de ciencia como actividad, como propone Echevarría (1995) son especialmente apropiados como guía para la enseñanza de las ciencias. Lo veremos a continuación.

Modelos cognitivos de ciencia

Un modelo cognitivo de ciencia destaca los aspectos que permiten dar sentido a un conjunto de datos. Los modelos cognitivos de ciencia hacen hincapié en que la ciencia es el resultado de una actividad cognitiva, como lo son también los aprendizajes, y que, por ello, para hacer ciencia es necesario *actuar con una meta* (que es interpretar el mundo, darle significado para poder intervenir en él) utilizando la capacidad humana de *representarse mentalmente* lo que se está haciendo y de *emitir juicios* sobre los resultados de la actuación.

R.N. Giere (1999) propone un concepto semántico de las teorías científicas, insistiendo en que deben tener significado en el mundo, por ello lo fundamental en ellas no es su estructura formal sino que permitan interpretar conjuntos de fenómenos. Las teorías están formadas por “modelos teóricos” y por “hipótesis teóricas” que los vinculan a los fenómenos y así, los explican. Los modelos teóricos y sus hechos interpretados hacen que las teorías tengan siempre una dimensión práctica y que nunca sean meros formulismos, por muy satisfactorios o “verdaderos” que puedan parecer.³

Un modelo cognitivo no considera que la ciencia sea la culminación de la racionalidad (según un estereotipo previo de racionalidad); no se interesa por saber si determinados objetivos o métodos son racionales o no lo son, sino que aceptando que el comportamiento humano es racional, investiga qué es lo que lo hace racional. La conclusión a la cual se llega es que son racionales en cuanto que los objetivos, los métodos y las representaciones están relacionados y que los resultados finales pueden evaluarse.⁴

Se ha tomado la evolución de las especies como metáfora o analogía para la construcción de conocimiento científico y para los procesos de cambio conceptual (Giere, 1999) y para la

evolución de los conceptos científicos (Toulmin, 1977). Según esta analogía las representaciones o *modelos teóricos* evolucionan debido a mecanismos de variabilidad y de selección de los mejores y mas útiles resultados. En este proceso intervienen la experimentación, el lenguaje y la aplicabilidad de los resultados. Así, las teorías de una misma disciplina pueden encontrarse en diferentes estados evolutivos: algunas de ellas son más nucleares que otras, que son periféricas o fronterizas. Las *periféricas* tienen menos desarrolladas las hipótesis teóricas que las nucleares, pero no por ello resultan menos útiles y sugerentes para la investigación científica que hace progresar el conocimiento. Las *fronterizas* pueden no ser aceptadas por toda la comunidad científica, pero también tiene una función, en cuanto contribuyen a explorar nuevos dominios de fenómenos (Duschl, 1996).

Ciencia como actividad transformadora del mundo

Sin embargo, un conocimiento científico considerado desde el punto de vista de lo que hacen sus agentes, las personas, inmediatamente se desborda el marco que le ofrecía la epistemología. En efecto, las personas no trabajan aisladas y lo hacen en base a unos determinados valores sociales que determinan que está bien y se debe hacer, y qué está mal y no se debe hacer. Por eso pasamos rápidamente a un concepto de ciencia como 'actividad científica': elaborar conocimiento justificado es uno de los aspectos de esta actividad, pero no es el único.

Echevarría (1995) considera que, para comprender la dinámica de la ciencia, ya no nos basta la epistemología (la justificación lógica del conocimiento) sino que necesitamos también recurrir a la axiología (al sistema de valores que justifica las acciones humanas).

Y, siguiendo a Hacking (1983), considera que la ciencia actual pretende no solo conocer el mundo sino, sobre todo, transformarlo.

En efecto, a medida que se ha priorizado el uso de instrumentos para conocer el mundo, se han generado nuevos fenómenos que ya no son 'naturales' puesto que no se dan en la naturaleza, sino en el laboratorio. A medida que se utilizan modelos teóricos matemáticos para explicar los fenómenos, éstos se transforman en ecuaciones. Por esto no puede estudiarse ciencia sin tomarse en serio la mediación de los instrumentos (y por esto ciencia y técnica deben verse estrechamente relacionadas) y la mediación de lenguajes simbólicos que permiten hablar del mundo en términos de entidades medible, de magnitudes, y de las relaciones entre ellas. Si bien los modelos teóricos quedan definidos (y limitados) por estos lenguajes, no así las teorías que, al incluir hechos interpretados y generados por la intervención instrumental cuantitativa, incluyen un "saber hacer" que supera las posibilidades de cualquier representación lingüística.

Una posible respuesta a la pregunta ¿qué es la ciencia? a partir de ambas aportaciones

Podemos recordar ahora las palabras del sociólogo de las ciencias R. Merton (Merton, 1977, citadas en Echevarría, 1995, p. 76):

Ciencia es una palabra engañosamente amplia que se refiere a una variedad de cosas distintas, aunque relacionadas entre sí. Comúnmente se la usa para denotar: 1) un conjunto de méto-

dos distintos mediante los cuales se certifica un conocimiento; 2) un acervo de conocimiento acumulado que surge de la aplicación de estos métodos, 3) un conjunto de valores y normas culturales que gobiernan las actividades llamadas científicas; 4) cualquier combinación de los elementos anteriores [...]

Para concretar un poco más, veamos algunos puntos correspondientes a las aportaciones más recientes y que configuran una posible respuesta:⁵

- Las Teorías Científicas son adecuadas a la acción tecnocientífica y de alguna manera, la contienen. Este concepto de teoría como acción es difícilmente axiomatizable y por ello la *relación entre la experimentación y las teorías* no es fácil de caracterizar. Los “experimentos cruciales” dependen de los recursos instrumentales y lingüísticos de que se disponga y muchas veces su función es retórica (Fleck, 1986; Pickering, 1989).
- Los estudios sobre la ciencia configuran una nueva *filosofía práctica*, interesada no sólo en la reconstrucción lógica de las teorías sino también, necesariamente, en la práctica de los científicos en laboratorios y en la manera como toman decisiones, en la función de las instituciones en los procesos de difusión de las ideas y de debate de las mismas, en las relaciones entre la ciencia y la tecnología, etcétera.
- Los procesos de *cambio científico son complejos* y no pueden reducirse a una mejor observación de la realidad. Incluyen la construcción de nuevas representaciones y de nuevos hechos científicos, el uso de nuevos recursos retóricos en la presentación de las teorías, las nuevas posibilidades de difusión de las mismas, los procesos que permitan implementar tecnológicamente las teorías...

- Las ciencias son siempre “enseñables” y, por ello, por más que requieran una práctica, un saber-hacer, acaban siempre siendo “*ciencia escrita*”. El proceso de escribir ciencia experimental es sumamente complejo. Mediante el lenguaje se crean entidades y hechos que, para los lectores noveles de los textos científicos, llegan a suplantar el mundo real de la práctica científica.
- La ciencia, considerada como actividad humana, requiere de *valores* que no son únicamente valores epistemológicos. Para comprender cómo funcionó la ciencia en diferentes momentos históricos es necesario identificar el sistema de valores que la sustentó, el cual determina también su epistemología.

Contextos de actividad científica

Todos estos puntos quedan bien recogidos si consideramos, con Echevarría (1995), que la actividad científica se desarrolla en cuatro ámbitos que pueden diferenciarse, aunque interactúan constantemente entre sí: la innovación o descubrimiento, la evaluación o justificación, la enseñanza y la aplicación. Y es precisamente en la enseñanza donde se estructuran y consolidan los conocimientos científicos normativos, los que cada generación considera imprescindibles para que los jóvenes puedan llegar a incorporarse al grupo disciplinar.

Así, la diversidad de acciones que hace posible una ciencia no se llevan a cabo sólo en el laboratorio o escribiendo libros y artículos especializados, sino también en los negocios y talleres, y en las escuelas en las que se enseñan ciencias. Y lo fundamental, en cuanto al pensamiento científico, no son determinados modelos o teorías, sino la conexión entre los modelos y la realidad... y la dinámica que mantiene y guía este ir y venir desde las manipulaciones a las representaciones abstractas y al cálculo.

Tenemos así dos puntos que vamos a retener como guía en el momento de aplicar esta reflexión a la educación científica:

- Los “modelos teóricos” son para la intervención transformadora en el mundo;
- Los unos y la otra generan representaciones y símbolos, con los cuales se crean nuevas entidades con las cuales se explica el mundo.

Es decir, el conocimiento, la experimentación y el lenguaje interactúan para transformar el mundo, tal como propone Guidoni (1985). Por esto no puede estudiarse ciencia sin tomarse en serio la mediación de los instrumentos y del lenguaje y por esto ciencia y técnica deben verse estrechamente relacionadas.

Actividad científica en el contexto de la educación

La enseñanza de las ciencias contribuye a establecer los aspectos normativos teóricos y prácticos que comparten los miembros de la comunidad científica y a partir de los cuales éstos trabajan e innovan. Para ello se elaboran textos y pautas de trabajo que simplifican el conocimiento, se relacionan unos temas con otros, se definen las entidades y, en general, se facilita la consolidación de las disciplinas gracias a la transmisión de conocimiento estructurado a las nuevas generaciones y entre los miembros de la comunidad⁶.

Para enfrentarnos al estudio del contexto de educación es concerniente tener en cuenta los dos aspectos de los que partimos y que nos limitarán a partir de ahora:

- Por un lado (como conclusión del apartado 2) educar científicamente es preparar para ejercer, o para comprender, un determinado tipo de actividad: la actividad científica. Si las ciencias son una actividad compleja, es razonable pensar que su enseñanza debe concebirse también como actividad. Por ello la enseñanza de las ciencias debe tener la meta, el método y el campo de aplicación adecuados al contexto escolar y debería conectar con los valores del alumnado y con el objetivo de la escuela.
- Por otro, la ciencia ha pasado a ser actualmente un aspecto de la cultura de toda la población y, al no ofrecerse sólo a futuros científicos, requiere nuevas estrategias de enseñanza y un nuevo diseño. Se ha puesto de moda la expresión “alfabetizar científicamente” para hacer ver cuál ha de ser el resultado de la enseñanza de las ciencias a toda la población, pero esta expresión dice poco respecto a cómo hacerlo.

Si bien es cierto que el contexto de educación tiene un compromiso con la ciencia normativa, y que es normativizador en el mismo, también es cierto que tiene un compromiso con sus “clientes” (los alumnos): éstos deben aprender y para ello han de querer aprender.

Lo que hemos de enseñar, la ciencia, no es una explicación “natural” del mundo, sino que es extremadamente convencional; además, ya casi no nos queda “mundo natural”, que queda el margen de la intervención humana a través de instrumentos diversos. Ya nadie puede aprender ciencias observando el mundo ni tampoco a partir de representaciones del mismo elaboradas desde la propia ciencia; cualquier “novato” debe ser introducido en las ciencias de la mano de especialistas, los profesores de ciencias, que muestren las complejas mediaciones que se requieren para pasar del mundo de los fenómenos al de los lenguajes científicas.

Como ya hemos dicho, enseñar (de manera que los alumnos aprendan) no es fácil. Los profesores trabajan teniendo en cuenta estos dos polos: las reglas de las ciencias y las reglas del aprendizaje. La novedad es admitir que con esta actividad hasta cierto punto autónoma y protagonizada por profesores y alumnos en las aulas escolares, también se contribuye al desarrollo de las ciencias.

Interacción entre los contextos de actividad científica. Influencia de los modelos de ciencias en la enseñanza de la ciencias: el constructivismo

Vamos a centrarnos ahora en la interacción entre la enseñanza de las ciencias y los otros contextos de actividad científica. Veremos dos aspectos de esta interacción: la influencia de los modelos de ciencias en los modelos de aprendizaje y, a la inversa, la influencia de un modelo de enseñanza-aprendizaje sobre la propia ciencia (el cambio de valores que puede desencadenar).

En los últimos años se han propuesto modelos de aprendizaje que muestran influencias patentes de los modelos de ciencia más recientes. Veamos, como ejemplo, el resumen que proponen tanto Nussbaum (1989) como Cleminson (1992) con la intención de mostrar las coincidencias entre unos y otros.

Así, por ejemplo, según el esquema de Nussbaum, las ciencias actuales son “construidas” y el conocimiento escolar también lo es. El adjetivo “constructivista” aplicado a un modelo de aprendizaje ha sido hasta hace poco garantía de que el modelo de enseñanza-aprendizaje era “como tenía que ser”. Sin embargo, hace pocos años se inició un debate en torno a este modelo que no ha concluido aún (Osborne, 1996).

El constructivismo didáctico ha generado ya un número muy grande de prácticas de aula innovadoras y por ello es un referente importante, al cual nos acogemos, por ahora la mayor parte de los didactas. Desde este enfoque, contrapuesto a la mera transmisión de conocimientos que es propia de otras concepciones de la enseñanza, el constructivismo didáctico asume como meta enseñar a pensar científicamente para que los alumnos sean capaces de introducir cambios, de hacer que la sociedad progrese. Por ello podemos considerar que la actividad educativa influye (o pretende influir) en los otros contextos de actividad científica.

Los valores de la enseñanza de las ciencias y los valores de la práctica científica

La actividad científica escolar tiene como finalidad construir conocimiento justificado, que además ha de acabar coincidiendo con el conocimiento normativo de las ciencias. Por esto es fácil admitir la dependencia del contexto de educación de los otros contextos de actividad científica. Pero pretende también desarrollar el pensamiento crítico, ético, estético... en definitiva, la utopía en la que todo niño tiene derecho a iniciarse. El reto es, precisamente, que enseñar-aprender ciencias constituya una actividad escolar que tenga como resultado la construcción de conocimiento dinámico, es decir, que pueda transformar también el mundo de los alumnos haciéndoles capaces de intervenir en el mundo y de tomar decisiones.

¿No podría ser que las ciencias escolares, planteadas con una voluntad educadora (y sujetas a influencias que las hacen muy sensibles a los cambios de valores) facilitaran la emergencia de futuros científicos capaces de plantearse preguntas nuevas? Sólo si fuera posible una influencia de este tipo (y creo que sí lo es) el contexto de educación sería un auténtico contexto de actividad científica; en el caso contrario, dependería de los otros tres contextos, sin aportarles nada.

El carácter evolutivo de las ciencias es debido a que, como los científicos piensan y trabajan como todos los seres humanos, los modelos que elaboran corresponden a los valores (estéticos, éticos, pragmáticos) de su grupo cultural, de su época y, dependen, en general, de todas las variables que influyen en las producciones humanas; incluso debemos considerar que los temas a investigar y los propios modelos teóricos han sido escogidos debido a que despiertan interés en unas circunstancias concretas, y este interés puede decrecer o perderse totalmente en otras.

De la misma manera, la educación científica se sustenta en los valores que comparten los alumnos y los profesores. En los programas, en los proyectos escolares, en los libros de texto... se habla de las finalidades de la educación y, de manera implícita, de los valores que las fundamentan.

Quizás la aportación principal de la educación científica a la praxis científica sea, precisamente, la que se deriva de los valores de la educación. Decíamos, en un artículo anterior (Sanmartí y Izquierdo, 1997) que “ciencia escolar debe estar orientada a formar a unos alumnos para una sociedad que no existe pero que se concibe como deseable”. Por ello se dicen cosas como “elevar el nivel de las escuelas es elevar el nivel de la sociedad” (Furió, 1997). Esta “utopía”, a la que la escuela no puede renunciar, contribuye a que la sociedad vaya cambiando; pero también plantea problemas, porque no todos (padres, maestros, alumnos) conciben igual lo que es deseable para el futuro. Sin detenernos en estos problemas, pero, lo que sí que es legítimo es proponer una ciencia escolar fundamentada en el pensamiento crítico, una ciencia de la complejidad que no deje de lado los problemas propios de la sociedad actual.

La ciencia escolar puede aproximarse así a lo que, según Maxwell (1986) es una ciencia “sabia”, que es aquella que se dedica a lo que tiene valor para la vida humana e implica: pasar

de un problema científico a un problema social, de un interés individual a un interés social, del aislamiento a la cooperación, del pensamiento a la acción, del conocimiento enciclopédico a la comprensión. En efecto, una ciencia así es una ciencia educadora. Se interesa por el planteamiento de problemas, y no sólo por su solución; por la búsqueda de información, y no sólo por la recepción de la misma; se dedica a problemas relevantes, por más que sean complejos y no tengan una solución única y se valora esta solución según sean las acciones que implique, sus posibilidades de éxito y sus consecuencias.

Todo ello es coherente con la ciencia entendida como praxis, como actividad, y es también coherente con las aportaciones actuales de la didáctica de las ciencias. Nos ofrece una posibilidad de educación científica que sea, a la vez, autónoma y transformadora, sin dejar de proporcionar los conocimientos necesarios para poder participar en la actividad científica.

Problemas planteados en la enseñanza de las ciencias

Hemos analizado algunas de las características propias del contexto de educación y su interacción con los otros contextos. Debemos finalizar este apartado analizando algunas de sus dificultades.

Sabemos muy bien que, en general, muchos alumnos fracasan en ciencias; es decir no logran aprender lo que se les quiere enseñar y terminan su etapa de escolarización sin saber ciencias. A partir de la reflexión llevada a cabo en las páginas precedentes, podemos pensar que lo que ocurre es que los alumnos no comparten los valores del profesor y esta afirmación da mucho que pensar. En efecto, quizás no conocemos realmente cuáles son los valores (epistémico, cognitivos, ecológicos, creenciales, prácticos, escolares...) que entran en juego en el

día a día de las clases, en el que intervienen diferentes agentes: alumnos y alumnas, profesores y profesoras, padres, directores, inspectores... en un peculiar equilibrio de intereses y de pactos en el cual, como sabemos, no todos se integran.

En todo caso, deberíamos intentar conocer estos valores. La educación científica “constructivista” considera importante empezar a enseñar a partir de los conocimientos previos de los alumnos y ahora vemos que deberíamos conocer fundamentalmente lo que el alumnado valora (lo que le gusta, sus expectativas de futuro, sus pautas para actuar bien o mal) y tenerlo muy en cuenta para formular objetivos que puedan ser interiorizados para generar actividad autónoma.

Empecemos pues por los valores que los alumnos ponen en juego en la escuela. Podemos afirmar que los alumnos valoran “aprobar”y, que, de una manera genérica, desean saber las cosas que han de saber y que se les va a enseñar, aceptando que son importantes para acceder a la vida adulta. Por eso la actividad científica escolar depende en gran parte de la manera de evaluar las “cosas que han de saber”. Pero, ¿qué otras cosas valoran los alumnos? ¿Qué valoran realmente los profesores? ¿Qué valora la institución?

La respuesta a estas preguntas no es fácil y requiere, urgentemente, investigación. Para diseñar la ciencia escolar, concebida como actividad científica y no solamente como transmisión de conocimientos, los valores del profesor (que son que el alumnado aprenda, determinados conceptos, procedimientos y habilidades, y educar, desarrollando el pensamiento crítico y la utopía), del alumno (aprobar, acceder a la vida adulta...) y de la institución (por ejemplo, socializar, formar para el trabajo) deberían coincidir o, como mínimo, sintonizar.

Así como, en la practica científica, lo que hace posible la existencia de una epistemología (de una justificación del conocimiento científico) es el sistema de valores que da por buenas

determinadas prácticas, y por malas otras, debemos fundamentar igualmente la ciencia escolar en el sistema de valores de la escuela, los que comparten profesores, alumnos e institución. Podemos suponer que la actividad científica que se derive va a ser muy diferente de lo que es la praxis científica en cualquiera de los otros ámbitos, pero esto, ahora, ya no debería preocuparnos en exceso.

Las aportaciones de Giere, y Echevarría, que hemos escogido como guía y a los cuales nos hemos referido en el apartado anterior, nos ayudan a elaborar esta nueva epistemología, que permite al alumno justificar su ciencia escolar. Echevarría nos ofrece la posibilidad de considerar la ciencia en la escuela como actividad transformadora, con una dinámica fundamentada por los valores de sus agentes. Giere nos ofrece la oportunidad de presentar modelos teóricos apropiados para aprender, porque conectan con las ideas de los alumnos y con los hechos del mundo con los que vamos a trabajar.

Fundamentación epistemológica de la ciencia escolar

La reflexión sobre qué son las ciencias nos ha permitido analizar el saber científico escolar. Nos ha sido muy útil hacer ampliado el concepto de “ciencia” a “actividad científica” puesto que este último es más adecuado para la educación integral del alumnado. Además, el modelo cognitivo de ciencia permite presentar las teorías científicas dando prioridad a la significatividad e la misma para el alumnado. De esta manera podremos iniciar a los alumnos en el razonamiento científico; ésta ha sido siempre la principal aportación de la Filosofía de la Ciencia a las clases de ciencias, pero ahora esta aportación se nos presenta de manera algo más indirecta: no va-

mos a reproducir los razonamientos de los científicos, sino que vamos a generar razonamientos derivados de los propios valores de la escuela, relacionados con los modelos y fenómenos que son relevantes para los alumnos y que contribuyen a su educación científica.

En efecto, “enseñar a razonar” tiene significado diferente en el marco de la nueva Historia y Filosofía de la Ciencia y de la didáctica constructivista del que tenía en el marco de la “concepción heredada” y del aprendizaje transmisivo. Lo importante, ahora, es utilizar determinados modelos teóricos para relacionar determinados fenómenos y generar así “hechos científicos” en los cuales se puede intervenir, calculando y haciendo predicciones contrastables; y hacerlo en un marco educativo en el cual todas las disciplinas y capacidades tengan su lugar y sean valoradas como recursos para construir un mundo mejor. Situados entre los dos polos: entre las ciencias y la escuela, es decir, entre la artificialidad de los lenguajes y representaciones científicos y las dificultades de aprender significativa- mente, debemos buscar pautas de “razonar” apropiadas a los alumnos, sabiendo que éstas son siempre dependientes de las finalidades y de los valores que, para el alumnado, son los propios del contexto escolar. Si para el profesor los valores que cuentan son la claridad, el orden, la capacidad formativa, la excelencia, la creatividad, el pensamiento crítico... junto con la universalidad de la cultura científica, para el alumno cuentan los que determinan la manera como será evaluado a final de curso. Y esta pauta la establece el profesor.

Por esto, enseñar a razonar va unido de manera indisoluble a un estilo de clase razonable y respetuoso, gracias al cual el alumno se vea requerido a reflexionar, a tomar conciencia de sus procesos de aprendizaje, a actuar. Para establecer las características de esta “clase razonable” nos centraremos en cuatro aspectos: la dinámica científica escolar;⁷ los objetivos de la clase de ciencias; las teorías y la experimentación en las ciencias escolares; el lenguaje y el razonamiento.

La dinámica escolar

Según Perkins (1986), un conocimiento activo es el que puede aplicarse y requiere cuatro elementos: una pregunta, una estructura de conocimiento en la cual tenga sentido la pregunta, ejemplos de cómo responder la pregunta y una argumentación que estructure la respuesta. Esta definición es coherente con otras aportaciones (Guidoni, 1985) y con lo que se ha venido diciendo respecto a la actividad científica: conocimiento, lenguaje, cultura (valores y aplicaciones) deben relacionarse, y sólo así dan lugar a acciones humanas.

Todo ello proporciona una clara orientación respecto a lo que debería ser la clase:

- Generadora de preguntas, y por ello vinculada a las ideas de los alumnos y a su propia visión del mundo.
- Estructuradora de conocimiento, y por ello encargada de enseñar a pensar sobre el mundo mediante modelos, para generar hechos científicos y teorías.
- Transformadora del mundo, y por ello conectada con las aplicaciones del conocimiento estructurado, que sólo así adquirirá sentido.
- Argumentadora, porque el conocimiento científico es, finalmente, conocimiento escrito, y gracias al lenguaje disponemos finalmente de representaciones del mundo que lo hacen "explicable" e inteligible.

La actividad escolar transforma el mundo del alumnado. Para iniciarla y para mantenerla los objetivos del profesor y la verdadera finalidad de los alumnos: aprobar los cursos y tener buenas notas, habrán de coincidir. Así, la actividad científica escolar debe producirse a partir de la

presentación convincente de las entidades científicas por parte del profesor, que hace posible la formulación de preguntas relevantes y que debe culminar en la creación de hechos científicos en el laboratorio escolar gracias al debate y a los informes escritos.

Con ello estamos caracterizando la parte de actividad científica escolar que corresponde a los profesores y que es consecuencia de la “transposición didáctica”. ¿Qué pasa con los alumnos? Solo si éstos llegan a formularse auténticas preguntas podrán apropiarse de los modelos científicos, reconstruyéndolos, y hacerlos evolucionar. Para ello, como ya se ha dicho, deben compartir los objetivos del profesor y ajustar sus propios valores a los de la escuela. Por eso la evaluación debe concebirse como un proceso de autorregulación de los aprendizajes, fundamentado en la comunicación y la transparencia y en proporcionar autonomía creciente al alumnado para participar en la actividad escolar.

Compartir los objetivos para poder preguntar

Podemos suponer razonablemente que, al empezar las clases, los alumnos aún no comprenden bien lo que se pretende de ellos y sus objetivos específicos no serán los del profesor. Por ejemplo, el profesor de ciencias pretende enseñar a pensar mediante modelos y de manera crítica mientras que el alumnado considera que se le va a decir cómo es la naturaleza o como solucionar los problemas del examen final.

Por esto lo primero que debe lograrse es que profesores y alumnos compartan valores y objetivos, al menos parcialmente, para empezar a trabajar con sentido. La propia actividad escolar conducirá a un mayor acuerdo, puesto que con ella se transmiten valores y emergen nuevos objetivos, cada vez más próximos a los criterios de excelencia: autonomía, pensamiento crítico,

una visión del mundo más humana... Este acuerdo, por lo tanto, no se adquiere de una vez, sino poco a poco, si la comunicación y la transparencia de intenciones a lo largo del proceso va siendo el principal valor compartido los alumnos y el profesor (Jorba y Sanmartí, 1996).

**La experimentación y las teorías: enseñar a hacer,
imaginando, para adquirir conocimiento estructurado**

La ciencia escolar debe conseguir que los alumnos aprendan a utilizar modelos teóricos para representar y dar sentido a los conjuntos de datos que se obtienen sobre los hechos del mundo; y, viceversa, deben utilizar los hechos del mundo para dar sentido a los modelos del mundo que les ofrece los textos, las enciclopedias... y, en general, todos los recursos de que se dispone actualmente para la divulgación científica (Izquierdo, *et al.*, 1995). Pero unos y otros (modelos y hechos) habrán sido escogidos previamente por el profesorado. La epistemología escolar actúa sólo a partir del "modelo del mundo" y del "mundo" que se propone en clase... el cual ha de ser coherente, también, con las explicaciones espontáneas de los alumnos y con sus valores y prioridades. De aquí la importancia del diseño de la ciencia escolar por parte de los equipos docentes: los problemas (los hechos del mundo) con los que el alumnado ha de trabajar han de ser relevantes desde un punto de vista cognitivo y también formativo; y los modelos teóricos han de serlo también, además, desde un punto de vista científico (di Sessa, 1983; Clement, 1993).

Los *modelos teóricos* son las entidades principales, evolutivas, a partir de las cuales se estructura el conocimiento científico escolar. Siguiendo a Giere, los modelos y los hechos interpretados por ellos constituyen las teorías. En la escuela, sin embargo, estas teorías científicas son

simplemente las grandes “ideas” con las cuales nos enfrentamos fenómenos y que son irreducibles unas a otras: el “ser vivo”; la mecánica; el cambio químico; el planeta Tierra; la evolución; los ecosistemas... Los científicos elaboran *modelos teóricos* de manera imaginativa, para conseguir que sugieran o muestren las características generales de grupos de fenómenos, de manera que sean similares a ellos; y los representan mediante proposiciones o mediante maquetas (Hesse, 1966). En clase debemos hacer algo parecido, utilizando analogías, metáforas, maquetas, hechos ejemplares, pero de tal manera que, finalmente, obtengamos conocimiento estructurado, práctico y teórico, porque ambos forman una unidad, en ciencias (Duit, 1991).

Si el “modelo” es adecuado, permite hacer predicciones; y, de confirmarse éstas, el modelo va conectando con hechos y fenómenos y se hace cada vez más útil para pensar y para planificar experimentos... pero limita también lo que puede pensarse que va a pasar en el mundo, mostrando que no todo lo que podría pasar va a pasar (Keil, 1991).

Por ejemplo, un conjunto de partículas que se mueven podría ser modelo de un gas porque produciría el mismo efecto y mostraría las mismas propiedades que todos los gases conocidos. Para que sean realmente un *modelo teórico* es necesario que estas partículas en movimiento tengan determinadas características, las necesarias para que se puedan hacer predicciones sobre el comportamiento de los gases y que éstas se cumplan: obtenemos así las leyes de los gases (reales o ideales) que relacionan experimentalmente este *modelo* (las partículas) con cada uno de los gases conocidos. Gracias a ello, cada gas y todos ellos pueden “verse” como conjuntos de partículas sin volumen, cada una con su masa y velocidad; y el conjunto modelo-gas constituye la teoría cinética.

El “modelo cambio químico” es más difícil de caracterizar. Las partículas que se unen y se separan sólo representan uno de sus aspectos, el más abstracto: la conservación de la masa

y de los elementos. Para hacer ver los otros: la substitución de unas substancias por otras completamente diferentes, las proporciones constantes... necesitamos utilizar ejemplos paradigmáticos y, a partir de ellos, dar un nuevo sentido a la unión entre partículas (Márquez e Izquierdo, 1993).

Por ello, no nos vale cualquier modelo, sino aquellos que estructuran mejor el conjunto de conocimientos que los alumnos deberían dominar. Los modelos teóricos escolares son altamente artificiales, preparados por el profesorado para hacerlos convincentes (Ogborn, *et al.*, 1986). Por ello, deben ser útiles, creíbles (conectar con las ideas previas), interesantes, formativos... y a partir de ellos se da sentido a la experimentación que también es sumamente "artificial", es decir, planificada con todo cuidado.

No debería haber pues ninguna dicotomía entre teoría y práctica. La ciencia escolar debe ser una "práctica teórica", como lo es la ciencia. Si esto nos rebaja un poco los humos, si con una ciencia escolar con estas características no llegamos a dominar tanta terminología sin práctica, tanto mejor, porque quizás así lo que lleguemos a saber hacer, por poco que sea, nos habrá hecho más sabios y menos pedantes, porque estará mejor fundamentado (Izquierdo y Solsona, 1998).

El lenguaje: razonar y construir un mundo razonable

El conocimiento científico se refiere a la realidad con el lenguaje de la época, configurado según los intereses o valores que la caracterizan. De la misma manera, la finalidad de la educación científica es enseñar a utilizar diferentes lenguajes para representar el mundo. Pero ¿cuál es el mundo a representar? ¿El que emerge de los datos que pueda recoger el alumnado o el

de unos símbolos y fórmulas determinados, “que se han de saber” pero que no tienen significado para los alumnos?

Debemos admitir que enseñar ciencias es “enseñar el lenguaje científico” y que esta enseñanza consiste en ensayar una y otra vez diferentes estrategias para conseguir conectar determinados “modelos teóricos” con determinados “datos”. Lo que debemos hacer es “recrear” el lenguaje, y al hacerlo, hacer nacer la idea científica. Los mapas conceptuales, la V de Gowin, las redacciones, los informes de laboratorio, las simulaciones de simposios o discusiones científicas, las investigaciones escolares... constituyen excelentes ocasiones de aprender a pensar sobre conjuntos de fenómenos, buscando explicaciones lo más amplias posibles a partir de las que los alumnos ofrecen inicialmente... porque las ciencias hacen ver unidad en la diversidad de los fenómenos (Roth y Lucas, 1997).

Todo ello requiere el uso consciente y honesto del lenguaje. Las estructuras gramaticales son la garantía de que hay en él una lógica que permite “explicar” los enigmas. Esto ocurre tanto ahora como hace tres mil años, y esta racionalidad, la del lenguaje con sentido, es la que nos da confianza en la capacidad humana de conocer el mundo. El lenguaje ha evolucionado y lo continuará haciendo, produciendo más y mejores representaciones de todo lo que la humanidad ha ido pensando como consecuencia de su acción sobre el mundo.

También en la escuela la epistemología posible es la que puede vehicularse mediante el aprendizaje del lenguaje científico y de su uso creativo por parte de los alumnos para la explicación del mundo, la definición de entidades construidas para dar sentido a los fenómenos y a las acciones, la argumentación frente a las dudas, la justificación de los datos mediante un modelo y de un modelo mediante los datos, la delimitación de lo que es posible hacer mediante instrumentos y de lo que es éticamente posible...

Como conclusión

Hemos visto que las ciencias no son un paradigma de construcción racional que sigue reglas intemporales e inmutables, sino una actividad compleja impulsada por un sistema de valores que es previo al establecimiento de las “reglas para pensar”. Los valores que impulsan la praxis científica son valores epistémicos (verdad, coherencia, simplicidad, capacidad de predicción...) pero no sólo esos, sino que son también valores éticos, estéticos, prácticos...

Esta nueva manera de considerar las ciencias nos conduce a tener en cuenta también la diversidad de valores que entran en juego en el proceso de enseñanza –aprendizaje; y, a partir de esto, a reafirmar los aspectos propios de la educación, como contexto de actividad científica que no es ni justificación, ni descubrimiento, ni aplicación pero interactúa con ellos.

La escuela es un paso previo y necesario para poder acceder a la praxis científica, que algunas veces se simplifica excesivamente, como si se redujera al contexto de justificación. Pero los valores de esta praxis (subyacentes o implícitos en los programas) no son exactamente los valores de la escuela, ni éstos son los valores de los alumnos. Si la epistemología se fundamenta en un sistema de valores, la epistemología escolar deberá fundamentarse en los valores de la escuela, que son, en gran parte, normativos (la obediencia, el respeto a los maestros, el respeto a los alumnos y padres, las normas de comportamiento establecidas) pero que son también utópicos, puesto que confían en que la escuela puede formar a mejores ciudadanos para cambiar (a mejor) la sociedad.

