Chamizo_Paradoja_txt.indd 1 6/24/13 11:12 AM

Chamizo_Paradoja_txt.indd 2 6/24/13 11:12 AM

educación

Chamizo_Paradoja_txt.indd 3 6/24/13 11:12 AM

Chamizo_Paradoja_txt.indd 4 6/24/13 11:12 AM

DE LA PARADOJA A LA METÁFORA

La enseñanza de la química a partir de sus modelos

por

José Antonio Chamizo

siglo veintiuno editores

Chamizo_Paradoja_txt.indd 5 6/24/13 11:12 AM

grupo editorial
siglo veintiuno

siglo xxi editores, méxico
CERRO DEL AGUA 248, ROMERO DE TERREROS
04310MÉXICO, DF

siglo xxi editores, argentina
GUATEMALA 4824, C 1425 BUP,
BUENOS AIRES, ARGENTINA

salto de página
ALMAGRO 38, 28010,
MADRID, ESPAÑA

biblioteca nueva
ALMAGRO 38, 28010,
MADRID, ESPAÑA

anthropos
DIPUTACIÓN 266, BAJOS
BARCELONA, 08007 ESPAÑA

QD40
C43
2013 Chamizo Guerrero, José Antonio
De la paradoja a la metáfora : la enseñanza de la química a partir de sus modelos / por José Antonio Chamizo. — México : Siglo XXI Editores / Facultad de Química, UNAM, 2013.
179 p. — (Educación)

ISBN-13: 978-607-03-0478-1

1. Química – Estudio y enseñanza. 2. Química – Estudio y enseñanza (Superior) I. t. II. Ser.

primera edición, 2013

© siglo xxi editores, s.a. de c.v.
© facultad de química, universidad nacional autónoma de méxico

isbn 978-607-03-0478-1

impreso en mújica impresor, s.a. de c.v.
camelia núm. 4
col. el manto, iztapalapa
09850, méxico, d.f.

A Dulce Kuri… mi dulcemar

Chamizo_Paradoja_txt.indd 7 6/24/13 11:12 AM

Chamizo_Paradoja_txt.indd 8 6/24/13 11:12 AM

PRESENTACIÓN

> Es necesario que el cuerpo docente se sitúe en los lugares más avanzados dentro del peligro que constituye la incertidumbre del mundo.
>
> MARTIN HEIDEGGER

La enseñanza de la química, como la del resto de las ciencias, atraviesa por un momento de redefinición.

Uno de los reclamos que hoy se hace a la educación es el de propiciar una formación científica y tecnológica para todos los ciudadanos. Aquí hay que reconocer que lo mejor que tiene un país, en particular, y el mundo, en general, son sus ciudadanos, y que si éstos se ven pequeños frente a sí mismos, el país y el mundo que conforman no alcanzará mayor grandeza. No se puede renunciar a la ciudadanía pero sí ignorarla y evadirla. Como lo ha indicado Ortega (1991, p. 8):

> El asunto principal en cuanto a la calidad ciudadana de un conglomerado humano está relacionado con la independencia y libertad de conciencia que los ciudadanos individualmente se concedan a y entre ellos mismos, con las acciones prácticas en que esta independencia y libertad se manifiesten, y con la naturaleza y el alcance de los objetivos con que se comprometan.

Pero lograr una ciudadanía con instrumentos suficientes para comprender un mundo que la ciencia y la tecnológica han construido y que nos ha arrollado, exige una serie de compromisos y resultados educativos que van desde saber leer y manejar los conocimientos básicos de las diversas disciplinas, hasta la capacidad de advertir los alcances de la ciencia y la tecnología en los ámbitos local, nacional y mundial. No obstante, aun y como lo ha señalado Edgar Morin (2000), los siglos anteriores siempre creyeron en un futuro, fuera repetitivo o progresivo, pero el siglo xx descubrió la pérdida del futuro, es decir, su impredictibilidad. El futuro se llama incertidumbre y ante él mismo las universidades deben de ser capaces no sólo de

Chamizo_Paradoja_txt.indd 9 6/24/13 11:12 AM

educar en términos generales y tradicionales, sino de expresar reflexivamente los mundos de posibilidades que se están construyendo.

Así lo dice otro pensador francés, Jacques Attali (1999, p. 18):

> Dejemos de buscar un sentido a la historia, puesto que no lo tiene. Está constantemente a punto de abortar. El mundo no va a ninguna parte. A cada instante puede volver a la barbarie; con él, lo peor es siempre lo más probable. Pero nos vemos obligados a rehusar la evidencia y resistir lo ineluctable: para dar una pequeña oportunidad a la eternidad, puesto que no podemos predecir el futuro, no nos queda más que inventarlo.

Este libro es resultado de más de 30 años de reflexión y práctica sobre la enseñanza y el aprendizaje de la química, principalmente en el Colegio Madrid, A. C., y la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. Alumnos de secundaria, bachillerato, licenciatura y posgrado han contribuido, con su paciencia y alegría, a hacerlo posible. Para todos ellos mi reconocimiento. Sin embargo, quiero destacar a los doctores Octavio Chamizo, Andoni Garritz, Rosaria Justi, Mercé Izquierdo y Vicente Talanquer por sus valiosas aportaciones al presente texto. Sus revisiones a varios de los artículos que lo originaron y a las versiones preliminares y parciales que comentaron me permitieron llegar satisfactoriamente a lo que el amable lector tiene hoy en sus manos. Finalmente al Conacyt, que mediante el proyecto de investigación 49281 facilitó los insumos financieros necesarios para su publicación y al comité editorial de la Facultad de Química por su revisión "oficial".

JOSÉ ANTONIO CHAMIZO, 2012

1. ANTECEDENTES: LAS PARADOJAS

> Los matemáticos caracterizan los números primos como sus átomos, porque todos los números pueden analizarse como producto de los primos. Yo considero las paradojas como los átomos de la filosofía, puesto que constituyen los puntos de partida básicos de la especulación sistemática.
>
> ROY SORENSEN, 2007

Hace poco más de 80 años P. M. Glasoe (1938) escribió un artículo harto provocador, "The Present High-School Course in Chemistry. A paradox", donde indicaba que, debido a la gran cantidad de conocimiento químico que se estaba generando en ese momento, previo a la segunda guerra mundial, y a la probada dificultad de aprenderlo, el curso pretendía lo imposible, era contradictorio y paradójico. Esa imposibilidad, manifiesta hace tanto tiempo, es la razón de ser del presente texto, que partiendo de lo contradictorio del acto educativo en el terreno de la química y de lo paradójico que es su propio estudio en la parte experimental,[1] busca al final del mismo su solución en términos de la metáfora, lo otro.

Buscando en varios diccionarios una primera definición de *paradoja,* se indica que es un argumento que aparentemente demuestra una proposición falsa, o que es un hecho o dicho aparentemente contradictorio o contrario a la lógica. Hay paradojas muy cortas llamadas *oximorones:* "confidencialidad pública" o "virgen preñada" son dos conocidos ejemplos, como también lo son, en el terreno de la ciencia y la técnica, "coche sin caballos", "plástico conductor" o "compuestos de gases nobles", todos ellos triunfos de los creadores de mundos posibles, aquellos que llevan las paradojas a la práctica.

Richard M. Sainsbury (1995, p. 1) identifica la paradoja como una conclusión inadecuada de un argumento que posee premisas adecuadas y una adecuada forma de inferencia:

[1] Sobre este tema, véanse Sauls, 2008; Bartell, 2001; y Vitz, 2000.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 11 6/24/13 11:12 AM

Esto es lo que entiendo por paradoja: una conclusión aparentemente inaceptable derivada de un razonamiento aparentemente aceptable a partir de premisas aparentemente aceptables. Las apariencias tienen que engañar, puesto que lo aceptable no puede conducir por medio de pasos aceptables a lo inaceptable. De modo que generalmente tenemos dos opciones: o bien la conclusión no es realmente inaceptable, o bien el punto de partida o el razonamiento poseen algún error evidente.

De acuerdo con lo anterior, el conocido experimento en el que se coloca una mano en un recipiente con agua caliente, la segunda en uno con agua fría y luego ambas en un recipiente en el que se ha vertido el agua de los dos anteriores (Chamizo, 2004), es decir, en agua tibia, es una paradoja experimental "térmica" para aquel que ahora reconoce el agua tibia, fría con una mano y caliente con la otra.

Las definiciones de las paradojas basadas en argumentos son contrarias a las identificadas por los sicólogos como paradojas visuales (figura 1.1). La más famosa es el triángulo de Penrose, publicado en 1958, y que abrió la puerta a un mundo de figuras imposibles y que

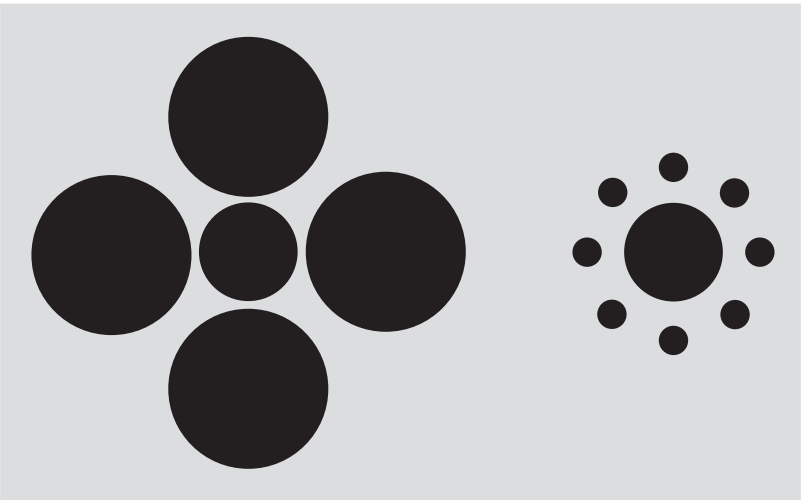


FIGURA 1.1. Una paradoja visual. Los dos círculos centrales, aunque no lo parecen, son del mismo tamaño.

posteriormente Escher utilizaría en su famosa litografía *La cascada* (figura 1.2) en la que se reproduce una máquina de movimiento perpetuo, otra paradoja. Sobre esta figura, uno de sus más importantes estudiosos ha dicho (Ernst, 1998, p. 79):

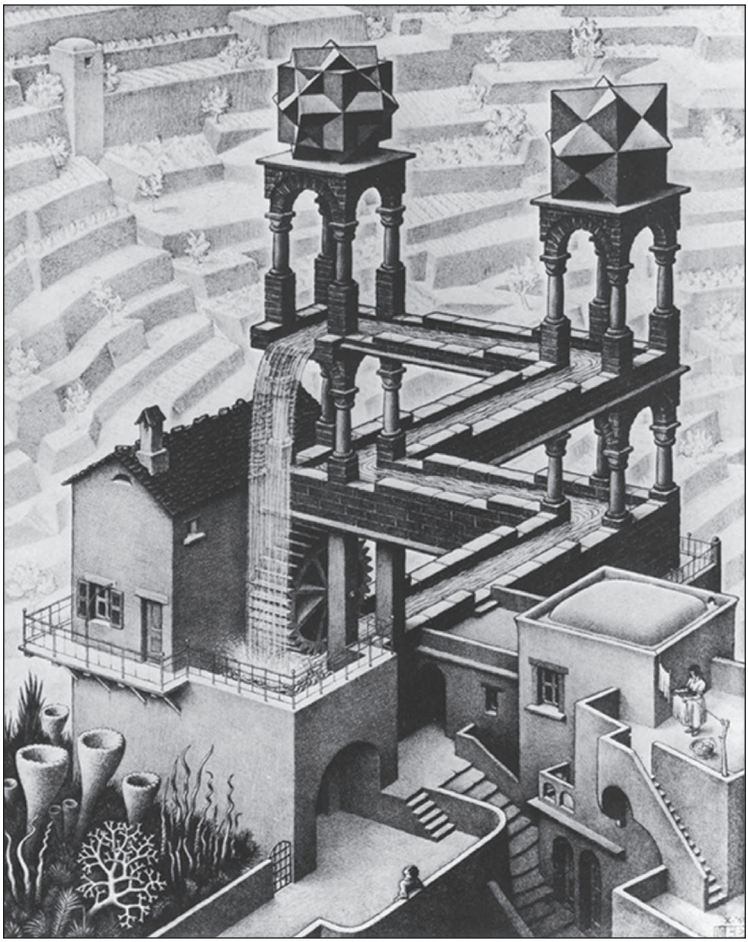


FIGURA 1.2. Una de las paradojas visuales más famosas, *La cascada*, de Maurits Cornelis Escher (1961). Nótese que, para que el movimiento sea permanentemente, se requerirá que alguien agregue de vez en cuando un poco de agua, ¡que tiene la mala costumbre de evaporarse!

Con el descubrimiento consciente de la primera figura imposible, en 1934, el mundo visual de los humanos ha experimentado una absoluta novedad. Algo que roza los límites de nuestra capacidad de representación. En este sentido, las figuras imposibles son un enriquecimiento del espíritu humano. Forman un género propio […] un mundo que no es en modo alguno ajeno al hombre.

Las paradojas se han desarrollado y a la vez han contribuido al largo debate entre racionalistas y empiristas. Éstos son los principales caminos propuestos por los filósofos para enfrentar el asunto del conocimiento, la epistemología. Los racionalistas afirman que el conocimiento sólo puede alcanzarse mediante la razón y con la elaboración de entidades aprehensibles por el intelecto y no por los sentidos. Aquí la forma más pura de investigación es la matemática. Se procede inmaterialmente, los resultados se deducen partiendo de verdades evidentes por sí mismas y se trasciende la incertidumbre del mundo empírico. Por otro lado, los empiristas afirman que el conocimiento sólo se alcanza mediante la experiencia recogida a través de los sentidos. Originalmente la química, donde se estudia, se practica y se transmite cómo transformar la materia, hereda las prácticas de herreros, panaderos, curanderos y alfareros, aparece en el lado empirista, pero con el paso del tiempo se reconoce también racionalista, de ahí que las paradojas también vayan marcando su camino.

Un ejemplo es el proveniente de la paradoja del *sorites*. Si existe un montón de arena y se sustrae un grano quedará de todas maneras un montón de arena. Un grano de arena no puede constituir por sí solo la diferencia de que una determinada cantidad de arena sea un montón o no lo sea. Entonces, ¿cuántos granos de arena hacen un montón de arena? Planteado de manera diferente, el mismo sorites indica que un grano de arena no hace ruido cuando cae al suelo, dos granos tampoco y n granos tampoco, entonces $n + 1$ grano no hacen ruido cuando caen al suelo. Por lo tanto ¡un montón de granos de arena no hace ruido al caer al suelo!

La paradoja del sorites subyace en la búsqueda de cuántos átomos de un metal reproducen las propiedades del metal, digamos en un cúmulo metálico, o cuántas moléculas de agua se necesitan para mojar una superficie, es decir, cuándo transformamos la cantidad en cualidad.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 14 6/24/13 11:12 AM

La respuesta a esta paradoja (sustitúyanse granos de arena por átomos, digamos de oro incoloro para saber cuándo tenemos el oro metálico amarillo) niega la premisa inicial, la que indica que no se puede tener un montón con n granos de arena, por lo tanto tampoco con $n + 1$ granos de arena, lo que sugiere que hay un corte abrupto entre lo que es un montón y lo que no lo es. Así, un montón tiene $n + 1$ granos de arena, y cuando sólo hay n granos no hay montón.

El químico filósofo racionalista Gaston Bachelard lo dice en su muy particular estilo (Bachelard, p. 304):

> Pero he aquí que desde hace diez años los descubrimientos se multiplican en ese campo: las láminas de oro delgadas no tienen un color bien definido si precisamente no se les da un espesor muy regular, un espesor bien definido. Por transparencia, he aquí un juego de colores del oro según los espesores de la hoja: es verde amarillento por encima de 4 mμ; se torna azul-verdoso, luego francamente azul hacia 2.7 mμ y finalmente rosa violáceo hacia 1.5 mμ.
>
> 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.

Las paradojas, al enfrentar lo esperado contra lo inesperado, nos obligan a pensar. Ya Aristóteles indicaba que la actitud ante los argumentos y las paradojas derivadas de ellos sería la misma que ante los relojes. Si la hora señalada se encuentra dentro de los límites esperados se acepta. Si la hora señalada es inesperada, parece equivocada, ya sea porque parece ser demasiado temprano o demasiado tarde; indica que el reloj no está funcionando bien. En todo caso habría que revisar el reloj. Recordando el texto original de Glasoe, con el que se inicia este capítulo sobre lo paradójico de los cursos de química, los revisaremos aquí.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 15 6/24/13 11:12 AM

EDUCACIÓN-1[2]

Si las leyes del mercado se instalan en la educación, ésta se convertirá en una industria del espectáculo,* entre otras muchas, sometida como las demás a las leyes del beneficio. Dejará de ser el principal crisol donde se modela la identidad de cada nación.

La educación evolucionará hacia un sistema de dos niveles: una enseñanza primaria que ofrezca, en nombre del Estado, unos conocimientos mínimos y una enseñanza superior privada, con estudiantes seleccionados en los medios mejor preparados —intelectual y financieramente— con el fin de financiar unos largos estudios para sus hijos.

* Hoy en día está caracterizada por el cine, el teatro y la televisión, mañana lo estará por lo virtual, por el *ordeteve*** y después por el *clonimago*. Cada cual podrá entrar en el universo virtual en tres dimensiones y querrá involucrarse como actor, después como autor de un simulacro vivo que tendrá como colofón su gloria o su rebelión. El final del espectáculo vendrá a ser como el comienzo de la revolución.

** Véanse definiciones al final del capítulo 3.

[2] Los diferentes recuadros que aparecen al final de cada capítulo, salvo cuando se indique lo contrario, corresponden al brillante *Diccionario del siglo XXI,* de Jacques Attali, escrito originalmente en 1988. Por sí solos recorren otro camino paralelo al aquí trazado.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 16 6/24/13 11:12 AM

2. EL CURRÍCULO OCULTO EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA[1]



[1] Una primera versión que considera las ideas centrales de este capítulo fue publicado en 2001 con el mismo título en la revista *Educación Química*, núm. 12, pp. 194-198.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 17 6/24/13 11:12 AM

> 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

ANTECEDENTES

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

El subtítulo de este libro (*La enseñanza de la química a partir de sus modelos*) es una herejía.[2] Y es una herejía porque desde el principio

[2] A pesar de que desde hace años se ha discutido su enseñanza, al menos en el nivel de licenciatura (Chamizo, 1991a; 1991b; 1992).

CUADRO 2.1. EJEMPLOS DE DIFERENCIAS ENTRE LOS MODELOS Y LOS OBJETOS, SISTEMAS, O PROCESOS QUE REPRESENTAN

Modelo	*Limitaciones*	*Área de la química en la que se utiliza*
Atómico de Lewis	Los electrones no se mueven ni cumplen con la ley de Coulomb	Química general, orgánica e inorgánica
Debye-Hückel	Disoluciones infinitamente diluidas	Química analítica, fisicoquímica
Campo cristalino	Ligantes con cargas puntuales	Química de compuestos de coordinación
Gas ideal	Las partículas que conforman los gases no tienen estructura	Química general, fisicoquímica

reconoce, como se indica en el cuadro 2.1, las diferencias entre el modelo y la realidad a partir de las propias limitaciones de los modelos, reconociendo lo que indicó el filósofo inglés Stephen Toulmin: "Un modelo sólo puede ser usado para explicar el comportamiento de cosas que, en realidad, son distintas a él" (Toulmin, 1964, p. 195).

La distinción entre modelos y realidad nos lleva a otro asunto, nuestro asunto, el del aprendizaje, que es el que guía este libro. Aquí, sin embargo, hay que tener cuidado en diferenciar un modelo históricamente contextualizado (es decir, aceptado por determinada comunidad científica en un momento determinado) de un modelo híbrido (aquel que en aras de la simplicidad vuelve falso lo complejo, mezclando varios modelos históricos y mostrándolo como uno solo) ya que, como lo ha indicado Justi (2000, p. 223):

> La identificación de modelos híbridos incorpora una nueva manera en la cual puede discutirse la enseñanza. La existencia de modelos híbridos en la enseñanza significa que la historia de la ciencia no es posible porque implica que el conocimiento científico crece linealmente independientemente de su contexto.

Actualmente es bien reconocido que el conocimiento químico sobre una gran cantidad de fenómenos es producido y comunicado (en las escuelas) mediante modelos (Justi, 2002), muchos de ellos, lamentablemente, híbridos (Caamaño, 2003). Una primera tarea en

la enseñanza es reconocerlos como tales. Como lo indica otra vez Justi (2000, p. 225):

En los cursos de formación de profesores se debería abordar la enseñanza a partir de modelos. Lo anterior permitiría a los profesores:

i] Entender la importancia de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza.

ii] Pensar de manera crítica la forma en la que se puede enseñar.

iii] Reconocer la existencia de modelos híbridos en los libros de texto.

iv] No utilizar modelos científicos que puedan ser enseñados a través de modelos híbridos.

Lo anterior permitirá a los profesores entender que la historia de la ciencia no debe incorporarse en los cursos como información superflua (como generalmente se hace en los libros de texto) sino como interpretaciones diferentes propuestas por diversos científicos en contextos específicos.