Combinando todo ello, podemos reencontrar en la Filosofía de la Ciencia fundamentos para la Didáctica de las Ciencias. Lo haremos aceptando los valores y las dinámicas propias de la escuela. Aunque el programa de trabajo que surge de esta reflexión pueda parecer artificio-

so a quienes no están en el mundo de la educación científica, este programa es razonable. Pretende enseñar a pensar, enseñando a escribir, pretende explicar los aspectos del mundo que, hoy por hoy, son explicables, mediante analogías o modelos que tengan sentido. Pretende, finalmente, que el alumnado conquiste su propia autonomía, pero después de haber aceptado algunas de las limitaciones que los modelos científicos imponen en el mundo (lo que puede pasar o no, lo que se puede hacer o no).

Notas

¹ Fragmento, sin los apéndices que aparecen en el original.

² “Humano”: guiado por una diversidad de intereses, diferentes del mero deseo de “conocer”.

³ Una teoría científica que se aprenda sólo en la ‘letra’ y no en el significado no será pues, para el alumno, una auténtica teoría científica.

⁴ Por esto se dice que estos modelos de ciencia son ‘naturalistas’, en contraste con los que definen a priori cuales son las condiciones que hacen que un método sea racional o no lo sea.

⁵ Estos puntos se han redactado en base a los propuestos en Echevarría, 1995, p. 39-46. El resumen y la simplificación que comporta es responsabilidad de la autora en este capítulo.

⁶ “Disciplina” procede de “discípulo” y, efectivamente, la historia de las ciencias nos ofrece muchos ejemplos de profesores que han estructurado el conocimiento procedente de la práctica y de la investigación para poder enseñarlo con eficacia.

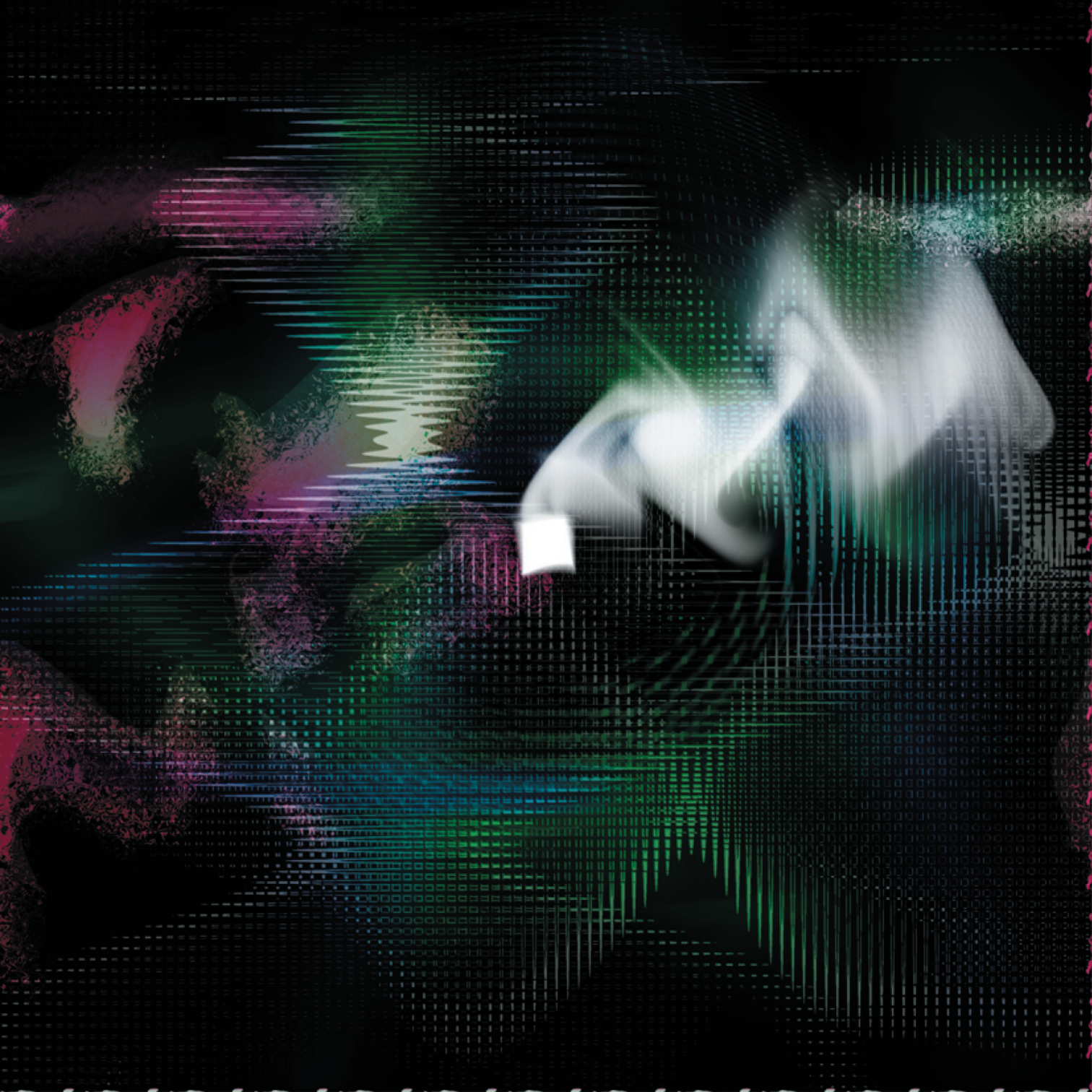
⁷ Aunque no podemos desarrollarlos ahora y aquí, creo que en estos cuatro puntos se resumen los grandes debates que se han producido sobre el currículo de las ciencias en los últimos diez años.

Referencias

- Clement J. (1993). "Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students preconceptions in physics", *Science Teaching*, 30, 1041-1057.
- Cleminson A. (1990). "Establishing an Epistemological Base for Science Teaching in the Light of Contemporary Notions of Nature of Science and How Children Learn Science", *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 429-445.
- Chalmers A. (1992). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, Siglo XXI, México.
- Di Sessa A. (1983). "Phenomenology and the evolution of intuition", in Getner I (ed), *Mental models*, Hillsdale, New Jersey.
- Duit R. (1991). "On the role of analogies and metaphors in learning science", *Science Education* 75, 649-672.
- Duschl R.A. (1996). *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*, Narcea, Madrid.
- Echeverría J. (1995). *Filosofía de la ciencia*, Akal, Madrid.
- Fleck L. (1986). *La génesis y desarrollo de un hecho científico*, Alianza Editorial, Madrid.
- Furió C. (1997). Dificultades procedimentales en el aprendizaje de la química: la fijación y la reducción funcionales, *Aspectos Didácticos de Física y Química (Química7)*, Zaragoza, ICE de la Universidad de Zaragoza.
- Giere R. (1999). *La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo*, CONACYT, México.
- Guidoni P. (1985). "On natural thinking", *European Journal of Science Education*, 7, 133-140.
- Hacking I. (1983). *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Sciences*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Hempel C.G. (1973). *Filosofía de la Ciencia Natural*, Alianza Editorial, Madrid.
- Hesse M. (1966). *Models and analogies in Science*, University of Notre Dame, Indiana.
- Izquierdo M. (1990). "Bases epistemológicas del currículo de ciencias", *Educar*, 17, 69-90

- Izquierdo M. (1995). "Epistemology of school science", *Proceedings from the third International Conference of Science, Philosophy of Science Teaching Group*.
- Izquierdo M. (1996). "Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de las ciencias", *Alambique*, 8, 7-21.
- Izquierdo M. y Solsona N. (1998). "The case of teaching and learning the concept of chemical change", *ICASE International Conference*, Utrecht.
- Jorba J. y Sanmartí N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua. Propuestas didácticas para las áreas de ciencias de la naturaleza y matemáticas*, MEC, Madrid.
- Keil F.C. (1991). "The emergence of theoretical beliefs as constrains of concepts", Carey S. and Gelman R. (eds), *The epigenesis of mind* Hillsdale, London.
- Kouladis V., Ogborn J. (1995). "Science teachers philosophical assumptions: how well do we understand them", *International Journal of Science Education*, 17, 273-283.
- Lakatos I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*, Alianza Editorial, Madrid.
- Laudan L. (1986). *El progreso y sus problemas*, Madrid, Encuentro.
- Marquéz C. e Izquierdo M. (1993). "The use of theoretical models in science teaching. The paradigmatic fact", *Third International Seminar Misconceptions and Science Teaching*, Cornell University, Ithaca.
- Mellado, V. y Carracedo D. (1993). "Contribuciones a la filosofía de la ciencia a la didáctica de la ciencia", *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 331-339.
- Maxwell N. (1986). *From knowledge to wisdom*, Blackwell, Oxford.
- Newton-Smith, W.H. (1987). *La racionalidad de la ciencia*, Paidós, Barcelona.
- Nussbaum J., et al (1989). "Classroom conceptual change: Philosophical perspectives", *International Journal of Science Education*, vol II, Special Issue, 530-540.

- Ogborn J., Kress G., Martins I., McGillicuddy K (1996). *Formas de explicar la enseñanza de las ciencias en secundaria*, Santillana, Madrid.
- Osborne J. (1996). "Beyond constructivism", *Science Education* 80, 53-82
- Perkins D.N. (1986). *Knowledge as design*, Hillsdale, Erlbaum.
- Roth W.M., Lucas K.B. (1997). "From truth to invented reality: a discourse analysis of high school physics students' Talk about scientific knowledge" *J. Research in Science Teaching*, 34, 145-179.
- Sanmartí N., Izquierdo M. (1997). "Reflexiones entorno a un modelo de ciencia escolar", *Investigación en la escuela*, 32, 51-62.
- Toulmin S., (1977). *La comprensión humana*, Alianza Editorial, Madrid.



Alegoría y analogía en la literatura alquímica

M. Crosland

Introducción

El término “alquimia” comprende una variedad de aspectos del quehacer humano que van desde lo práctico a lo místico, por ello, es de esperar que la literatura de la alquimia refleje esta diversidad. El campo de la alquimia es vasto, por lo que será necesario ignorar numerosos escritos místicos que tendrían alguna pretensión alquímica, con el fin de concentrar la atención sobre aquellos aspectos del tema relacionados con la química práctica. Hemos prestado más atención a los escritos de Geber que a los que llevan los nombres de Raymundo Lulio, y se considera que Glauber es más importante que Flamel. En cuanto al momento en que la química moderna empezó a tomar forma en Europa, a fines del siglo diecisiete y en el dieciocho, se prestó particular atención a la práctica química en Europa en el curso de los siglos anteriores, si bien sin dejar de lado las influencias griega y árabe.

Al empezar un estudio de la alquimia nos enfrentamos con el hecho de que el objetivo último de los alquimistas prácticos, la preparación de la “piedra filosofal”,¹ era inconseguible. Ello no excluye automáticamente, sin embargo, la posibilidad de realizar un estudio serio sobre la alquimia dentro de la historia de la química. Los diversos procesos empleados (solución, sublimación, destilación, calcinación, etc.), así como las sustancias utilizadas, eran indudablemente químicos. Si bien no podemos dejar de calificar las metas y creencias últimas de los alquimistas tardíos como fantásticas, debemos admitir que los medios químicos que adoptaron para

conseguir sus fines usualmente eran bastante racionales a la luz de la teoría química actual. Los distintos alquimistas vieron su tarea como la imitación de la Naturaleza dentro de las paredes de laboratorio.

Es importante hacer notar que el concepto de perfección no sólo tiene un aspecto químico, sino también uno moral y psicológico. En gran medida, debido a esta razón,² el cuerpo de literatura que se llama alquímico tiene una naturaleza dual, sin embargo, sólo un reducido número de obras puede clasificarse claramente como pertenecientes a los respectivos campos de la química o de la psicología. Se ha reconocido la importancia de la química desde hace mucho tiempo, en tiempos recientes, C. G. Jung³ subrayó su importancia para la psicología.

Como queda claro que la alquimia es un tema complejo, es de esperarse que su literatura presente problemas especiales para su interpretación.

La dificultad de reconocer un texto alquimista

En primer lugar, toda rama de conocimiento tiene sus propios términos técnicos que son o bien palabras acuñadas para un uso particular, o palabras tomadas del lenguaje cotidiano que se entienden en un sentido particular al usarse técnicamente. Así, en la ciencia de la electricidad, el término "ion" y "corriente", respectivamente, son ejemplos de estas costumbres. De manera semejante, la química técnica temprana tenía su propia terminología, pero dentro de la alquimia, esto era más la excepción que la regla. La alquimia se comparaba, por ello, de una manera negativa, con otras ciencias cuyos libros estaban dispuestos claramente en un orden lógico.⁴

Por lo general, los alquimistas preferían usar un lenguaje basado en la analogía y más apropiado para la poesía o el misticismo que para una ciencia exacta. Debido al amplio uso de la alegoría no era posible, por un lado, reconocer claramente un manuscrito de alquimia que se refiriera a reacciones químicas y era posible, por otro, leer un significado alquímico en obras alegóricas en las que el autor no había tenido la intención de una interpretación tal.

Para considerar primero el problema de reconocer un texto de alquimia como tal, debemos recordar que constantemente se subraya una división entre los adeptos de la disciplina capaces de interpretar el simbolismo alquímico y la mayor parte de los mortales, para los cuales la alquimia resultaba esencialmente misteriosa. A quienes no se les había dado algún tipo de guía, les podría ser muy difícil incluso reconocer una descripción alegórica referente a procesos químicos, independientemente de su capacidad de interpretar los detalles de la alegoría. Hoy en día un texto de química puede reconocerse de inmediato no sólo por su título, sino también por el lenguaje usado en el texto. Esto no sucedía con muchas obras de alquimia, y aún sigue siendo un tema de discusión si algunos de estos textos no pueden interpretarse como pertenecientes a otros procesos, tales como, por ejemplo, vivencias mentales. No obstante, quien ha leído varios tratados de alquimia empieza a percibir que poseen ciertas características en común. Naturalmente, los diferentes autores servían sus propios temas alegóricos favoritos, de modo que un escritor religioso podía comparar las etapas de la preparación de la piedra filosofal a la pasión y resurrección de Cristo, mientras que otro escritor podía contentarse con comparar los procesos alquímicos a los principales sucesos en la vida del hombre. La alquimia tendió algunas veces a traslaparse con la teología, pero dos instancias más importantes donde surgieron confusiones se relacionan con la astronomía (o astrología) y, de una manera totalmente diferente, con la mitología.



Astronomía y alquimia

El uso de los nombres de los planetas para describir los metales y sus derivados ha sido común desde tiempos remotos.

Esta importante fuente de terminología química se debió a una supuesta analogía entre los siete planetas y los siete metales. El uso de esta terminología tendió a reforzar los lazos entre astrología y alquimia, en detrimento de la segunda. También dio lugar a la confusión en la medida en que los nombres de los planetas eran también los nombres de dioses mitológicos.

Hubo al menos un autor alquimista que consideró útil advertir al lector despreocupado:

En primer lugar, se debe saber que esta ciencia divina usa los términos de la astronomía.⁵

Debido al hecho de que el vocabulario de estas dos ciencias se traslapaba, a menudo resulta difícil decidir si un texto particular se refiere a la astronomía o a la alquimia. Esto es lo que ocurre en un célebre texto alquímico conocido como *Turba Philosophorum*:

Quiero decir que los envidiosos han narrado y dicho que el esplendor de Saturno no aparece a menos que esté por casualidad oscuro cuando ascienda al aire, que Mercurio está oculto por los rayos del sol, que el azogue (argentum vivum) vivifica el cuerpo con su fuerza poderosa, y así se completa el trabajo. Pero Venus, cuando se vuelve oriental, precede al Sol.⁶

Un criterio que podría adoptarse para decidir si un pasaje dado se refiere a fenómenos astronómicos consistiría en ver si la descripción sería razonable si se la interpretara bajo esta

luz. En esta línea, Jean Brouault, en su *Abrégé de l'Astronomie Inférieure* (1644) argumentaba que muchos documentos que parecían estar relacionados con astronomía en realidad eran sobre alquimia, porque, si se les tomara literalmente, muchas de las afirmaciones de los antiguos resultarían absurdas. Más que estar de acuerdo con esto, sugiere una interpretación metafórica. Otros autores intentaron ampliar el ya poblado territorio de la literatura alquímica al incluir algunos textos astronómicos, calificados como "Astronomía Inferior", cuyo tema eran los "planetas terrestres" (es decir, los metales).⁷ El término "Astronomía Inferior" se encuentra asimismo en el texto medieval temprano *De perfecto Magisterio* por el pseudo Aristóteles. En este tratado el autor compara los metales y otras "piedras". Con las estrellas fijas y establece una analogía entre los planetas y las siete sustancias que se clasificaban más usualmente como "espíritus", tales como el azogue, azufre, arsénico, sal de amoníaco, tutia (probablemente óxido de zinc), magnesia y marcasita.⁸

Mitología y alquimia

Si bien es cierto afirmar que algunas veces hubo confusiones entre la literatura de la alquimia y la de la astronomía en detrimento de ambas, ello sucede con mayor fuerza en el caso de la alquimia y la mitología. Bastaba que algunos escritores alquímicos hicieran alusiones a personajes de la mitología clásica para que los clásicos de Grecia y Roma se examinaran bajo una nueva luz. Armados con la convicción de que la alquimia se había practicado desde que se iniciaron las civilizaciones, los extremistas de este movimiento consideraban todo el campo de la literatura clásica como una fuente potencial de información sobre cuestiones alquímicas.

Esta situación surgió debido a una variedad de factores, incluyendo la actitud medieval de respeto por la autoridad escrita, especialmente la de los “antiguos”. Con el advenimiento del renacimiento, esta actitud se incrementó en lugar de disminuir. La conexión entre mitología y alquimia antes del renacimiento tardío no había sido muy estrecha. Sólo después del siglo XV los autores comenzaron a combinar el nuevo conocimiento de la mitología clásica con la escritura e interpretación de textos de alquimia. Michael Maier (nacido en 1568) encabezaba este movimiento, y su último gran propagandista fue Pernety, un contemporáneo de Lavoisier. Una segunda razón para la confusión fue que, para muchas personas con una mentalidad racional, la idea de que el amplio cuerpo de la mitología consistía solamente en fábulas les resultaba repugnante. Por ello, sugirieron que los antiguos habían usado la poesía con otro fin en mente, como, por ejemplo, una descripción de un proceso alquímico. Así, un escritor afirma,⁹ de manera muy seria, que es ridículo creer en animales que exhalan fuego por la nariz y a partir de cuyos dientes surgieron hombres armados. Lo absurdo de una interpretación literal hace que una interpretación alegórica (por ejemplo, en términos de alquimia) sea de lo más plausible. Ésta es la conclusión a la que llega un escritor posterior, quien ofrece “pruebas” de que los detalles de la guerra troyana tal y como la describen los poetas clásicos no pueden tener una exactitud histórica.¹⁰ Cuando uno considera la diversidad de la alegoría alquímica, no es imposible que una descripción de una reacción química haya asumido la forma de un conflicto entre sustancias químicas, representadas simbólicamente. Una tercera razón para la confusión entre la mitología y la alquimia es que ambas usaban la alegoría como medio de expresión. Si bien se trata de disciplinas distintas, ambas actividades tenían una raíz común en la psique humana y por ello no sorprende encontrar algunas veces un simbolismo semejante en ellas. Siempre era posible afirmar que los nombres propios se referían a sustancias

químicas, como cuando se decía que, en una cita del poeta Píndaro, “Hércules” significa sal común y “Febo”, azufre.¹¹

Una última razón para la confusión entre mitología y alquimia era su vocabulario común. Así, las fábulas que se refieren a Saturno podían explicarse diciendo que pertenecían al Saturno alquímico (es decir, plomo), y las referencias a Venus y Marte recibían, asimismo, una explicación química semejante.¹²

Una fábula favorita utilizada en interpretaciones alquímicas era la del vellocino de oro. La sugerencia de que esta fábula tenía alguna relación con la alquimia se localiza en las obras de Juan de Antioquía (siglo VII d.C.)¹³ y figura también en Suidas. Según el *Oxford Classical Dictionary*, el léxico que porta este nombre fue compilado a fines del siglo X d.C. Así queda claro que la confusión entre mitología y alquimia había empezado incluso antes de que se practicara la alquimia en Europa. El origen de este error en particular no es difícil de suponer. El término “vellocino de oro” no tenía ningún significado literal obvio y por ello era posible sugerir que el término “oro” se refería a una descripción del arte de producir oro, y que esta explicación había sido escrita en pergamino o en una piel de borrego, y que por tanto había recibido el nombre de “vellocino de oro”. Ésta es la explicación que se encuentra en Suidas¹⁴ y que aceptaron muchos alquimistas.¹⁵ Una explicación alternativa era que el “vellocino de oro” era una metáfora de la piedra filosofal y que las aventuras de Jasón se referían a cambios químicos que se deben realizar para llegar a la meta deseada. Algunos escritores pusieron su ingenuidad a prueba en la interpretación de los detalles de la fábula. Así, según un escritor,¹⁶ el arado del hierro más fuerte en la historia se refería a la vasija hermética, los cuatro acres de tierra a los cuatro elementos, la espada de Jasón significaba el fuego filosofal, etc. El metalurgista Agrícola sugirió que el origen del término “vellocino de oro” se refería al uso de pieles de animales para guardar partículas de oro.¹⁷

Ya que hemos mencionado los nombres de Libavius y Agrícola en relación con la leyenda del vellocino de oro, podemos concluir esta sección con una referencia a la interpretación de esta leyenda de una tercera gran figura en la historia de la química, Rudolph Glauber. Glauber intentó convencer al lector de la claridad de sus propios escritos prolijos y oscuros, al contrastarlos con la historia del vellocino de oro, de la cual ofreció la siguiente interpretación:

Cuando mediante Parábolas Poéticas, los Antiguos Filósofos describieron la laboriosa navegación de Jasón a la Isla de Colchos, donde vivía un gran dragón que vomitaba Fuego y cuyos ojos, que nunca se cerraban, vigilaban al Vellocino de Oro, agregaron lo siguiente, a saber, que a Jasón le enseñó su esposa Medea a arrojar a este despierto dragón una Medicina comestible, mediante la cual podría morir y reventar; y que Jasón debía después llevar al Dragón (ya muerto) y sumergirlo totalmente en la Laguna Estigia.

Jasón, en esta ingeniosa fábula, representa Jeroglíficamente a los Filósofos: Medea, a las Meditaciones exacta; la Navegación peligrosa y laboriosa significa las múltiples Labores Químicas; el Dragón vigilante que vomita Fuego denota Sal, Nitrógeno y Azufre; y el Vellocino de Oro es el Tinte o el Alma del Azufre, con la ayuda del cual Jasón devolvió la salud a su Anciano Padre, y adquirió para sí inmensas Riquezas. Por las Píldoras de Medea se entiende la Preparación de Azufre y Sal Mirabile.¹⁸ Por la total inmersión del Dragón en la Laguna Estigia se insinúa la Fijación del Azufre mediante el Agua Estigia, Aqua Fortis.

A partir de esto queda suficientemente claro de qué oscura manera los Antiguos Filósofos describían la Fijación del Azufre por el Nitro, y cómo la ocultaban secretamente de los indignos.¹⁹

Teología y alquimia

Si bien queda claro que la teología y la alquimia práctica no se relacionan de ninguna manera, también es claro que la historia de la alquimia abarca numerosas incursiones en lo que es propiamente el campo de la teología. El sentimiento de que las transformaciones que provocaba la alquimia eran algo sobrenatural, así como la tradición de que la alquimia era un arte divino, contribuyeron en gran medida para establecer un vínculo entre teología y alquimia. Una atmósfera religiosa está presente en casi todos los textos griegos de alquimia;²⁰ se encuentra en muchos escritores alquimistas árabes, incluyendo a Jabir, y se prolongó bajo una forma cristiana cuando la alquimia llegó a Europa occidental. En el caso extremo, se puede hablar de los místicos que usaban los conceptos y operaciones de alquimia práctica como un ejercicio espiritual. Se puede nombrar, entre otros, a Esteban de Alejandría, quien vivió en el siglo VIII a.C. y usó la transformación de los metales como símbolo de la fuerza regeneradora de la religión al transformar el alma humana. Sin embargo, hubo otros que trabajaron en laboratorios primitivos y que también usaron conceptos y literatura sagrados. Muchos alquimistas europeos consideraban el primer capítulo del Génesis como una guía para el trabajo alquímico que habrían de emprender. Se hablaba también de ideas de purificación y contricción. El concepto de purificación es de suma importancia debido a que más tarde entró a la ciencia de la química. De hecho, la idea de una sustancia pura fue fundamental para el desarrollo de la química en los siglos XVIII y XIX. Un proceso llamado "la contricción de los filósofos" se menciona en *Turba*,²¹ y el *Rosarium Philosophorum*²² habla de la mortificación del mercurio que dejó la materia en forma de cenizas, un proceso que los "filósofos" llamaban "contricción". Otros ejemplos de paralelos entre ideas cristianas y la alquimia se encuentran en afirmaciones de que se requieren 3 días

(Resurrección) o 40 días (Pascua) para que la preparación del alquimista alcance la perfección. No es difícil encontrar ejemplos de una comparación explícita entre la Doctrina Cristiana y la teoría alquímica. El siguiente pasaje se atribuye a Nicolás Flamel.

He aquí a . . . nuestro Salvador. . . quien eternamente unirá en sí todas las almas puras y limpias, y alejará toda impureza y suciedad indignas de unirse a su divino Cuerpo. Así, por comparación (mas primero pidiendo anuencia a la Iglesia Católica, Apostólica y Romana para hablar de esta manera. . .) he aquí nuestro Elixir blanco, que de ahora en adelante unirá así inseparablemente toda naturaleza Metálica pura, cambiándola a su muy fina naturaleza plateada, rechazando todo lo que es impuro, extraño, Heterogéneo, o de otro tipo.²³

Otras alegorías

Aparte de las analogías específicas empleadas en los textos alquímicos (que se discuten más adelante en este capítulo), hay numerosos ejemplos en la literatura alquímica del uso de alegorías. De hecho la alegoría podría ser tan completa como para convencer a cualquiera, a excepción de los iniciados, de que el texto no se relacionaba con la alquimia.

Es difícil creer, por ejemplo, que las visiones que narró Zósimo²⁴ (alrededor del año 300 d.C.) tuvieran una incidencia directa con la química práctica. Las descripciones de tales visiones se pueden estudiar con mayor provecho dentro del campo de la psicología que en el de la química.²⁵ El escritor árabe Ibn Umail, quien vivió en el siglo X, representa un mejor ejemplo. El extracto se citará *in extenso* porque ofrece un ejemplo excelente de las interpretaciones erróneas

a las que toda alegoría está sujeta. Se relaciona también con el hecho de que, en la búsqueda de la piedra filosofal, algunos alquimistas manejaron las sustancias más desagradables.

El Sabio Asfidús dijo:

“Tomen las cosas de sus minas y llévenlas a los lugares más altos y cercéñenlas de lo alto de las montañas y regrésenlas a sus fuentes.” Esta es una clara afirmación en la que no hay celos ni enigmas; pero no dijo de qué cosas se trata. Aquí, por “montañas”, quería decir *curcubitus* (es decir, las partes bajas del Aludel) y por lo “alto de las montañas”, alambiques. La cercenación es por medio de semejanza, es decir, la transferencia del agua de los alambiques a los recibidores, y por “regresarlos a sus fuentes” quería decir [regresar] todo lo que ha salido de ahí. Nombró “montañas” al *curcubitus*, porque en las montañas hay minas de oro y plata. Y en estas montañas que son el *curcubitus* se produce oro y plata. . . Con “montañas” no se refería a “hombres”, ni con “lo alto de las montañas” a las “cabezas de los hombres”, ni con la cosa que se les cercena se refería al pelo, como han afirmado algunos que han explicado estas cosas. . . Debido a ello, hicieron del pelo un objeto de manipulación y gastaron el dinero y los días en vano, y sus vidas llegaron a su fin buscando algo vano. La Ciencia [de la Alquimia] es más honorable, más ventajosa y digna de lo que se imaginaban. Lo que se ve proviene de estas personas que profieren falsedades debido a la interpretación [errónea] que procede de sus corazones ininteligentes. . . De manera similar algunos afirmaron en relación con este Arte que se trata de pelo, huevos, excremento, vino, sangre, bilis, esperma, azufre y otros minerales percederos combustibles, defectuosos y corruptibles. Después llegaron a saber que se trata de una ciencia perfecta. . . y que venía de la revelación de Alá, y así abandonaron la idea de que viene de. . . cosas sucias e impuras que algunas personas; debido a su débil inteligencia e ignorancia han hecho proceder incluso de excrementos y orina. ¡Alá no lo permita! La sabiduría de Alá está por encima de todo esto.²⁶

La dificultad de interpretar los textos

La primera barrera para un estudio de alquimia consistía en apreciar la relación de cualquier texto dado con el tema. La segunda dificultad consistía en interpretar las diversas analogías usadas que se referían a sustancias y procesos químicos. Era más la excepción que la regla en la literatura alquímica el que una sustancia empleada en una reacción química recibiera su nombre común. La práctica habitual era usar el lenguaje común con una significación esotérica; un uso alternativo consistía en la utilización de analogías. Tales analogías podía trabajarse en gran detalle y usarse para describir una serie de reacciones químicas o, de otro modo, la analogía se limitaría a una referencia al color de una sustancia. Entre las más comunes analogías empleadas estaban la comparación de metales con el nombre y las "imperfecciones" de los metales con los sufrimientos humanos; algunas formas de simbolismo sexual y una comparación del reino mineral con el animal y vegetal eran también bastante comunes.

El hombre como fuente de analogía

El concepto de hombre como un microcosmos análogo al mundo o macrocosmos se encuentra en el *Timeo* de Platón y puede incluso rastrearse en tiempos anteriores. Un desarrollo posterior de esta analogía fue una comparación de las partes del hombre con los objetos naturales. De la misma manera que el hombre se compone de cuerpo y alma (o espíritu), así los minerales pueden clasificarse en "cuerpos" o "espíritus". Un "cuerpo" era cualquier objeto sólido,²⁷ como un metal o una piedra, y un "espíritu" era una sustancia volátil que podía cambiar el color superfi-

cial de un metal, dándole nueva vida al ser en apariencia un nuevo metal. El uso de los términos “cuerpo” y “espíritu”, en este sentido, se encuentra en los escritos de Zósimo.²⁸ El mismo escritor describe el corte y cocción de un “hombre”, sin dejar de dar al lector una sugerencia del significado que se pretende dar a estos términos, es decir, “Yo soy el hombre de hierro y sufro de una violencia intolerable”.²⁹ Una comparación explícita que estableció Zósimo entre el cobre (o bronce) y el hombre tuvo alguna influencia en la química árabe y, entre otros, la citó Rhazes:

En consecuencia, el Sabio dijo: “El Cobre es como un ser humano. Tiene un Espíritu, un Alma y un Cuerpo”... ese Espíritu es el tinte.³⁰

El uso analógico de “cuerpo” y “espíritu” no se hacía sin algún intento de justificación:

El nombre “cuerpo” se aplica de manera justa a los metales porque son pesados, mientras que los espíritus son ligeros; los cuerpos regresan a su principio [terrestre] y los espíritus vuelan hacia su mundo [celestial].³¹

La clasificación de sustancias jugó un papel importante en la alquimia árabe y la división de sustancias en “cuerpo” y “espíritu” se elaboró en detalle. Rhazes incluyó cuatro sustancias químicas importantes en la categoría de “espíritu”: azufre, sulfuros de arsénico, sal de amoniaco y mercurio. En las obras latinas de Geber se mencionan siete espíritus que incluyen los cuatro antes mencionados.

La analogía sobre la que se basa esta clasificación se extendió y recibió un nuevo ímpetu en el siglo XVI con Paracelso, famoso por su teoría de que los metales se componen de Mercurio,

Azufre y Sal: "El Mercurio es el espíritu, el Azufre es el alma y la Sal es el cuerpo..."³² Tales comparaciones dieron a los escritores místicos un rico acervo de inspiración verbal, tal y como se puede observar, por ejemplo, en las obras de Jacobo Bochme.³³

En esta sección se ha afirmado que el hombre fue una fuente significativa de analogía para las ideas alquímicas. Es justo mencionar, para concluir, que se ha sostenido el opuesto de esta tesis, es decir, que "el hombre es el objeto central de todos los libros de alquimia", y que los autores "hablan usualmente de él como un Metal o Mineral".³⁴ Una diferencia tan radical en la interpretación sólo sirve para subrayar el alto costo que pagan los que recurren a la analogía extendida y a la alegoría.

La medicina química

El concepto de una medicina química alegórica se encuentra en la alquimia latina y árabe y puede rastrearse en fuentes griegas. Hay algunas referencias a semejanzas en el tratamiento de hombres y metales en autores griegos, como cuando Zósimo cita de "María la judía" una comparación entre el alimento del hombre y el tinte de los metales. En particular, María repetidamente utiliza la idea de un remedio o medicina (πυριου φαρμακου) al referirse a los medios por los cuales habrán de transformarse los metales.³⁵ La comparación entre las (supuestas) imperfecciones de los metales y las enfermedades del hombre se volvieron más explícitas en la alquimia árabe.³⁶

Entre los escritos de alquimia en árabe, los que se atribuyen a Jabir recurren con mayor frecuencia a esta analogía. La teoría que subyace a las referencias de Jabir a medicinas se

basa en la idea de que en el metal más perfecto (el oro) había una proporción balanceada de cada una de las cuatro cualidades y los cuatro humores de la fisiología de Galeno, sobre cuyo equilibrio se consideraba que dependía la salud del hombre. Jabir afirma que si fuera posible obtener un equilibrio adecuado dentro del cuerpo de un hombre, no habría que temer a las enfermedades, sería inmune incluso a una enfermedad tan terrible como la lepra y su vida podría prolongarse indefinidamente.³⁷ Así sucedió que el oro llegó a ser comparado con el estado perfecto de salud en un hombre. Uno de los sinónimos de oro era 'el saludable', mientras que la plata (el segundo metal en orden de perfección) se describía como "oro leproso". El uso del término 'medicina' para denotar el medio de perfeccionar los metales también figura en las obras de Geber (cuya identidad como Jabir sigue hoy en discusión), especialmente en la *Suma de la Perfección*. A menudo, el uso que Geber le da al término "medicina" corresponde con el de "tinte", como cuando habla de un citrino y de una medicina blanca.³⁸ Otra obra latina en la que se menciona el concepto de medicina química es en *Preciosa Margarita Novella*, donde el exceso de humores que posee cada uno de los metales imperfectos o "leprosos" se detalla, y se describe al oro como "en perfecta salud".³⁹ Como siempre, la introducción de la alegoría da lugar a un problema de interpretación y encontramos que Jabir, por ejemplo, interpreta una cita que se relaciona con la fiebre en términos de las propiedades de los metales.⁴⁰

El término "elixir" que se usaba a menudo para describir la meta de los alquimistas estaba también estrechamente ligado con la analogía de la medicina química. Si bien el término no ha sido descubierto en ninguna de las obras griegas alquímicas más antiguas, se piensa por lo general⁴¹ que se deriva del griego ζηπιου ("polvo para heridas"). La palabra *iksir* se define en el *Mafàti al-'Ulum* como la droga que transforma el metal fundido en oro y plata cuando se hierve con él. Jabir e Ibn Sina usaron frecuentemente la palabra *al exir* o *elixir* y de ahí pasó a

los autores latinos. En obras que se atribuyen a Albertus Magnus⁴² y Roger Bacon, los términos elixir y medicina se usan como sinónimos. Bacon define la alquimia de la siguiente manera:

La alquimia es la ciencia que enseña cómo hacer y generar cierta medicina llamada elixir, la cual, al proyectarse a metales o cuerpos imperfectos, los hace perfectos en el momento de la proyección.⁴³

Parece muy probable que las propiedades que más tarde se atribuyeron a la piedra filosofal para curar enfermedades (y por ende para prolongar la vida) surgieron cuando se interpretaron literalmente, en lugar de metafóricamente, las referencias a una medicina química.

Analogías entre los reinos animal y vegetal

Entre las fuentes a las que acudió la fértil imaginación de los alquimistas posteriores se encontraban ciertos animales y plantas. El hecho de que dichas analogías no fueran desconocidas para la alquimia árabe,⁴⁴ queda demostrado por el uso de nombres de sustancias químicas tales como “el pescado” (mercurio). Para la época en que el libro impreso se volvió común en Europa occidental, tales símbolos eran ampliamente usados, no sólo de manera escrita, sino con ilustraciones.

Muchos alquimistas encontraban útil el uso de algunos pájaros (por ejemplo, el pavorreal, el cuervo, el cisne) para denotar colores o volatilidad. Para este segundo propósito se elegía usualmente el águila. De hecho, los términos *aquila coelestis* y *aquila alba* se usaron, a fines del siglo XVII, para denotar sustancias volátiles como sal de amoníaco y calomel, respectivamente.

Un libro de alquimia⁴⁵ dedica una sección a los “pájaros filosóficos” y explica el uso del cuervo, el cisne y el águila para representar la tierra, el agua y el aire, respectivamente. Los pájaros podían emplearse no solamente para sugerir sustancias sino también operaciones. El proceso de destilación se consideraba algunas veces de modo separado como evaporación y condensación y se representaba por un pájaro en vuelo hacia arriba o abajo, respectivamente. El proceso completo de destilación podía, por tanto, mostrarse mediante dos pájaros en sentido contrario.

Incluso un químico práctico como Glauber pensó que era adecuado emplear analogías tan extravagantes como la que aparece en la siguiente descripción de salitre:

Cualquiera que sea el espíritu ácido que resulte, o el Águila con sus afiladas garras, su sal fija, o el feroz León, lo lograrán; y lo que resulte imposible para estos dos, el Grívido, que ha surgido del Águila y el León, lo hará artificialmente.⁴⁶

Esta parecería ser una alegoría llevada a los extremos, pero Becher, el originador de la teoría del flogisto, explica en su *Oedipus Chemicus* que cuando las sustancias son simbolizadas por nombres de animales, ello no se hace de una manera fortuita sino mediante una estricta analogía entre las propiedades de la sustancia y el comportamiento del animal. Según él, un león rojo representa el oro, un sapo o un cuervo simboliza putrefacción, y el mercurio se denota de distintas formas, mediante una paloma, un águila, un león verde y serpiente. El arsénico se simboliza con una serpiente, el antimonio con un lobo y el nitro con un dragón. El dragón se menciona a menudo en los textos alquímicos, pero el animal favorito en la alegoría alquímica tardía fue probablemente el león, un término empleado usualmente para denotar una sustancia fija

que “podía resistir el ataque” de un fuego poderoso. Se mencionan leones de diversos colores. Si se ha de intentar una interpretación sistemática de estos símbolos, parece razonable suponer que un “león rojo” puede describir una sustancia de dicho color, como el cinabrio; un “león verde” puede denotar sales de hierro y cobre;⁴⁷ y un león amarillo podría denotar probablemente sulfuros amarillos. Cualquier intento de una interpretación racional del simbolismo alquímico, sin embargo, siempre presentará numerosas excepciones. Es desconcertante, por ejemplo, encontrar un “león verde” que se explique mediante una referencia a oropimento amarillo.⁴⁸

Muchos títulos de los libros de alquimia tardía mencionan flores, árboles o jardines,⁴⁹ y el tema del desarrollo vegetal no es poco común en los escritos alquímicos. Esto se basaba en gran medida en una supuesta analogía entre el desarrollo de los metales en las entrañas de la tierra y el crecimiento de las plantas. Incluso parte de la analogía de la semilla metálica se consideraba con frecuencia conveniente para describir los cambios de colores en un proceso químico mediante analogías con las flores de colores correspondientes.

Simbolismo sexual

El simbolismo sexual se usaba frecuentemente en los escritos medievales, y a menudo el paralelo entre la unión sexual y los procesos de alquimia se elaboraba con cierto detalle. Obras, como el *Rosarium Philosophorum* impreso en Frankfurt en 1550, ofrecen ilustraciones, así como comparaciones verbales.

Las referencias a las partes masculinas y femeninas de una mezcla no eran poco usuales. El oro se comparaba a lo masculino y la plata a lo femenino. Mientras los primeros alquimis-

tas creyeron que los metales se producían por la unión de azufre y mercurio, era natural que hablaran, metafóricamente, de estas dos sustancias como “padre y madre” o “masculino” y “femenino”:

*Sulphur enim est quasi pater, argentum vivum quasi mater metallorum.*⁵⁰

Esta analogía es bastante común en la alquimia europea tardía, pero algunas veces se afirma que el mercurio es el principio masculino, mientras que el azufre es el femenino.⁵¹ No había, después de todo, ninguna razón poderosa por la que una debía tomarse como masculina y otra femenina; lo que importaba era que la unión de ambas se consideraba necesaria para producir un metal.

De igual manera, se atribuían diferentes sexos a los elementos aristotélicos. “Artefius”⁵² consideraba el fuego y el aire como masculinos y el agua y la tierra como femeninos, probablemente porque los primeros dos eran más activos y espirituales, mientras que los segundos correspondían a los dominios de la procreación de peces, animales y plantas. La *Turba Philosophorum* asocia lo masculino con el “hierro”⁵³ (probablemente no se trate del elemento Pb) y lo femenino con el oropimento. Otra asociación relacionaba las partes volátiles de una reacción química (femeninas) con las partes fijas o no volátiles (masculinas). Otra analogía más consistía en llamar masculina a una sustancia que era capaz de coagular a otra, y femenina a una sustancia que era coagulable. Probablemente el vinagre y la leche satisfacerían estas categorías respectivas. Algunos escritores alquimistas que usaban analogías sexuales llegaron al extremo de basar el razonamiento químico en ellas. Así, en una reacción química, se decía que no más de dos sustancias eran necesarias ¡porque el matrimonio es la unión solamente de dos personas!⁵⁴

Analogías para los procesos químicos

Las analogías mencionadas hasta ahora se refieren fundamentalmente a las sustancias químicas. Había otras analogías consideradas adecuadas para describir procesos químicos. Una analogía importante era la comparación entre el proceso de creación que emprendía el alquimista en su cubículo y la creación del mundo por Dios. Los dos textos principales en los que se basaba esta comparación eran el Libro del Génesis y la *Tabula Smaragdina*. El primero describía la creación del mundo y el segundo otorgaba cierta autoridad a la analogía con la creación alquímica. En el trabajo alquímico era necesario empezar desde la oscura materia prima para luego, de acuerdo con la filosofía de Aristóteles, imponerle subsecuentemente una forma indispensable. A medida que avanzaba el proceso creativo, entraba la luz y en la primera etapa el Sol y la Luna se mostraban. Esta analogía la usaron varios autores posteriores y en casos extremos degeneraba en una discusión del texto del Génesis. La importancia del Génesis en la historia de la alquimia no puede ignorarse, si bien sería una exageración afirmar que “el primer capítulo del Génesis es la página mas grande en la alquimia”.⁵⁵ Sin embargo, incluso en el siglo dieciocho, un químico tan capaz como Kunckel criticó las ideas de Helmont sobre los elementos, no con base en la experimentación, sino con referencia al texto “Dios creó el cielo y la tierra”.⁵⁶

Una segunda fuente importante de analogía para los procesos químicos era el ciclo vital del hombre. Las etapas sucesivas en la vida de un niño desde su nacimiento y su subsecuente crecimiento se comparaban con las diversas etapas en el trabajo alquímico. Entre las numerosas analogías que empleaban los autores alquimistas, ésta era la que se podía aplicar y comprender con mayor facilidad. Jabir dice que la materia empleada en el trabajo alquímico debía ser como el microcosmos, el hombre, que debía estar formado por hombre y mujer

debía “educarse” bajo los lineamientos apropiados.⁵⁷ En otro texto árabe se encuentra una comparación detallada entre el “Trabajo” y la gestación humana.⁵⁸

El misterioso Morienus también comparó la preparación del magisterio (como se verá más adelante este término es un sinónimo de “piedra filosofal”. N. del E. [del original]) con la creación del hombre.⁵⁹ Una analogía semejante se encuentra en *Speculum Alchemiae* (atribuida a Roger Bacon) donde hay una comparación de la dieta ligera del infante y una dieta más sustanciosa en una edad posterior, con el fuego, que primero debía ser bajo y luego debía incrementarse gradualmente hasta que el Trabajo hubiera terminado.

El tiempo alegórico

De la misma manera en que se había asimilado la preparación de la piedra filosofal al nacimiento de un niño o al desarrollo de una planta, no sorprende encontrar el mismo simbolismo para describir la extensión de tiempo que se debía emplear para que los alquimistas alcanzaran su meta. Así Zósimo usa los siguientes términos para describir el proceso alquímico:

El tiempo de gestación no es menor a nueve meses, salvo cuando hay abortos.⁶⁰

Varios siglos después un alquimista árabe escribió:

En cuanto al número de días, algunos dicen que se necesitan 40, otros 80, 180, 100, 150; pero la opinión general es que se necesitan nueve meses.⁶¹

“Ortulanus”, quien probablemente escribió hacia fines del siglo XIV es uno de aquellos que escriben sobre las cuatro estaciones del trabajo alquímico.⁶² Empieza en el invierno y pasa de la primavera al verano cuando pueden observarse flores (un color rojizo en el alambique). El Trabajo está terminado en el otoño, la estación en la que el campesino recoge su cosecha. La muy citada *Turba Philosophorum* también menciona esta analogía con el consejo de “disolver en el invierno, cocinar en la primavera, coagular en el verano y recolectar y teñir la fruta en el otoño”.⁶³

Durante todo el periodo de la alquimia árabe y latina la cuestión de tiempo requerido para las reacciones químicas y, en particular, para la fabricación del supuesto elixir, parece haber sido un punto crucial de discusión entre diversas autoridades. Jabir no intenta ocultar esta divergencia:

El método que se sigue en la operación, que generalmente es la más larga, puede llegar a durar hasta 70 años según las variaciones... El método más corto dura 15 días. Ves, querido hermano, la divergencia que estos mineros muestran: 70 años y 15 días.⁶⁴

Nos sorprende que muchos escritores dieran una lista de tiempos que, pretendían, eran suficientes para completar el “Trabajo” y dejaran que el lector decidiera en cuál creer.

Siempre era posible decir que cuando un “filósofo” hablaba de un “año” o un “mes” se refería a un “año filosófico”, etcétera, que era distinto de un año ordinario. Así Ruland explica que un año filosófico es equivalente a un mes común.⁶⁵ Frente a tales contradicciones y circunloquios, el escéptico lector moderno tiende a considerar esto como una prueba más de que la alquimia no era otra cosa sino un fraude. Otros, que han tenido una actitud de mayor simpatía hacia la alquimia, han intentado ofrecer una explicación plausible de las aparentes inconsistencias en los autores alquimistas:

Los filósofos han determinado diversos periodos de tiempo para la preparación de nuestro Arte. Algunos han fijado este periodo en un año, otros en un mes, y otros más en tres días, y otros en un solo día. Pero de la misma manera en que llamamos un día al tiempo que toma el sol para atravesar los cielos de oriente a occidente, los Sabios han llamado un día al intervalo de tiempo que transcurre desde el principio del conocimiento hasta el final. Aquellos que hablan de un mes se refieren al transcurso del sol a través de un signo del zodiaco. Quienes mencionan tres días consideran el principio, el final y el punto medio del trabajo; y finalmente, quienes fijan el lapso en un año, lo dicen en relación con los cuatro colores que se forman en las cuatro estaciones.⁶⁶

El que una defensa tal haya sido siquiera posible, indica que una alegoría puede contener muy poco y mucho. Si bien no es probable que aceptemos una explicación tal, queda claro que en lo que se refiere a la medida del tiempo, así como a las sustancias químicas, la práctica general consistía en ocultar mediante alegorías en lugar de revelar con afirmaciones literales.

Descripción del objetivo de la alquimia

Además de “piedra filosofal”, se usaron en ocasiones otros nombres para describir el objetivo último de los alquimistas, nombres tales como “magisterio”,⁶⁷ “quintaesencia”, “elixir” y “medicina” química. No es difícil encontrar la *raison d'être* de la mayoría de estos nombres, pero el origen del nombre más importante, “piedra filosofal”, es oscuro. Según Berthelot,⁶⁸ la expresión no aparece en textos antes del siglo VII d. C., si bien la idea de una piedra tal es más antigua. Referencias al objetivo de los alquimistas como “una piedra que no es una piedra”

(λιθου τουου λιθου) aparecen en los escritos de Zósimo, quien en una ocasión pone esta frase en boca de Demócrito, el alquimista. Se podría argüir que una frase tal meramente indica la dificultad que existe para expresar un concepto poco familiar en lenguaje ordinario. Esta frase puede no haber significado otra cosa más que la creencia de que la sustancia buscada era un sólido (una “piedra”) que era volátil (no como una piedra). Este tinte daría a los metales una colocación superficial blanca o amarilla. En el curso de la transición del griego al árabe y luego al latín, el concepto de transmutación cambió, pero permaneció la vieja fórmula para describir el material que habría de hacer posible la transmutación. La frase “una piedra que no es una piedra” se cita a menudo en la literatura alquímica, donde figuraba como paradoja y modelo de muchas de las afirmaciones aparentemente contradictorias en relación con la piedra filosofal. A continuación ofrecemos un ejemplo de cómo un texto alquímico explica el término “piedra” y comenta dicha nomenclatura:

Sébase que se llama piedra no debido a que sea como una piedra, sino solamente debido a que, en virtud de su naturaleza fija, resiste la acción del fuego tan bien como cualquier piedra. Su apariencia es la de un fino polvo, impalpable al tacto, de sabor dulce, fragante al olfato, y con un espíritu sumamente penetrante en cuanto a potencia... No tiene nombre propio; y sin embargo no hay nada en todo el mundo cuyo nombre no pueda llevar con perfecta propiedad.⁶⁹

Sobre el tema de los numerosos nombres dados al objetivo de los alquimistas, se ha dicho con acierto, que “muchos escritores alquimistas” parecen haber considerado, tanto como un deber como una señal de su originalidad, el proponer un nuevo nombre para la Piedra, o el darle una nueva descripción antitética.⁷⁰

Petrus Bonus compara la piedra con un expósito, dado que ninguno de los dos posee un nombre propio.⁷¹ Justifica los numerosos nombres conflictivos dados a la piedra comparándola con el caso del oro, que es llamado anillo o brazaletes según su forma particular. Otros escritores ofrecieron excusas semejantes para la casi infinita nomenclatura de la piedra.⁷² Una explicación más razonable y práctica de la necesidad de diferentes nombres para lo que aparentemente era la misma cosa, consistía en afirmar que la materia pasaba por diferentes etapas en su preparación:

A cada una de las etapas en la operación se le da un nombre de acuerdo con la naturaleza del metal al cual se asemeja; por ejemplo, si el metal se oscurece, se le llama hierro negro.⁷³

Las analogías basadas en el color eran frecuentes, pero de ninguna manera universales. Cada autor tenía su propia nomenclatura:

Algunos le han dado una designación que se relaciona con su sabor, otros según sus características o su uso, sin preocuparse de ello con mayor detalle.⁷⁴

Las analogías sobre las que se basaban estas descripciones eran ilimitadas, como Petrus Bonus afirma:

Los antiguos filósofos veían que esta piedra se podía comparar en su origen, sublimación y la conjunción de todos los elementos con todas las cosas en el mundo, materiales o abstractas, y con sus propiedades.⁷⁵

Una lista completa de todos los nombres posibles para la piedra no representaba, por tanto, una proposición práctica; sin embargo, de tiempo en tiempo se intentó elaborarla.⁷⁶ Un manuscrito árabe da una lista de alrededor de sesenta nombres para denotar la piedra,⁷⁷ y el autor dice que ésta constituía solamente una minoría. El catálogo incluye nombres de animales, metales, partes del cuerpo, así como sustancias químicas comunes como vinagre, sal, azufre y vidrio. A medida que continuaron tanto los experimentos químicos prácticos como las especulaciones teóricas alquímicas, los nombres de la piedra filosofal se multiplicaron, de modo que para el siglo dieciocho el número de nombres había aumentado al menos diez veces.⁷⁸ El hecho de que se usaran indiscriminadamente palabras en griego, hebreo, árabe y latín en la alquimia europea, tuvo el efecto de ampliar aún más la nomenclatura de la Piedra.

Notas

¹ En la alquimia temprana la "Piedra filosofal" era una sustancia capaz de transformar metales básicos en oro. Más tarde, se le atribuyeron propiedades adicionales –tales como la cura de enfermedades y el poder de otorgar la inmortalidad.

² Los procesos químicos también parecen haber sido una fuente popular de alegoría para los escritores místicos. Una visión extrema del significado de la alquimia fue adoptada en el siglo pasado, cuando Mrs. Atwood afirmó que lo único en común entre la química y la alquimia eran los "términos prestados" (*A Suggestive Inquiry into the Hermetic Mystery*, Londres, 1850, p. 135).

³ *Psychologie und Alchemie*, Zurc, 1944, traducción al inglés: *Psychology and Alchemy*, Londres, 1953. El aspecto moral de la alquimia ha sido también subrayado por ciertos escritores como Mrs. Atwood, *op. cit.*, y E. A. Hitchcock, *Remarks upon Alchemy and the Alchemists*, Boston, 1857.

- ⁴Theobaldus de Hoghelande, *De alchemiae Difficultatibus*, París 2, *Th. Ch. I*, p. 139. *De Ælchimia*, Incerti Auctore, *Th. Ch.*, III. P. 6.
- ⁵*Aurora Consurgens*, cap. I; *Artis Auriferae*, Basilea, 1572, p. 206.
- ⁶*Turba Philosophorum*, ed. J. Ruska, Berlín, 1931, p. 166 (texto latino); traducción inglesa por A. E. Waite, Londres, 1896, pp. 193-4.
- ⁷Rosencreutzer, *Astronomía Inferior*, Nuremberg, 1674. También en *Th. Ch.*, VI, pp. 507-10, existe un tratado con el título *Astronomía Inferior* que habla de los planetas y constelaciones, pero en realidad trata sobre alquimia.
- ⁸*Th. Ch.*, III, p. 76.
- ⁹Conti Natale, *Mythologie*, Venecia, 1568, Libro 6, cap. 8, f. 179v; también Petrus Bonus, *Preciosa Margarita Novella*, cap. 9; *Th. Ch.*, v, p. 615.
- ¹⁰Pernety, *Fables Egyptiennes et Grecques*, París, 1758, t. II, pp. 476 y sig.
- ¹¹J Tollius, *Fortuïta*, Ámsterdam, 1687, pp 99.
- ¹²Conti Natali, *op. cit.*, Libro 2, cap. 3, f. 40v. Borrichius, *Hermetis, Aegyptiorum et chemicorum sapientia... vindicata*, Hafniae, 1674, pp. 64-5.
- ¹³Según Kopp, *Beiträge*, Brunswick, 1869-73, vol. I, p. 12.
- ¹⁴*Suida Lexicon*, Halle and Brunswick, vol. I, 1853, cols. 1212-13.
- ¹⁵Por ejemplo, Robertus Vallensis: *De veritate et antiquitate artis chemicæ*; *Th. Ch.*, i, p. 19 Giovanni Francesco Pico de la Mirandola: *De Auro*, Libro 3; *Th. Ch.*, ii, p. 357. libavius, *Alchymia Comment*, Frankfurt, 1606, Parte 2, Libro 4.
- ¹⁶Guilielmus Mennens, *Aurei velleris libri tres*, Libro I, cap. 4; *Th., Ch.*, v, p.. 254
- ¹⁷*De re metallica*, Libro 8, trad. Hoover, Londres, 1912, p. 330.
- ¹⁸El hecho de que ésta sea la propia interpretación de la fábula de Glauber y no meramente una relación queda sugerido por la inclusión de su propia *sal mirabile* (sal de Glauber).

- ¹⁹ *Works*, trad. Packe, Londres 1689, Parte 3, p. 10b.: véase también Parte 2, p. 169b.
- ²⁰ Por ejemplo, véase F. S. Taylor, "A Survey of Greek Clchemy" en *Journal of Helleni Studies*, L (1930), 110.
- ²¹ *Turba Philosophorum*, ed. Ruska, Berlín, 1931, p. 143, 1. 15.
- ²² *Rosarium Philosophorum*, Frankfurt, 1550, f. 36v. Como el título "Rosario" se dio a distintas obras alquímicas, se puede mencional que esta compilación en particular tiene el *incipie* "Qui desiderant artis philosophicae..." y cita frecuentemente a Arnaldo de Villanova.
- ²³ Flamel, *Exposition of the Hieroglyphical Figures*, Londres, 1624 (1890), p. 38
- ²⁴ Berth, A. G., trad. pp., 117 y sig., pp. 125-7.
- ²⁵ Por ejemplo, véase C. G. Jung, *Psychology and Alchemy*, Londres 1953, pp. 242. 239.
- ²⁶ Ibmñ Umail, *Má' al-Waraqí*, trad. Stapleton, *Men. Bengal*, 12 (1933), 41-2. Hay una traducción en *Artis Auriferae*, 1572, pp.275-6.
- ²⁷ Este uso analógico del "cuerpo" sigue hasta hoy en día y se encuentra, inadvertido, en cualquier libro de texto de física.
- ²⁸ Por ejemplo, Berth, A. G., texto griego, p. 124; trad., p. 132.
- ²⁹ *Ibid.*, trad. pp. 118, 126. Esta analogía persistió en la alquimia latina, por ejemplo, *Artis Auriferae*, Basilea, 1572, p.152: "Accipe Hominem, tonde eum..."
- ³⁰ Al-Ráz í, *Shawáhid*, trad. Stapleton, *Mem. Bengal*, 12, 137-8.
- ³¹ *Treatise of Syriac and Arabic Alchemy*, Berth., M. A., II, p. 159.
- ³² *De Natura Rerum*, Lib. I; *Sämtliche Werke*, ed. Sudhoff, Munich y Berlín, 1922-33, Bd. XI, p. 318.
- ³³ *Concerning the Three Principles of the Divine Essence*, Londres, 1910, cap. I, parr. 6.
- ³⁴ E.A. Hichcock, *Remarks upon Alchemuy and the Alchemists*, Boston, 1867, pp. 40-1.
- ³⁵ Berth., A.G., trad. p. 169, y texte grec, p. 103, 1.4; p. 196, I, II; p. 201, 1.9.
- ³⁶ A Mieli (*La science arabe*, Leyden, 1938, p. 135) dice que uno de los nombres mediante los cuales se conocía al alixir era "dawá" (medicina).

- ³⁷ Berth., *M.A.*, II, p. 148, y II, p. 157.
- ³⁸ *The Works of Geber*, trad. Russell, Londres, 1678 (1928), p. 147.
- ³⁹ *Op. cit.*, cap. 13; *Th. Ch.*, v, p. 632.
- ⁴⁰ *Book of Mercy* [El libro de misericordia], sec. 20; Beth., *M.A.* III, p. 172.
- ⁴¹ *Encyclopaedia of Islam*, Leyden y Londres, 1908-38, vol. 2, p. 23. Kopp, *Beiträge*, Brunswick, 1869-73, vol. I, p. 209.
- ⁴² *Compositum de Compositis; Th. Ch.*, IV, p. 827.
- ⁴³ *Speculum Alchemiae*, cap. 1; Manget, I, p. 613.
- ⁴⁴ J. Ruska y E. Wiedemann, "Alchemistische Dechnamen", *Sitzungsberichte der physikalisch-medicinische Societät*, Erlangen, 56 (1924), 25-33.
- ⁴⁵ Rosencreutzer, *Astronomía Inferior*, Nuremberg, 1674, p. 380.
- ⁴⁶ *The Prosperity of Germany*, Parte 4; *Works*, trad. Packe, Londres, 1689, Parte I, p. 406b.
- ⁴⁷ El término "león verde" se usaba también para el vidrio (a menudo teñido de verde), por ejemplo, Roberto de Chester, *Liber de Compositione Alchimiae*, Manget, I, p. 518.
- ⁴⁸ *Allegoriae Sapientum, Distinctio*, 20; *Th. Ch.*, v, p. 79.
- ⁴⁹ Se encontrarán numerosos ejemplos en Kopp, *Die Alchimie*, Heidelberg, 1886, Parte 2, pp. 375-8.
- ⁵⁰ *Compositum de Compositis*, atrib. A Albertus Manus; *Th. Ch.*, iv, pp.825-6.
- ⁵¹ Véase Reussner, *Die Gab Gotees*, Basilea, 1588, pp.302, 293, y también la contradicción "pater = azufre", p. 206.
- ⁵² *Clavis Maioris Sapientiae, Th. Ch.*, IV, p. 206.
- ⁵³ *Op. cit.*, ed. Ruska, Berlín, 1931, p. 126. Un aspecto típico de las contradicciones que se encuentran en la literatura alquímica fue citada posteriormente por Garlandius: "el plomo es femenino" (porque es suave y frígido), *Das Buch der Alaune und Salze*, ed. Ruska, Berlín, 1935 p. 75.
- ⁵⁴ *Arcanum Hermeticae*, Manget, II, p. 652.

- ⁵⁵ Grillot de Givry, *Witschcraft, Magic and Alchemy*, Londres, 1931, p. 350.
- ⁵⁶ Kunckel, *Laboratorium Chymicum*, Hamburgo y Leipzig, 1716, Parte 3, cap. 40, p. 537.
- ⁵⁷ *Book of Mercy*, Berth., M. A., III, p. 179.
- ⁵⁸ *Book of El-Habib*, Berth., M. A., III, p. 79
- ⁵⁹ Morenus Romanus, *De metallorum transmutatione*, París, 1564, f. 23 v.
- ⁶⁰ Berth., A.G., trad., p. 198.
- ⁶¹ *Book of El-Habib*, Berth., M.A., III, p. 85.
- ⁶² *Practica Alchimica; Th. Ch.*, IV, p. 917.
- ⁶³ *Op. cit.*, ed. Ruska, Berlín, p. 127.
- ⁶⁴ *Book of Royalty*, Berth., M.A., III, p. 128.
- ⁶⁵ Ruland, *Lexicon Alchemiae*, Praga, 1612, p. 43, pero *cf.* p. 330: "Un mes de los filósofos = 40 días", es decir, ¡un mes de un filósofo parecería más largo que un año de un filósofo!
- ⁶⁶ Citado por Pernety, *Dictionnaire Mito-Hermétique*, París, 1787, pp. XIX–XX.
- ⁶⁷ Literalmente "el trabajo del maestro". El término más tarde llegó a incorporarse en la nomenclatura química, por ejemplo, "el magisterio del bismuto".
- ⁶⁸ Berth., A.G., trad. p. 194 n. 1; texto griego, p. 114, 1.3 (trad. p. 122), texto griego, p. 122, 1.5 (trad. p. 130).
- ⁶⁹ *A Brief Guide to the Celestial Ruby*, M.H., p. 780; H.M., vol. I, p. 249.
- ⁷⁰ J. Read, *Prelude to Chemistry*, Londres, 1939, p. 127.
- ⁷¹ *Preciosa Margarita Novella*, cap. 9; *Th. Ch.*, v, p. 595.
- ⁷² Por ejemplo, "Senior", *Th. Ch.* (ed. 1622), v, p. 249.
- ⁷³ *Book of Mercy*, Berth., M.A., III, p. 181.
- ⁷⁴ *Book of Crates*, Berth M.A. III, p 51.
- ⁷⁵ *Op. cit.*, cap. 9, *Th. Ch.*, v, p. 592.

⁷⁶ Por ejemplo, *The Names of the Philosopher's Stone*, coleccionados por William Gratacolle, *Five Treatises of the Philosopher's Stone*, H. P., Londres, 1652, pp. 65-8.

⁷⁷ *Book of Ostones*, Berth., *M.A.*, III, pp. 118-9.

⁷⁸ Por ejemplo, véase Pernety, *Dictionnaire Mito-Hermétique*, París, 1787, pp. 272-280 donde se dan aproximadamente seiscientos nombres para esta piedra en distintas etapas.



**La paradoja del materialismo de los filósofos.
De la generalidad a la especificidad.
De la homogeneidad a la pureza**
Gaston Bachelard

El metal no está más que virtualmente diferenciado

Hegel, *Filosofía de la naturaleza*

I

No es raro hallar en los juicios de valor que el filósofo manifiesta acerca de la noción de materia la huella de una verdadera antinomia.

En efecto, en una primera serie de juicios de valor se considera a la materia como un principio de esencial generalidad; es una entidad bastante general como para sostener, sin explicarlas, a todas las formas individuales, a todas las formas particulares. No se le reconoce ninguna fuerza para mantener su forma. Y se puede incluso privarla de sus cualidades. Son numerosos los textos alquímicos en los que se denota este anhelo de descalificar la materia para después atribuirle una cualidad elegida.

Esta técnica llega a ser un movimiento bastante común del pensamiento filosófico, sin que el mismo ponga bien en claro, en esta oportunidad, el sentido de sus abstracciones. En tales concepciones, la materia apenas es ya retenida sino bajo los signos de la cantidad. La materia no es entonces más que *cantidad*, cantidad inmutable, cantidad que se conserva a través de toda transformación. Y así, bajo el signo de la cantidad y gracias a los principios de la conservación, la noción

de materia es abandonada al sabio por el filósofo. En realidad, grandes sectores del conocimiento se desarrollan de acuerdo con la limitación del reino de la materia. Considerando la materia por su masa, por su volumen, por su movimiento, una doctrina como la mecánica racional tiene un insigne valor de explicación. Pero aun cuando el filósofo reconoce el éxito de tales explicaciones, permanece dispuesto por entero a denunciar al cuantitavismo como una abstracción.

Y he aquí entonces el otro polo de la antinomia: en otra serie de juicios de valor, se considera a la materia como la raíz misma de la individualización, se le otorgan, en todos sus elementos y a menudo en su parte mas ínfima, cualidades singulares, cualidades por esencia incomparables de una materia a otra. Sobre la materia así tomada como raíz de toda individuación, se funda un irracionalismo radical. Y se desafía al sabio a conocer la materia “en su fondo” (E. Boutroux, *Les lois naturelles*).

Al cuantitativismo de la materia se opone entonces un cualitativismo. Y el filósofo pretende que sólo las intuiciones completamente matizadas pueden hacernos entrar en contacto con la cualidad. Capta la cualidad en su esencia como se gusta un vino fino, vive los matices. Vive “inmediatamente” la cualidad como si la vida sensible sobreindividualizara aún más la individualidad de la materia ofrecida a la sensación.

II

Esta antinomia no resiste a un estudio atento y paciente del mundo de la materia. Un estudio científico de los fenómenos materiales —si este estudio trabaja sobre los dos bordes de la antinomia— nos revela a la vez los caracteres generales, responsables del conocimiento

racional y los caracteres particulares susceptibles de definiciones experimentales precisas. La química, cuando la sigamos en sus grandes progresos, nos aportará después múltiples pruebas de esta doble determinación. Pero ya, en el conocimiento común se tiene contacto, por un lado con constancias materiales que superan la pobre generalidad con la que se quería limitar el conocimiento de la materia y, por el otro se encuentran, en diversos objetos materiales, propiedades muy bien especificadas que permiten un acuerdo particularmente neto entre los espíritus.