Así que para empezar a discutir sobre la enseñanza de la química en la actualidad hay que regresar en el tiempo y reconocer lo más rigurosamente que se pueda, apelando a la historia y a la filosofía, de donde viene el currículo que actualmente tenemos en todo el mundo.

Al final de la segunda guerra mundial —después de que el ejército soviético había tomado Berlín en marzo de 1945 y Hitler se había suicidado— Harry S. Truman, el presidente de los Estados Unidos, tomó la terrible e innecesaria decisión (una vez que la guerra para todos los fines prácticos estaba concluida, y Japón también había sido derrotado desde la batalla naval de Midway en 1942, contra la marina estadunidense) de arrojar bombas atómicas sobre las ciudades japonesas indefensas de Hiroshima y Nagasaki (Easlea 1983; García, 1987). Hay suficiente información histórica que demuestra que los japoneses buscaban rendirse después de que Alemania ya lo había hecho, y cuando además enfrentaban al ejército soviético en China (país que habían ocupado previamente) y apenas se podían defender de las incursiones aéreas estadunidenses que bombardeaban sus ciudades repetidamente.[3] Ante la amenaza que la bomba atómica repre-

[3] Por ejemplo, en la noche del 9 de marzo de 1945, Tokio fue bombardeada con

Chamizo_Paradoja_txt.indd 20 6/24/13 11:12 AM

sentaba para su propia seguridad, el ejército soviético se dedicó a producir la suya propia, lo que logró en 1949, concretando con ello lo que se conocería como la guerra fría y que duraría, según diversos historiadores, 40 años más. A la explosión de una bomba estadunidense de mayor potencia, le seguía una soviética aún mayor. De las bombas de fisión se pasó a las de fusión (también conocidas como bombas de hidrógeno) y poco a poco otros países se incorporaron al selecto grupo de "potencias atómicas". Durante el decenio de 1950, en los Estados Unidos el macartismo —la persecución inquisitorial de toda persona que pensara diferente de las normas establecidas— se cobró una buena cantidad de víctimas, particularmente entre la comunidad artística y la recién establecida de filosofía de la ciencia. Sin embargo seguían oyéndose voces contrarias a la represión intelectual, destacándose entre ellas la de Linus Pauling (Chamizo, 1994), ganador del premio Nobel de Química en 1954[4] y del de la Paz en 1962. En la carrera armamentista los Estados Unidos parecían ir adelante, pero todo cambió cuando en 1957 los soviéticos lanzaron el *Sputnik*, la primera nave espacial. La conmoción al interior del gobierno de los Estados Unidos fue terrible y afectó de una manera u otra todos los ámbitos sociales, entre ellos los programas de ciencias que se redefinieron durante el decenio de 1960. Éstos buscaban capturar a los mejores alumnos de estas disciplinas para involucrarlos en proyectos militares (Barnet, 1976, p. 54):

El establishment militar de los Estados Unidos ha avanzado un largo trecho desde el día, a fines de los años treinta, en que un químico que deseaba trabajar para la marina fue rechazado porque el departamento ya contaba con uno. Actualmente, más de la mitad de los científicos e ingenieros del país trabajan directa o indirectamente para el Pentágono. Los logros tecnológicos han llegado a ser un fin en sí mismos.

napalm y murieron más de 80 000 personas y otras tantas quedaron heridas, el equivalente en pérdidas humanas a las del bombardeo de Nagasaki.

[4] Pudo acudir a recibirlo porque el gobierno de los Estados Unidos le devolvió su pasaporte, que le había quitado previamente por sus posiciones públicas en favor de la paz. Al recibir la noticia de que se había hecho merecedor del premio Nobel por su trabajo sobre la estructura de las proteínas, Pauling respondió a los periodistas que le preguntaban si iría a recibirlo: "No creo que haya algún problema, la Alemania nazi prohibió a sus científicos ir a Suecia por el premio, pero supongo que los Estados Unidos no lo harán".

El PSSC (Physical Science Study Course), el BSCS (Biological Science Curriculum Study) y el Chem Study (Chemical Education Material Study), cuadro 2.2 (Pimentel, 1988), en los Estados Unidos, y el Proyecto Nuffield en el Reino Unido constituyeron la respuesta educativa, a nivel preuniversitario, para generar mejores científicos al interior de estos países, una vez que la migración intelectual centroeuropea, debida al nazismo, difícilmente se repetiría.

Así, después del lanzamiento del *Sputnik* en 1957, la enseñanza de la química asumió un currículo químicamente puro que los estudiantes tienen que aprender, prácticamente de la misma manera en todo

CUADRO 2.2. CRONOLOGÍA DEL CHEM STUDY

Fecha	*Acontecimiento*
4/10/1957	La URSS lanza el primer satélite artificial, el *Sputnik*.
1959	Glenn T. Seaborg (premio Nobel de Química en 1951 por la síntesis de nuevos elementos) y George C. Pimentel (descubridor del láser químico), por petición del gobierno estadunidense, inician y dirigen el proyecto. Sus principales características son: • Está dirigido a 40% de los mejores alumnos de los Estados Unidos, es decir, en el mejor de los casos, al 20% que seguirá una carrera científica o de ingeniería. • Se busca la "comprensión" de los principios, en lugar de los "hechos" de la química. • Hay un fuerte interés en el trabajo experimental.
1963	Publicación de los textos.
1965	Más de 7 000 escuelas utilizan películas asociadas con el material publicado.
1967	Desde 1963, de diez de los libros de texto escritos en los Estados Unidos, cinco han sido muy influidos por el Chem Study, tres medianamente y dos no lo han sido.
1971	Existen 2 500 000 copias en inglés. La mitad de los estudiantes en los Estados Unidos lo utiliza. Ha sido traducido a 11 idiomas.
1983	Es el año de menor venta de los textos de Chem Study desde su aparición. Su impacto, sin embargo, continúa.
1989	Las películas, revisadas, son incorporadas en las escuelas por medio de la National Science Foundation.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 22 6/24/13 11:12 AM

el mundo.[5] Se redujeron las experiencias empíricas y descriptivas en favor de los principios fisicoquímicos en un momento en que la matrícula escolar y el número de instituciones educativas crecía de manera muy importante. Lo anterior coincidía con lo dicho pocos años después por Charle de Gaulle, el entonces presidente francés, en un discurso en la Universidad de Oxford (Varsavsky, 1975, p. 18), mucho antes de que entráramos públicamente al mundo globalizado:

A partir del momento en que todos los hombres leen lo mismo en los mismos diarios; ven de un rincón al otro del mundo las mismas películas; oyen simultáneamente las mismas informaciones, las mismas sugestiones e idéntica música a través de la radio, la personalidad íntima de cada uno, el propio ser, la libre elección, dejan de contar absolutamente. Se produce un notable esfuerzo de salvaguardia, el individuo no puede impedir su destrucción.

Independientemente del nivel escolar, en los diversos currículos, se indica (como acto de fe) que la química es una ciencia, que la materia está compuesta por átomos y moléculas, que hay cambios físicos y químicos y que una manera de reconocerlos es mediante la reacción química, sin duda el corazón de todo el plan de estudios. Sin embargo la enorme cantidad de conocimiento empírico, la ener-

[5] Lo anterior no siempre fue así, de hecho la consolidación de la profesión química se originó por la multitud de experiencias curriculares diferentes. Como lo indica la historiadora Bernadette Bensaude-Vincent (1997, pp. 83-84): "La creación de instituciones docentes y de investigación de nuevo tipo garantiza el estatuto y el reconocimiento social de la disciplina, permite la difusión de los conocimientos y la formación de un ejército de químicos […]. El que la química, dentro del proceso global de profesionalización de las ciencias que durante la primera mitad del siglo XIX afecta a todos los campos del saber, estuviera a menudo a la vanguardia, se debe también a que este proceso se alimentaba de una transformación efectiva y no solamente formal de las prácticas químicas […] pero, sobre todo, es su promoción en la enseñanza superior la que transforma el estatuto de la química. En España, en Alemania, en Francia, en Gran Bretaña, en los Estados Unidos […], en todas partes donde se desarrolla la enseñanza de las ciencias experimentales, se multiplican las cátedras de química. La química se impone poco a poco en los distintos estudios, no sólo farmacéuticos y médicos, sino también de ingeniería y agricultura. El fenómeno es internacional y sus efectos son numerosos e importantes […] la química se ejerce como una profesión. Una actividad a tiempo completo, remunerada, que exige una formación previa y estudios sancionados por diplomas. La conquista de los territorios académicos por parte de los químicos va a seguir vías distintas dependiendo de los países, pues la química del siglo XIX es europea y a la vez está profundamente impregnada de estilos nacionales".

Chamizo_Paradoja_txt.indd 23 6/24/13 11:12 AM

gía y el tiempo asociados a las reacciones químicas, por no decir las implicaciones sociales del saber químico, así como la historia y la filosofía de la química, parecen ser asuntos de segunda importancia y generalmente son relegados u ocupan un espacio menor. A pesar de los muchos esfuerzos por adecuar y mejorar la práctica en las aulas de dicho currículo, intentando generalizarlo a todos los estudiantes (contrario a lo que se muestra en el cuadro 1.1 ¡ya no estamos en la guerra fría!), los resultados han sido malos (Fensham, 1992; Matthews, 1998) particularmente en química (entre los alumnos que estudiaron el Chem Study y el proyecto paralelo Chemical Bond Approach; Shymansky, 1983). Así, y la interpretación de Schwab (1962), de que la enseñanza de la ciencia es un dogma o una retórica de conclusiones, permanece inalterable. En los laboratorios, por ejemplo, espacio fundamental en el aprendizaje de la química y lugar donde se entronizó el llamado "método científico", a los estudiantes se les pide que realicen diferentes actividades, y que de allí establezcan conclusiones. Todos los estudiantes lo deben hacer al mismo tiempo, ya que hay una expectativa de que las conclusiones son evidentes y uniformes. Lo anterior sólo sucede si todos los estudiantes comparten las mismas ideas previas (Kind, 2004) y evalúan sus observaciones de acuerdo con los mismos esquemas conceptuales. En otras palabras, los profesores anticipan que datos semejantes (cuando así se presentan) llevarán a alumnos diferentes a las mismas conclusiones. Como esto no sucede ni en los laboratorios escolares, ni en los que se desarrolla investigación profesional, la química, y las ciencias en general, se presentan como conocimientos infalibles que deben memorizarse.

En esta dirección hay una gran cantidad de evidencia derivada de la investigación educativa, indicando que las actividades experimentales son, como lo indica Derek Hodson (1994, p. 304), sobreutilizadas e infrautilizadas:

> Son usadas en demasía en el sentido de que los profesores emplean las prácticas como algo normal y no como algo extraordinario, con la idea de que servirían de ayuda para alcanzar todos los objetivos del aprendizaje. Son infrautilizadas en el sentido de que sólo en contadas ocasiones explotan completamente su auténtico potencial.

Además se acumulan numerosos indicios de que las actividades experimentales han tenido muy poco efecto sobre los logros, actitu-

Chamizo_Paradoja_txt.indd 24 6/24/13 11:12 AM

des, razonamiento, pensamiento crítico, comprensión de la ciencia, habilidades de manipulación, interés o retención en los cursos de ciencias (Nakaleh, 2002). Más aún, muchos alumnos no entienden cuál es la razón de ser de esta actividad (Russell, 2008) y muchos asumen que la hacen bien cuando siguen de manera correcta las instrucciones recibidas y terminan en el tiempo establecido.

Así, ¿el conocimiento científico debe ser únicamente para unos pocos privilegiados? ¿Se puede aprender química de otra manera? ¿Qué función desempeña el laboratorio en la enseñanza de la química? ¿Cuáles son, si las hay, las ideas fundamentales a considerar en un currículo de química básica para que todo ciudadano pueda apreciarla? ¿Es correcta la premisa de que la química no es más que fisicoquímica y que es fundamental comprender unas cuantas ecuaciones —por ejemplo, la de Schoedinger, la que relaciona la energía libre de Gibbs con la constante de equilibrio y la que expresa la distribución de Boltzmann (Atkins, 1999)— para comprenderla? 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 (ChemCom, 1988) y Salters (Salters, 1987) o de aproximaciones intermedias (Garritz, 1994; Garritz, 1994a; Chamizo, 1997)— 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).

Lo anterior tiene que ver técnicamente con el currículo, definido en el diccionario como el conjunto de estudios y prácticas destinadas a que el alumno desarrolle plenamente sus posibilidades. Esto no elimina la ambigüedad del término sobre el que, desde 1980, Tanner indicó 20 definiciones diferentes (Tanner, 1980). En general el currículo de cualquier disciplina tiene varios enfoques (Pérez, 1988):

- El currículo como estructura organizada de conocimientos, donde se hace énfasis en la función transmisora de la educación.
- El currículo como sistema tecnológico de producción, es decir, donde se especifican los resultados pretendidos en dicho sistema de producción.
- El currículo como plan de instrucción, que es un documento que planifica el aprendizaje.

- El currículo como conjunto de experiencias de aprendizaje que resulta ser el conjunto de experiencias que los alumnos llevan a cabo con la orientación de la escuela, en un lugar y tiempo específicos.
- El currículo como reconstrucción de conocimiento y propuesta de acción, es decir, como lo indica Stenhouse (1975, citado en Pérez, 1988, p. 33), "una especificación para comunicar las características y principios esenciales de una propuesta educativa, de tal forma que se encuentre abierta al escrutinio crítico y se muestre susceptible de traslación a la práctica".[6]

Cada uno de estos enfoques ha sido objeto de una gran cantidad de estudios y precisiones técnicas, desde luego también en el campo de las ciencias (Bybee, 1994). Se puede resumir indicando que el currículo en su totalidad es una concreción de un proyecto cultural que se trabaja en un contexto institucional específico y que se modifica individual y colectivamente como consecuencia del trabajo cotidiano en las aulas y los laboratorios. Queda claro que para esperar tener éxito con una propuesta curricular deben atenderse diversos niveles y actores: objetivos claros, materiales educativos apropiados, profesores bien capacitados y alumnos dedicados.

El proceso parece entonces claro, pero no lo es tanto, como queda manifiesto en las acusaciones del epígrafe. Así, hace muchos años se acuñó el término "currículo oculto" para identificar todos aquellos aspectos que no son revelados y que, sin embargo, subyacen en toda estructura curricular. Retomando a Bohoslavsky (1975, pp. 96-97): "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".

[6] Lo cual nos lleva al problema del nivel de preparación del magisterio. Recientemente, acerca del asunto en América Latina, indiqué (Chamizo, 2008): "En México (y no hay evidencia latinoamericana que muestre lo contrario, por lo que con las limitaciones del caso lo que aquí se expresa puede extenderse al resto de la región) el 80% de los cursos universitarios son impartidos por profesores que solamente han concluido su licenciatura y que no están en condiciones de alcanzar la frontera del conocimiento en su especialidad, por lo que se dedican a repetir conocimientos derivados de textos importados y traducidos del extranjero. Sus cursos son más bien repetitivos y no tienen la frescura del conocimiento impartido después de haber reflexionado profundamente sobre una rama específica del saber".

Chamizo_Paradoja_txt.indd 26 6/24/13 11:12 AM

La pregunta que aquí surge es: ¿hay un currículo oculto de la química? Si lo hay, ¿cuál es? Antes de abordar esta pregunta es pertinente reconocer algunas experiencias sobre las propuestas curriculares en ciencias, y particularmente en química.

DIVERSAS POSICIONES RESPECTO AL CURRÍCULO DE QUÍMICA

Alrededor del currículo científico se ha introducido la idea de énfasis curricular (Roberts, 1988, p. 27) definida como "un marco de referencia analítico para entender qué requieren los constructores y diseñadores del currículo, así como los profesores de ciencias, para contestar la pregunta ¿qué se considera como educación científica?" El énfasis curricular incorpora cuatro dimensiones o imágenes sobre el currículo: la imagen de la ciencia, la imagen del estudiante, la imagen del profesor y la imagen de la sociedad. Utilizando este marco de referencia, Roberts estudió los currículos de ciencias en los Estados Unidos y Canadá desde 1900 hasta 1980, encontrando siete diferentes énfasis curriculares (cuadro 2.3).

A la pregunta "¿qué se considera como educación científica?", queda claro que la respuesta no asume únicamente temas de ciencias, hay además razones para que los estudiantes aprendan lo que explícitamente manifiestan los documentos públicos de escuelas y universidades (por lo general de forma implícita, el currículo oculto). Por ejemplo, si la clase del día de hoy es sobre el enlace químico, las razones explícitas para enseñarlo pueden ser que es importante para aprender más química, o para explicar determinados procesos tecnológicos o las propiedades de algunos materiales que hay que diseñar (un adhesivo, por ejemplo), o que es un modelo que permite explicar determinado número de datos empíricos. Implícitamente hay posturas sobre el conocimiento científico y la relación con otras ciencias, sobre la condición del estudiante en cuanto a su formación futura —es decir, los profesores de las universidades les dicen a los del bachillerato, y éstos a su vez a los de educación básica, qué deben enseñar— o sobre los problemas técnicos y sociales que los estudiantes podrán resolver. Así, en los currículos hay que considerar al menos dos aspectos: por un lado lo que se enseña y cómo se enseña, y por el otro lo que se dice y lo que se hace. Muchos profesores sabemos,

CUADRO 2.3. ÉNFASIS CURRICULARES

Énfasis	*Características principales*
Fundamentos sólidos	La ciencia es conocimiento acumulado, por lo tanto hay que aprender hoy lo que se necesita en otro curso mañana.
Estructura de la ciencia	Funcionamiento disciplinar de la ciencia, donde se indica la relación entre la evidencia y la teoría.
Decisiones científico-tecnológicas	La toma de decisiones basada en conocimiento científico.
Desarrollo de habilidades científicas	La ciencia como un proceso encadenado de habilidades, como son: observar, medir, experimentar, es decir, alrededor del denominado "método científico".
Explicaciones correctas	La ciencia produce conocimiento válido y confiable o, lo que es lo mismo, apréndelo ahora y pregunta después.
Explicación personal	Entendimiento personal de la explicación de eventos en términos de influencias propias y culturales (incluidas las científicas).
Aplicaciones cotidianas	La ciencia se utiliza para entender la tecnología y sus aplicaciones en la vida cotidiana.

por ejemplo, de la patética y generalizada práctica de aprenderse de memoria todos los símbolos de los elementos que aparecen en la tabla periódica como equivalente a… ¡saber química! Es decir, en términos de la didáctica, no se ha desarrollado convenientemente el conocimiento pedagógico del contenido químico de los profesores en formación (De Jong y Van Driel, 2004; Garritz, ????) o en servicio.

Desde hace muchos años se aceptó que los alumnos que llegan a la escuela no lo hacen con la mente en blanco y que tienen sobre el mundo una serie de ideas que les permiten interpretarlo. Incluso se ha insistido en que el conocimiento de esas ideas previas es fundamental para construir aprendizajes significativos (Ausubel, 1993). Diversas investigaciones sobre este tema, en particular las extraídas a partir de las ideas previas de los estudiantes de química, han sido muy importantes para entender cómo construyen los alumnos sus propios conceptos. Por ejemplo, Kind (2004, pp. 75-76) informa algunas de las ideas que estudiantes de entre 14 y 15 años tienen sobre la corrosión en un clavo de hierro que hablan por sí solas: "cuando

Chamizo_Paradoja_txt.indd 28 6/24/13 11:12 AM

el clavo se corroe se hace más pequeño", "se provocó una reacción con el agua y una impureza del clavo", "la corrosión siempre está debajo de la superficie del clavo", "se añade agua cuando aparece la corrosión", "el hierro sólo ha reaccionado con el oxígeno del aire, el cual no pesa".

Estas investigaciones indican que a pesar de asumir un énfasis curricular basado en los "fundamentos sólidos" o en las "explicaciones correctas", los alumnos simplemente no las adquieren, no aprenden y, lo que es peor, tampoco preguntan. Por ello, de éste y otros trabajos (Garnett, 1995; Treagust, 2000; Taber, 2002), se ha aceptado que los estudiantes tienen grandes dificultades con el abstracto e inobservable mundo de la química y, en particular, con la manera en que los profesores se mueven entre las representaciones microscópicas y simbólicas de sustancias y procesos (Van Driel, De Jong y Verloop, 2002).

Relacionado con lo anterior, Gabel (1999) ha demostrado que en las clases de química el lenguaje es diferente al que emplean los estudiantes en su vida cotidiana y, debido a que está estructurado de acuerdo con los requerimientos de la disciplina, su aprendizaje se vuelve difícil. A partir del reconocimiento de que son abstractos los conceptos de química que se estudian en las escuelas, se requiere del uso de modelos y analogías para su explicación… sin decirlo explícitamente. Así los estudiantes no integran los tres niveles usuales de representación de la materia (macroscópico, microscópico y simbólico) en su memoria de largo plazo (Gilbert y Treagust, 2009). Este último asunto es particularmente importante en el trabajo práctico, toda vez que en el laboratorio los estudiantes hacen observaciones en sentido macroscópico, y los docentes esperan explicaciones en sentido microscópico (Johnstone, 1991). Gabel está intentando reformar la enseñanza de la química haciéndola relevante mediante la resolución de problemas y aprendizaje colaborativo, mediante la línea del interés basado en "explicaciones personales".