En efecto, comparar directamente los objetos materiales entre sí, hacer obrar un objeto material sobre otro, seguir la acción del fuego, del agua, de la luz sobre un objeto material, he aquí experiencias inmediatas que pueden fundar un acuerdo preliminar de los espíritus acerca del mundo material, acuerdo tanto más claro cuanto que se suprime más netamente toda interpretación. Este acuerdo de los espíritus, así fuera tan solo provisorio, constituye ya una objeción al irracionalismo básico que supone bajo el signo de la realidad material insondable. Podemos ciertamente hablar de una *claridad materialista*, capaz de rivalizar con la *claridad geométrica*. Si el filósofo desarrolla su protocolo de duda al referirse a los caracteres fluyentes de un objeto material, a la inconstancia de las cualidades materiales de la cera, sigue estando sin embargo muy seguro de poder retomar al otro día su meditación a propósito de la cera. Por otra parte, el filósofo tiene la certeza de ser comprendido por otro cuando el habla de la cera. Esta certeza no sería mayor si él hablara de la forma de las células hexagonales de un panal. Hay especies materiales susceptibles de ser tan claramente distinguidas entre ellas como el cono y la esfera en el dominio de las formas. La cera nunca se confundirá con el alquitrán, como no se confunde la hidromiel con la panacea de Berkeley.

III

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 cierta 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. Un detalle sustancialista no altera a la jerarquía de una forma. Dicho de otro modo: el materialismo puede ordenar y jerarquizar las sustancias con coeficientes de seguridad comparables a los coeficientes del conocimiento de las formas. El materialismo instruido puede enfrentar por consiguiente, como toda otra doctrina, a la copiosa diversidad de los fenómenos y emprender, como lo intenta toda doctrina, una obra de clarificación.

Cuando el materialismo abandona la falsa claridad de una teoría de los 4 elementos, de las 4 raíces simples de la materialidad se vuelve a investigaciones acerca de los objetos materiales terrestres: los cuerpos tangibles; vuelve a colocarse ante la extrema diversidad de los objetos materiales sólidos. Es esta diversidad la que se trata de reducir y, si es posible, de ordenar.

El primer paso es romper con el mito filosófico de una especie de *diversidad* en sí. Para esto, es necesario reubicar una noción que no siempre ha retenido lo suficiente la atención de los filósofos: la noción de *homogeneidad material*.

A primera vista podría parecer como si la noción de homogeneidad fuera una especie de categoría del materialismo. Es, en múltiples aspectos, una pausa en el progreso de los conocimientos. Pero esta pausa es siempre provisoria, es el punto de partida de una dialéctica materialista: 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.

Así, antes de llegar a un repertorio de las sustancias homogéneas, de las especies químicas, de los objetos materiales fundamentales, el químico necesita de numerosas observaciones y experiencias. La realidad no ofrece a menudo más que mezclas groseras y diversidades materiales confusas. Un “análisis inmediato” siguiendo el termino empleado en los tratados de química, es pues una técnica preliminar indispensable. Pero esta técnica preliminar tiene también una historia. Cada época, por consiguiente, reconsidera la doctrina de las sustancias homogéneas. Podría escribirse toda la historia de la química relatando las exigencias de homogenización en los diferentes estadios del progreso de la experiencia. En cuanto una materia es homogénea, parece tener un signo sustancial; escapa en múltiples aspectos, a la categoría de cantidad: 2g de oro y 5g de oro manifiesta, de la misma manera, la sustancia oro. Una sustancia puede definirse materialmente bien tan pronto como es homogénea. Una sustancia tal constituye la ocasión para un conocimiento materialista *claro y distinto*. Con la consideración de las sustancias homogéneas se hace posible un cartesianismo materialista riguroso. Parece que una especie de lógica materialista fundada sobre la experiencia química maneja a los objetos materiales homogéneos como la lógica formal a los términos bien definidos. El metal desafía la atención discriminante: brinca al químico una conciencia clara de lo mismo. Una sustancia química puede cambiar de forma y seguir siendo la misma. Esta constatación, sin duda muy trivial, toma sin embargo una tonalidad nueva si consideramos su aplicación por el químico. Lo apreciaremos mejor si consideramos —volveremos sobre este punto— los tiempos en que el alquimista inscribía una vida en las sustancias, profesaba un devenir de las sustancias más homogéneas. En el pensamiento científico moderno, lo mismo es inmóvil. En-

tramos, con la química, en el reino de las sustancias nítidas, en el reino de las sustancias que la técnica hace nítidas al otorgarles una total homogeneidad.

IV

Pero he aquí un rasgo sobre el cual es necesario insistir de continuo: la fenomenología de las sustancias homogéneas, aunque pueda hallar ciertos ejemplos en las sustancias naturales, es solidaria de una fonomenotécnica. Es una fenomenología dirigida. Olvidaríamos un carácter importante si desdeñáramos el aspecto social de la búsqueda materialista. En el umbral del materialismo instruido, es preciso que se nos designe a las sustancias materiales fundamentales. Sin duda, puede hallarse un niño genio que rehaga, en una reflexión solitaria, la geometría euclidiana con círculos y barras. Es casi impensable que pueda hallarse un materialista de genio capaz de rehacer la química, lejos de los libros, con piedras y polvos.

Resulta extraño cómo incluso ciertos sabios desconocen este esencial dirigismo de la ciencia moderna. Puede leerse, por ejemplo, una curiosa página donde el químico Liebig pretende que: "si se reunieran en bloque, sobre una mesa, los 56 cuerpos simples, un niño podría separarlos en dos grandes clases de acuerdo a sus propiedades exteriores" (los metales y los metaloides).¹ Hay aquí una afirmación que no presenta la más mínima verosimilitud; ningún espíritu nuevo, librado al empirismo inmediato, pondrá, en una misma y única categoría: el azufre, el bromo, el yodo, el oxígeno. Es imposible, sin un maestro, construir la categoría de los metaloides. Son raros los sabios que gustan restituir los caminos reales de su cultura; viven en demasiada intensidad la cultura presente como para interesarse en el oscuro pasado de nociones. Un

hombre tan positivo como Liebig otorga a sus certidumbres de profesor un peso psicológico dominante. He aquí una prueba de que los documentos psicológicos de los mejores sabios deben ser sometidos a la crítica. La psicología del espíritu científico aún está por hacerse.

Cuando se sigue entonces el progreso del materialismo instruido se aprecia cuán poco podemos confiarnos a una homogeneidad sensible, a una homogeneidad de algo dado. La homogeneidad que la ciencia conserva —y que caracteriza a una época— ha pasado por la instrucción del inter-materialismo, se ha obtenido indirectamente por paliación de técnicas sin cesar rectificadas. Fuera de los métodos de homogeneización fundados científicamente, la homogeneidad tiene un valor dudoso. Por ejemplo, cuando en la *Enciclopedia* (artículo: Yeso) se define al yeso bien cocido “por una cierta untuosidad y una grasa que se pega a los dedos cuando se le maneja”, se detiene una búsqueda más objetiva. Esta “grasa” de yeso reenvía a un sartrismo “*avant la lettre*”, a una filosofía existencialista orientada al revés de la perspectiva del materialismo combinador, del materialismo que busca sus pruebas en una correlación explícita de las sustancias, excluyendo precisamente esta relación de la sensación directa. ¿Está bien cocido este yeso? Tomemos primero una muestra de él y amasémoslo: determinamos así la combinación yeso y agua. Y es esta prueba la que dará lugar a un juicio objetivo. Todos los caracteres de los objetos materiales conservados por la ciencia deben ser post-experimentales. Todo dato se recibe provisoriamente.

V

Así el conocimiento científico de los objetos materiales se hace sobre bases reconstituidas donde la homogeneidad es un signo de identidad y permanencia material.

Asombra entonces que algunos filósofos, creyendo describir la filosofía de las ciencias modernas supongan poder conservar el viejo filosofema que planteaba a la materia como esencialmente *indeterminada*. Así, Emile Boutroux escribe en el capítulo que consagra a la materia:² “Todo lo que es posee las cualidades y participa, a este respecto, de la indeterminación y la variabilidad radicales que constituyen la esencia de la cualidad.”

Aquí, todavía conviene distinguir entre *imaginación de las cualidades* y *conocimiento científico* de las cualidades de una sustancia homogénea o más precisamente aún de un conocimiento científico de la cualidad que pone su signo claro y distinto sobre la homogeneidad de la sustancia. En efecto, una cualidad de una sustancia, cualidad estudiada en la perspectiva de las experiencias cada vez más objetivas se presenta como reveladora de una significación sustancial cada vez más neta, cada vez más fija. No se considerará la cualidad de una sustancia indeterminada si se siguen, precisamente, los esfuerzos de determinación cumplidos por la ciencia química. Lo artificial adquiere entonces preeminencia sobre lo natural. Por otra parte, lo explicaremos en lo que sigue, lo artificial, el conocimiento técnico contemporáneo, posee tales finezas de detección que el problema de la sustancia homogénea se plantea continuamente renovado.

Pero, por el momento, permanezcamos a nivel de la discusión filosófica, sin evocar los procesos de extrema sutileza; y veamos por qué rodeos una confusa indeterminación es atribuida, con extraña facilidad, a la materia.

Como si fuera indefectible que en un filósofo acabara siempre por confesar los temas inconscientes que lo impulsan, Emile Boutroux justifica así la indeterminación radical de la materia: “las cosas reales tienen un caudal de vida y de cambio que nunca se agota”. Este caudal de vida es la contemplación soñadora del filósofo que asume su explotación. Es este “caudal de

vida" arbitrariamente atribuido a la materia el que falsea toda la perspectiva de contingencia laboriosamente diseñada por Boutroux.

En efecto, por generalidad el tema de la vida inscripto en toda materia constituye, por sí solo, un testimonio de ruptura con experiencia precisa. En realidad, este caudal de vida no se halla buscándolo en profundidad, sino que se afirma más bien en toda filosofía que no retrocede ante las visiones panorámicas. Merced a la atribución de la vida —una vida sorda, adormecida, confusa— se escribe fácilmente un capítulo de enlace; se otorga al mundo la *continuidad de un libro*. Pero las exigencias de la experiencia trastornan rápidamente a esta quietud filosófica de las bellas continuidades.

Cuando tratamos, en un libro ya antiguo, los problemas de un psicoanálisis del conocimiento objetivo, adoptamos como método constante el adjuntar imágenes exageradas a las ideas enmascaradas en el método de psicoanálisis por la imagen exagerada al vitalismo sordo que acabamos de reconocer en una página de Boutroux. He aquí, por ejemplo, lo que Herder escribe acerca de la *materia* de que está formado el filamento con que la araña constituye su tela: "¡Qué fuerza elástica la del hilo de la araña! Con todo, es de su propia sustancia de donde lo ha extraído el artesano, prueba manifiesta de que es todo elasticidad e irritabilidad."³ Con la palabra irritabilidad se valoriza vitalmente a la materia elástica del hilo, se impone una continuidad de lo viviente a lo animado, se resucita ese "caudal de vida" que afirmara, de un modo prudentemente abstracto, Emile Boutroux; brevemente: se rechaza el materialismo positivo que debe limitarse a la experiencia. Y el texto herderiano prosigue crudamente con sus valorizaciones vitalistas, brindando, creemos, un excelente documento para un psicoanálisis por la exageración: "La tela de la araña, ¿qué es si no la araña misma, extendida para alcanzar su presa?" (*loc. cit.*, pág. 129). Después, llevando más lejos todavía sus instituciones antropomór-

ficas: ¡qué gran ensueño del tacto si el hombre pudiera “palpar como la araña”! (pág. 139). El psicólogo gusta decir que tiene “antenas”. He aquí esta pretensión superada: Herder incorpora en la tela de araña a todas las capacidades del tacto; los hilos lejanos son arcos reflejos.

No es sorprendente que en esta línea del materialismo vitalizado, Herder haya podido considerar el veneno de la víbora como el producto directo de la ofensividad del animal, como una verdadera *materia de cólera*. Así, la materia es no solamente vitalizada, sino incluso psicologizada. La víbora, dice él, posee una “superabundancia de irritabilidad”, tal que “produce una herida mortal aun tres, ocho e incluso doce días después que la cabeza ha sido separada del tronco”.

Ahora que hemos exagerado el vitalismo, podemos decir que no estaba mejor fundado en su comienzo que en su exceso. No seguramente en la vertiente del materialismo vitalizado donde trabaja el pensamiento científico. Muy por el contrario, el espíritu científico no estará en claro en lo que concierne al veneno de la víbora más que cuando el veneno viperino sea, si se puede decirse, “des-viborizado”.

Así, creer en un vitalismo remanente de las sustancias excretadas, es desarrollar un materialismo a contrapelo. El materialismo debe partir de la materia inerte, no de la materia viviente. Es bajo esta condición como podrá plantearse, en los términos precisos, el problema de la vida en sus relaciones con la materia. La biología puede también ciertamente, invocar un dominio de estudios bien delimitado. El psicólogo en fin puede fijar su dominio específico. Pero el sincretismo de un Herder que liga la irritabilidad de un animal a la nocividad de un virus constituye una evidente confusión de dominios, una confusión de valores. Daríamos de buen grado las tesis de Herder como testimonio de ideas confusas presentadas claramente: constituyen ejemplos de esas *ideas de conjunto* que los filósofos presentan acerca de las ciencias. Y es una

idea de conjunto siempre muy atractiva decir que una materia inerte conserva el signo de la vida, que “las cosas reales tienen un caudal de vida”. Como la palabra vida es demasiado fuerte, se agrega enseguida que se trata de un caudal de cambio. Pero esta represión de la palabra no rectifica nada: se ha hecho una confesión vitalista. Una idea de conjunto así, por hábilmente difumada que sea a fin de brindar una filosofía de la continuidad, en el momento mismo en que se propone una nueva división en la contingencia, no puede retenerse como una visión positiva de las cosas. No ayuda a la experiencia progresiva: constituye más bien un obstáculo epistemológico.

Hemos insistido sobre esta aproximación de una idea general abstracta y de imágenes excesivas no controladas porque nuestra tarea de filósofo es trabajar sobre los dos bordes de las convicciones. Basta a menudo, repitámoslo, con yuxtaponer las tesis abstractas y los ejemplos precisos para comprobar la inanidad de las fórmulas filosóficas generales. Las filosofías más ingenuas se cubren de generalidades que las ponen al abrigo de las exigencias de la prueba. No se tiene razón en cada ejemplo preciso y se cree tenerla en la ley que se extrae inconscientemente de hechos más definidos. Se adhiere una ley clara sobre una experiencia confusa, un pensamiento sabio sobre experiencias ingenuas.

VI

Pero ya que en este ensayo nos concedemos el derecho de utilizar, cuando nos parezca oportuno, las enseñanzas de la ciencia más moderna, veamos como se plantean, para un químico contemporáneo, las relaciones de la materia inerte y de la materia animada. Medios comple-

tamente nuevos (rayos X, rayos electrónicos) permiten un estudio topológico preciso de la materia compuesta. Aparece entonces, sobre este problema preciso de las estructuras, que las materias estrictamente minerales y las materias organizadas por la vida no pertenecen, estructuralmente hablando, a reinos absolutamente separados. Por consiguiente, la continuidad de ambos reinos constituye una posibilidad evidente. Contrariamente a las posiciones filosóficas precedentemente evocadas, esta posibilidad de continuidad posee argumentos tan precisos que la continuidad es, en lo sucesivo, una *hipótesis de trabajo* y no ya una simple visión panorámica sobre el universo material. "Para llevar a cabo un enlace sin hiatos entre el grano de materia inerte y el elemento organizado de materia viviente", dice Georges Champetier, como conclusión de su hermoso libro,⁴ "las etapas a franquear son todavía difíciles. Pero poco a poco se precisan los relevos, que, conduciendo de la molécula a la célula, permitirán penetrar los secretos de la vida." No hay aquí una simple visión del espíritu que el filósofo pueda apresurarse a rotular con la etiqueta peyorativa de *cientificismo* al mismo tiempo en que profesa a menudo los filosofemas más ingenuos de un modo dogmático. No, todo el libro de Champetier muestra a la ciencia ante el trabajo preciso para determinar la *química de la vida*, para despejar las condiciones de formación de las materias implicadas en los procesos de la vida. Esas etapas, esos relevos que marcan los esfuerzos de conocimiento para pasar de lo inerte a lo animado no son simples metáforas. Esas etapas y esos relevos están verdaderamente *ordenados*; ilustran la discursividad del orden explícito que constituye un tema rector de la presente obra; aproximan a la solución del problema. Investigaciones como las de Staudinger sobre las macromoléculas en química y en biología⁵ plantean problemas bien definidos, suscitan experiencias precisas, experiencias que tienen una jerarquía. Puede decirse que ciertos virus "se comportan a la vez como seres vivientes y como macromoléculas".

las". El virus del mosaico del tabaco ha podido aislarse bajo una forma cristalina. Antiguamente la forma cristalina se admitía solamente para las sustancias inertes. Se aprecia ahora, dice nuestro autor, que no hay "incompatibilidad entre el estado cristalino y la vida: seres vivientes idénticos o muy semejantes, con tal que sean de dimensiones suficientemente pequeñas, pueden disponerse regularmente reproduciendo el análogo de una estructura cristalina". Tales organizaciones sugieren "relacionar la actividad biológica a la arquitectura macromolecular". Una especie de especificidad arquitectural puede doblar así la especificidad de las diversas actividades de la vida. Se entra entonces en el detalle de un dualismo biología-química pleno de reciprocidades. En virtud de la discursividad de los detalles contexturales de lo biológico y de lo químico, que la investigación científica adquiere un interés creciente en este dominio mixto. No se trata entonces de determinar un caudal de vida: antes bien, es en la cúspide de la composición, sobre un plano de fenómenos vitales. Apenas si puede esperarse sorprender a la vida en lo *simple* ya que la misma aparece solidaria de una organización *compleja*. ¿Hay un carácter dominante de la *vida en general*? Tal pregunta parece tan vacía de sentido como la siguiente: ¿hay un carácter que permita designar *la materia en general*? El pluralismo de la *materialidad de la vida* es tan grande que prescribe plantear una pluralidad en los procesos vitales. Los problemas biológicos no pueden ya aclararse, o incluso simplemente designarse, merced a la concepción de un fluido vital que se deslizaría en la materia animándola.

Cuando seguimos, en el detalle de la química contemporánea, las arquitecturas comunes de las moléculas gigantes construidas por la vida y por el químico, apreciamos muy bien que los enigmas no serán resueltos de una vez, al principio de la investigación, sino que por su multiplicación los enigmas se entretajan en una problemática que brinda un inmenso campo de trabajo. Entonces, a los interrogantes precisos y numerosos responden los conocimientos

positivos que el sabio contemporáneo no resumiría de buen grado, creemos, en la fórmula general que empleaba Liebig hace poco más de un siglo: “no hay, en la naturaleza, fuerzas tan vinculadas entre sí como la fuerza química y la fuerza vital”.⁶ La fuerza vital no es más que una palabra, una palabra casi tan inerte cuando se la atribuye a la vida como cuando se la atribuye a la materia. Relacionar así, gratuitamente, “fuerza” química y “fuerza” vital, ¿no es hacer pasar ambas nociones al rango de simples entidades?

Dejemos pues el reino de las ideas generales y retornemos al examen filosófico de los problemas positivos del materialismo ordenado.

VII

Precisamente, en cuanto se determinan las cualidades tal como lo reclama el materialismo instruido, en términos de vínculos materiales —no haciendo referencia al hombre cambiante— toda intuición soñadora de la cualidad queda borrada. Una vez suprimidas las contingencias de la sensibilidad inmediata, las cualidades se estabilizan. Entonces el determinismo de la cualidad material se restituye, habida cuenta de las dificultades de aproximación que plantea todo conocimiento de un determinismo.

Por otra parte, resulta sorprendente que sean las sustancias más netamente *homogéneas* —nos referimos a los metales— las que hayan constituido de algún modo los centros de reunión de la objetividad materialista. En las edades históricas, los 7 metales fueron rápidamente las 7 maravillas de la homogeneidad, homogeneidad conquistada en metalurgias enérgicas y difíciles.

Es violenta transformación del mineral heterogéneo en metal homogéneo la que une fuertemente las nociones de homogeneidad y de simplicidad. La homogeneidad y la simplicidad resultan entonces valores técnicos conquistados concurrentemente sobre la heterogeneidad y la complejidad. Puede camparse así al materialismo en su primera dialéctica técnica. Lo simple no es un dato sino el *resultado* de una técnica de segura homogeneización. Veremos a continuación que la *pureza*, en el reino de la materia, nunca es propiamente un *dato*; no puede ser incluso simplemente constatada. Para reconocerla, lo mejor es instituir un largo proceso de purificación. En todo caso, no puede ser constatada sin poner en acción un método experimental, método que, en la ciencia moderna, resume todo un racionalismo químico antecedente.

Más exactamente aún, las técnicas de purificación suponen verdaderas *operaciones de pureza*, de modo que al *hecho de pureza* se superpone un racionalismo del conjunto coherente de los reactivos, reactivos a los que se acuerda un privilegio provisorio de pureza. En suma: un cuerpo impuro es “probado” por cuerpos que se postulan *puros*. Hay aquí una dialéctica operante que señala, a lo largo de las edades científicas, la progresiva determinación de la pureza, sin que pueda señalarse nunca a esta pureza como un dato seguro, como un absoluto.

Pero como la ciencia llega a ser cada vez más rigurosa, la relatividad de la pureza, de la simplicidad y de la homogeneidad, se impone paradójicamente al mismo tiempo en que se obtienen sustancias cada vez más puras, más profundamente homogéneas, más seguramente simples. Abandonando lo absoluto falso de los primeros datos, bien consciente de la relatividad de sus experiencias, el sabio posee al menos la seguridad de determinar progresos en la purificación. Así, volvemos a hallar incesantemente la acción humana en la determinación de las sustancias puras.

Si queremos aprehender dicha acción al principio, en su nitidez extrema, lo mejor es otorgar su pleno valor a las determinaciones metalúrgicas. Sin duda es tentador seguir la historia que se revela en el empirismo de los hallazgos. R. J. Forbes ha puesto en evidencia en su admirable libro *Metallurgy in Antiquity*, cómo el oro y los metales usuales fueron observados en estado nativo desde las épocas más remotas. Pero estos hallazgos son por necesidad poco frecuentes y todos los metales, incluso el hierro, fueron *preciosos* antes de ser *útiles*.

¿Y cómo imaginar que a partir del hierro nativo pudieran hacerse útiles y armas? Antes bien, es necesario pensar que se tuvo la idea de trabajar el hierro nativo por el fuego solamente después de haber obtenido hierro a partir del mineral por vía metalúrgica. No hay una edad del hierro tallado y una edad del hierro pulido. Y si el hierro nativo pasa de lo precioso a lo útil, lo hace siguiendo las técnicas metalúrgicas.

Así, desde nuestro punto de vista acerca del carácter discontinuo de los progresos de la cultura hay neta discontinuidad entre el trabajo de la piedra o el hueso y el trabajo del hierro. Hallamos aquí un nuevo argumento contra la tesis que ajusta la inteligencia humana a las intuiciones geométricas del *homo faber*. En efecto, no es posible atribuir al *homo metallurgicus* un pensamiento simplemente *exteriorista*, que regule los proyectos sobre las *formas exteriores*. Para iniciarse en las prácticas metalúrgicas es necesario participar en el cosmos del fuego. Y no se puede, de entrada, objetivar al fuego como una especie de herramienta indirecta. También aquí se parte de grandes esoñaciones de poder. El *homo faber* tal como lo imagina Bergson es un hombre paciente en comparación con los proyectos metalúrgicos del hombre forjador. Con el progreso de las técnicas, al triunfar el pensamiento artificialista, los ensueños ígneos son reprimidos, la instancia ígnea es racionalizada. Se accede verdaderamente al *materialismo activo*. Entonces el metal pertenece realmente al *reino humano*.

Pero el metal no es, para nuestra tesis, sino un fácil ejemplo. Si se adopta el eje de la valoración materialista como un más allá de la valoración de las formas, no se puede dejar de reconocer que la *pureza de las sustancias* pertenece al *reino humano* y no al *reino natural*. Es el hombre quien constituye en realidad el factor purificador. Hay aquí, sin duda, una paradoja llamativa, pero que se impone si se quiere ubicar las grandes obras de la purificación material, tanto antiguas como modernas, de las cuales el hombre tiene un progresivo dominio.

VIII

Así, las primeras sustancias que recibieron el *status* de *cuerpos simples* fueron —salvo algunas excepciones como el azufre— los metales. Fue preciso llegar a los tiempos modernos, al siglo XVIII sobre todo, para que la breve lista de las sustancias reconocidas como simples comenzara a aumentar. Para la exploración materialista, los siglos XVIII y XIX constituyen una época prestigiosa. E incluso desde el simple punto de vista del empirismo, el filósofo debería medir aquí el aumento de los tipos de *seres materiales*.

Pero al mismo tiempo que el número de los tipos de sustancias encontradas en la naturaleza se acrecienta, se precisa de una nueva *doctrina de la simplicidad*. En realidad puede hablarse de un verdadero desplazamiento de la idea de simplicidad. Mostrémoslo rápidamente.

Primero, aun cuando se hace mención todavía de los 4 elementos en el siglo XVII, ya no se asigna un rol a la idea de que ellos son las sustancias *más simples*. Luego, ya no se imagina que las sustancias halladas en la naturaleza sean, por esto mismo, sustancias simples. El análisis llega a ser la preocupación dominante de todo químico. El químico inicia su investigación

multiplicando los esfuerzos de *descomposición*. Entonces, la simplicidad aparecerá como un límite a todo esfuerzo de descomposición. La simplicidad es pues aquí del orden de un *resultado*: planteada como *inicial* en la doctrina de los 4 elementos, es ahora *terminal*. La química nos presenta así una nueva forma “del ocaso de los absolutos”, para emplear una expresión de Goerges Bouligand tan rica de sentidos para caracterizar la evolución de la epistemología moderna. En efecto, plantear lo simple como un límite a la descomposición no prejuzga acerca del carácter absoluto de este límite. Y es solamente en el periodo contemporáneo cuando se establece una especie de coherencia de las sustancias simples, coherencia que confiere a los elementos un *status* bien definido de sustancia elemental. Volveremos sobre esta sistemática de la simplicidad en un próximo capítulo.

Por el momento, percatémonos solamente de la importancia filosófica de descubrimientos como los de Cavendish de que el agua no es un elemento o el descubrimiento paralelo de Lavoisier en lo relativo al aire. Semejantes descubrimientos hacen añicos la historia, marcan un *fracaso total de lo inmediato*, hacen aparecer la profundidad de la química bajo la física o dicho de otro modo, la heterogeneidad química de la homogeneidad física. Hay aquí una dialéctica íntima que toda cultura materialista debe atravesar para llegar al materialismo instruido.

Transportémonos con el pensamiento a ese momento histórico sorprendente en el cual se pudo anunciar que el agua era el resultado de la síntesis de dos gases. No solamente se desvanece el privilegio del antiguo elemento *agua*, sin que, al mismo tiempo, se conquista la positividad para la noción de gas. Antes de Cavendish y Lavoisier la noción del gas participa aún de la noción del fluido. El fluido, en el pensamiento precientífico, se carga fácilmente de los más confusos valores: es magnético, es vital, conduce a la vida, conduce a la muerte. La experiencia de Cavendish es decisiva: con un trazo brutal tacha todo el vitalismo del reino de

los “espíritus”. Ambos materialismos, el de la sustancia tangible (el agua) y el de la sustancia invisible (los gases), son puestos en total correlación. Hay una diferencia muy grande entre este materialismo generalizador que extiende su dominio siguiendo las experiencias progresivas y un materialismo de afirmación inicial que cree siempre que la materia tangible brinda las lecciones más decisivas.

Sería necesario un grueso volumen para describir bien el conjunto de experiencias que ha determinado el carácter elemental del oxígeno y del hidrógeno. La sola historia del descubrimiento del oxígeno anima diez años de psicología del espíritu científico. Que el oxígeno esté solamente *mezclado* con el nitrógeno en el aire, mientras que está *combinado* con el hidrógeno en el agua y con los metales en los óxidos, he aquí algo como para plantear múltiples problemas filosóficos. En nuestros días, los libros borran demasiado rápido la perspectiva de estos dramas de la cultura. Los manuales escolares hacen de la lección sobre el oxígeno un modelo de empirismo simple: basta con calentar en una retorta ciertos óxidos, por ejemplo el óxido de manganeso, para obtener el gas maravilloso que vuelve a encender una cerilla que ya no tiene más “que un punto en ignición”, dicho sea para emplear la expresión consagrada que resume con frecuencia, desgraciadamente, todo lo que queda en “la cultura general” de las propiedades del oxígeno.⁷ Esta *simplicidad de enseñanza* enmascara la fina estructura epistemológica de una experiencia primitivamente comprometida en una problemática multiforme. Es aquí donde una recurrencia hacia la situación histórica compleja es útil para experimentar cómo se enriquece el pensamiento materialista.

Que el oxígeno, en algunas décadas, se haya extraído de los minerales, del aire, del agua, brevemente de los cuerpos más diversos para la experiencia común, basta para explicar que este cuerpo químico particular fuera promovido a un rango insigne. Constituye verdadera-

mente el advenimiento de una sustancia “científica”. Sin duda fue preciso, a continuación, quitar al oxígeno el privilegio de designar el *poder ácido*. Pero durante largo tiempo fue el signo material de la nueva química. Y los filósofos —los Schelling, los Hegel, los Franz von Baader—, no vacilaron en hacer del oxígeno un verdadero momento de la explicación general. Por ejemplo, Hegel pone en relación las 4 sustancias —nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y carbono— como una organización de conceptos que forma “la totalidad de la noción”.⁸ Releyendo páginas semejantes se tendrán claros ejemplos de la adhesión precipitada del idealismo a los valores experimentales. El idealismo busca incesantemente razones para unificar la experiencia, sin medir correcta y completamente todos sus poderes diversificantes. En nuestra introducción decíamos que el idealismo es una filosofía demasiado alejada del centro de acción del pensamiento científico para poder apreciar el rol recíproco de los métodos de investigación y de las experiencias de verificación. Tenemos aquí una prueba precisa de la imposibilidad de un idealismo de la experiencia científica. Nada se aclara en meditación de un caso único, donde una sola experiencia revelaría todo el poder de conocer un sujeto; es necesario aceptar todas las extensiones positivas de todos los ejemplos. En realidad, la dialéctica de la oxidación y de la reducción que ha dado lugar a tan numerosas reflexiones filosóficas, no es más que una reciprocidad material, tomada entre muchos otros procesos recíprocos de síntesis y análisis.

Con el descubrimiento del oxígeno, los filósofos han sido víctimas aquí como en muchas otras ocasiones, de la novedad. Han querido asimilar enseguida un descubrimiento sorprendente apoyándose —¡para mejor!— sobre racionalismos *a priori*, sin cuidarse de establecer el *racionalismo científico* históricamente preparado por un progresivo ajuste de la teoría y de la experiencia. El idealismo tiene su raíz en lo inmediato a sí mismo. Ahora bien, no hay, no hay más, experiencia científica inmediata. No podría abordarse un pensamiento científico nuevo

en blanco, con un espíritu no preparado, sin cumplir para sí mismo la revolución científica que siga el pensamiento nuevo, sin asumir el yo social de la cultura. ¿Será preciso señalar, a modo de digresión, que el yo de la cultura es la exacta antítesis de la cultura del yo?

Dedicarse sin crítica a la novedad y obstinarse en un sistema permitido, he aquí precisamente dos maneras diferentes de rehusar el doble trabajo psicológico de asimilación de los conocimientos científicos y de estructuración del espíritu científico. Puede resultar interesante dar un ejemplo, entre muchos otros, de las resistencias de un espíritu dogmático a las ideas nuevas. En su *Examen de la Philosophie de Bacon*, Joseph de Maestre ironiza acerca de los esfuerzos de la química por superar la dominación directa y definitiva de las sustancias. Según él, sería preciso permanecer en el pleonasma que dice que el ácido “es una sal que excita el sabor que se denomina ácido”. Se trata de un elemento de la definición de Macquer. De Maestre lo compara a la nueva definición indicada por Cadet en su diccionario: El ácido “*es una sustancia que en virtud de su unión con el oxígeno adquiere un sabor agrío...*”. Y, puesto que, según de Maestre, los nombres deben decirlo todo en su raíz, busca la definición de la palabra *óxido* en el mismo diccionario. Se encuentra allí que la palabra *óxido* “*designa a un cuerpo oxigenado, pero no acidificado, de modo tal que no enrojece en absoluto las tinturas azules y no produce sabor ácido*”. Y de Maestre comenta: “*Pero denominándose el oxígeno así (bien o mal) porque produce el ácido, encontramos que el agente que produce el ácido tiene la notable propiedad de no poseer lo ácido, lo que me parece maravilloso; pero como no pertenezco al oficio, me limito a la admiración.*”

En un texto así se ve funcionar, con toda ingenuidad, el pensamiento substancialista. Para tal substancialismo, la sustancia contiene en toda propiedad sus propiedades y se juzga prudente el referirse siempre a la definición predicativa de la sustancia. Entonces las definiciones de designación son tomadas por definiciones de ser. El análisis material es un análisis grama-

tical. De Maestre fracasa en apreciar la distancia epistemológica que separa la definición del diccionario de Macquer y la del de Cadet. Entre ambas definiciones, sin embargo, la inmensa importancia teórica del descubrimiento del oxígeno es manifiesta. Importa poco saber que más tarde se conocerán ácidos sin oxígeno. Lo que es importante, es que con Lavoisier se ha comenzado a comprender el carácter *compuesto* de los ácidos. Con el oxígeno, se ha aislado un factor de esta composición, un intermediario de esta construcción. Y se llega así a la idea enteramente nueva —una idea filosófica que despierta una admiración sin ironía— de que un cuerpo puede servir para *construir una propiedad* que él “no posee”.

IX

Pero dejemos esos lejanos debates y consideremos el problema de la pureza de las sustancias en su complejidad filosófica moderna.

En líneas generales, puede decirse que no hay pureza sin purificación. Y nada puede probar mejor el carácter eminentemente social de la ciencia contemporánea que las técnicas de purificación de todo un conjunto de reactivos cuya pureza ha recibido una especie de garantía social. A un filósofo le será fácil denunciar aquí un círculo vicioso: purificar una sustancia merced a una serie de reacciones en las que se comprometen reactivos garantizados como puros, es olvidar evidentemente el problema inicial: el problema de la pureza de los reactivos. Pero la ciencia contemporánea puede, con plena conciencia, desdeñar esta objeción previa. Hay aquí un estado de hechos, un momento histórico bien definido. Cada época de la ciencia, en su desarrollo moderno, establece una especie de cuerpo de reactivos

constituidos a un nivel de purificación bien determinado. Hay edades sociales diversas para la pureza materialista; y nuestra época se señala por un refinamiento tal de la purificación que puede muy bien decirse que la ciencia contemporánea posee reactivos nuevos e instrumentos nuevos que ninguna época precedente ha conocido. La técnica materialista de la química moderna nos procura una naturaleza *nueva*; es esencialmente un segundo comienzo del materialismo.

He aquí pues, en estos *instrumentos* de purificación que son reactivos, un aporte social absoluto; un químico aislado no podría tener la pretensión de sustituirlos por *instrumentos personales*, por todo un cuerpo de reactivos atesorados en una preparación personal rehaciendo así por su propia cuenta, toda la historia de la química. La química moderna saca provecho de su larga preparación histórica; es una de las ciencias que vive más claramente en su *presente*. El químico entra al laboratorio donde halla un *presente absoluto*, el presente absoluto de los datos naturales encontrados en el ocasionalismo esencial del empirismo. Es de este materialismo de un presente absoluto, de los reactivos técnicos coordinados del que parte el químico moderno; debe inscribir su trabajo cotidiano en el presente de la ciencia, en un conjunto humano al cual se integra, ya desde un punto de vista teórico, por una aprehensión cultural que constituye una necesidad para la acción científica eficaz.

Todas estas tesis parecerían menos superficiales al filósofo si quisiera tomar conciencia de la verdadera *operación de mecanizado* necesaria para la producción de una substancia pura en la técnica contemporánea; comprendería rápidamente que semejante purificación no depende ya de una actividad individual, que exige un trabajo en cadena, purificaciones en cadena, en suma: que la fábrica- laboratorio es, en lo sucesivo, una realidad fundamental.

Por otra parte, el examen de un plan de fabricación para una purificación será más conveniente que todo desarrollo filosófico. El lector puede por ejemplo, remitirse al esquema de las operaciones que conducen del berilio al berilio puro en laminillas conforme al método empleado en la Degusta A. G. Dicho esquema es señalado por J. Besson en un artículo aparecido en el *Bulletin de la Société Chimique de France* (año 1949) que no reproducirían para ello. Allí veríamos por decenas operaciones de purificación, por así decir, cruzadas, purificaciones proseguidas según diversos puntos de vista, inducidas por diferentes reactivos. Considerando todos los circuitos de estos procedimientos químicos destinados a producir una sustancia particular con todas las garantías de pureza, se comprenderá que semejante operación de fabricación no puede ser pensada más que en la cúspide de una cultura realizada en una ciudad que industrializa la ciencia eternamente.

X

Así, el cuerpo de reactivos es a la vez coherente y eficaz; todos los reactivos se producen con una garantía de pureza que permite el trabajo positivo. Sin embargo, no convendría otorgar una validez incondicionada al concepto de *pureza en sí*. Postular una pureza en sí sería reunirse al mito de la *pureza natural*. En realidad ya que la ciencia positiva solidariza la noción de pureza con la noción de operación de purificación, no puede descartarse el *relativismo* de la pureza. En efecto, según el procedimiento de purificación empleado, se pueden obtener, para un mismo producto, diferentes grados de pureza. Pero no va de sí que estos grados de pureza puedan ordenarse, pues la pureza se toma a menudo al nivel de una cualidad particular. A veces una propiedad

particular que no compromete profundamente al conjunto de las propiedades químicas puede revelarse de una increíble sensibilidad a la menor impureza. Andrew Gemant en un capítulo del manual de Farkas, "*Electrical properties of hydrocarbons*" (pág. 215), dice que un hidrocarburo líquido tiene una conductibilidad eléctrica que varía de 10^{-19} mho/cm para una muestra extremadamente purificada a 10^{-13} para una muestra comercial, esto es una variación de 1 a un millón. Se comprueba la enorme acción de la menor impureza. Gemant agrega que las determinaciones de la conductibilidad dan valores que disminuyen indefinidamente con la prosecución de una purificación cada vez más extremada pero que sin embargo *ningún valor límite está a la vista*.

Comprendemos bien que no se podrían ordenar las impurezas naturales apuntando a una pureza en sí. Más aún, a pesar de todos los esfuerzos del materialismo, decididamente artificialista, la línea de las purificaciones nunca está segura de apuntar a una purificación absoluta. Bastaría que un nuevo tipo de experiencia fuera instituido para que el problema se planteara bajo una forma nueva. La pureza de una sustancia es pues una obra humana, no podría tomarse por un dato natural. Conserva la relatividad esencial de las obras humanas; su en-sí está condicionado por un largo pasado de experiencias proseguidas dentro de las vías de una facticidad incesantemente acrecentada. De cualquier modo lo *factico* brinda garantías incomparablemente mayores que lo *natural*.

XI

Como conclusión de este capítulo donde hemos intentado mostrar la evolución de las ideas materialistas de homogeneidad, simplicidad y pureza, si se nos permite vincular todas nues-

tras reflexiones a la posición filosófica que asumimos en nuestras investigaciones epistemológicas, diremos de buen grado que vemos aquí nuevos argumentos para una filosofía del racionalismo aplicado.

En efecto: todo es método, método aplicado, método rectificado por su aplicación. La conciencia sin cesar vigilante de la aplicación correcta de un método es la base misma del racionalismo aplicado, instituye al espíritu como una actividad sistemática de corrección. Y con el racionalismo materialista aplicado, esta conciencia sin cesar vigilante de la aplicación de un método, penetra profundamente en la objetividad. La conciencia de método rectifica incluso la materia, la normaliza.

De esto resulta, no un psicologismo de primer grado como aquél en el cual se complacen numerosos existencialismos, sino un ortopsicologismo de segundo grado. Y este segundo grado resulta bien claro en el problema de la pureza sustancial que acabamos de examinar. Aquí es necesario ir hasta el extremo y decir: ya que la sustancia está *dada*, naturalmente, *dada*, no es *pura*. Será pura cuando la técnica la haya *purificado*. Hay pues una diferencia metafísica esencial entre un materialismo ligado a la materia bruta y un materialismo instruido sobre un conjunto coherente de objetos materiales que manifiestan un testimonio de pureza técnica. Es verdad entonces que el materialismo técnico se hace inseparable de un racionalismo instruido.

XII

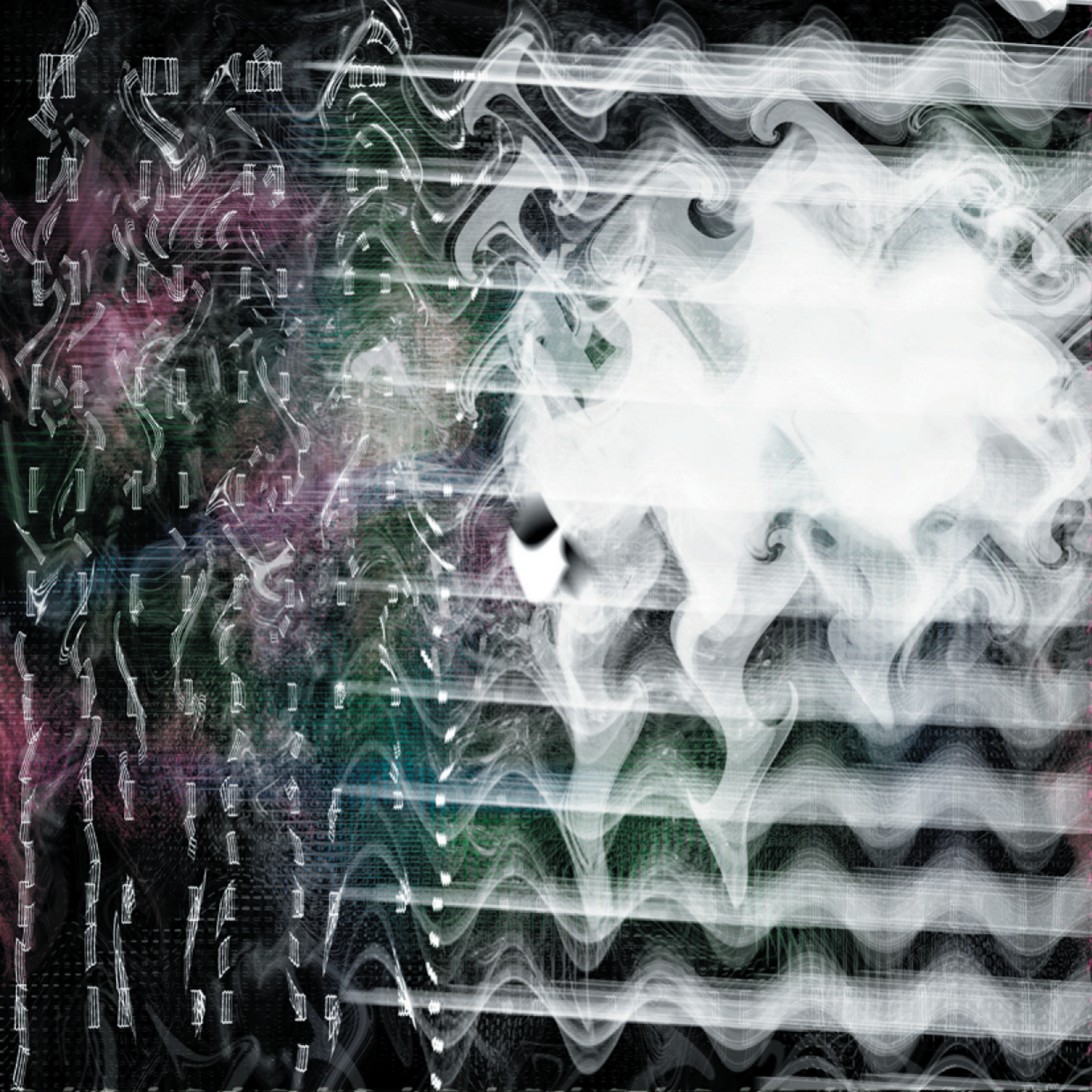
Así, el máximo de garantía de pureza no reside en un valor natural sino en una aplicación rigurosa de los métodos. Es merced a la aplicación vigilada de los métodos que el materialismo

establece un nuevo sustancialismo: el de la *sustancia sin accidente*. La constitución técnica de una sustancia enteramente normalizada excluye toda fantasía y toda incertidumbre. La química prepara una *sustancia en serie*. En lo que nos concierne, acude a nosotros a menudo el pensamiento de deslizar este concepto de una sustancia química producida en serie, en las polémicas fáciles donde los filósofos afirman la desvalorización humana de los *objetos* fabricados en serie. ¿No ven acaso estos filósofos que el irracionalismo que les es caro sufre aquí —con la sustancia sin accidente— un verdadero estallido? Sin duda, en una fabricación, pueden deslizarse defectos, falsas maniobras, “fallas”. Pero estos “accidentes” ya no son los accidentes inherentes a la sustancia, los accidentes que individualizan en su fondo a la misma. Hay aquí una dialéctica de la noción de accidente que concluye con la eliminación del mismo. Al pasar de sustancia real al método de realización, el accidente llega a ser eminentemente rectificable: una conciencia clara del método lo evitará, una vigilancia social lo yugulará. Construid una ciudad científica bien hecha y los objetos materiales que de ella salgan estarán bien hechos: serán *sustancias sin accidentes*.

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 medicamento creado por la química no tiene ya derecho a la individualidad: cumple sin accidente, corresponde a lo absoluto de su fórmula. Todos los comprimidos de un tubo de aspirinas cumplen una identidad absoluta, tan segura y tan neta como una identidad lógica. Para diferenciarlos en el empleo habría que singularizar cada migraña, en suma. Será preciso ir a buscar lo irracional en otra parte. Con toda certidumbre, este irracionalismo ya no está en la sustancia, ni en esta profundidad de un más allá de la sustancia donde los filósofos de lo concreto buscan el reflejo de su singularidad.

Notas

- ¹ Liebig. *Lettres sur la chimie*, trad. de 1845, pág. 34. El número 56 corresponde al número de los elementos conocidos hace un siglo.
- ² Emile Boutroux. *De la contingente del lois de la nature*, pag. 60.
- ³ Herder. *Philosophie de l'histoire de l'humanité*, trad. Tandel, t. I, pág. 114.
- ⁴ Georges Champetier. *Les molécules géantes et leurs applications*, 194, pág. 449.
- ⁵ Staudinger. *Makromolekulare chemie und Biologie*, Basilea, 1947, *passim*.
- ⁶ Liebig. *Lettres sur la chemie*, trad. 1845, pág. 21.
- ⁷ Qué reivindicación contra la vanidad de su profesor de química hay en esta pequeña frase de Lautréamont:
“¡El oxígeno enciende ‘sin orgullo’ una cerilla!” El profesor de química elemental recomienza con una evidente satisfacción y certeza todos los octubres de su carrera.
- ⁸ Hegel. *Pilosophie de la nature*, 328 (trad. Véra, t. II, pág. 224).



Análisis y síntesis. Operaciones interdependientes entre la práctica y el lenguaje químico

Claus Jacob

Introducción

La química es una ciencia experimental en la que se transforma no sólo las sustancias, sino también su propio lenguaje. Por un lado, los profesionistas de la química analizan y sintetizan nuevos compuestos en el laboratorio; por el otro, hacen declaraciones analíticas y sintéticas sobre estos compuestos en artículos de investigación. Por lo tanto, el lenguaje es un aspecto esencial de la química y no puede haber duda que el lenguaje químico en más de una forma ha influido en el curso tomado por la investigación química.¹ Es por lo tanto esencial entender cómo usan los profesionales de la química su lenguaje, qué reglas gobiernan su uso, y qué consecuencias tiene la utilización de este lenguaje para la química en su totalidad. Mientras que es medular distinguir entre los experimentos químicos y el lenguaje químico, es igualmente importante distinguir entre diversos niveles del lenguaje químico. La química emplea un lenguaje determinado para *nombrar* sus objetos de investigación, que son las sustancias. Además, es posible discutir sobre las sustancias en términos generales, lo cual no sucede con las leyes, modelos, y teorías que gobiernan el comportamiento de elementos y compuestos. En otro nivel, es posible incorporar una discusión epistemológica sobre las teorías, su origen, y su base empírica.

Todos los niveles del lenguaje químico son vitales para la investigación química, en particular la relación entre los símbolos químicos utilizados para representar sustancias y las sus-

tancias mismas. Es en esta interfase, entre la manipulación de sustancias y la manipulación de los símbolos, que las operaciones simples (tales como mezclar o quemar) llegan a ser descriptibles y generalmente reproducibles. En la siguiente sección se revisan de manera más detallada los diversos niveles del lenguaje químico. En la sección 3 define el simbolismo químico como lenguaje. En la sección 4 se investiga la base empírica del simbolismo químico. En la sección 5 se estudia la interdependencia entre las diversas operaciones del análisis y la síntesis en el laboratorio y en el pizarrón. En la sección 6 se discute la influencia que el lenguaje tiene en el progreso de la investigación química en general y las limitaciones potenciales que el uso de un lenguaje químico específico plantea para la investigación en particular. En la sección 7 se explora las posibilidades de una relación más dinámica entre la práctica y el lenguaje químicos (p. ej. química combinatoria, simulaciones en computadora). En la octava y última sección se repasan brevemente las fortalezas y debilidades del lenguaje químico actual y se avisa el futuro de la experimentación al azar.

Los diferentes niveles del lenguaje químico

Es importante tener presente que en el lenguaje químico hay diversos niveles que muestran un creciente grado de abstracción de la práctica química. La mayoría de las discusiones sobre el lenguaje químico se centran en uno de estos niveles. Para entender las reglas específicas que se aplican a cada nivel es provechoso discutir estos lenguajes por separado. Los diversos sub-lenguajes usados en estos niveles exhiben características lingüísticas y epistemológicas distintivas y no se deben confundir unos con otros. Sin embargo, todos los lenguajes usados en química se pueden estudiar como *lenguajes*.

El nivel inicial del lenguaje químico (N1) contiene los símbolos químicos para las sustancias y, a primera vista, se asemeja apenas a un lenguaje moderno. El *simbolismo químico*² tiene sus muy particulares reglas con respecto al uso operacional de los símbolos. El tratamiento del simbolismo como lenguaje implica, por ejemplo, que es posible definir las reglas formales y semánticas para el uso de símbolos químicos. Esta opción inicial —aunque no enteramente libre de problemas— permite la aplicación de conceptos lingüísticos básicos a todos los niveles del lenguaje químico. También permite un análisis detallado de las fortalezas, de las trampas, de las limitaciones, y de las áreas potenciales de mejora del simbolismo químico.

Las semejanzas a los lenguajes ordinarios son más evidentes en otros niveles que son igualmente importantes en química. El segundo nivel (N2) proporciona un vocabulario que permite a los profesionales de la química hablar de las sustancias en general. Con respecto al simbolismo, representa una clase de “meta-lenguaje”. Contiene “ideators” y “abstractors” tales como “elemento” y “compuesto” (Psarros 1996). Por ejemplo, las afirmaciones “el sodio y el potasio son elementos” o “el compuesto es 98% puro por análisis de cromatografía de gases” son parte de este lenguaje determinado. Por lo tanto, los profesionales de la química pueden hablar de un número extenso de sustancias simultáneamente. En vez de nombrar 110 elementos individuales, el “elemento” se puede utilizar para hablar de todos los elementos al mismo tiempo. La definición de estos términos es de fundamental importancia. Los profesionales de la química introducen continuamente nuevos términos (p.ej., “fulerenos”, “ácidos de Lewis”) que requieren definiciones universalmente validadas.

El lenguaje de este nivel es un lenguaje ordinario modificado como lo son el inglés o el alemán. Las reglas semánticas son de gran importancia para la definición exacta (y especializada) y el uso acertado de los términos. La “protoquímica” ha procurado una definición operacional

de la mayoría de los “abstractors” más fundamentales como lo son “elemento” y “compuesto” (Janich 1994, 1996; Psarros 1995; 1999, pp. 68-129; Hartmann 1996). Este nivel del lenguaje es esencial para la comunicación química eficaz. Además, el uso de estos términos es una condición previa para la formación de teorías químicas generales.

El tercer nivel del lenguaje químico (N3) contiene los términos que se utilizan para discutir “abstractors” tales como “elemento” y “compuesto” (según lo definido en el segundo nivel) como parte de leyes, modelos, y teorías en un contexto general. Por ejemplo, las leyes de proporciones constantes y múltiples son parte de este “lenguaje de la teoría química”. Este lenguaje es similar al que se usa en el segundo nivel, un lenguaje ordinario modificado, pero a diferencia del lenguaje utilizado en el segundo nivel, su uso no se limita a la química. Las teorías y las leyes se utilizan en la mayoría de las ciencias y se pueden discutir en un contexto más general.³

En otro nivel, es posible incorporar una discusión epistemológica sobre la química en su totalidad. Las aseveraciones tales como “un mecanismo de reacción es la representación lingüística de una reacción (química) controlada” pertenecen a ese nivel y este artículo en sí mismo se escribe en este lenguaje. El lenguaje, en el cuarto nivel (N4), es el lenguaje de la filosofía. Incluye los problemas sintácticos y semánticos determinados que, aunque siendo muy importantes, no se pueden discutir aquí.

Es obvio que la situación entera es aún más compleja. Por ejemplo, cada “sub-lenguaje” está conectado con los otros y el lenguaje en un nivel define las entidades para el lenguaje en el nivel siguiente. Por ejemplo, el “Na” (N1) pertenece a los elementos, “elemento” (N2) se discute en hipótesis químicas, las “hipótesis” (N3) se puede probar y falsificar en el sentido de Popper, e incorpora así N4. Esto suscita problemas semánticos interesantes para cada nivel del lengua-

je químico. Una discusión detallada de estos niveles y de sus determinados grados de abstracción será importante en el futuro, especialmente puesto que algunos profesionistas de la química tienden a tratar su lenguaje como una entidad. Sin embargo para esta discusión es suficiente que se distinga entre el simbolismo químico y los otros niveles. El nivel de símbolos, de fórmulas y de ecuaciones químicas es quizás el más interesante desde el punto de vista del profesionista de la química. Un experimento químico determinado (es decir un análisis o una síntesis) es “representado” por símbolos y reacciones químicas, no por palabras tales como “elemento” o “químicamente puro”. Por lo tanto, el simbolismo químico exige una discusión más detallada como uno de los más importantes “sub-lenguajes” de la química.

El simbolismo químico como lenguaje

El tipo de lenguaje químico que se utiliza para denotar los compuestos, sus características y sus conversiones se encuentra en el corazón de la química. Resulta muy interesante que algunas reflexiones filosóficas sobre el lenguaje químico se han centrado en el segundo y tercer niveles, los más abstractos. De hecho, no es evidente el por qué el simbolismo químico es (o podría considerarse como) un lenguaje. Después de todo, no hay palabras u oraciones en el sentido clásico. Sin embargo, las tentativas recientes de enfocar al lenguaje químico desde diversas perspectivas también han incluido discusiones sobre las características formales del simbolismo químico en, por ejemplo, el contexto más amplio de la semiótica (Schummer, 1996).

Para discutir el simbolismo químico más detalladamente, sus características lingüísticas específicas tienen que ser definidas. Básicamente, consiste en un “alfabeto”, una sintaxis de-

terminada, y un conjunto de reglas semánticas. Esta definición inicial es importante para el análisis siguiente. Aunque éste no es necesariamente el único acercamiento posible hacia el simbolismo químico, puede todavía ser utilizado para discutir aspectos importantes de la investigación química en la comunicación general y química en detalle.

Los elementos lingüísticos individuales del simbolismo químico se pueden definir en analogía a un "lenguaje modelo" que consiste en un alfabeto de símbolos elementales, donde todos conllevan un significado determinado. Los símbolos elementales entonces están conectados para formar "palabras", según reglas ortográficas; y las palabras están conectadas para formar "oraciones", según reglas gramaticales. Ambas reglas formales se resumen como reglas sintácticas para distinguirlas de las reglas semánticas que gobiernan el significado de símbolos, de palabras, y de enunciados elementales. Tal "lenguaje modelo" es diferente del inglés corriente o del alemán.

Actualmente el *alfabeto químico* utilizado consiste en aproximadamente 110 símbolos que representan los elementos químicos conocidos (desde "H" hasta "Uno"). Sin embargo, el número de estos símbolos "elementales" no es limitado puesto que nuevos símbolos pueden ser introducidos. Los símbolos elementales se pueden combinar en una fórmula química (p.ej. "NaCl") y en una ecuación (p.ej. $2 \text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{NaCl}$). Estas combinaciones de símbolos siguen un conjunto de *reglas formales*, comparables a las reglas que gobiernan la formación de palabras y de oraciones en un "lenguaje modelo", y serán definidas como *sintaxis química*.⁴ La sintaxis química considera reglas empíricas con respecto a la "valencia", el "estado de oxidación", la "electronegatividad", la "afinidad" o los "mecanismos de reacción" que se discuten en la teoría química (Psarros 1996). Es posible distinguir entre una *ortografía química* y una *gramática química*. La ortografía química proporciona las reglas que gobiernan la combina-

ción de símbolos elementales a las fórmulas químicas (p.ej. valencia, estado de la oxidación). Determina qué símbolos elementales pueden ser combinados, en cuáles relaciones y cómo. Por ejemplo, los símbolos "Na" y "Cl" se pueden combinar en "NaCl" de acuerdo con la regla que dice: 1 "Na" se puede combinar con 1 "Cl" según reglas sobre la valencia y el estado de oxidación de los elementos denotados. La gramática química proporciona las reglas que gobiernan las ecuaciones de reacción. Determina los coeficientes estequiométricos (en las ecuaciones "balanceadas"), el uso de una flecha unidireccional o de una de equilibrio, y las "condiciones de reacción" (p.ej. disolvente, temperatura). La ortografía y la gramática químicas se relacionan una con la otra. Por ejemplo, las reglas de gramática para la ecuación $2 \text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl}$ son determinadas por la ortografía "Na", "Cl₂", y "NaCl". Es por lo tanto menos confuso llamar a todas las reglas formales sintaxis química y evitar expresiones tales como ortografía y gramática en la etapa actual de la discusión.

Es sin embargo necesario definir un aspecto más del simbolismo químico. Cada símbolo, fórmula y ecuación de reacción tiene un "significado" en el mundo de las sustancias. La relación entre el "NaCl" y un terrón de sal es un problema semántico en el corazón de muchas discusiones epistemológicas. La semántica química discute el "sentido" de las representaciones lingüísticas (p.ej. símbolos, fórmulas o ecuaciones de reacción) en lo referente a la práctica química.

La semántica química es importante y la mayoría de las recientes discusiones se han centrado en este aspecto del simbolismo químico. Mientras que la semántica química es ideal para describir el lazo entre las sustancias existentes y sus representaciones lingüísticas, la sintaxis química permite a los profesionales de la química escribir nuevos símbolos que representan sustancias todavía no sintetizadas. El actual acercamiento separa intencionalmente los aspec-

tos sintácticos de los aspectos semánticos del simbolismo químico. El significado de “NaCl”, es decir sal común con todas sus características (químicas, físicas, sociales y culturales), es independiente de la corrección “ortográfica” del “NaCl” contra “Na₃Cl” y de la corrección gramatical de “2 Na + Cl₂ → 2NaCl” contra “Na + Cl₂ → NaCl”. *Más importante, la corrección sintáctica de un fórmula es independiente de su significado,*⁵ para que, una vez que se hayan establecido las reglas sintácticas, nosotros podamos crear correctamente nuevas fórmulas sin incomodar sobre su significado. La clara distinción entre las reglas sintácticas y semánticas permite una asimetría importante entre las operaciones con lenguaje y las operaciones con los compuestos.

Esta asimetría es la base para planear nuevas reacciones en la investigación química. Permite una abundancia de fórmulas químicas y de ecuaciones de reacción que se propondrán incluso antes de que se haya llenado un solo tubo de ensayo. Entrega fórmulas y ecuaciones de reacción *a priori* que son generadas solamente por reglas sintácticas mientras que, en esta etapa, no hace caso de las implicaciones empíricas de estas mismas fórmulas y ecuaciones. Por ejemplo, escribir la nueva fórmula “NaAt” se basa en las reglas sintácticas (valencia, analogía con el “NaCl” o “NaBr”). Aunque “NaAt” no representa un compuesto que se pueda hacer en la práctica, no viola reglas sintácticas y —como fórmula química— está disponible para una investigación química adicional.

En resumen, la distinción entre las características sintácticas y semánticas del simbolismo químico permite la introducción de fórmulas químicas que son sintácticamente correctas pero que no tienen (todavía) una base empírica. Tales fórmulas estarían prohibidas en un lenguaje gobernado por los requisitos semánticos en los que cada fórmula debe representar algo.

Es posible distinguir ahora entre las operaciones con sustancias y las operaciones con símbolos. Entre operaciones con símbolos químicos podemos definir *análisis1* y *síntesis1* (Jacob

1998, p. 38-40). El análisis¹ y la síntesis¹ están dirigidos por reglas (sintácticas) formales, establecidas sobre una base empírica y ahora parte de la teoría química (p.ej. reglas de valencia, de estados de la oxidación, de grupos funcionales, de mecanismos de reacción, etc.). Su resultado es un asunto lingüístico en forma de una declaración analítica¹ o sintética¹.⁶ Una declaración analítica¹ se puede hacer sin investigación empírica anterior; extrae información que ya está presente en la ecuación original de la fórmula o de la ecuación de reacción. Por ejemplo, la declaración "2 moles de NaAt contienen 2 moles de Na y un mol de At₂" (es decir "2 NaAt → 2 Na + At₂") es una declaración analítica¹ derivada exclusivamente de operaciones sintácticamente correctas en la fórmula "NaAt". Tal declaración no requiere el análisis químico inmediato del compuesto denotado. La declaración "francio y astatinio forman astatinuro de francio" (es decir "2 Fr + At₂ → 2FrAt") es una declaración sintética¹. Las declaraciones analíticas¹ y sintéticas¹ aplican igualmente reglas sintácticas. Las declaraciones analíticas¹ predicen con frecuencia las características químicas (es decir composición) de un compuesto basado en los símbolos presentes en su representación lingüística. Las declaraciones sintéticas¹, por otra parte, frecuentemente combinan símbolos para formar nuevas fórmulas que "representan" compuestos desconocidos.

Por otra parte, las operaciones químicas prácticas del análisis y de la síntesis (según lo definido en la química) generan compuestos químicos. Estas operaciones experimentales se realizan con sustancias, no con símbolos. Son dirigidas por las reglas experimentales que describen la práctica química (p.ej. el uso correcto del equipo químico, de métodos de purificación). Las operaciones experimentales implican mezclas controladas de materiales que están originalmente bien caracterizados, de métodos de purificación (p.ej. cromatografía, recristalización) y de métodos analíticos (p.ej. espectrometría de masas, análisis elemental). Estas operaciones

serán definidas como *análisis*₂ y *síntesis*₂. Su resultado real es un compuesto analítico₂ o sintético₂ (Jacob 1998, p. 38-40).⁷ El análisis₂ y la síntesis₂ son parte de la investigación química y su ejecución se encuentra dentro del marco de la teoría química. Aunque hay operaciones similares en otras actividades no propiamente químicas (p.ej. al cocinar, o al mezclar mortero), estas no serán definidas como análisis₂ o síntesis₂ sino como mezclas al azar .

Estos dos conjuntos de operaciones y sus resultados reales no están relacionados simplemente por el uso coincidente de la misma terminología. El uso de los símbolos elementales específicos para los elementos químicos permite intencionalmente que las operaciones lingüísticas del análisis₁ y de la síntesis₁ se realicen, mientras que la práctica química realiza las operaciones prácticas del análisis₂ y la síntesis₂. Por lo tanto, el lenguaje químico depende de manera inequívoca de su base empírica.

Las bases empíricas de la sintaxis química

El lenguaje ordinario utiliza símbolos y reglas sintácticas basados en la convención y el diseño más o menos racional. Es también posible inventar nuevos lenguajes basados en nuevas "gramáticas universales" (Lightfoot 1999, pp. 49-76). En contraste, los símbolos, los fórmulas y las ecuaciones químicas, así como las reglas sintácticas del simbolismo químico se basan principalmente en la experiencia química experimental.

Superficialmente la combinación del "Na" y de "Cl" para dar "NaCl" es similar a la combinación de "tornillo" y el "programa sobre como usarlo" en "destornillador". Mientras que el último ejemplo, sin embargo, representa simplemente una manera de describir un instrumento

nuevo por la combinación de los nombres de dos entidades sabidas, la combinación del “Na” y de “Cl” para dar “NaCl” nombra no solamente un compuesto determinado, también le dice al profesionalista o estudiante de química su composición (empírica) y cómo hacerlo. ¡Tome una porción de Na y una porción de Cl y el resultado que es una porción de NaCl! Ningunas de tales predicciones o instrucciones se pueden hacer en el ejemplo del destornillador.

Por lo tanto, un fórmula química se relaciona con un compuesto químico de dos maneras. Primero, la fórmula representa un compuesto (“representación lingüística”). Esta relación esta gobernada por reglas semánticas y es con frecuencia el centro de discusiones epistemológicas. Por ejemplo, “NaCl” representa la sal purificada de la roca. En segundo lugar, la sintaxis química se basa en las reglas que tienen su origen (empírico) en el mundo de los compuestos y de las reacciones químicas. Por ejemplo, los análisis elementales de muchas y diversas sales han determinado la regla: el “Na” es monovalente con estado +1 de oxidación en los haluros de sodio. Esta segunda “relación” entre un compuesto o una reacción y sus representaciones lingüísticas (fórmula, ecuación de reacción) permite a los profesionales de la química evidenciar la importancia experimental para el resultado de las operaciones con símbolos.

Una mirada más cercana en el ejemplo del NaCl aclarará la relación entre el análisis¹ y el análisis²: la declaración “NaCl contiene un equivalente (o también un átomo) de sodio y un equivalente (o también un átomo) de cloro” es una declaración analítica¹. Al mismo tiempo, es también una declaración empírica derivada de (y utilizada por) encontrar que la descomposición electroquímica del cloruro de sodio fundido (análisis²) produce un equivalente del sodio y un equivalente de cloro. Mientras que la declaración original se hace con base en la experiencia práctica (análisis²), otras predicciones químicas referentes al NaCl se pueden hacer por las declaraciones analítica¹ y sintética¹ a partir simplemente de la representación “NaCl”. No

se requiere siquiera trabajo adicional del laboratorio para hacer esas predicciones —aunque la prueba de esas predicciones pudo requerir otros experimentos—. Por ejemplo, el profesional o estudiante de química puede entrar con confianza en el laboratorio con la expectativa clara que su sal fundida producirá sodio y cloro, pero no potasio o bromo. Ellos también “saben” que el compuesto nombrado como “NaCl” consiste en los iones del sodio y del cloruro y reaccionan con el nitrato de plata para formar un precipitado blanco de cloruro de plata. Por otra parte, el químico puede emplear las reglas sintácticas del lenguaje químico que gobiernan las ecuaciones de reacción química e indican una ruta sintética a “NaAt” o predicen un precipitado cuando NaAt reacciona con el nitrato de plata mucho antes que el NaAt se haya sintetizado (síntesis2) en un laboratorio (“NaAt + AgNO₃ → {AgAt} ↓ + NaNO₃”). Aunque *a priori* son posibles tales ecuaciones de reacción, no es posible saber si son significativas en la práctica. El análisis1 y la síntesis1 no sustituyen al análisis2 y a la síntesis2.⁸

Las diferencias en aspectos formales y semánticos del lenguaje ordinario y químico también explican la diferencia entre la palabra “destornillador” y la fórmula “NaCl”. La síntesis1 o el análisis1 de “destornillador” no producirá información alguna sobre los componentes (análisis2) o fabricación (síntesis2) de esta herramienta (pero —coincidentalmente— sí sobre su uso). Las reglas (ortográficas) formales que gobiernan la separación de “destornillador” en “des” y “tornillador” son independiente de la separación empírica de un destornillador en una barra del hierro y un mango de plástico. Además, el significado de “destornillador” no se conecta al significado de “des” o de “tornillador”. No hay una relación evidente entre los dos tipos de análisis o de síntesis en este ejemplo del lenguaje común.