En su "Epistemological Foundations of School Science", Izquierdo (2003) argumenta que la ciencia escolar debe integrar sus propios valores con los de educación para la salud, el medio ambiente, el consumo responsable y la paz. La ciencia escolar ha sido formulada en un marco teórico global y seguramente utópico que puede identificarse también con los lineamientos de la educación liberal y el interés por las "explicaciones personales". Lo que le da sentido a la

ciencia escolar es que sus objetivos pueden ser reconocidos por los estudiantes como si fueran propios, se identifican con sus expectativas y creencias acerca de la escuela y del mundo real y son coherentes con los currículos de las diversas disciplinas científicas. Cercano a la propuesta anterior, el investigador anglocanadiense Derek Hodson (2003, 2009) ha publicado un manifiesto contra la educación química normal. Para él la enseñanza de la ciencia y la tecnología tienen la responsabilidad de mostrar a los estudiantes la compleja, pero íntima relación, que hay entre los productos que consumimos, los procesos con los cuales los obtenemos y los valores que se encuentran detrás, particularmente aquellos relacionados con el medio ambiente. Propone un currículo basado en temas de interés político centrado en siete áreas principales (salud humana, comida y agricultura, tierra, agua y recursos minerales, producción y consumo de energía, transferencia de información, ética y, finalmente, responsabilidad social) con cuatro niveles de sofisticación que culminan en la preparación de los estudiantes para la actividad sociopolítica. Lo que Hodson identifica como educación para la actividad sociopolítica parte del reconocimiento de que el ambiente no es un algo que "recibimos" sino que es una construcción social.

Los currículos químicamente puros, basados en los "principios de la química", como lo reconocía el Chem Study, adecuados para los mejores alumnos con vocación científica, con mayor interés en la estructura de la ciencia, aportaban poco a los estudiantes para entender el mundo, lo cual fue señalado por la entonces nueva corriente educativa basada en el constructivismo piagetiano. Así, aparecieron varios proyectos curriculares en los que se cambiaron los contenidos temáticos por aquellos que tenían relevancia en los jóvenes como futuros miembros de la sociedad. En esta dirección, las siglas STS (del inglés Science-Technology-Society, CTS en español) sirven para reconocer un movimiento de reforma cuyas primeras raíces no son enteramente nuevas (Bybee, 1980; Lewis, 1981; Herron 1982; Solomon, 1983), pero con ese nombre quedaron integradas formalmente como una corriente durante el decenio de 1980 (Garritz, 1994). Como lo indicó Archer (1994):

> CTS se basa en el desarrollo de actividades enfocadas hacia "la toma de decisiones sobre aspectos sociales del mundo real que tienen un contenido importante de ciencia y de técnica. El contenido científico se construye sobre

una base de necesidad de conocer, que también provee al alumno de la capacidad de razonamiento crítico para considerar otros aspectos que serán de importancia en el siglo XXI".

El interés por el enfoque CTS se encuentra alrededor de las "decisiones científico-tecnológicas". Como se discutirá en otro capítulo, el nombre y la idea central de esta corriente derivan de una concepción de ciencia más bien estrecha, ya que parece que la ciencia y la tecnología la hacen individuos "fuera" de la sociedad, sin intereses específicos ni ambiciones particulares.

La experiencia desarrollada alrededor de los proyectos curriculares de química más ambiciosos en la incorporación de temas relacionados con asuntos sociales, 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, 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 currículo sino únicamente a complementarlo; de hecho se recomienda su uso para aquellos estudiantes que no van a continuar una carrera científica (Sanger, 1996). Aquí hay que reconocer las dificultades existentes cuando se intenta desarrollar un currículo alternativo en el ámbito preuniversitario (Garforth, 1983, p. 29):

> Está claro que hay un cuerpo de conocimientos sin el cual un currículo 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.

Muchos detractores de ChemCom y Salters no consideran que estos proyectos sean de química, entre otras cosas porque, además de lo ya dicho, no tienen el nivel suficiente de fisicoquímica (Greenbowe, 1996).

En esta dirección, Vicente Talanquer (2009) coincide en la enorme importancia que se le ha dado a los currículos de química basados en la fisicoquímica —y tal y como los filósofos de la química manifiestan críticas a una visión de la química reducida a la física (Scerri, 2000a;

Schummer, 2003)—, y acerca de las ideas fundamentales de la química que debieran ser consideradas en su enseñanza indica que (p. 146):

> De alguna forma uno esperaría que las ideas que se consideran centrales en una disciplina sean aquellas que permiten darle respuesta a las preguntas esenciales que guían el trabajo en dicha área. ¿Cuáles son, entonces, las preguntas esenciales de la química? En el libro *Beyond the Molecular Frontier,* publicado recientemente por el National Research Council en los Estados Unidos (NRC, 2003), un grupo reconocido de químicos, ingenieros químicos y otros profesionistas de las ciencias moleculares presentan un excelente bosquejo de las áreas de interés central en la química moderna. Desde su perspectiva, el trabajo en la disciplina se concentra en cuatro áreas principales: análisis, síntesis, transformación y modelaje. Si éste es el caso, se podría argumentar que hay por lo menos cuatro preguntas esenciales que los químicos buscan responder sobre los materiales y procesos que estudian: ¿qué es esto? (análisis); ¿cómo lo hago? (síntesis); ¿cómo lo cambió? (transformación); ¿cómo lo explico o predigo? (modelaje). La identificación de las ideas fundamentales de la química podría reducirse entonces a la búsqueda de los principios que guían la generación de respuestas en cada una de estas áreas.

Finalmente, entre las propuestas alternativas hay que reconocer la del historiador de la química William B. Jensen (1998), para quien la química es el resultado de un proceso histórico en el que pueden identificarse tres grandes periodos que constituyen otros tantos aspectos por reconocer explícitamente y que de manera implícita se manifiestan en los currículos actuales. Así, en cada uno de los tres grandes periodos identifica formas de entender los fenómenos químicos, denominándolos *molar* (desde la Antigüedad hasta la llamada primera revolución química, 1770-1790), *molecular* (desde 1790 hasta 1875) y *eléctrico* (desde 1875 hasta la actualidad). Además identifica otras tres grandes dimensiones con las cuales se interpreta la química: estructura, energía y tiempo de las reacciones químicas. Todo lo anterior se resume en el cuadro 2.4, en lo que Jensen llama la estructura lógica de la química.[7]

[7] De hecho, Jensen identifica explícitamente, y de acuerdo con lo expresado por Kuhn (1971), tres grandes revoluciones químicas: 1770-1790, 1855-1875, y 1904-1924, donde los periodos intermedios se caracterizan como ciencia normal. Recientemente el mismo Jensen ha reelaborado esta propuesta (Jensen, 2012). Por otro lado, y si-

Chamizo_Paradoja_txt.indd 32 6/24/13 11:12 AM

CUADRO 2.4. LA ESTRUCTURA LÓGICA DE LA QUÍMICA (JENSEN, 1998)

	Dimensión de composición y estructura	*Dimensión de energía*	*Dimensión de tiempo*
Nivel molar	Composición relativa de sustancias simples, compuestos, disoluciones y mezclas. Designación empírica de alomorfos (estado, color, forma cristalina, etcétera).	Entropías y calores de formación. Calorimetría. Energía libre y constantes de equilibrio.	Leyes experimentales de velocidad. Parámetros experimentales de Arrhenius y entropías y calores de activación.
Nivel molecular	Fórmulas absolutas y estructurales. Racionalización de los alomorfos como variación de su composición absoluta (polímeros) o estructural (isómeros).	Interpretación molecular de la entropía. Interpretación de los calores de formación en términos de calores de atomización y de energías promedio de enlace.	Mecanismos de reacción moleculares. Interpretación molecular de entropías de activación y complejos activados.
Nivel eléctrico	Fórmulas electrónicas (Lewis y configuraciones electrónicas). Variaciones en composición electrónica o nuclear (iones o isótopos) o estructural (estados excitados).	Cálculo de energías a partir de estructuras electrónicas. Interpretación de los espectros. Cálculo de los calores de atomización, etcétera.	Mecanismos de reacción iónicos y fotoquímicos. Efectos isotópicos, cálculo de energías de activación. Índices electrónicos de reactividad.

Este trabajo indica claramente cómo la historia de la química permite develar algunas de las propuestas que subyacen en el currículo de manera implícita, y que se resumen reconociendo la desmedida importancia que se le da al nivel eléctrico en su dimensión estructural, relegando las dimensiones de energía y tiempo y los niveles molar y molecular a un segundo plano.[8]

guiendo la misma línea de pensamiento, se han reconocido dos revoluciones químicas más (Chamizo, 2011): 1945-1965 y 1973-1993.

[8] Como lo saben muchos profesores de química, en algunos currículos ni siquiera se consideran algunos de estos temas.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 33 6/24/13 11:12 AM

Cercana a esta última propuesta y en la línea del interés curricular sobre la "estructura de la ciencia", encontramos el trabajo de Nelson (2002) sobre la enseñanza progresiva de la química, que inicia con las sustancias, para ir a los átomos y moléculas y terminar con los electrones y el núcleo en una secuencia que remite a los niveles de Jensen.

De lo anterior se desprende la preocupación de diversos investigadores por mejorar la enseñanza de la química partiendo de intereses curriculares diferentes, y que, pese a su importancia, no han logrado modificar de manera sustantiva lo que se reconocerá como la posición dominante del currículo de química, motivo de discusión de la siguiente sección.

LA POSICIÓN DOMINANTE DEL CURRÍCULO DE QUÍMICA

En 1991, durante la 11a. Conferencia Internacional en Educación Química en York, Inglaterra, un grupo de 28 profesores e investigadores de diversos países, integrados desde ese momento en el denominado Foro Internacional, 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 del proyecto era reconocer si había una estructura común en los currículos de química en los diferentes países y, en caso de que así fuera, identificar sus orígenes. Después de una primera reunión con los participantes, los responsables del proyecto escribieron un documento con alrededor de diez premisas, agrupadas en tres categorías: sustantiva, filosófica y pedagógica (cuadro 2.5), sobre la enseñanza y el aprendizaje de la química.

Dicho documento (cuadro 2.6), construido después de la revisión de decenas de libros de texto publicados en varios países e idiomas durante los últimos 30 años fue sometido a la consideración del grupo a lo largo de los siguientes años. Los integrantes del denominado Foro Internacional, apoyados en nuestra propia experiencia, comentamos y sugerimos correcciones de este primer documento, con el que mostramos una gran cantidad de discrepancias. Quedó claro que las diez premisas originales no eran sino una idealización sobre el currículo de química, construida a partir de las expectativas

Chamizo_Paradoja_txt.indd 34 6/24/13 11:12 AM

CUADRO 2.5. CATEGORÍAS PARA EL ANÁLISIS DEL CURRÍCULO DE QUÍMICA (VAN BERKEL, 2000)

Categoría	*Estructura sustantiva*	*Estructura filosófica*	*Estructura pedagógica*
Características	Conceptos, relaciones y técnicas químicas.	Fundamentos y metodología de la química.	Objetivos y aproximaciones a la enseñanza y el aprendizaje de la química.
Ejemplos	• Reacción química. • Estructura y enlace. • Análisis cualitativo y cuantitativo.	• Reduccionismo. • Autonomía. • Experimentación.	• Entendimiento del misterioso cambio químico. • Descubrimiento guiado.
Premisas (cuadro 2.6)	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	9, 10	1, 10
Premisas (cuadro 2.7)	2, 3, 4	5	1

que sobre la enseñanza y el aprendizaje de la química tenían, y que los responsables del proyecto recogieron de la multitud de libros de texto revisados. Sobre lo anterior hay que recordar la función de los libros de texto en la formación de los científicos profesionales. Por ejemplo, más que ningún otro filósofo, Thomas Kuhn ha insistido en la importancia de la educación en la conformación de lo que él llama "ciencia normal" (Kuhn, 1971, p. 214):

> Sin embargo, puesto que los libros de texto son vehículos pedagógicos para la perpetuación de la ciencia normal, siempre que cambien el lenguaje, la estructura de los problemas, o las normas de la ciencia normal, tienen íntegramente, o en parte, que volver a escribirse.

Avalando su importancia, Kuhn reconoce que los libros de texto no indican cómo se construyó ni cómo se construye el conocimiento científico (Kuhn, 1977, p. 210):

> Después de todo, los libros de texto se escriben tiempo después de los descubrimientos y los procedimientos de confirmación cuyos resultados registran.

CUADRO 2.6. DIEZ PREMISAS SOBRE EL CURRÍCULO DE 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 currículo y es definido de manera muy general como el proceso con el que 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 mediante reacciones específicas. En ellas se destaca el hecho de su espectacularidad y su diversidad, ocasionalmente su impredecibilidad. Desde ese momento el currículo 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 explicativa. El currículo ofrece implícitamente dicha teoría demandando que una reacción debe cumplir las siguientes tres condiciones:
- Conservación de los elementos. Toda reacción que ocurre puede ser balanceada.
- 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 oxidorreducción.
- 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 currículo.
- La ausencia de una de estas tres condiciones es explicación suficiente para que no ocurra una reacción química.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 36 6/24/13 11:12 AM

CUADRO 2.6. (*continuación*)

5] La posibilidad de predecir reacciones químicas se complementa mediante la química descriptiva. La teoría establece las fronteras de las reacciones químicas mientras 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. Éste 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 está caracterizada por un conjunto de propiedades, es importante aprender cómo aislarlas e identificarlas. Esto explica el tema de técnicas de separación tan pronto en el currículo.

7] La posibilidad de predecir también se aplica a las sustancias y, como en el caso de las reacciones, la respuesta se halla en dos direcciones: por el lado teórico se introduce el concepto de valencia, con el cual se pueden predecir fórmulas; 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). Cuando se introduce el nivel corpuscular se explican reactividades y convenciones (como el caso de la nomenclatura).

9] La estructura conceptual del currículo no implica una filosofía específica de la ciencia o de la química en particular. Tampoco prescribe una forma de enseñar. Mientras 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 currículo.

10] En su desarrollo histórico, la estructura tradicional del currículo ha mostrado un desplazamiento desde la química descriptiva hacia 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 a la química más difícil de aprender para los estudiantes.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 37 6/24/13 11:12 AM

Además se escriben con propósitos pedagógicos. El objetivo de un libro de texto es el de darle al lector, de la manera más económica y fácil de asimilar, un enunciado de los que la comunidad científica contemporánea cree que sabe, así como de los usos principales que puede dársele a ese conocimiento. La información relativa a la forma en que se adquirió ese conocimiento —el descubrimiento— y a la razón de que haya sido aceptado por la profesión —confirmación— es, en el mejor de los casos, un exceso de equipaje. No obstante que incluir esa información podría aumentar los valores "humanistas" del texto y fomentar la educación de científicos más flexibles y creativos, haría también que el texto se alejara de la facilidad de aprender el lenguaje científico contemporáneo. Hasta la fecha sólo el último objetivo ha sido tomado en serio por la mayoría de los escritores de libros de texto de ciencias naturales. En consecuencia, aunque los textos sirvan para que los filósofos descubran la estructura lógica de las teorías científicas terminadas, es probable que sirvan más para confundir que para ayudar al neófito que reclama métodos productivos. Con la misma esperanza, podría buscarse en un libro de texto sobre lenguaje, de nivel universitario, la caracterización autorizada de la literatura correspondiente. Los textos sobre idiomas, como los textos científicos, enseñan a leer la literatura, pero no a crearla ni a evaluarla.

Así, poco a poco, y como resultado de la discusión compartida, quedó claro que la química de los libros de texto no era necesariamente la química que practicaban los químicos profesionales y que es la que se describe de manera idealizada en las diez premisas del cuadro 2.6. Resultado de lo anterior, y aceptando la descripción de Kuhn de ciencia normal, se identificó, respecto al currículo de química (particularmente a nivel preuniversitario), una *posición dominante,* que, como su nombre lo indica, es la que prevalece prácticamente en todo el mundo. De las diez premisas originales se establecieron cinco nuevas (cuadro 2.7) que reflejan claramente las categorías establecidas para el análisis, e identifican, particularmente la última de ellas, la esencia del currículo de química contemporáneo. Reconocer esta estrecha posición dominante coincide con lo dicho por el mismo Kuhn (1963, pp. 350-351):

La característica más distintiva de la educación científica es que, en una extensión no compartida con ningún otro campo creativo o del saber, se transmite mediante los libros de texto escritos especialmente para los estudiantes. Cada libro que busca ser utilizado en un determinado curso compi-

CUADRO 2.7. CINCO PREMISAS FUNDAMENTALES (CORREGIDAS DEL CUADRO 2.5) Y CATEGORÍAS QUE REPRESENTAN SOBRE EL CURRÍCULO ACTUAL DE QUÍMICA

Premisa cuadro 2.5	*Premisa fundamental*	
1	1 (pedagógica)	Todo el currículo de química que pertenece a la posición dominante debe ser enseñado y aprendido como proposiciones y algoritmos a estudiantes que serán futuros químicos profesionales.
2	2 (sustantiva)	Todo el currículo de química que pertenece a la posición dominante destaca la aproximación teórico-corpuscular de las sustancias químicas y sus propiedades.
3	3 (sustantiva)	Todo el currículo de química que pertenece a la posición dominante trata con la explicación y la sistematización de la información química basada principalmente en la teoría corpuscular.
8	4 (sustantiva)	Todo el currículo de química que pertenece a la posición dominante hace una distinción entre el nivel de fenómeno y el de corpúsculo. La introducción de la teoría corpuscular en libros y aulas no es consistente ni exacta, por lo tanto es inefectiva.
9	5 (filosófica)	Todo el currículo actual de química tiene una estructura sustantiva dominante basada en la teoría corpuscular, la cual es rígidamente combinada con una estructura filosófica específica, el positivismo, y una estructura pedagógica específica, la iniciación y preparación de los futuros químicos profesionales.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 39 6/24/13 11:12 AM

te, ya sea en profundidad o en detalles pedagógicos, pero prácticamente nunca en estructura conceptual [...] los libros de texto no abordan los problemas que los científicos profesionales enfrentan o la variedad de técnicas que la experiencia les ha mostrado que son capaces de utilizar para resolverlos. En su lugar, los libros de texto, exhiben una colección de problemas-solución que los científicos profesionales han aceptado como paradigmáticos, pidiéndosele a los alumnos que, ya sea con lápiz y papel o en el laboratorio, los resuelvan utilizando los métodos y sustancias que han mostrado con anterioridad en sus páginas.

La ciencia normal privilegia el trabajo técnicamente preciso y lógicamente riguroso, y es alrededor de la cual se forman docentes y alumnos. Así se puede interpretar el currículo de química como educación científica normal con las siguientes características:

1] La educación científica normal prepara a los estudiantes para hacer ciencia normal.
2] La educación científica normal es la forma dominante y común con la que se enseñan las ciencias en prácticamente todos los ámbitos, lo cual la hace paradigmática.
3] La educación científica normal, de manera implícita, contiene normas respecto a la ciencia, la filosofía y la pedagogía.

Una característica importante del paradigmático currículo actual es la rígida relación existente entre las temáticas, las posturas filosóficas inherentes a la química y la pedagogía, lo que se manifiesta en la principal conclusión obtenida por el Foro Internacional, que hay que entender como un diagnóstico: "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,[9] no sin antes reconocer que, como integrante del Foro Internacional, la discusión allí sostenida fue de capital importancia para el desarrollo futuro de los planes de estudio de química en cualquier escolaridad. A pesar de lo

9 Como ya se indicó en las secciones anteriores: Hodson, 1994; Izquierdo, 2003; Gabel, 1999, etcétera.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 40 6/24/13 11:12 AM

limitado del grupo y complejo del proceso de discusión, los acuerdos obtenidos sobre los aspectos más generales permiten suponer que, con las precauciones del caso, el resultado es suficientemente provocador como para ser ignorado.

CONDICIONES PARA ESCAPAR DE LA POSICIÓN DOMINANTE DEL CURRÍCULO DE QUÍMICA

Para terminar el capítulo es pertinente retomar un texto de Bennett y Holman (2002, pp. 181-182) crucial en la discusión sobre el currículo entre los generalistas (aquellos que apoyan perfiles curriculares basados en el STS) y los especialistas (los defensores de la visión dominante, con alguna que otra variante):

> El mayor reto está por delante: el desarrollo de un currículo que promueva la alfabetización científica […] que satisfaga las necesidades de todos los estudiantes; los generalistas y los especialistas. Un currículo para la alfabetización científica […] representa el siguiente paso en el movimiento educativo centrado en el contexto. Para ello se requiere un enfoque completamente diferente. No es asunto de preguntarse qué aspectos del contexto pueden utilizarse para ilustrar o desarrollar aquellas ideas científicas presentes en los alumnos. Es necesario preguntarse qué explicaciones científicas e ideas acerca de la ciencia son necesarias para que los estudiantes le den sentido a su vida futura en un mundo dominado por la ciencia y excluir rigurosamente todo aquello que no cumpla este criterio de selección.