Es importante mencionar que hay diversas clases de fórmulas químicas que contienen diferentes y diversos grados de información, y que por lo tanto conducen a diversos resulta-

dos analíticos¹. La fórmula empírica simple " $C_2H_2Cl_2$ " se puede reescribir como "CHClCHCl" o " CH_2CCl_2 ". Combinando los símbolos de los elementos según ciertas reglas, es posible obtener un conocimiento analítico¹ más detallado sobre un compuesto determinado. Así un refinamiento sería el uso de estereoestructuras que pueden indicar si el compuesto es *cis* o *trans*.⁹ Es además posible especificar qué isótopos del carbón, del hidrógeno, y del cloro están presentes, cuál es la polaridad de los enlaces, y cuál es la estabilidad de la molécula. El "refinamiento" de estructuras empíricas ha sido una de las tareas principales de los profesionistas de la química desde la introducción del simbolismo químico moderno a finales del siglo XVIII (Crosland 1962, pp.177-193; Hudson 1992, pp. 69-70; Bensaude-Vincent y Stengers 1996, pp.87-91); ha implicado el refinamiento de las reglas sintácticas (basadas en la experiencia experimental) y la introducción de las leyes y de las teorías químicas generales (p.ej. los mecanismos de reacción).

No es el interés de este artículo rediseñar o mejorar el simbolismo químico. Sin embargo, es crucial entender que el uso de una fórmula determinada permite solamente un análisis¹, determinado por un conjunto específico de reglas sintácticas basadas en ciertas leyes químicas. Si se utiliza una fórmula empírica como " $C_2H_2Cl_2$ ", el análisis¹ no puede realizar declaraciones sobre grupos funcionales, la polaridad, la relación isotópica o la estereoquímica. Si se utiliza "CHClCHCl", todavía no hay información analítica¹ sobre la configuración *cis* o *trans* y por lo tanto el momento dipolo. Por supuesto, esta información seguramente está disponible para los profesionistas o estudiantes de química actuales, pero no está siempre presente en el tipo de representaciones usadas. Por lo tanto una cosa es señalar hacia el conocimiento generalmente disponible por los profesionistas de la química y otro el que resulta de la mirada exacta de la declaración analítica¹ que se puede derivar de una fórmula utilizada en un caso determinado.

Los profesionistas de la química utilizan las fórmulas de reacción analíticas¹ y sintéticas¹ para predecir fragmentos analíticos² y nuevos compuestos (síntesis²) así como la dirección de las reacciones químicas en el laboratorio. Este lenguaje es muy poderoso puesto que permite que los químicos deriven las declaraciones sobre “compuestos” que realmente nunca se han producido en un laboratorio. Por ejemplo, “H” y “O” se pueden combinar de maneras numerosas como “H₂O”, “H₂O₂”, “HO₂”, etc. Coincidentemente, estos compuestos también se han creado en el laboratorio. La combinación “H₂O₁₀”, sin embargo, puede ser objeto de una síntesis¹, pero el compuesto H₂O₁₀ (un polióxido) todavía no se ha sintetizado (síntesis²). En este aspecto la capacidad del lenguaje excede las capacidades experimentales del profesionista de la química. Ésta puede ser una de las razones por las que el lenguaje de la química ha estado con frecuencia en el centro de la filosofía de la química.

Desafortunadamente, la fascinación con la potencia de este lenguaje no ha permitido una mirada más cercana a sus potenciales trampas — *especialmente en los casos donde las capacidades experimentales de los profesionistas de la química pudieran exceder la capacidad del lenguaje*—. Por ejemplo, no hay actualmente una regla que permita la combinación “H₄O₂” de acuerdo con la síntesis¹, mientras que tales (o similares) compuestos se encuentren bajo condiciones experimentales extremas en reacciones en fase gaseosa.¹⁰ Una regla sintáctica empírica (en este caso las reglas de la valencia) puede fallar. Puede ser que excluya la predicción de productos de reacción que contenían los átomos con valencias desconocidas y que podrían realmente ser prácticamente sintetizados (síntesis²). Así, la sintaxis química permite al mismo tiempo la predicción de algunos compuestos nuevos y obstaculiza la predicción de otros.

Ésta es una declaración provocativa que exige un examen detallado de la relación entre las operaciones con los compuestos y las operaciones con el lenguaje. Primero, cómo están

exactamente el análisis₁, el análisis₂, la síntesis₁, y la síntesis₂ relacionados unos con otros; por ejemplo, ¿hay relaciones simétricas o asimétricas? En segundo lugar, ¿algunos aspectos de estas interdependencias obstaculizan el progreso científico? Tercero, ¿hay resultados experimentales posibles que no pueden ser expresados en el lenguaje químico actual? —y, ¿qué estatus o valor epistemológico ello tendría? Cuarto, ¿son estos resultados experimentales tan interesantes para el químico como pueden serlo para el filósofo de la química?

Interdependencias entre el análisis 1, el análisis 2, la síntesis 1, y la síntesis 2

Las operaciones de análisis₁ y de síntesis₁ son realizadas en representaciones lingüísticas y conducen a las fórmulas, y ecuaciones de reacción. Las operaciones de análisis₂ y síntesis₂ son realizadas en compuestos y conducen a otros compuestos.¹¹

Ahora hay que considerar la relación entre el análisis₁ y el análisis₂. Según lo mencionado ya, el proceso y el resultado del análisis₂ establece la base empírica requerida para la invención de fórmulas, de ecuaciones y de declaraciones químicas. Es por lo tanto una condición necesaria para el análisis₁ que sus reglas se basen en los resultados prácticos del análisis₂. El análisis₂ indica el número y las características asociadas de los símbolos del elemento, así como la sintaxis para combinar estos símbolos de una manera ordenada (p.ej., valencia, estado de la oxidación). Sin embargo, las operaciones analíticas₂ o sintéticas₂ realizadas en el laboratorio requieren un marco teórico para ser diseñadas y para ser ejecutadas racionalmente. Agregar jugo del limón a un pescado no explica por qué esta operación suprime el mal olor. Si tal operación no se basa en una teoría química no podría ayudar a probar, a explicar o a pre-

decir observaciones u otras operaciones, ni seguramente será reproducible. Tales operaciones son generalmente parte de un arte (como cocinar) basado en experiencias anteriores, pero no considerado científico. Sin embargo, en la química tal experiencia práctica pronto alcanza sus límites, porque no permite que los profesionistas de la química hagan predicciones sobre el resultado de una reacción desconocida o una posible síntesis² a un compuesto nuevo (p.ej. retro-síntesis).¹²

Por lo tanto, la práctica del análisis² es conducida, y potencialmente limitada, por el resultado de análisis¹ anteriores basados en las fórmulas químicas (p.ej. la búsqueda de H₂ y C durante la descomposición térmica de CH₄, el fragmento CH₃ en el espectro de masas del metanol). Las predicciones hechas por el análisis¹ no son, sin embargo, ni suficientes ni las suposiciones necesarias para el análisis². No son suficientes, porque el análisis² frecuentemente muestra compuestos inesperados o impurezas; no son necesarias, porque el análisis² puede revelar un conjunto de productos totalmente diferentes de los esperados para un compuesto dado. Por ejemplo, el análisis¹ de la fórmula empírica "C₂H₆O" puede predecir la presencia de un grupo etilo y de otro oxhidrilo (alcohol). Sin embargo, el análisis² puede demostrar que hay otros grupos reactivos en la muestra (éter) o que no hay ningún grupo oxhidrilo presente. Esto indica que ni el lenguaje químico ni la práctica química son independientes el uno del otro. Priorizar solamente un aspecto —práctica o lenguaje— oculta la interdependencia de ambos.

Una interdependencia similar se puede encontrar en el caso de la síntesis¹ con la síntesis². Las fórmulas químicas permiten la invención de ecuaciones de reacción química que hacen predicciones sobre la formación de compuestos nuevos. Estas ecuaciones pueden entonces ser utilizadas en la práctica donde pueden estimular la síntesis² de un compuesto nuevo. No

hay garantía, sin embargo, que esta síntesis² produzca de hecho el compuesto previsto. Predecir un compuesto por la síntesis¹ no es suficiente para garantizar su síntesis². Hay numerosa experiencia histórica de que reacciones bien diseñadas han fallado. Más aún, como lo demuestran los “descubrimientos sorprendidos”, la síntesis¹ no necesariamente antecede a la síntesis².

Éste es un aspecto central de la relación entre las representaciones lingüísticas y los compuestos representados. Las representaciones obtenidas por el análisis¹ y/o la síntesis¹ no son declaraciones suficientes ni necesarias para resultado del análisis² y de la síntesis². Están justificadas por reglas sintácticas pero no tienen necesariamente referentes entre compuestos reales. Las operaciones con tales representaciones proporcionan una herramienta útil para la investigación química, pero su resultado no es absolutamente confiable como el resultado de la mayoría de los análisis² y/o síntesis² indican (tentativas fracasadas, subproductos, y los “descubrimientos sorprendidos”).

Limitaciones científicas causadas por el análisis¹ y la síntesis¹

Una restricción evidente del lenguaje químico es el número limitado de entradas en su “alfabeto”. Actualmente hay cerca de 110 símbolos para los elementos químicos. Cualquier predicción hecha por declaraciones químicas será limitada a estos elementos conocidos. Así, es *a priori* imposible diseñar una ecuación de reacción química (la síntesis¹) que conduciría a un nuevo elemento como uno de sus productos. El descubrimiento deliberado de un nuevo elemento se excluye.

Por otra parte, el uso de un símbolo (o del nombre) para un elemento que no exista (ejemplos históricos lo son el “flogisto” y el “muriático”) representa otro aspecto del lenguaje químico

que puede conducir a resultados experimentales equivocados. En este caso, el análisis² y la síntesis² guiados por el análisis¹ o la síntesis¹ respectivamente, conducirían a resultados poco concluyentes o “sorpresivos” cuando los elementos resultan ser compuestos y viceversa. A finales del siglo XVIII las limitaciones de la investigación química, debido a la carencia de nombres como el “oxígeno” y la presencia de nombres como “flogisto”, causaron errores en la interpretación de experimentos y condujeron a las infructuosas tentativas de aislar el flogisto y por lo tanto obstaculizaron parcialmente el progreso científico por un buen número de décadas.

La práctica química actual, sin embargo, experimenta apenas los problemas basados en un alfabeto químico incompleto o defectuoso. Esto es debido al arreglo sistemático de elementos en la tabla periódica —basado en las características físicas de sus átomos—. El sistema periódico y la relación entre un elemento y su número de protones permitió el descubrimiento de nuevos elementos e incluso predecir algunas de sus características; también permitió eliminar nuevos elementos adicionales con números de protones menores a 110 (Shriver et al. 1998, pp. 3-49).

Mientras que el alfabeto químico se corrige fácilmente, las limitaciones causadas por la sintaxis química no. Los siguientes ejemplos ilustran los problemas de la sintaxis química. Algunas de estas dificultades aparecerán triviales a los químicos porque pueden ser resueltas simplemente usando otro tipo de fórmula (véase la sección 4). Sin embargo, estos ejemplos ilustrarán las dificultades generales asociadas con el análisis¹ de varios tipos de fórmulas.

La ecuación 1 es una declaración de síntesis¹ en la que se describe la síntesis² de H_2O_2 . Como se muestra, sin embargo, esta ecuación es inútil en la práctica química. La oxidación directa del hidrógeno con el oxígeno produce agua, pero no peróxido de hidrógeno. La ecuación sigue las reglas sintácticas, pero no puede ser transformada en un experimento acertado. La síntesis¹ simplemente predice el incorrecto producto sintético².

Ecuación 1	$H_2 + O_2 \rightarrow H_2O_2$
Ecuación 2	$AlCl_3 + 3Na(OH) \rightarrow Al(OH)_3 + 3NaCl$
Ecuación 3	$2 C_2H_6O + 2 Na \rightarrow 2 C_2H_5ONa + H_2$
Ecuación 4	$4 Cys-SH + O_2 \rightarrow 2 Cys-S-S-Cys + 2 H_2O$
Ecuación 5	$60 C \rightarrow C_{60}$

La ecuación 2 se relaciona con un problema similar. Aunque el hidróxido de aluminio es un producto posible de esta reacción, el resultado depende críticamente de las condiciones de reacción exactas. La reacción del $AlCl_3$ con $NaOH$ puede conducir a la formación de $Na[Al(OH)_4]$ así como $Al(OH)_3$. La ecuación 2 predice solamente un producto posible de la reacción del $AlCl_3$ con $NaOH$.

La ecuación 3 contiene las expresiones para los compuestos isoméricos (etanol o dimetileter). Tales fórmulas empíricas (" C_2H_6O ") son ambiguas. Por lo tanto la ecuación 3 pudo ser válida para la síntesis² (en el caso del etanol), o no (en el caso del dimetileter). Las fórmulas usadas en la ecuación 3 no contienen suficiente información analítica¹ para nombrar un compuesto determinado y por lo tanto para invalidar las predicciones. La ecuación 3 predice un solo producto posible.

La ecuación 4 (un ejemplo de la bioquímica) representa un problema similar. Primero, la oxidación de $Cys-SH$ (de la cisteína) puede no conducir al disulfuro pero sí a un ácido sulfénico, sulfínico, o sulfónico (Jacob, *et al.* 1998, 1999). Por lo tanto, la ecuación 4 pudo predecir el producto incorrecto. En segundo lugar, la ecuación 4 no especifica si se oxida la L-cisteína o la D-cisteína. Una vez más el resultado experimental pudo ser diferente para ambos isómeros (por ejemplo, si la reacción es catalizada enzimáticamente). La ecuación 4 no hace una pre-

dicción que obligue a realizar un experimento. Es posible que se den resultados “sorpresivos” si se utiliza el isómero incorrecto, o si hay presente un nuevo tipo de isomerismo que todavía no se ha descubierto. Esto significa que la ecuación sintética¹ se puede utilizar para verter luz solamente en un aspecto determinado de una reacción química. Si el isomerismo D L no es un asunto importante en la síntesis¹ tampoco lo es en la síntesis². Una de las ocupaciones principales de los investigadores químicos es incrementar la información de los aspectos mostrados en las fórmulas de la síntesis¹ (fórmulas estructurales, el isomerismo, las consideraciones de la energía y de la estabilidad).

Una característica común de estos ejemplos es que las fórmulas y las reglas sintácticas usadas no sean suficientes para predecir el resultado exacto de un experimento. Siempre hay alguna información experimental perdida simplemente al mirar ecuaciones de reacción, fórmulas de compuestos, o reglas sintácticas. Por lo tanto, no es enteramente correcto tratar una ecuación de reacción química simplemente como cálculo (Psarros 1996). Esto reflejaría solamente la síntesis¹ pero negaría totalmente los aspectos prácticos implicados en la síntesis². Incluso si un cálculo se utiliza como parte de las declaraciones químicas en la síntesis¹, y produce resultados correctos, esa validez es lógica y no práctica. Es sabido desde hace mucho tiempo que tratar un lenguaje como cálculo refleja solamente aspectos formales de ese lenguaje determinado. Además, los símbolos tienen significado y potencialmente “una relación cercana a las acciones y a las opiniones” (Carnap 1937, p. 5). Esta “relación cercana” es de particular importancia para el lenguaje químico y conduce a los aspectos semánticos del simbolismo químico.¹³ Aunque es muy poderoso, el lenguaje químico es propenso a hacer predicciones incorrectas y es un factor limitante para el “descubrimiento” de nuevos compuestos.

Podemos entender el descubrimiento de nuevos productos solamente si la síntesis₂ se reformula por medio de la ecuación química correspondiente (síntesis₁). Esto se muestra en la ecuación 5. La síntesis₂ del fullereno es un procedimiento químico simple que habría podido realizarse hace cientos de años (Kroto, *et al.* 1985; Krätschmer, *et al.* 1991). ¿Por qué tomó hasta la década de 1980 la obtención del C₆₀? La respuesta no sólo puede referirse a la práctica química, se relaciona también con las reglas de la sintaxis química. La expresión "C₆₀" no ha sido parte de la nomenclatura química. No había —hasta los años ochentas— reglas sintácticas que permitieran la síntesis₁ del "C₆₀"; la ecuación de reacción "60 C → C₆₀" habría sido sintácticamente incorrecta. El resultado de tal síntesis₁ habría sido una representación del grafito, del diamante, o de cualquier combinación de C₂, C₃, C₄, etc. Por lo tanto, el término "C₆₀" no apareció en ecuaciones sintéticas₁ y, así, nadie *intentó* realizar síntesis₂ de fullerenos. Asombrosamente, sin embargo, el C₆₀ ha demostrado *en la práctica* ser termodinámicamente más estable que cualquier otro C₂, C₃, C₄, etcétera.

Estos ejemplos muestran que el simbolismo químico promueve y limita claramente la investigación química. El lenguaje no simplemente "refleja" o "guarda" nuestro conocimiento sobre las sustancias; también influencia la dirección tomada por la investigación química. "Sin nombre no hay juego" resumiría esta relación a menudo olvidada. Una vez más, la permitida pero crucial asimetría entre las operaciones del análisis₁ y síntesis₁, por un lado, y del análisis₂ y síntesis₂ por el otro, llega a ser evidente cuando las reglas formales de la sintaxis química se separan claramente del significado semántico de una fórmula o de una ecuación de reacción. Para acentuar este punto: el significado es solamente una conexión entre el simbolismo y el experimento. La otra conexión es la base empírica de las reglas sintácticas.

¿Qué consecuencias se pueden establecer de estas interdependencias? ¿Hay una manera de mejorar la química cambiando el lenguaje químico, su nomenclatura o su sintaxis? ¿O es posible redefinir la relación entre el lenguaje y la práctica (es decir los aspectos semánticos) para avanzar en la investigación química?

La mayoría de estas preguntas tienen que ser tratadas por los profesionistas de la química. Algunos aspectos, sin embargo, son de naturaleza filosófica y se pueden clarificar aquí. Es de suprema importancia para los químicos y para los filósofos discutir las interdependencias entre la práctica y el lenguaje químico. El conocimiento claro de estos problemas es una condición indispensable para evitar las predicciones experimentales incorrectas o las limitaciones innecesarias basadas en el lenguaje químico. Se tiene que tomar en cuenta que la nomenclatura química es “ensanchable”, y que la sintaxis que gobierna el diseño de las ecuaciones de reacción es imperfecta. Por otra parte, hay un círculo pragmático resultado de la investigación química que facilita lo anterior. La evidencia experimental alimenta el lenguaje químico (repertorio de símbolos, de reglas sintácticas), que entonces predice el resultado de otros experimentos. Este círculo tiene algunas implicaciones —no todas necesariamente negativas—.

Primero, utiliza la integridad de la química puesto que dirige la investigación química en una dirección específica. La investigación química sería imposible sin la interdependencia entre la teoría (lenguaje) y la práctica. El uso universal de solamente un lenguaje químico también crea una “sociedad cerrada” de profesionales de la química y permite una química mundial unificada. Cualquier “química” fuera del lenguaje y de la práctica tradicionales será considerada como herejía poco científica y por lo tanto suprimida (Kuhn 1996, pp. 43-51). Los experimentos que no se conforman con las reglas estándar de la química no son consideradas

como investigación química (p.ej. alquimia), ni son teorías que ponen sus predicciones a prueba (experimental) (p.ej. metafísica).

En segundo lugar, la interdependencia entre el análisis1 y la síntesis1 con el análisis2 y la síntesis2 permite la rápida extensión de la práctica y del simbolismo químico. La extensión del simbolismo ocurre de una manera controlada con una base empírica sólida. Al mismo tiempo, estimula la extensión de la base empírica. Por lo tanto, la interdependencia es una importante fuerza impulsora detrás de la química actual.

Tercero, la unidad del lenguaje químico no elimina la formación de subdisciplinas (p.ej. bioquímica, química cuántica) y el uso definido de lenguajes adicionales especializados en esas disciplinas. Tales lenguajes adicionales (p.ej. el lenguaje usado en bioquímica para describir experimentos *in vitro*, las representaciones matemáticas usadas en mecánica cuántica para describir funciones de onda) se pueden utilizar para tratar aspectos específicos de una subdisciplina que no se pueda describir únicamente con el simbolismo químico. A este respecto, el interés en el simbolismo pudo obstaculizar el rápido desarrollo de la química como ciencia. Por ejemplo, sustituir el simbolismo químico por las notaciones de la función de onda y los cálculos de estabilidad pudo haber conducido al descubrimiento del C_{60} mucho antes.

El simbolismo químico no sólo garantiza que la investigación no sea perturbada, también inhibe el pensamiento poco convencional. Se condena cualquier diseño experimental que no quepa con reglas químicas tradicionales. Si un compuesto no puede ser objeto de una síntesis1 en el papel, ¿por qué debe un investigador químico intentar realizar una síntesis2 en el laboratorio? En la mayoría de los casos, será de hecho imposible tener éxito. Si es acertado, se hace un descubrimiento “sorpresivo”; solamente después que reacciones “sorpresivas” han ocurrido, lo que permite la racionalización retrospectiva en términos de la síntesis1. Sin em-

bargo, esto no se conforma con el acercamiento paso a paso de la síntesis₁ seguido por la síntesis₂. ¿Cuál son las oportunidades de realizar una síntesis₂ de un compuesto nuevo que no se puede incluso predecir por el análisis₁ y la síntesis₁?

¿Qué tan sorprendentes son los descubrimientos “sorpresivos”?

Los símbolos químicos y las reglas sintácticas para su combinación son esenciales para las operaciones del análisis₁ y la síntesis₁. Sin embargo, todavía no es posible entender si la influencia que estas reglas ejercen sobre las operaciones prácticas del análisis₂ y la síntesis₂ puede ser epistemológicamente justificable o podría ser cambiada. Esta pregunta tiene como objetivo dos escenarios opuestos. Por un lado, la síntesis₁ puede proponer un compuesto que no puede ser objeto de una síntesis₂. Ésta es en gran medida la experiencia más común en la investigación química y tiene como objetivo la mejora de la práctica química (métodos de síntesis₂). Más interesantes son los casos donde sucede la síntesis₂ de un compuesto nuevo, no predicho por la síntesis₁, es decir lo que hemos llamado un descubrimiento “sorpresivo”. ¿Cómo pueden ser provocados, explotados, o aún ser planeados tales descubrimientos “sorpresivos”? Asombrosamente para la mayoría de los químicos, esta pregunta no está intrínsecamente relacionada con la práctica química, sino que se relaciona con la interdependencia entre el lenguaje y la práctica. Como tal, el asunto de los descubrimientos “sorpresivos” es sobre todo teórico y no práctico.

Es una verdad trivial que cualquier concepto teórico del cual tracemos predicciones (análisis₁/síntesis₁) permite ciertos casos pero prohíbe otros. Esto no significa, sin embargo, que los

casos teóricamente prohibidos no puedan ocurrir en la práctica porque dos diversos tipos de operaciones (análisis1/síntesis1 y análisis 2/síntesis2) están implicados. Por lo tanto, hay dos opciones que ayudarían a los profesionistas de la química a mejorar la química y a racionalizar los descubrimientos “sorpresivos”.¹⁴

Primero, la sintaxis química y con ella la síntesis1 puede mejorarse. Cuanto más confiables y precisas sean las reglas que gobiernan la combinación de símbolos químicos, más acertadas serán las predicciones de las síntesis2. Esta opción está claramente disponible para las ecuaciones 1-4. Si se especifican las condiciones exactas de reacción (p.ej. estequiometría, isomerismo, y representaciones estructurales en vez de fórmulas empíricas), los resultados predichos de la síntesis1 serán más exactos. En la mayoría de los casos (pero no en todos), una síntesis1 tan refinada podrá también conducir a una síntesis2 más acertada. Mejorar la sintaxis química es un proceso constante que ocupa a un número extenso de investigadores químicos y que tiene una larga tradición en la química (Hudson 1992, pp. 104-21; Bensaude-Vincent y Stengers 1996, pp. 126-159). En particular los químicos orgánicos se benefician de una sintaxis mejorada, puesto que la síntesis2 de aproximadamente 36% de los compuestos orgánicos es dirigida por los mecanismos de reacción (Schummer 1997). En su versión más avanzada, este tipo de química realiza síntesis1 con la ayuda de simulaciones en computadora. Un mejor “encaje” entre la síntesis1 y el experimento puede evitar predicciones incorrectas.

Segundo, la síntesis2 y las relaciones entre las operaciones teóricas y prácticas puede cambiar. En el caso extremo esto puede llevar a un tipo de “anarquía” donde la distinción entre una síntesis1 exitosa y otra no exitosa no tiene implicaciones para la síntesis2. Sin embargo es poco probable que los resultados de dicha investigación puedan tener bases teóricas y que puedan ser expresados en el lenguaje químico. Un niño puede generar una serie de compuestos nue-

vos con un equipo de química con el que juegue, pero estos compuestos no son ni reconocidos ni caracterizados. En el mejor de los casos la práctica química puede “degenerar” a una artesanía, como lo es cocinar. Esta práctica química se basaría únicamente en la experiencia y sus alcances y eficiencia serían más limitados; requeriría procesos de síntesis² sin una previa síntesis¹ (“mezclar al azar”).

Sin embargo, este acercamiento puede ser mejorado considerablemente si otros experimentos se realizan después de “mezclar al azar”. Un profesionalista de la química podría tomar la “mezcolanza del niño” y someterla rigurosamente a un análisis² —por ejemplo por cromatografía de gases combinada con espectrometría de masas—. El resultado analítico² de la mezcolanza podría entonces ser descrito por las fórmulas químicas (análisis¹). Finalmente, el profesionalista de la química podría proponer una ecuación de reacción posible para representar la mezcolanza que el niño realizó en la forma de síntesis¹. Con esto, el químico experto re-describiría la “mezcla al azar” del niño como una serie de reacciones químicas solamente *a posteriori*. Este procedimiento es diferente al acercamiento convencional de la química porque no hace ninguna predicción.

¿Este tipo de química tendría alguna utilidad? Ciertamente, generaría inicialmente una abundancia de compuestos nuevos, todos por descubrimientos “sorpresivos”. No deja de ser interesante que una variación de tal acercamiento hacia la química se conoce como química combinatoria. La “mezcla al azar” se junta con un análisis² sofisticado que se puede racionalizar por el análisis¹. Si se encuentran compuestos de “interés” (por ejemplo, para las aplicaciones médicas), la “mezcla al azar” se continúa utilizando acoplada con técnicas de separación específicas, de manera que los resultados puedan ser reproducibles. Mas aún, se hacen diversas tentativas de formular una ecuación de reacción (síntesis¹) para producir más de este

compuesto determinado a través de una síntesis² controlada. Esto implica el uso de menos o más reactivos puros bajo condiciones exactas de reacción.

Sin embargo, es importante tener presente que este acercamiento a la “mezcla al azar” no está enteramente libre de conceptos teóricos. Las condiciones de reacción para la “mezcla al azar” se planean (uso de cristalería, reactivos, solventes, presión etc.), y el razonamiento básico de la síntesis¹ proporciona un marco de referencia para los productos previstos. En la práctica de la química combinatoria, la “mezcla al azar” no consiste simplemente en mezclar varios reactivos químicos. Aunque esto puede conducir en última instancia a nuevos e interesantes compuestos, es más económico seleccionar los reactivos que se sabe tienen ciertas características (químicas, físicas o farmacológicas). La diferencia entre la “mezcla al azar” y la síntesis² convencional es la ausencia de la predicción previa al experimento derivada de la síntesis¹ específica.

Este acercamiento es ahora posible debido a las nuevas técnicas del análisis². La química combinatoria se ha desarrollado durante la segunda mitad de los años noventa (sobre todo por las compañías farmacéuticas), en una tentativa de extender la química más allá de las previsiones y explotar el potencial de los descubrimientos “sorpresivos”. Como hemos visto al final éstos resultan no ser tan sorpresivos.

Conclusión

La química convencional implica operaciones de análisis¹ y síntesis¹ en el nivel del lenguaje y operaciones prácticas en el laboratorio (análisis 2 y síntesis 2). De muchas maneras todas esas operaciones se influyen entre sí, y de tal modo permiten una manipulación dirigida por los

conceptos de las sustancias. Las interdependencias entre estas operaciones permiten que la química como ciencia avance, pero al mismo tiempo también limite su progreso hacia direcciones “poco convencionales”. Aceptar que la teoría química no describe totalmente la práctica química significa la concesión de que la “prohibida” síntesis² sea de hecho posible en la práctica. Este campo de los “descubrimientos sorpresivos” previstos representa una nueva área de la investigación química que se basa hasta cierto punto en un nuevo acercamiento epistemológico. Es decir, realizar operaciones experimentales sin una síntesis¹ detallada y después cosechar los frutos de estas “reacción química al azar”. La química futura puede beneficiarse mucho de este tipo de química combinatoria porque el nuevo acercamiento hacia la síntesis² no sólo representa un aumento en la sofisticación de técnicas químicas, sino también una nueva interdependencia entre el análisis¹/análisis² y la síntesis¹/síntesis².

Este artículo menciona solamente algunos de los aspectos filosóficos que se presentan de la química contemporánea. Se requiere una discusión acerca de los niveles del lenguaje usados en química para proporcionar una visión mas detallada de la interdependencias entre los diversos niveles. Además, la comparación con un lenguaje “modelo” proporciona el acceso a un campo importante del simbolismo químico que no se ha explorado completamente todavía.

Agradecimientos

El autor agradece a Patrick Fowler, Reinhard Hartmann, Nelida Fuccaro y a Karen Tasker por sus comentarios y valiosas sugerencias . Este trabajo fue financiado por una beca de investigación de BASF del DES Deutschen Volkes de Studienstiftung.

Notas

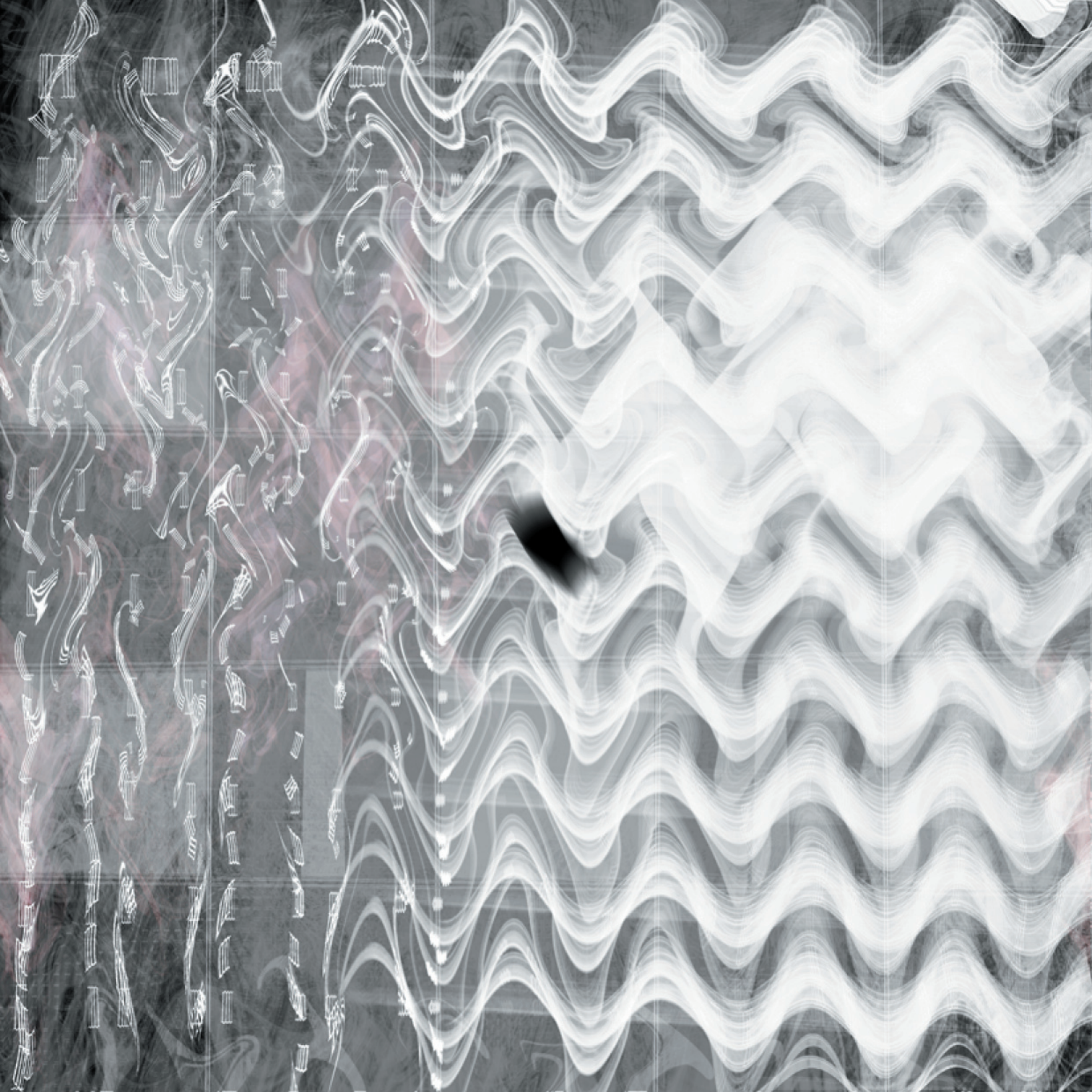
- ¹ Para evitar un malentendido común: Esto no implica que el lenguaje sea de alguna manera más importante que la experimentación.
- ² El uso de la expresión "simbolismo químico" tiene un uso similar en química desde Dalton (cf. Crosland 1962, pp. 227-281; Hudson 1992, pp. 77-91). "Símbolo" se define en la sección 3.
- ³ Para una discusión detallada de los niveles más abstractos del lenguaje y del estatus epistemológico de las entidades abstractas ("teoría", "modelo", etc.) vea también a Hanekamp, 1997.
- ⁴ Esta definición de la sintaxis (química) no es idéntica a la definición de sintaxis en inglés o alemán. Es, sin embargo, adecuada para el simbolismo químico.
- ⁵ Esta declaración es sobre la corrección sintáctica. No implica que el establecimiento original de reglas sintácticas sea independiente de su base empírica ni que un fórmula o una ecuación de reacción no tenga ningún significado.
- ⁶ El término "declaración" en el simbolismo químico se utiliza aquí en su sentido más amplio e incluye fórmulas y ecuaciones químicas de reacción.
- ⁷ La expresión "compuesto analítico" no se utiliza comúnmente en química experimental; aquí se utiliza para describir los compuestos que se han generado por razones analíticas (p.ej. fragmentos en espectrometría de masas).
- ⁸ La importancia del experimento químico se discute en Schummer 1994.
- ⁹ Las fórmulas estructurales y las estereoestructuras se pueden también tratar como "signos" que implican el uso de reglas semióticas ("mecanismos de reacción") más bien que meras reglas lingüísticas (Schummer 1996). La semiótica proporciona un contexto incluso más amplio que incluye pero supera a la lingüística.