Para excluir rigurosamente todo aquello que no tendrá sentido en la vida futura de los estudiantes hay que tener muy claro qué es lo que se quiere mantener y cómo hacerlo. Derivado de su estudio sobre la visión dominante del currículo de química, Van Berkel (2000) propone tres condiciones para escapar del mismo:

1] *Para escapar se debe saber de dónde se escapa.* Esto requiere un análisis como el que brevemente se ha presentado en este capítulo y que se continuará en los siguientes.
2] *Para escapar hay que saber de qué se escapa.* Con esto se quiere decir que hay que construir una nueva visión del currículo de químí-

ca. Es necesario pensar de otra manera y asegurarse de que los alumnos —como lo ha dicho Claxton— aprendan bien (1994, p. 159): "La preocupación fundamental de una educación contemporánea útil debe centrarse en la capacidad de las personas de aprender bien. Cualquier otra prioridad, por muy apreciada que sea, que socave el compromiso de fomentar la habilidad para el manejo del cambio o nuestro éxito en hacerlo, deberá ser relegada o suspendida". Además de aprender bien, recientemente Bulte (2004) —en la misma dirección de lo que mencionaba Talanquer— indicó que en el salón de clases (o en los laboratorios) hay que recrear las actividades de los profesionales dedicados a la química, lo que reconoció como prácticas químicas: control de calidad, investigación, modelaje y diseño de productos químicos. Dicho de otro modo, la propuesta consiste en desarrollar química escolar (Izquierdo, 1999).

3] *Para escapar hay que saber cómo escapar.* Aquí el protagonista es el profesor, y sobre su formación hay mucho que decir (Chamizo, 2000b, 2004b). Bordieu, en obra conocida (Bourdieu, 1979), denunció la actitud pedagógica común, conforme a la cual los maestros no hacen más que reproducir (en realidad repetir) lo que ellos mismos aprendieron, y aquellos de sus alumnos que lleguen a ser maestros repetirán a su vez lo que aprendieron. De tal modo puede decirse que la pedagogía es repetición indefinida y raras veces creación. Tremenda paradoja no sólo aquí y nuestra, sino de este tiempo contradictorio que nos tocó vivir: fomentar la habilidad para el manejo del cambio mediante una pedagogía de la repetición.

Sobre esto, baste con mostrar uno de los resultados de una relativamente reciente investigación sobre las actividades experimentales (biología, física y química) que se realizan en las escuelas secundarias de México (García, 2001):

Un resultado que llama la atención fue el siguiente: los profesores con formación normalista narraron que egresaron del sistema educativo sin llevar a cabo actividades experimentales durante su carrera; la mayoría de ellos menciona que jamás incursionó en el laboratorio, a pesar de que se contaba con ello en la Normal Superior (que en México es la institución encargada de preparar a los docentes de educación básica). Una pequeña proporción

Chamizo_Paradoja_txt.indd 42 6/24/13 11:12 AM

de maestros menciona que sí los llevaron a conocer el laboratorio pero que nunca hicieron experimentos en él, lo que trajo como consecuencia que en los primeros años de su labor docente evitaran realizar actividades experimentales; posteriormente sólo llevaban a cabo los experimentos sugeridos por el libro y no se aventuraban a realizar otras actividades experimentales, debido a que sentían cierto temor, por no poder responder a las preguntas de sus alumnos, o bien porque no salían los experimentos tal y como se esperaba. El problema parece que se inicia en la formación de profesores, tal que no les permite desempeñar de manera óptima su labor docente.

Al menos en México el grado de conocimientos de química (alrededor de la visión dominante del currículo) es deficiente (Chamizo, 2004b) y, por lo informado por García, la calidad del trabajo experimental es pobre. Incluso las concepciones que los profesores tienen acerca de la ciencia son anticuadas y estrechas (Flores *et al.,* 2007). A pesar de numerosos esfuerzos por mejorar esta situación (Chamizo, 2006) los resultados han sido poco halagüeños. Por ello coincidimos con Bulwik (2000) en que:

> Cualquier iniciativa de reforma curricular, aun la más justificada y pertinente, puede pasar desapercibida a menos que los docentes encargados de aplicarla la comprendan y se comprometan con ella. Es por ello que el perfeccionamiento o capacitación docente debería entenderse como una estrategia para el cambio educativo.

Así, en este complejo camino del crecimiento académico, las propuestas de formación de profesores —fuera de lo convencional y que los involucren de manera clara— son difíciles de concretar. Un posible camino, que deberá ser probado para escapar, es el identificado con la investigación-acción (Latorre, 2007).

De la experiencia obtenida en la aceptación del currículo Salters en la Gran Bretaña, van Berkel y sus colaboradores indican que, para tener mayores posibilidades de éxito en el escape del currículo actual, se deben desarrollar proyectos de gran escala que implanten conjuntamente las tres condiciones. Esto es, articular una nueva visión, limitar el uso de la anterior y probar nuevas opciones en el aula, con profesores comprometidos con el cambio. Algunas ideas en este sentido ya se desarrollaron en la Universidad de Utrecht (De Vos *et al.,* 2002) con propuestas cercanas al aprendizaje basado en proble-

mas (asunto que se discutirá con mayor detalle en el capítulo 4) cuyo esquema básico se muestra en las figuras 2.1 y 2.2.

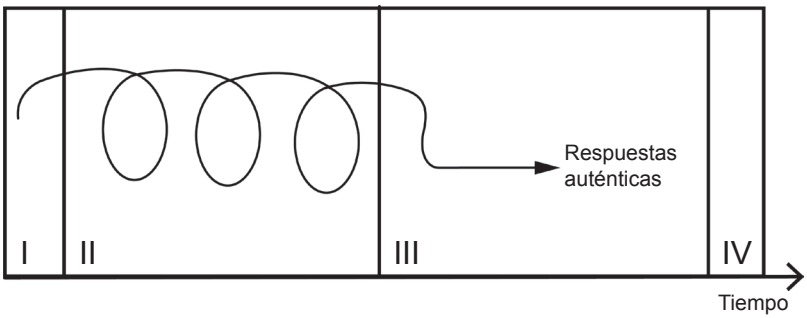


FIGURA 2.1. Currículo de bloques unitarios o unidades didácticas. se divide en cuatro partes: I. Concreción de un problema a partir de una pregunta; II. Identificación de conocimientos y habilidades básicas; III. Realización del proyecto; IV. Evaluación del proyecto. La espiral representa el proceso de los estudiantes para alcanzar una respuesta auténtica a la pregunta que se hicieron.

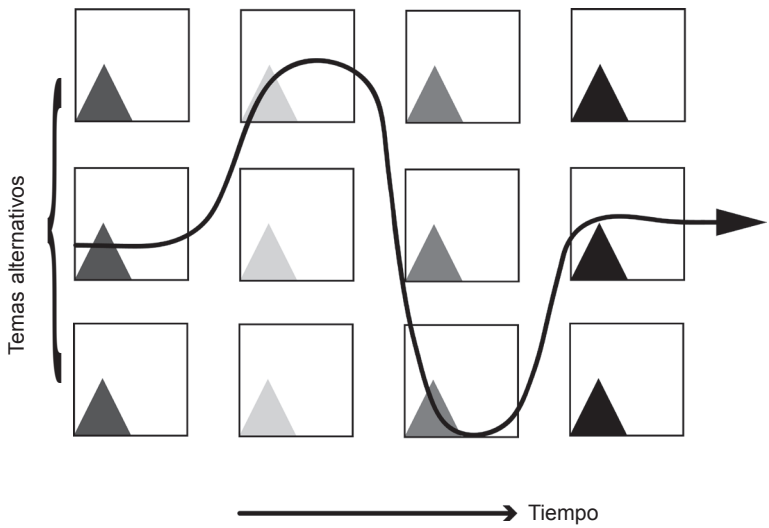


FIGURA 2.2. Una secuencia curricular consiste en diferentes bloques, entre los cuales pueden escogerse distintas rutas. la flecha representa un posible currículo en el que se eligieron temas o unidades didácticas alternativos pero semejantes (en las columnas) a lo largo del tiempo.

A MANERA DE RESUMEN

En este capítulo se ha identificado el origen del currículo actual de química, el que a partir de la segunda guerra mundial ha devenido, prácticamente en todo el mundo, en la posición única y dominante. El currículo de química es paradigmático. Una vez que la ambición de dicho currículo esconde una propuesta política de sumisión y no en enseñar bien, ni enseñar bien a la mayoría de los estudiantes, es inequívocamente excluyente. Por ello hay que escapar del mismo, conociendo de qué se escapa, de dónde se escapa y cómo se escapa. En los siguientes capítulos se presentarán opciones que buscan cumplir con estas condiciones. Retomando de nuevo a Kuhn en el terreno de la educación, una "revolución" está en proceso porque se está construyendo un nuevo paradigma. En la enseñanza de la química es tiempo de la herejía. También de la paradoja.

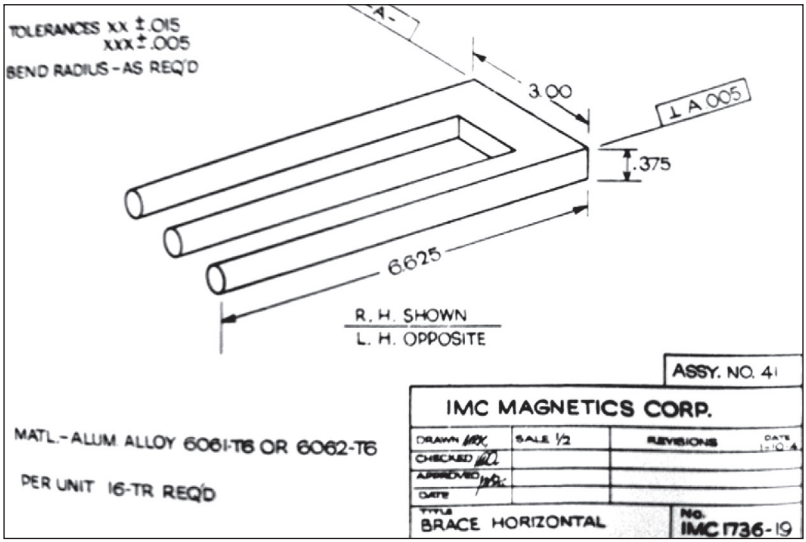
EDUCACIÓN-2

La escuela primaria seguirá siendo el lugar de aprendizaje de la sociabilidad. Será mucho más importante reducir en ella el número de alumnos por clase que dotarla de los últimos modelos de computadoras. La secundaria desaparecerá. La universidad se convertirá en una empresa de primera importancia que creará otras empresas, venderá servicios, publicará diarios y controlará y valorará patentes.