- ¹⁰ El refinamiento adicional de la sintaxis pudo en una determinada etapa conducir a una regla que permitiría la síntesis¹ de este compuesto.
- ¹¹ Esta comparación, por supuesto, no implica que sería posible comparar directamente compuestos químicos con fórmulas químicas.
- ¹² El asunto de los descubrimientos y experimentos accidentales con resultados imprevisibles se discute en la sección 7.
- ¹³ Los términos “cálculo”, “símbolo” y “sintaxis” se definen y se discuten extensivamente en Carnap 1937). Para su uso en la discusión del lenguaje químico, vea Pssaros 1996
- ¹⁴ La tercera opción, la mejora de los métodos químicos de la investigación, se ha mencionado ya antes y no es de interés aquí.

Referencias

- Bensaude-Vincent, B. y Stengers, I. (1996). *A History of Chemistry*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Carnap, R. (1937). *The Logical Syntax of Language*, Kegan Paul, London.
- Crosland, M.P. (1962). *Historical Studies in the Language of Chemistry*, Heinemann, London.
- Hanekamp, G. (1997). *Protochemie – vom Stoff zur Valenz*, Königshausen & Neumann, Würzburg.
- Hartmann, D. (1996). “Protoscience and reconstruction”, *Journal of General Philosophy of Science*, 27, 55-69.
- Hudson, J. (1992). *The History of Chemistry*, Chapman & Hall, New York.
- Jacob, C. (1998). *Protochemie – die konstruktivistische Grundlegung der Chemie* (unpublished M.A. thesis, University of Hagen).

- Jacob, C., Maret, W. & Vallee, B.L. (1998). "Control of zinc transfer between thionein, metallothionein and zinc proteins", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95 , 3489-94.
- Jacob, C., Maret, W. & Vallee, B.L. (1999). "Selenium redox biochemistry of zinc-sulfur coordination sites in proteins and enzymes", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96, 1910-4
- Janich, P. (1994). "Protochemie", *Journal for General Philosophy of Science*, 25, 71-87.
- Janich, P. (1996). "Chemie ohne Subjekt? Über eine Paradigmaverschiebung in der Sprache der Chemie", en Janich & Psarros, (1996), pp. 33-43.
- Janich, P. & Psarros, N. (eds.) (1996). *Die Sprache der Chemie*, Königshausen & Neumann, Würzburg.
- Krätschmer, W. (1991). "How we came to produce C 60 -fullerite", *Zeitschrift für Physik – Atoms, Molecules and clusters*, 19, 405-8.
- Kroto, H.W. Heath, J.R. O'Brien, S.C. Curl, R.F. Smalley, R.E. (1985). "C 60 – Buckminsterfullerene", *Nature*, 318 , 162-3.
- Kuhn, T.S. (1996). *The Structure of Scientific Revolutions*, Univ. Chicago Pr., Chicago.
- Lightfoot, D. (1999). *The Development of Language*, Blackwell, Oxford.
- Psarros, N. (1995). "The constructive approach to the philosophy of chemistry", *Epistemologia*, 18, 27-38.
- Psarros, N. (1996). "Die chemische Reaktionsgleichung als Kalkül", en Janich & Psarros. 1996, pp. 127-138.
- Psarros, N. (1999). *Die Chemie und ihre Methoden*, Wiley, Weinheim.
- Schummer, J. (1994). "Die Rolle des Experiments in der Chemie", en Janich, P. (ed.), *Philosophische Perspektiven der Chemie*, BI Wissenschaftsverlag, Mannheim.
- Schummer, J. (1996). "Zur Semiotik der chemischen Zeichensprache: Die Repräsentation dynamischer Verhältnisse mit statischen Mitteln", en Janich & Psarros (1996), pp. 113-126.
- Schummer, J. (1997). "Scientometric studies on chemistry II: Aims and methods of producing new chemical substances", *Scientometrics*, 39, 125-40.
- Shriver, D.F., Atkins, P.W. and Langford, C.H. (1998). *Inorganic Chemistry*, Oxford University Press, Oxford.



Hacia una cultura química

José Antonio Chamizo

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.

En este artículo se discutirá brevemente sobre la cultura, la ortodoxia de la ciencia y la herejía de la química.

Acerca de la cultura

...y sin embargo su propia ignorancia y su propia especialización son igualmente pasmosas. Muchas veces he estado en reuniones de gentes consideradas muy cultas según las normas de la cultura tradicional, y que con sumo placer expresaban su incredulidad ante la ignorancia de los hombres de ciencia. Una o dos veces me he incomodado y he preguntado a los presentes cuántos de ellos

podrían decirme cuál era la segunda ley de la termodinámica.

La respuesta fue fría, y también negativa. Sin embargo, yo estaba preguntando algo que es el equivalente científico de “¿ha leído usted alguna obra de Shakespeare?”

C. P. Snow, 1956

Desde la antropología, la cultura es la forma en que viven los individuos al interior de las diferentes sociedades humanas. Esta interpretación es diferente a la que presenta Snow, que le da a cultura su acepción “humanista-occidental”, y es la que la mayoría de nosotros entiende. Una vez hecha esta aclaración, podemos decir que las culturas están vivas en la medida que los individuos que la comparten interactúan entre sí y con otras culturas, algunas de ellas heréticas, comunicándose, prestándose o inventándose significados, para que los mismos individuos adquieran, a través de ella, sentido y pertenencia. Aquí cohabitan tanto la tradición como la ortodoxia, pero también la ruptura, identificada sociológicamente como el frente cultural donde se tiene la posibilidad de entender y construir diversos modos de convergencia simbólica e integración. La herejía propone frentes culturales; es un asunto de fronteras. Aquí la ciencia se presenta de manera paradójica. Fue y es, todavía, frente a la mayoría de los saberes de una determinada sociedad, una herejía; también es una ortodoxia, en la medida de la concepción que esa sociedad tiene de la ciencia. Sólo hasta hace muy poco se discute ampliamente el impacto de la ideología en la configuración social de la ciencia (Norman, 1998):

Dado el enorme prestigio que tiene la ciencia en nuestra cultura, es esencial que los ciudadanos de una sociedad democrática no sólo sean conscientes del papel de la ideología en la configuración de la

ciencia, sino que aprendan también a evaluar críticamente las implicaciones ideológicas de las aspiraciones y las realizaciones de los científicos como individuos. Este nivel de alfabetización científica es crucial tanto para los consumidores como para los productores del saber científico.

La ciencia es poderosa, además de su capacidad para transformar al mundo (lo cual le ha dado ese enorme prestigio), por su capacidad de abstracción. Su manera de abordar los problemas dividiéndolos en partes más pequeñas, para luego integrar sus resultados en un todo mayor, requiere de un esfuerzo cognitivo importante. Por ello, para adquirir una cultura científica no es suficiente almacenar datos de resultados de investigaciones científicas pasadas o recientes; hay que articularlos alrededor de una forma de ver el mundo, una forma que privilegie la curiosidad (concretada a través del hecho de preguntar), la tolerancia (al reconocer que hay más de una respuesta para la misma pregunta), el consenso (particularmente en la validación de las respuestas por los expertos en el tema) y el escepticismo informado (o lo que es lo mismo, la duda razonada). Siguiendo la línea de pensamiento establecida en el *Informe sobre el desarrollo humano* de las Naciones Unidas, una cultura científica aumenta la libertad efectiva de quienes se benefician de ella para llevar adelante cualquier actividad a la que le atribuyen valor.

Acerca de las ciencias

Todos estamos de acuerdo que la química se refiere a los procesos de transformación de la materia y que el estudio de la materia en sí, en la medida que no cambie, pertenece a la física. Cuando estudiamos a una molécula por sí misma la

estudiamos físicamente. La química considera el cambio que le sucede cuando reacciona y se convierte en otra molécula y debe describir el proceso por el cual ese cambio se lleva a cabo. Hay muchas evidencias de que el tiempo es necesario para la acción química, pero de hecho, hasta ahora, no se ha incorporado en la explicación de los fenómenos.

A. Williamson, 1851

La ciencia no empieza en los hechos, sino en las preguntas. Los hechos no son independientes de los observadores y de sus maneras de ver el mundo. Por ello, en un momento y en una cultura determinados, es posible que todos los observadores coincidan respecto a un cierto hecho. Hoy, cuando se cuentan más científicos vivos que todos los que ha habido a lo largo de la historia, las ideas derivadas de su trabajo de investigación cambian y cambiarán nuestra concepción de prácticamente todo lo que conocemos. Esto es un hecho inevitable en el inicio del tercer milenio: la ciencia modifica la manera en que vemos al mundo y a nosotros mismos.

La sociedad en que viven día a día los científicos determina o limita el tipo de preguntas que se hacen o que pueden responder ellos mismos, además de influir en sus conclusiones. Esto se logra a través de la presencia o ausencia de programas educativos o de investigación científica, de reconocimientos o castigos a la misma actividad y de tolerancia o imposición de áreas de investigación... En pocas palabras, muchas veces las preguntas que los científicos se hacen corresponden a las que tradicionalmente las sociedades aceptan.

Una de las tradiciones más profundamente implantadas, la que podría reconocerse como la ortodoxia (no sólo entre la comunidad científica, sino al interior de las sociedades), es que la ciencia puede explicarse a través de la lógica positivista.

La lógica positivista (o también empiricista) asume que las teorías pueden partir de axiomas. Este argumento descansa en que la explicación de un evento puede derivarse de una ley, y ésta a su vez de una teoría. Así una teoría es una serie de afirmaciones de las cuales pueden ser derivadas las leyes. La lógica positivista asume que la axiomatización de las teorías unifica todas las ciencias en una sola. Este proceso de unificación de la ciencia en el que se derivan principios de una ciencia a otra comúnmente se conoce como *reduccionismo*. La lógica positivista asume que las leyes de una determinada ciencia, como la química, pueden en principio derivarse de otras leyes más básicas, en este caso de la física. Resumiendo, la ciencia es vista como la acumulación de conocimiento incorporado en un determinado marco teórico y las teorías pueden ser entendidas como sistemas axiomáticos para los cuales pueden aplicarse los métodos del análisis lógicos.

Esta visión acumulativa y reducida de la ciencia fue severamente cuestionada desde los años sesentas, particularmente por Thomas Kuhn, cuya interpretación del avance de la ciencia a partir de procesos revolucionarios en los que una comunidad científica abandona un paradigma para asumir otro resultó impactante. Desde entonces se ha dado una intensa discusión, aún no resuelta, sobre la naturaleza de la ciencia y de la misma actividad científica, una de cuyas consecuencias ha sido que los filósofos de la ciencia no han podido demostrar que las leyes pueden ser axiomatizadas ni que pueden derivarse de una disciplina a otra. De hecho hay propuestas de explicación de LA ciencia sin leyes (Giere,1999).

En esta dirección, el intento de reducir la química a la física, particularmente a la mecánica cuántica, ha sido imposible. La química no puede deducirse de la mecánica cuántica entre otros muchos factores por la ausencia de resolución del problema de varios cuerpos, y la química es finalmente el resultado de la interacción sincronizada de muchos cuerpos.

La química considera macrosistemas que en última instancia están compuestos de microcomponentes que pueden ser descritos (cuando están aislados) por la mecánica cuántica; sin embargo, el conocimiento “completo” de estos microcomponentes no permite conocer las propiedades del macrosistema (Tabla 1). El conocimiento “completo” de un átomo de hidrógeno y otro de oxígeno no nos dice nada de las propiedades del agua líquida. En este sentido, el filósofo de la ciencia E. Scerri se pregunta, ¿la ley periódica es una ley de la misma importancia que las leyes de Newton? Argumenta que el arreglo de los elementos en la tabla periódica dio lugar a varias de las predicciones más importantes en la historia de la ciencia. Mendeleiev anticipó las propiedades de los entonces desconocidos elementos galio, germanio y escandio. Este tipo de predicciones no podrían hacerse hoy empleando únicamente la mecánica cuántica.

Desde otro punto de vista Roald Hoffman (1997), premio Nobel de química por sus aportaciones al entendimiento de las reacciones químicas empleando la mecánica cuántica, indica:

Por otra parte, la adhesión a la filosofía reduccionista es un peligro potencial. Una forma de comprensión vertical, si se rige como la única, crea una brecha entre nosotros y nuestros amigos en las artes y las humanidades. Ellos saben muy bien que no existe una forma única de “comprender” o de enfrentar la muerte de un padre, o el problema de drogas en nuestro país, o un grabado de Ernst Ludwig Kirchner. El mundo exterior no permite que se le subordine a la reducción, y si insistimos en que debe ser reducible, lo que hacemos es encajonarnos. El cajón es la clase limitada de problemas susceptibles de una comprensión reduccionista. Es un cajón pequeño.

Tabla 1. Requerimientos teóricos mínimos necesarios para predecir la velocidad o la constante de equilibrio de una reacción química (Jensen, 1980)

1. Cálculo de la energía potencial electrónica del arreglo estático de los átomos correspondientes a los reactivos y a los productos, empleando métodos de la mecánica cuántica "*ab initio*".
2. Calcular los movimientos vibracionales y rotacionales del sistema.
3. Para muchos de estos movimientos la energía cinética no es cero. Conocer su valor es necesario para corregir el valor total de energía de manera que este sea el menor posible.
4. Con el conocimiento de los modos normales de movimiento se calcula la función de partición Z de cada especie en función de la temperatura y de allí se puede obtener la energía libre y la entalpía estándar de cada especie en forma gaseosa.
5. La energía libre y la entalpía estándar es corregida como resultado de la transferencia de las especies del estado gaseoso al estado líquido.
6. Se calculan los valores de ΔG^0 y ΔH^0 y ΔG^* y ΔH^* para el máximo punto de energía en la superficie de menor energía que conecta los reactivos con los productos. Con estos valores se puede calcular la constante de equilibrio y la de velocidad de reacción.
7. Finalmente para acercarse a una situación real hay que calcular las anteriores constantes considerando los coeficientes de actividad para todas las especies a la temperatura y en el disolvente adecuado.

Acerca de la química

Demasiado a menudo, cuando se reflexiona sobre la relación de la síntesis y del análisis, uno se limita a no ver allí sino una mera dialéctica de reunión y de separación. Es olvidar un matiz importante. En efecto, el proceso mismo de la invención, el proceso de la creatividad racional por el cual el plan racional de una sustancia no hallada todavía es planteado, como problema para su realización.

G. Bachelard, 1976

La química, como las otras ciencias naturales y muchas otras actividades no científicas, estudia los objetos empíricos, especialmente los aspectos materiales de dichos objetos. De acuerdo con el filósofo de la ciencia J. Schummer (1999) una propiedad material es un comportamiento reproducible en determinadas condiciones, es decir, en un contexto particular.

Así, el contexto es el aspecto central a través del cual se pueden caracterizar las propiedades materiales. A la materia se le pueden hacer varias preguntas diferentes que corresponden a otras tantas propiedades. Éstas, de manera muy general, son:

- *Propiedades mecánicas*, como la elasticidad, o la viscosidad.
- *Propiedades termodinámicas*, por ejemplo la temperatura, y la capacidad calorífica.
- *Propiedades electromagnéticas*, como la susceptibilidad magnética, o la conductividad eléctrica.
- *Propiedades químicas*, en este caso, la capacidad de una sustancia para oxidarse, o bien disolverse en determinado disolvente.

- *Propiedades biológicas*, las que tienen que ver con la materia viva, como la dosis letal media o la anestesia.
- *Propiedades ecológicas*, por ejemplo el agujero de ozono y el efecto invernadero.

Así, de entre todas las propiedades, hay una propiedad particular, aquella que se refiere a la reacción química, que diferencia a esta disciplina de las demás.

Las propiedades químicas de la materia pueden a su vez caracterizarse a través de tres “ejes” que han constituido y constituyen a lo largo del tiempo el quehacer químico. Estos ejes son:

- **Método**, que en química se reduce al análisis y la síntesis.
- **Medida**, a través del mol, la unidad química de cantidad de materia del sistema internacional de unidades.
- **Lenguaje**, al nombrar químicamente a una sustancia se indica su composición y estructura.

Método: análisis

En el diccionario se puede encontrar, para la palabra análisis, la siguiente definición: “Distinción y separación de las partes o elementos constituyentes de una sustancia, con objeto de determinar su composición.”

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.

Hasta hace poco, 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 (tetrahidrocanabinol) 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.

Sherwood 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.

Método: síntesis

La química es la ciencia más productiva. Considerando únicamente los resúmenes de la revista *Chemical Abstracts*, los químicos (aproximadamente tres millones en todo el mundo) escriben más artículos (un poco más de 700 mil al año) que todas las demás ciencias juntas, incluidas las sociales.

Algunas precisiones sobre lo anterior

- Se deben leer 20 revistas todos los días para alcanzar 1 por ciento de toda la información química que se produce mundialmente.
- Para saber de toda la química, hay que leer dos mil revistas por día, o si sólo se leen los resúmenes, se necesita leer 200 páginas al día (hasta un total de 70 mil páginas al año). Mas aún, como el número de revistas relacionadas con la química se está también incrementando, habrá que duplicar nuestra capacidad de lectura para el año 2015.
- Los químicos hacen nuevas sustancias. De algunos cientos en 1800 a más de 30 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.
- 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 los químicos hacemos materia que no necesariamente es “utilizable”. Hacerla es un fin en sí mismo. Por ello la química no sólo crea objetos; crea su propio objeto. No existe previamente, es inventada en la medida que progresa.

Medida

El concepto mol, la unidad que los químicos utilizan para medir cantidad de sustancia, es el eje vertebral de la cuantificación de esta ciencia. El mol es el puente entre el mundo macroscópico y el microscópico propios de la química. En el extremo microscópico tenemos a los tan

pequeños cien mil billones (100 000 000 000 000 000) de átomos contenidos en un diminuto pedazo de polvo de cobre metálico, detectable apenas con una buena balanza, en lo que es el extremo inferior del mundo macroscópico. El mol nos permite relacionar ambos mundos.

Muchas de las propiedades materiales son propiedades derivadas de la enorme cantidad de partículas que juntas “construyen esa propiedad”. Una molécula del triestearato de glicerilo (que en una gran cantidad conocemos como la grasa proveniente del ganado vacuno) no tiene viscosidad. Una o dos moléculas de agua no tienen punto de ebullición. Uno, dos o tres átomos de cobre no tienen conductividad eléctrica. Aquí surgen preguntas que todavía no tienen respuestas exactas: ¿cuántos individuos se requieren para formar una colectividad que tenga propiedades colectivas? O, por ejemplo y más específicamente ¿cuántos átomos de oro forman oro metálico?

En su muy particular estilo Bachelard (1976) nos indica:

¡Qué asombro cuando se nos enseña, en los primeros cursos de química, que bajo la forma de hoja delgada, lo bastante delgada como para perder su cualidad de sustancia opaca, el oro deja pasar una hermosa luz verde! Pero el realista ha tratado rápidamente de asimilar esta contradicción cualitativa. Dice tranquilamente: el oro es amarillo por reflexión, el oro es verde por transparencia. Y el filósofo puede incluso tomar como pretexto esta contradicción cualitativa para enriquecer el carácter concreto del oro. No hay más que una sustancia eminentemente concreta que pueda recibir así caracteres divergentes.

[...] Pero he aquí que desde hace diez años los descubrimientos se multiplican en ese campo: las láminas delgadas no tienen un color bien definido si precisamente no se les da un espesor muy regular, un espesor bien definido. Por transparencia según los espesores de la hoja son menores, el oro es verde amarillento, azul verdoso, azul y finalmente rosa violáceo [...]

Dicho de otra manera, la definición del color está ligada a una definición meticulosa del espesor de la materia. El color de una materia es un fenómeno de la extensión material o, más exactamente, de la extensión de la materia.

A diferencia de las anteriores propiedades materiales, un solo átomo de azufre es capaz de reaccionar con dos de oxígeno para formar una molécula de dióxido de azufre. Lo mismo pasa con 100 átomos, un millón o una mol de azufre. Producen, al reaccionar con la parte correspondiente de oxígeno, cien, un millón o una mol de moléculas de dióxido de azufre. Las propiedades químicas de la materia no pasan necesariamente por la cantidad de materia involucrada.

Lenguaje

El lenguaje de la química, como todo lenguaje, tiene dos características: a pesar de su imprecisión permite que las personas se comuniquen a través de él; además inevitablemente produce complicaciones, ambigüedades y riqueza por su uso y manejo, (Hoffmann y Lazlo 1991). Para solucionar estas dificultades existe desde principios del siglo XX la IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), algo así como la Academia de la Lengua Española para el castellano, en donde un grupo de químicos de distintos países discuten y acuerdan la forma de nombrar a la nueva materia. Las sugerencias emanadas de la IUPAC son de carácter internacional y permiten, por ejemplo, que sin saber chino, una persona pueda entender de qué trata un texto de química escrito en ese idioma.

En el lenguaje de la química se utilizan, además de los símbolos de los elementos, representaciones moleculares. Éstas son fórmulas, dibujos o inclusive modelos tridimensionales que son

Figura 1. Facsímil de un texto de química chino

题意,找出最佳解题途径,起到训练思维敏捷性的作

【例 1】 将两支 Pt 电极插入 500 mL AgNO_3 溶液通电电解。当电解液的 pH 值从 6.0 变为 3.0 时(设此时阴极没有氢气析出,且电解液在电解前后的体积可以忽略),电极上析出银的质量是 ()

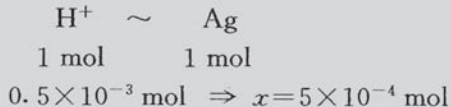
- (A) 216 mg (B) 108 mg
(C) 54 mg (D) 27 mg

思路分析: 本题涉及的知识技能有:电解原理、电极反应式或化学方程式的书写、溶液 pH 值的变化与离子浓度的关系,以及有关电解的计算技能,考查逆向思维和应用知识的能力。

可以通过图解法,画出框图的形式分析题意,如图

根据框图所示的关系,可以帮助我们很快地找到有机的关系,揭示出解题的关键——电解过程中所增大的 H^+ 的物质的量,展示一条简捷的解题思路[(a)→(c)→(f)]。根据这一解题思路,本题应用关系式法求解。

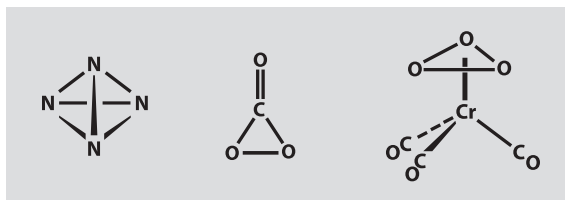
解: 设阴极上析出 Ag 的物质的量为 x 。因为



interpretados al interior de un determinado marco de referencia para obtener la información que son capaces de proporcionar.

Cada fórmula estructural representa no sólo una determinada sustancia, sino también, muchas veces, su historia, es decir de dónde viene (cómo se obtuvo) y a dónde va (cómo puede reaccionar). Una fórmula informa sobre composición y estructura. No sólo de lo que se conoce, sino de lo que todavía está por hacerse. Así, el lenguaje de la química nos permite representar y nombrar moléculas no existentes. En eso estriba una buena parte de su poder. El lenguaje de la química es un modelo predictivo de las sustancias. Con él se puede predecir materia, materia que todavía no existe.

Figura 2. Moléculas que no existen



Hacia una cultura química

En su forma más rudimentaria, una reacción química es una nueva ordenación de átomos.

Los átomos en un determinado orden constituyen una especie determinada de moléculas, y los átomos en otro orden, con adiciones quizás o supresiones, constituyen otra.

En unas reacciones una molécula sólo cambia su configuración; en algunas, una molécula se apropia los átomos que otra le suministra, los incorpora y logra una estructura más compleja. En otras, una molécula compleja es engullida, bien en su totalidad, bien en parte, y se convierte en fuente de átomos para otra molécula

P. W. Atkins, 1995

La cultura química se concreta en la compleja mezcla resultante de integrar método, forma de medir y lenguaje, es decir, el cambio de materia a través de la reacción química. De alguna u otra manera eso es lo que hacemos los químicos: así medimos, así nos comunicamos entre nosotros. Ya en la primera *Enciclopedia* publicada en 1783 Diderot escribió:

Los químicos son todavía un pueblo distinto, no muy numeroso, que tiene una lengua propia, sus leyes particulares, sus misterios y que vive prácticamente aislado en medio de un pueblo más grande, que muestra poca curiosidad por sus asuntos y que no espera casi nada de su industria.

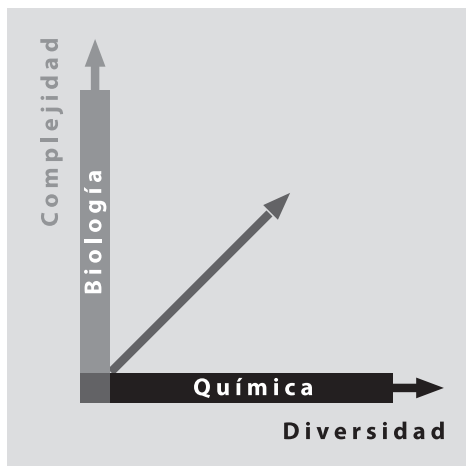
Hoy el asunto es diferente. La industria química (y aquí hay que considerar también a la farmacéutica) ha cambiado desde el siglo XIX la faz de nuestro planeta y nos ubica en un espacio artificial. Como ejemplo, la esperanza de vida de la población mexicana en 1930 era de 37 años; en la actualidad es el doble. En términos generales somos más, vivimos más y en algunos casos mejor. Más alimentos, materiales de construcción, medicinas, combustibles, telas y colores; más objetos materiales para más y nuevas necesidades.

Por otro lado la extraordinaria complejidad del mundo material y la limitación de los modelos que tenemos para describirlo y entenderlo hace que la más cruda clasificación química sea incomparablemente más predictiva respecto a las propiedades químicas de la materia que la mecánica cuántica. Sin embargo la mecánica cuántica es más predictiva en cuanto a las propiedades electromagnéticas. Lo anterior nos obliga a pensar en grande y no reducir una ciencia a la otra. Más aún, a identificar y ponderar las características particulares de cada una. Esa es, al interior de la ciencia, una de las herejías contra la ortodoxia.

La física y de la química comparten algunos temas, pero la segunda no se reduce a la primera. De la misma manera que la biología, con su extraordinaria complejidad resultado de la interacción de unos pocos átomos diferentes, no se reduce a la química, que con una gran diversidad de átomos no tiene esa complejidad (Figura 3). No obstante, si el centro de la actividad química es crear nuevas formas materiales, el mundo molecular de la biología es, por ejemplo, uno de los muchos posibles universos de la química que esperan ser creados por los químicos.

Como ha dicho el premio Nobel de química Jean Marie Lehn (1995) "La esencia de la química no sólo es descubrir sino inventar y, sobre todo, crear. ¡El libro de química no sólo es para ser leído, sino para ser escrito! Si fuera música, ¡la pieza de química no sólo sería para ser ejecutada, sino para ser compuesta!"

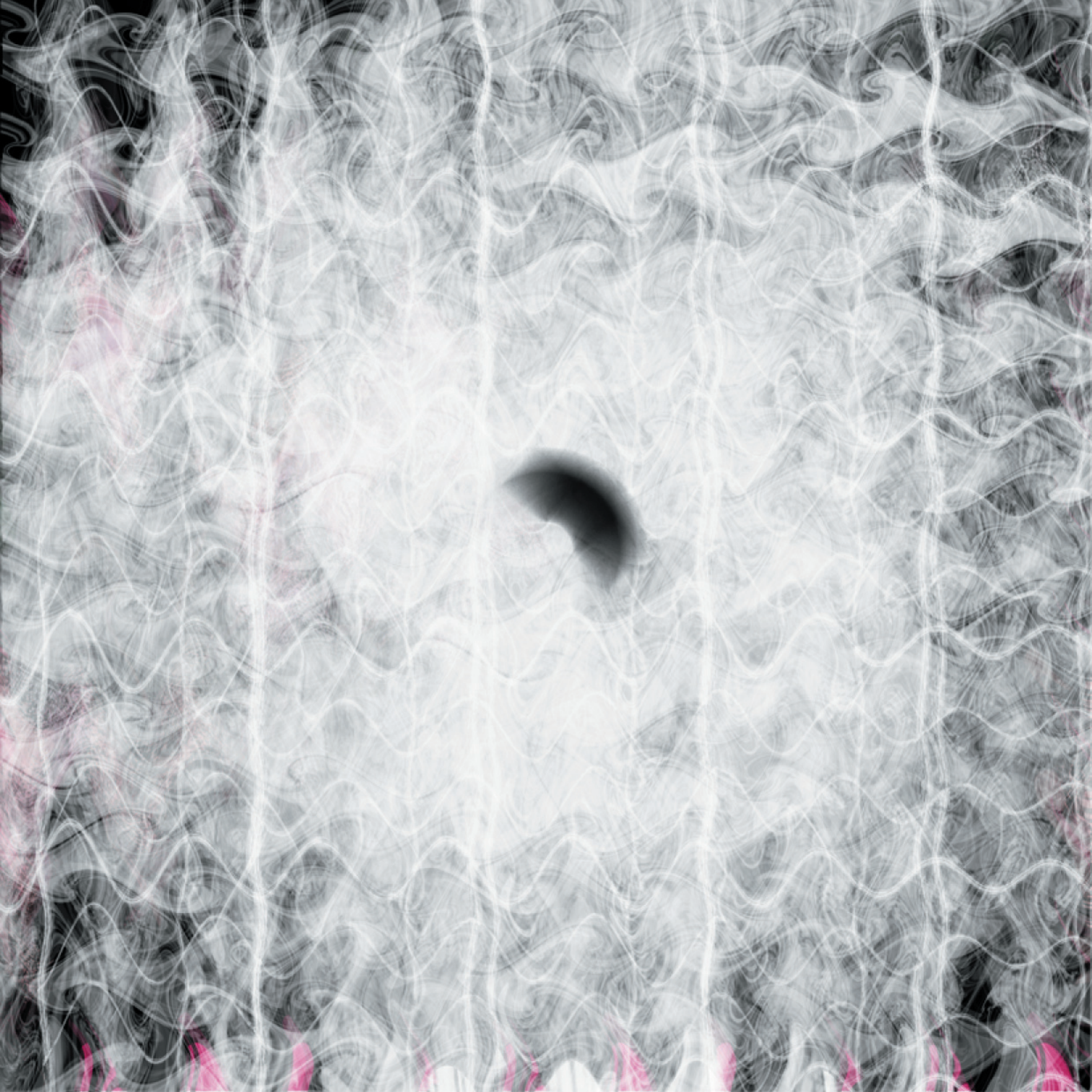
Figura 3. Comparación entre la química y la biología alrededor de dos parámetros: complejidad y diversidad



Referencias

- Bachelard, G. (1976). *El materialismo racional*, Piados, Buenos Aires.
- Giere, R. (1999). *Science without laws*, University of Chicago Press, Chicago.
- Hoffmann, R. (1997). *Lo mismo y no lo mismo*, Fondo de Cultura Económica, México.

- Hoffmann, R. y P. Lazlo (1991). "Representation in Chemistry", *Angew Chem.Int.Ed. Engl.*, 30, 1-16.
- Jensen, W. (1980). *The lewis acid-base concepts*, Wiley, Nueva York.
- Lehn, J. M. (1995). *Supramolecular chemistry.concepts and perspectives*, VCH, Weinheim.
- Norman, O. (1998). "Marginalized discourses and scientific literacy", *J. Research in Teaching*, 35, 365-374.
- Scerri, E. (2000). "Philosophy of chemistry-a new interdisciplinary field?", *J.Chem.Ed.*, 77, 522-525.
- Schummer, J. (1999). "Challenges for chemistry documentation, education and working", *Educación Química*, 10, 92-101.



La nueva filosofía de la química y su importancia en la educación química

Eric R. Scerri

Introducción

Desde el comienzo de los años noventas una nueva rama de la filosofía de la ciencia ha comenzado a prosperar (Scerri, McIntyre, 1997; Bhushan, Rosenfeld, 2000; Van Brakel, 2000): la filosofía de la química. Este campo había estado en la vanguardia de la investigación científica antes del inicio del siglo XX, pero pareciera haber sido eclipsado bajo el encanto reductor de los teóricos de la física y de la mecánica cuántica. En este corto artículo deseo ubicar el crecimiento reciente de la filosofía de la química en el contexto más amplio del crecimiento de la filosofía de la ciencia, y deseo comenzar preguntando: ¿qué ventajas puede tener este nuevo campo para la educación química?

Filosofía de la ciencia

Muchas universidades tienen ahora departamentos o quizás sub-departamentos de filosofía de la ciencia. En ellos invariablemente uno o dos profesores enseñan y hacen investigación en filosofía de la ciencia. Algunas de las preguntas centrales, tratadas tradicionalmente en la filosofía de la ciencia, se refieren a saber si la ciencia progresa, cómo la ciencia se diferencia de otros campos del saber y la manera en la cual una teoría es reemplazada por otra. Estas pre-

guntas se han abordado generalmente en términos de lo que se ve como el paradigma de la ciencia, es decir la física. En el pasado este esfuerzo fue realizado de común acuerdo poniendo el énfasis en el análisis sintáctico, lógico y axiomático de las diferentes teorías según lo recomendado por los Positivistas Lógicos, que eran en gran parte responsables de la profesionalización de la filosofía de la ciencia.

Sin embargo, comenzando con Popper, Kuhn, Feyerabend, Lakatos y otros filósofos más recientes, el programa de los Positivistas Lógicos se abandonó y consecuentemente el énfasis en el análisis lógico y la reconstrucción de la ciencia a partir de primeros principios (Popper, 1965, Kuhn, 1970, Lakatos, 1970). Mientras que esta erosión gradual de las ambiciones de los Positivistas Lógicos ha estado ocurriendo desde los años cincuentas y sesentas, el énfasis en la filosofía de la física continúa prevaleciendo, aunque obviamente en una forma menos evidente.

Por supuesto los filósofos de la ciencia, conscientes de la pérdida del monopolio de la física, han ido incrementando su atención a la filosofía de la biología (Sober, 1993), pero en sus esfuerzos por escaparse de la física parece que se han olvidado de la química. Hasta muy recientemente ha habido muy poco interés en la filosofía de la química y la implicación parece haber sido que no había lecciones metodológicas interesantes que aprender de ella.

Es interesante intentar analizar por qué esta situación debe haber ocurrido. Un factor importante, para el cual creo que los profesores de la química y los químicos mismos son en parte responsables, es la visión equivocada de que la química se ha reducido a la física, o más específicamente, a la mecánica cuántica. Sin embargo el asunto es paradójico. Ellos buscan en la mecánica cuántica porque parece conceder la legitimización de un rama más formal de la ciencia, pero también reaccionan rápidamente cuando se sugiere que la química se arriesga a

extinguirse como resultado del creciente trabajo en cómputo de temas de química (específicamente cálculos mecánico cuánticos).

Pero hay muchas razones por las que los filósofos deban estar interesados en la química, puesto que en preguntas que exploran, por ejemplo, si la biología o la conciencia se reducen a la física no se puede ignorar la cuestión más inmediata de si la química se reduce a la física. Si la reducción incluso falla ante el primer obstáculo, después hay poca esperanza de alcanzar una reducción más ambiciosa como la de la biología a la física.

En el pasado, al interior de la filosofía de la ciencia, la reducción de una ciencia a otra fue examinada preguntando si las leyes axiomáticas, por ejemplo de la química, se podría derivar terminantemente de las de la ciencia reductora, la física (Nagel, 1961). No obstante hasta ahora nadie ha tenido éxito en axiomatizar las leyes de estas dos ciencias, más aún nadie ha demostrado que existe la derivación necesaria entre los dos sistemas formalizados de leyes. Por otro lado no está claro si la química tiene alguna ley más allá de quizá la ley periódica (Scerri, 1997a, 1998a). Solo hasta hace pocos años estas ausencias no habían disuadido a los filósofos a asumir que la química no se reduce a la física.

La ley periódica, contrariamente a las presentaciones populares de muchos libros de texto, no puede ser reducida del todo a la mecánica cuántica. Aunque la mecánica cuántica y el principio de exclusión de Pauli pueden ser utilizados para explicar el número de los electrones que se pueden acomodar en cada capa alrededor del núcleo atómico, todavía no ha sido posible predecir el orden exacto del llenado de electrones a partir de primeros principios (Scerri, 1997b). El hecho que el orbital 4s se comienza a llenar antes que el 3d es un hecho empírico, observado en experimentos espectroscópicos, que pueden ser acomodados en la teoría pero no estrictamente derivados de la misma (Scerri, 1994; Melrose & Scerri, 1996).

Además, el alejamiento del positivismo en filosofía ha abierto la posibilidad a una forma más naturalista de filosofía de la ciencia que examina lo que los mismos científicos quieren decir con sus tentativas en la reducción. Para los químicos y los físicos la tentativa de reducir la química se concentra en la química cuántica, que comenzó a desarrollarse con el trabajo de Heitler y de London inmediatamente después del nacimiento de la mecánica cuántica. Con el advenimiento de computadoras de alta velocidad se ha incrementado la confianza en las predicciones hechas en este campo. Cualquier examen actualizado de la reducción de la química debe por lo tanto considerar los éxitos y las limitaciones de la química cuántica *ab initio*.

Más aún, en el problema de la reducción, la cuestión de si la biología se reduce a la química ha sido contestado cada vez más afirmativamente debido al éxito de la biología molecular en la explicación de los mecanismos de la herencia. Pero igualmente dentro de esta parte algo limitada de la biología sigue habiendo serios problemas que deben ser solucionados si aceptamos decir que la reducción ha sido acertada. Parece como si ahora comprendemos los fundamentos químicos para la transcripción y la traducción del ADN. El hecho que permanece es que al realizar este proceso las moléculas de ADN deben utilizar un anfitrión para las proteínas que son generadas por el mismo ADN. ¿De dónde vienen las primeras proteínas que permiten que el ciclo comience? Aunque se han tomado algunas medidas para contestar a ésta y a otras preguntas similares, la reducción de la biología a la química está claramente dentro de la necesidad una nueva valoración (Rosenberg, 1994).

Asimismo, el estudio de qué constituye una explicación científica, un asunto al cual volveré más adelante, también se beneficia de considerar la naturaleza de explicaciones típicamente químicas, por ejemplo el uso frecuente de usar configuraciones electrónicas de

átomos para dar explicaciones químicas. ¿Son estos tipos de explicaciones autónomas a la química o poseen fundamentos en la mecánica cuántica como se cree comúnmente? Tal fundamento pudo haber existido cuando se estableció el principio de Pauli que indicaba que ninguno de dos electrones en un átomo o una molécula podrían compartir los mismos cuatro números cuánticos. Pero pronto el principio de Pauli fue generalizado para posteriormente indicar que la función de onda para un sistema de fermiones es antisimétrica sobre el intercambio de cualesquier dos electrones. La más vieja versión del principio de Pauli pasó a ser totalmente inválida, puesto que a los electrones individuales no se les puede asignar cuatro números cuánticos diferentes. Solamente el átomo o la molécula en su totalidad poseen estados estacionarios y no hacer caso de este desarrollo es confiar en el “error del orbital”, aunque esto sigue siendo una buena parte de la química cuántica. En que los orbitales atómicos “existen físicamente” en cualquier cosa excepto en sistemas formados por un solo electrón. Los orbitales con muchos electrones son ontológicamente redundantes (Scerri, 1991). Sin embargo persiste el hecho de que los orbitales y las configuraciones están aquí para permanecer en la química en todos los niveles educativos. Este conflicto entre el estado funcional de los orbitales y su uso continuado en química implica en gran medida una pregunta filosófica que ha comenzado a ser respondida en algunos estudios recientes. Por ejemplo algunos autores han considerado si la química cuántica y la aproximación orbital apoyan un punto de vista realista o contra-realista de los términos teóricos (Scerri, 2000b).

Uno puede también lanzar una mirada a la naturaleza de las típicas leyes químicas, si existen de hecho tales entidades, para ayudar a responder la pregunta “¿Qué son las leyes

científicas?”. ¿La ley periódica cuenta como ley científica en el mismo sentido que las leyes del movimiento de Newton? De alguna manera Mendeleev proporcionó claramente una relación exacta entre la repetición de los elementos incorporados en la Ley Periódica con algunas de las predicciones más dramáticas de la historia de la ciencia.

La mención de la Ley Periódica también nos trae a la mente una controversia de muchos años, en historia y filosofía de la ciencia, sobre la virtud relativa de predicciones y ajustes hechos por las teorías científicas (Brush, 1998). Aunque popularmente se cree que las teorías científicas tienen más crédito por hacer predicciones acertadas de hechos hasta ahora desconocidos, más bien que por ajustar datos ya sabidos, esto es cuestionado por muchos filósofos que demandan que la predicción y la adaptación deben contar igualmente en la aceptación de una nueva teoría. Por ejemplo, cuando la medalla Davy fue concedida a Mendeleev por la *Royal Society* en la mención no se hizo comentario alguno sobre las predicciones dramáticas de Mendeleev acerca de los elementos galio, germanio y escandio. Además la medalla fue concedida conjuntamente a Mendeleev y a su rival Lothar Meyer, de quién se sabe que no hizo predicciones sobre ningún nuevo elemento (Scerri, McIntyre, 1997). La inmiscibilidad antes percibida de la química y de la filosofía ahora se está desafiando en un gran número de frentes como resultado de progresos en química y filosofía. Es hora de que los filósofos y los químicos se den cuenta que la filosofía de la química tiene mucho que ofrecer. De hecho ahora hay muestras de que esta aceptación está creciendo según el número de conferencias internacionales recientes dedicadas a la filosofía de la química, además de la aparición de dos nuevas revistas internacionales: *Foundations of Chemistry* y *Hyle*, así como una lista de discusión en Internet llamada “*philchem*”.

Posibles ventajas para la educación química

El avance logrado en el estudio y reconocimiento de la filosofía de la química están comenzando a tener un impacto en los educadores químicos (Erduran, 2000a, 2000b). La razón es obvia. Si los profesores desean enseñar química con mas eficacia, el acercamiento más productivo para lograrlo es buscar un entendimiento más profundo de la disciplina. Por ejemplo, se puede pensar en un profesor de química como una persona que proporcione explicaciones científicas y en particular explicaciones químicas. La mayoría de los profesores de química tienen una percepción intuitiva de lo que una explicación significa, pero les resultaría difícil analizar el concepto de una explicación científica si se les pidiera que lo hicieran. Mientras tanto, entre filósofos de la ciencia la explicación científica se ha convertido en uno de los temas importantes de investigación, como ha sido mencionado anteriormente. El conocimiento que ha sido adquirido en filosofía de la ciencia aportará enormes beneficios para los educadores químicos. El desarrollo de una forma de examen de conciencia filosófico de lo que va implícito en una explicación científica, no puede más que ayudar a los educadores a proveer mejores explicaciones en los cursos que imparten, además de proveer explicaciones alternativas para alcanzar a diversas audiencias estudiantiles. También en la actualidad se llevan a cabo investigaciones conducidas a intentar entender las particularidades de las explicaciones químicas y si ellas siguen un patrón general, por ejemplo como las explicaciones utilizadas en la física. Los educadores químicos ganarán mucho al familiarizarse con tal investigación, puesto que les permitirá ser claros en la manera en la cual presentan varios aspectos químicos a sus estudiantes y colegas. No es suficiente con capacitar a educadores químicos acerca del contenido de cursos químicos

y además en un poco de educación psicológica. Los profesores de química necesitan ser introducidos al estudio de la naturaleza de la química.

Explicaciones científicas de los filósofos

Me gustaría mencionar brevemente las aproximaciones más importantes acerca de la naturaleza de las explicaciones científicas. Las antiguas ideas establecidas sobre explicaciones en las ciencias son aquellas descritas como el modelo de la explicación de la Ley-Cubierta (Nagel, 1961). Ésta sostiene que una explicación científica de cualquier hecho particular implica demostrar que fluye deductivamente de cierta ley conocida de la naturaleza. Esta aproximación está en armonía con un acercamiento lógico formal de las explicaciones que se deducirán lógicamente de un sistema de premisas, en este caso una o varias leyes de la naturaleza.

Una aproximación alternativa que ha recibido mucha atención ha sido la de que las explicaciones científicas intentan proporcionar la unificación (Kitcher, 1981; Friedman, 1974). Por supuesto se ha proporcionado una buena cantidad de evidencia que avala esta aproximación, especialmente desde el campo de la física, donde la unificación se ha cortejado activamente a partir del tiempo en que Maxwell demostró que el electromagnetismo y la luz eran diferentes aspectos de una realidad subyacente, llamada fuerza electromagnética. Este programa ciertamente fue ampliado por Einstein quien buscó, sin éxito, unificar la fuerza del electromagnetismo y de la gravitación. Hoy la unificación parece ser el santo grial de la física teórica, donde el punto está en combinar no sólo las dos fuerzas que Einstein intentó ensamblar sino también las fuerzas nucleares fuertes y débiles. Cuando regresamos a la química no es tan obvio que esa

unificación es siempre el sello de una explicación química exitosa. La química, por su misma naturaleza, implica brindar explicaciones más específicas para una gran diversidad de reacciones y tipos de sustancias. Indudablemente se puede tener tanto diversidad como unificación simultánea, como lo demuestra la observación minuciosa del sistema periódico de los elementos.

Un tercer acercamiento a las explicaciones científicas tomadas por los filósofos de la ciencia ha sido la forma de observar el contexto de la explicación científica. Esta visión, defendida especialmente por van Fraassen, reconoce que diversas explicaciones se dan en diversos ambientes (van Fraassen, 1980). Esto parecería ser especialmente cierto en química, donde más bien siempre que se está buscando una explicación fundamental es más frecuente encontrar una explicación específica que se pueda expresar en el lenguaje de la química, en lugar de los términos abstractos de la física teórica.

Cuanto más sabe un profesor de química sobre las diferentes maneras en las que se pueden dar las explicaciones científicas, y en particular las explicaciones químicas, con más eficacia él o ella puede enseñar química. Sin conocimiento de la filosofía de la ciencia, las explicaciones que los profesores de química pueden dar seguirán siendo tentativas, intuitivas y en gran parte malformadas. Considerar seriamente el problema de la explicación en la ciencia y conocer el trabajo que los filósofos han realizado alrededor de este asunto y de otros similares, no puede sino enriquecer al profesor en su comprensión de la química. Ésta es una de las muchas razones por las que la nueva filosofía de la química es de gran importancia en la educación química en todos los niveles. Introduce un elemento de auto-escrutinio y de análisis del que se ha carecido hasta el momento. Por ello, en lugar de propugnar por cursos introductorios para los docentes sobre la naturaleza de la ciencia en general, como se ha abogado en muchos estudios, primero y principalmente debe abordarse la naturaleza de su propia ciencia: la química.

Mientras que es esencial que los profesores de química estén familiarizados con los detalles de las muchas teorías, modelos y leyes químicos que esperan enseñar, es casi más importante que estén enterados de qué teorías, modelos y leyes son generales, y cómo varían cuando se consideran en la física, la química y la biología. Esto es particularmente importante por la fuerte interrelación que existe entre estas tres ciencias básicas y que sin embargo conservan ciertas características únicas. A menos que uno esté enterado de estos asuntos pudiera juzgar teorías químicas de la misma manera que teorías de la física.

Aunque muchos investigadores educativos han abogado por la instrucción de los profesores de ciencias desde el punto de vista de la Naturaleza de la Ciencia esta iniciativa no se ha generalizado (Duschl, 1994; Hodson, 1988; McComas, 1998; Matthews, 1994). Quizás el advenimiento de la nueva filosofía de la química, que es de una importancia más inmediata para los docentes, conducirá al interés renovado en un examen más profundo de las cuestiones clave y de los conceptos de la química que no se refieren directamente al contenido químico puro. Más bien al exponerse a la filosofía de la ciencia, que frecuentemente utiliza ejemplos de física y biología, los profesores de química ahora puedan apreciar la filosofía de su propia ciencia. La filosofía de la química ha surgido después de un largo retraso y muchos de sus resultados están esperando para ser tomados y utilizados por los profesores de química (Scerri, 1997a).

Referencias

Bhushan, N., Rosenfeld, S., eds., (2000). *Of Minds and Molecules*, Oxford University Press, New York.

Brush, S. (1989). "Prediction and Theory Evaluation. The Case of Light Bending", *Science*, 246, 1124-1129.

- Duschl, R. A. (1994). "Research on the history and philosophy of science". En D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching*, pp. 443-465, MacMillan, New York.
- Erduran, S., (2000a). "Emergence and application of philosophy of chemistry in chemical education", *School Science Review*, 81, 85-87, 2000.
- Erduran, S., (2000b). "A Missing component of the curriculum?", *Education in Chemistry*, November Issue, 168-168, 2000.
- Friedman, M. (1974). "Explanation and Scientific Understanding" *Journal of Philosophy*, LXXI, 5-19.
- Hodson, D. (1988). "Towards a philosophically more valid science curriculum", *Science Education*, 72, 19-40.
- Kuhn, T. (1970). *The structure of scientific revolutions* (2nd edn.), Chicago University Press, Chicago.
- Kitcher, P. (1981). "Explanatory Unification", *Philosophy of Science*, 48, 507-31.
- Lakatos, I. (1970). "Falsification and the methodology of scientific research programmes". En I. Lakatos & Musgrave, A. (Eds.). (1989), *Criticism and the growth of knowledge* (pp. 91-195), Cambridge University Press, Cambridge.
- Matthews, M. R. (1994). *Science teaching: The role of history philosophy of science*, Routledge, New York.
- McComas, W. F., Almazroa, H. & Clough, M. P. (1998). "The nature of science in science education: An introduction", *Science and Education*, 7, 511-532.
- Melrose, M.P. & Scerri, E.R. (1996). "Why the 4s orbital is occupied before the 3d", *Journal of Chemical Education*, 73, 498-503.
- Nagel, E., (1961). *The Structure of science*, Harcourt, New York.
- Popper, K. (1965). *Conjectures and refutations: The growth of scientific knowledge*, Harper, New York.
- Rosenberg, A. (1994). *Instrumental biology or the disunity of science*, Chicago University Press, Chicago.
- Scerri, E.R., (1994). "Plus ça change", *Chemistry in Britain*, 30, 379-381.
- Scerri, E.R., McIntyre, L., (1997). "The Case for the philosophy of chemistry", *Synthese*, 111,
- Scerri, E.R. (1997a). "Bibliography for the philosophy of chemistry", *Synthese*, 111, 213-232

- Scerri, E.R., (1997b). "The electron and the periodic table", *American Scientist*, 85, 546-553.
- Scerri, E.R. (1998a). "The evolution of the periodic system", *Scientific American*, 279, 78-83.
- Scerri, E.R. (1998b). "Popper's naturalized approach to the reduction of chemistry", *International Studies in Philosophy of Science*, 12, 33-44.
- Scerri, E. R. (2000a). "The failure of reduction and how to resist disunity of the sciences in the context of chemical education", *Science and Education*, 9, 405-425.
- Scerri, E.R., (2000b). "Naive realism, reduction and the intermediate position", en Bhushan and Rosenfeld eds., *Of minds and molecules*, Oxford University Press, New York.
- Sober, E. (1993). *Philosophy of biology*, Westview, Press Boulder.
- Van Brakel, J., (2000). *The philosophy of chemistry*, University of Louvain Press, Louvain.
- Van Fraassen, B. (1980). *The scientific image*, Clarendon Press, Oxford



Apéndice: bibliografía sobre filosofía y educación

- ACS (1963), American Chemical Society Council Committee, "Chemistry and Chemists", *Chemical Engineering News*, 41, 70–1.
- Akeroyd, F. M. (1985). "Popper's Philosophy and Vitamin Theory", *Journal of Biological Education*, 67, 806–8.
- Akeroyd, F. M. (1984). "Chemistry, Biochemistry and the Growth of Knowledge", *Journal of Chemical Education*, 61, 434–6.
- Akeroyd, F. M. (1984). "Chemistry and Popperism", *Journal of Chemical Education* 61, 697–8.
- Aliberas J., Gutierrez R., Izquierdo M. (1989). "La Didáctica de les ciències: Una empresa racional", *Enseñanza de las Ciencias*, 7, 277-84.
- Amman, A. and W.Gans (1989). "Theoretical Chemistry en Route to a Theory of Chemistry", *Angewandte Chemie, International Edition in English*, 28, 268–76.
- Baird D., Scerri E., McIntyre L (eds) (2006). *Philosophy of Chemistry. Synthesis of a New Discipline*, Boston Studies in Philosophy of Science, vol. 242.
- Barrio,C. (1992). "Química Estructural: Genesis, presupuestos y reconstrucción histórica", *El Basilico*, 13, 59–73.
- Benfey, O.T. (1982). "The Concepts of Chemistry-Mechanical, Organicist, Magical or What?", *Journal of Chemical Education*, 59, 389–95.
- Benfey, O. T. (1963). "Concepts of Time in Chemistry", *Journal of Chemical Education*, 40, 574–7.

- Benfey, O. T. (1957). "Dimensional Analysis of Chemical Laws", *Journal of Chemical Education*, 34, 286–8.
- Benfey, O. T. (1965). "The Great Chain of Being and the Periodic Table of the Elements", *Journal of Chemical Education*, 42, 39–41.
- Bent, H. (1980). "Einstein and Chemical Thought", *Journal of Chemical Education*, 57, 395–405.
- Bernatowicz, A. (1970). "J. Dalton's Rule of Simplicity", *Journal of Chemical Education*, 47, 577–579.
- Bhushan, N. and S. Rosenfeld (1995). "Metaphorical Models in Chemistry", *Journal of Chemical Education*, 7, 578–82.
- Blinder, S. M. (1981). "Quantum Chemistry via the Periodic Law", *Journal of Chemical Education*, 58, 761–3.
- Brescia, F. (1976). "Equivalentents – a Winner or a Dead Horse", *Journal of Chemical Education*, 53, 362–365.
- Brooke, J.H. (1995). *Thinking about matter: studies in the history of chemical philosophy*, Variorum, Aldershot.
- Brown, T.M. and A. T. Dronsfield (1991). "The Phlogiston Theory Revisited", *Education in Chemistry* (March), 43–45.
- Bhushan, N., Rosenfeld S (2000). *Of minds and molecules: New philosophical perspectives on chemistry*, Oxford University Press, Oxford.
- Caldin, Edward F. (1958). "Scientific Method in Chemistry", *Proceedings of the Chemical Society*, 269–74.
- Cardoso N. (1989). "Primeros pasos en Química. Una entrevista con Lavoisier", *Enseñanza de las Ciencias*, 7, 77-83.

- Causey, R. L. (1971). "Avagadro's Hypothesis and the Duhemian Pitfall", *Journal of Chemical Education*, 48, 365–67.
- Coppola B.P. (2001). "The Technology Transfer Dilemma. Preserving morally responsible education in a utilitarian entrepreneurial academic culture", *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 7, 155-167.
- Cotham, J. C. (1982). "Philosophic Insight into Theory Development and Chemical Education", *Journal of Chemical Education*, 59, 294–5.
- Craig, D. P. (1964). "The Changing Concept of Aromatic Character", *Education in Chemistry*, 1, 136–43.
- Chamizo, J.A, e Izquierdo, M, (2005). "Ciencia en contexto. Una reflexión desde la filosofía", *Alambique*, 9-17.
- Chamizo, J.A. (2006). "Los modelos de la química", *Educación Química*, 17, 476-482
- Chamizo, J.A. (2007). "Teaching modern chemistry through 'historical recurrent teaching models", *Science & Education*, 16(2), 197-216.
- Del Re, G. (1974). "Current Problems and Perspectives in the MO-LCAO Theory of Molecules", *Advances in Quantum Chemistry*, 8, 95–136.
- Duke, B. J. (1978). "Stability of Electron Pairs – A Myth", *Education in Chemistry*, 15, 186–8.
- Duschl R. (1995). "Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual", *Enseñanza de las Ciencias*, 13, 3-13.
- Earley J.E. (2003). *Chemical explanation: characteristics, development, autonomy*, Annals of the New York Academy of Sciences, 988, New York.
- Eyring, H. (1976). "Physical Chemistry: The Past 100 Years", *Chemical & Engineering News* 54, 88–104.

- Elsasser, W. M. (1969). "Can Biology Be Reduced into Chemistry and Physics, and Vice Versa?", *International Journal of Quantum Chemistry*, 11, 347–348.
- Eriksen K.K. (2002). "The Future of Tertiary Chemical Education - A Bildung Focus?", *HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry*, 8, 35-48.
- Gagliardi R. (1988). "Cómo utilizar la Historia de las Ciencias en la enseñanza de las Ciencias", *Enseñanza de las Ciencias*, 6, 291-296.
- Galache M.I., Camacho E. (1992). "Un avance decisivo en el conocimiento de los iones: la teoría de la disociación electrolítica", *Enseñanza de las Ciencias*, 10, 307-312.
- Gallegos J.A. (1998). "Una aproximación histórica para el aprendizaje del concepto actual de mineral", *Enseñanza de las Ciencias*, 16, 159-169.
- Gil D. (1993). "Contribución de la Historia y Filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación", *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 197-212.
- Goldwhite, H. (1975). "Clio and Chemistry: A Divorce Has Been Arranged", *Journal of Chemical Education*, 52, 645–648.
- Goldwhite, H. (1978). "Gay Lussac after 200 Years", *Journal of Chemical Education*, 55, 366–8.
- Good, R. J. (1980). "Surface Chemistry and the Difference between Search and Research", *Chemtech*, 10, 100–9.
- Goodfriend, P. L. (1966). "Concepts of Species and State in Chemistry and Molecular Physics", *Journal of Chemical Education*, 43, 95–7.
- Gorman, M. (1960). "Philosophical Antecedents of the Modern Atom", *Journal of Chemical Education*, 37, 100–4.
- Hiebert, E. N. (1959). "The Experimental Basis of Kekulé's Valency Theory", *Journal of Chemical Education*, 36, 320–27.

- Hoffmann, R. and P. Laszlo (1991). "Representation in Chemistry", *Angewandte Chemie International Edition in English*, 30, 1–16.
- Hoffmann, R. (1997). *Lo mismo y no lo mismo*, Fondo de Cultura Económica, México.
- Hund, F. (1977). "Early History of the Quantum Mechanical Treatment of the Chemical Bond", *Angewandte Chemie, International Edition in English*, 16, 87–91.
- Izquierdo M. (1988). "La contribució de la teoria del Flogiste a l'estructuració actual de la ciència química. Implicacions didàctiques", *Enseñanza de las Ciencias*, 6, 67-74.
- Janich P. And Psarros N. (1998). *The autonomy of chemistry*, 3rd Erlenmeyer colloquium for the philosophy of chemistry, Königshausen & Neumann, Würzburg.
- Jensen, W. B. (1990). "Whatever Happened to the Nascent State?", *Bulletin for the History of Chemistry*, 5, 92.
- Jensen, W. B. (1989). "Thomas Duché Mitchell and the Chemistry of Principles", *Bulletin of the History of Chemistry*, 5, 42–8.
- Jensen, W. B. (1982). "The Positions of Lanthanum (Actinium) and Lutetium (Lawrencium) in the Periodic Table", *Journal of Chemical Education*, 59, 634–6.
- Jørgensen, C. K. (1973). "The Loose Connection Between Electronic Configurations and the Chemical Behavior of the Heavy Elements (Transuranics)", *Angewandte Chemie (International Edition)*, 12, 12–19.
- Kargon, R. (1965). "Mendeleev's Chemical Ether, Electrons, and the Atomic Theory", *Journal of Chemical Education*, 42, 388–9.
- Klapper, M.H. (1969). "Truth and Aesthetics in Chemistry", *Chemical Education*, 46, 577–579.
- Klein U. (ed.) (2001). *Tools and modes of representation in the laboratory sciences*, Kluwer, Dordrecht.

- Kragh, H. (1977). "Chemical Aspects of Bohr's 1913 Theory", *Journal of Chemical Education*, 54, 208–10.
- Kursanov, D. N., et al. (1952). "The Present State of Chemical Structural Theory", *Journal of Chemical Education*, 29, 2–3.
- Larder, D. F. (1966). "The Axiom of Simplicity in the Development of Chemistry", *Journal of Chemical Education*, 43, 490–1.
- Larder, D. F. (1965). "Prout's Hypothesis and Nineteenth Century Chemistry", *Education in Chemistry*, 2, 271–6.
- Lazlo P. (1993). *La parole des choses, ou le langage de la chimie*, Hermann, Paris.
- López J.A. (1984). "Los símbolos y la representación de la evolución en los conocimientos químicos", *Enseñanza de las Ciencias*, 2, 131-141.
- López F. (1990). "Epistemología y Didáctica de las ciencias. Un análisis de segundo orden", *Enseñanza de las Ciencias*, 8, 65-74.
- López Ruperez F. (1995). "Una propuesta nueva de inspiración epistemológica para la educación científica", *Enseñanza de las Ciencias*, 13, 249-256.
- Matthews M.R. (1994). "Old wine in new bottles: A problem with constructivist epistemology", *Enseñanza de las Ciencias*, 12, 79-88.
- Matthews M.R. (1994). "History, Philosophy and Science Teaching: The Present Rapprochement", *Enseñanza de las Ciencias*, 12, 255-277.
- Mellado V. (1993). "Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las Ciencias", *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 331-339.
- Millikan, R. C. (1982). "Why Teach Electronic Configurations of the Elements as We Do?", *Journal of Chemical Education*, 59, 757.

- Ogilvie, J. F. (1990). "The Nature of the Chemical Bond-1990, There are No Such Things as Orbitals", *Journal of Chemical Education*, 67, 280–9.
- Pauling, L. (1992). "The Nature of the Chemical Bond-1992", *Journal of Chemical Education*, 69, 519–21.
- Pauling, L. (1985). "Why Modern Chemistry is Quantum Chemistry", *New Scientist* (7th November), 54–5.
- Pauling, L. (1984). "G. N. Lewis and the Chemical Bond", *Journal of Chemical Education*, 61, 201–3.
- Pilar, F. L. (1981). "Damn the Permanganate Volcanoes: Full Principles Ahead", *Journal of Chemical Education*, 58, 803.
- Psarros N., Gavroglu K. (eds) (1999). *Ars mutandi: issues in philosophy and history of chemistry*, Leipzinger Universitätsverlag, Leipzig.
- Rouvray, D. (1994). "Elementary, my dear Mendeleev", *New Scientist* (12th February), 36–9.
- Rouvray, D. (1991). "Making Molecules By Numbers", *New Scientist* (30th March), 22–6.
- Sanderson, R. T. (1964). "The Principles of Chemical Reaction", *Journal of Chemical Education*, 41, 13–22.
- Scerri, E. R. (1986). "The Tao of Chemistry", *Journal of Chemical Education*, 63, 106–7.
- Scerri, E. R. (1989). "Transition Metal Configurations and Limitations of the Orbital Approximation", *Journal of Chemical Education*, 66, 481–3.
- Scerri, E. R. (1991). "Chemistry, Spectroscopy and the Question of Reduction", *Journal of Chemical Education*, 68(2), 122–26.
- Scerri, E. R. (1992). "The Nature of the Chemical Bond – Once More", *Journal of Chemical Education*, 69(7), 602.

- Scerri, E. R. (1993). "Is Chemistry a Reduced Science?", *Education in Chemistry*, 30(4), 112.
- Scerri E.R. (2000). "The Failure of Reduction and How to Resist the Disunity of Science in Chemical Education", *Science & Education*, 9, 405-425.
- Schummer J. (1999). "Coping with the Growth of Chemical Knowledge: Challenges for Chemistry Documentation, Education, and Working Chemists", *Educación Química*, 10, 92-101.
- Scott, J. H. (1959). "The Nineteenth Century Atom: Undivided or Indivisible", *Journal of Chemical Education*, 36, 64-7.
- Schufle, J. A. (1977). "Provocative Opinion, Some Problems in Philosophy of Science", *Journal of Chemical Education*, 54, 357-8.
- Spring, R. J. (1975). "Vindicating the Periodic Table", *Education in Chemistry*, 12, 134-8.
- Stranges, A. N. (1984). "Reflections on the Electron Theory of the Chemical Bond: 1900-1925", *Journal of Chemical Education*, 61, 185-9.
- Strong, L. E. (1970). "Differentiating Physical and Chemical Changes", *Journal of Chemical Education* 47, 689-690.
- Strong, L. E. (1962). "Facts, Students, Ideas", *Journal of Chemical Education* 39, 126-9.
- Sutcliffe, B. T. (1996). "The Development of the Idea of a Chemical Bond", *International Journal of Quantum Chemistry* 58, 645-55.
- Theobald, D. W. (1976). "Some Considerations on the Philosophy of Chemistry", *Chemical Society Reviews*, 5, 203-13.
- Theobald, D. W. (1968). "On Visualising Chemical Structures", *Education in Chemistry*, 5, 99-100.
- Weininger, S. J. (1984). "The Molecular Structure Conundrum: Can Classic Chemistry be Reduced to Quantum Chemistry", *Journal of Chemical Education*, 61, 939-44.

- Williams, G. F. (1979). "Is Popper Relevant?", *Education in Chemistry*, 102.
- Wooley, R. G. (1985). "The Molecular Structure Conundrum", *Journal of Chemical Education*, 62, 1082–5.
- Wooley, R. G. (1978). "Must a Molecule Have a Shape?", *Journal of the American Chemical Society*, 100, 1073–8.
- Zavaleta, D. (1988). "Paradigms and Plastic Facts in the History of Valence", *Journal of Chemical Education*, 65, 677–80.

Esta obra se terminó de imprimir en los talleres de Impresos Ya en agosto del 2007. El tiro consta de 40 ejemplares, además de la edición para Internet.
<http://depa.pquim.unam.mx/SHFQ>

La esencia
de la **Química**