En la inmensa mayoría de los países será menester hallar aún recursos para la alfabetización y la enseñanza básica. Para los más ricos esta evolución abrirá un campo inmenso a la economía de la información. Pero también sus peligros son inmensos: los pueblos, las civilizaciones, las lenguas que consigan dominar antes y mejor estas nuevas industrias, las impondrán al resto del mundo y las otras culturas tenderán a desaparecer del mapa del mundo y de la historia.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 45 6/24/13 11:12 AM

3. DESDE EL POSITIVISMO LÓGICO HASTA LA TECNOCIENCIA EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA[1]



[1] La idea central de este capítulo apareció publicada en (Chamizo, 2007, 2011). Esos textos han sido ampliados y complementados.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 46 6/24/13 11:12 AM

ANTECEDENTES

> Su apertura a la diversidad de la razón ha llevado a Toulmin a una odisea a través de extraños mares y lejanos climas intelectuales.
>
> MARX W. WARTOFSKY

Este capítulo se centra en la contribución de Stephen Toulmin a nuestro conocimiento del desarrollo de las ciencias, el cual se acompaña por sus implicaciones en la enseñanza. Con sus más de ochenta años, su figura se levanta trascendiendo estas burdas clasificaciones propias de las facultades universitarias, con las que tanto ha peleado. Alejado de la pureza de las verdades absolutas, se le puede ver como un hereje que ha propuesto conceptos audaces en multitud de lugares y enfrentado numerosos grupos académicos cuya respuesta ha sido generalmente la descalificación, basados —muchas veces— en la estrechez de miras de sus propias disciplinas. Así los historiadores de la ciencia dicen que Toulmin es buen filósofo, los filósofos que es un retórico interesante, los axiólogos que es buen historiador, etc. Admirado por muchos, golpearlo e ignorarlo ha sido, sin embargo, una prometedora empresa en diversos círculos universitarios.[2]

Aquí, siguiendo un orden cronológico, revisaré sucintamente algunas de sus principales aportaciones a la enseñanza de la química, específicamente las que están relacionadas con la argumentación, la comprensión humana y la tecnociencia.

Stephen Toulmin nació en 1922 en Londres, donde estudió su licenciatura en física y matemáticas en el King's College. La aplicación de sus conocimientos científicos a un problema práctico se concretó cuando a los 20 años, y hasta el final de la segunda guerra mundial trabajó en un laboratorio que, entre otros asuntos, investigaba sobre el radar (dependiente de la Royal Air Force). En 1946 inició estudios de doctorado en filosofía en la Universidad de Cambridge. La herencia académica que ahí recibió tuvo dos vertientes que lo ocuparon el resto de su vida, aceptando una y cuestionando la otra; por un lado, el positivismo del siglo XIX, que pretendía establecer claramente la frontera entre ciencia y no ciencia (cuadro 3.1)

[2] Por ejemplo, Toulmin antecedió a Kuhn en el uso de la palabra paradigma para referirse a las tradiciones de las comunidades científicas.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 47 6/24/13 11:12 AM

CUADRO 3.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL POSITIVISMO LÓGICO

Sobre el conocimiento científico se pueden reconocer dos ámbitos diferentes: el contexto de descubrimiento (estudiado por diversas disciplinas: la sociología, la historia, la sicología, además de la propia filosofía) y el contexto de justificación (estudiado casi exclusivamente por la filosofía, en lo que se conoce como epistemología). La filosofía de la ciencia (entiéndase aquí el empirismo lógico) se ocupa fundamentalmente del segundo a partir de tres criterios complementarios:

1] El empírico-experimental, es decir, si algo no puede ser interpretado en términos de observaciones o mediciones, entonces no es considerado como científico, es metafísico.
2] El de inferencia lógico-matemático, que indica que si algo no puede ser reconstruido de manera deductiva, no es racional, no es científico.
3] El de teoría científica, con el que se asume que si un conjunto de argumentos no puede ser ordenado axiomáticamente, entonces la teoría que conforman es defectuosa o incompleta.

A partir de lo anterior se generan tres importantes consecuencias en la educación:

1] Debido a su naturaleza universal, el positivismo lógico asume que el conocimiento científico puede ser aplicado en todas las situaciones por cada uno en cualquier momento. Pero porque es ciego a las diferencias del poder, conflictos de intereses, diferencias de géneros y la variedad en el entorno cultural de la gente, asume una sociedad única ideal inexistente. Además, el positivismo lógico es sobre "la ciencia terminada", no sobre "el proceso de fabricación". La educación ocurre entonces en el contexto de justificación más que en el contexto de descubrimiento. No es sobre el trabajo científico, sino sobre los resultados científicos.
2] Los resultados científicos provienen del trabajo de grandes investigadores. De lo anterior se asumiría que la enseñanza de la ciencia considere de manera importante la historia de la ciencia. Sin embargo, ni el modo con que "los grandes investigadores" alcanzaron sus logros, ni las actitudes que fueron necesarias para hacerlo, ni el entorno en que lo realizaron son considerados en un curso convencional de ciencias.

Debido a que los procesos del quehacer científico no son abordados, no hay ningún espacio para el desarrollo de capacidades profesionales como el diseño de experimentos, la utilización de modelos, la evaluación de resultados experimentales, la discusión de interpretaciones alternativas, la argumentación, etc. Como la historia no es lógica es inútil.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 48 6/24/13 11:12 AM

CUADRO 3.1. (*continuación*)

3] El positivismo lógico intenta proporcionar una demarcación fuerte entre la ciencia y lo que no es ciencia. Por ello la tecnología no puede ser considerada parte de la ciencia. Esta última desarrolla los conocimientos derivados de la ciencia atendiendo problemas o necesidades sociales implicando opciones y decisiones fundadas sobre valores. En última instancia, las diversas sociedades utilizan las aplicaciones que las diferentes tecnologías han hecho disponibles. Esto quiere decir que el positivismo levantó una barrera entre la ciencia, por un lado, y la tecnología y la sociedad, por el otro.

En resumen, el positivismo lógico, corriente filosófica desarrollada por el denominado Círculo de Viena a principios del siglo XX, y sobre la que descansa la educación química actual, presupone una concepción del conocimiento, de las sociedades y de los ciudadanos que se vuelve estéril cuando se trata de convencer a los estudiantes de la relevancia de la química en su vida cotidiana (Van Alsvoort, 2004).

en lo que hoy se conoce como la concepción heredada sobre la naturaleza de la ciencia. Contra esta corriente filosófica, empírica en su contenido y lógica en su forma, Toulmin escribió hasta su muerte. La otra vertiente, relacionada con la importancia del lenguaje, provino del que fue su profesor en Cambridge y tal vez el filósofo más original del siglo XX, Ludwig Wittgenstein. Su tesis de doctorado, *El puesto de la razón en la ética*, bajo la fuerte influencia de este último, se volvió el primero de una gran cantidad de libros de Toulmin. Aquí abordó el asunto de la elección entre teorías rivales considerando que la confiabilidad predictiva, la coherencia y la conveniencia son criterios suficientes para ello. Posteriormente, comparando la ciencia con la ética indicó que los juicios científicos modifican las predicciones, mientras que los juicios éticos modifican las opiniones y la conducta. Para él, la ética es una parte del proceso por medio del cual se armonizan los deseos y las acciones de los miembros de una comunidad. Así, una comunidad abierta no sigue ciegamente un código de deberes, sino que los desarrolla, adaptándolos a las nuevas situaciones. Éste es el puesto de la razón en la ética. Para ello redefinió la figura del "moralista" como aquel que es capaz de reconocer cuándo un principio o institución ha perdido su utilidad y cuándo se necesita algo nuevo (Toulmin, 1964, pp. 249-250):

Chamizo_Paradoja_txt.indd 49 6/24/13 11:12 AM

No está bien que aceptemos sin crítica las presentes instituciones, pues deben evolucionar, igual que las situaciones a las que se aplican. Hay, por lo tanto, siempre un puesto en la sociedad para el "moralista" que critica la moralidad e instituciones del momento y defiende prácticas más cercanas a un ideal. El ideal que debe mantener ante sí es el de una sociedad en que no se tolere ni la pobreza ni la frustración. Los expertos en las ciencias naturales son quienes tienen que descubrir los medios de reducir la magnitud de la pobreza que hay en el mundo, proporcionando así nuevos canales de satisfacción y autorrealización, pero el testimonio de la ciencia sigue versando sobre lo que es practicable, es decir, sobre hechos: lo que es o podría ser, no sobre lo que debiera ser. En las manos del moralista es donde esta posibilidad se convierte en su función propia, donde "se puede hacer" se convierte en "se debe hacer". Hace falta toda su experiencia y sabiduría para salvar la distancia entre los hechos y los valores, pero se puede salvar.

En 1949 empezó a dar clases sobre filosofía de la ciencia en la Universidad de Oxford. Allí, siguiendo lo que en sus propias palabras era una tradición familiar, un asunto de conversación durante la comida, inició la que sería otra de sus líneas de trabajo relacionada con la historia de las ideas. En 1953 publicó *La filosofía de la ciencia,* su segundo libro, cuya crítica al predominante formalismo filosófico descontextualizado y ahistórico fue ignorada.[3] De hecho, ha sido

[3] Como ya se dijo en el capítulo anterior, la posición dominante sobre el currículo, esto es, la educación química normal, se sustenta filosóficamente en el positivismo lógico originado alrededor del Círculo de Viena (Van Berkel *et al.,* 2000). Sobre esta corriente, diversos investigadores educativos han manifestado en los últimos años sus particulares desacuerdos; por ejemplo, Driver *et al.* (2000, p. 289) indican: "La visión 'positivista' de la ciencia, destacando el recuerdo de los hechos mediante experimentos confirmatorios, niega el papel de los relatos históricos y sociales de la ciencia, y la presenta como una sucesión lineal de descubrimientos exitosos. Las aplicaciones de la ciencia y sus implicaciones sociales se limitan simplemente a ilustrar la 'utilización' de los conocimientos científicos". De manera más contundente Van Aalsvoort (2004, p. 1158) indica: "El positivismo lógico supone que el conocimiento científico puede ser aplicado en todas las situaciones por todas las personas en todo momento, debido a su carácter universal. Por lo tanto, es un tipo especialmente valioso de conocimiento. La tecnología desarrolla aplicaciones de los conocimientos científicos con miras a las necesidades o problemas sociales, lo que implica elecciones y decisiones basadas en valores. Por lo tanto, la tecnología no puede ser considerada parte de la ciencia. La sociedad, al menos, utiliza las aplicaciones que, provenientes de la tecnología, se han puesto a disposición. Esto significa que el positivismo lógico construye una brecha entre la ciencia por un lado, y la tecnología y la sociedad por el otro".

Chamizo_Paradoja_txt.indd 50 6/24/13 11:12 AM

considerado un precursor de las que, en su momento, fueron nuevas corrientes de pensamiento que, reconociendo la importancia de la historia en la filosofía, a partir del decenio de 1960, iba a representar una importante opción a la concepción heredada. La figura más importante de esta corriente fue Thomas Kuhn (Kuhn, 1971),[4] aunque, al igual que Toulmin, no se puede olvidar al científico comunista inglés John D. Bernal, marginado en su país y considerado el fundador de la corriente de estudios de ciencia y tecnología con fuertes connotaciones políticas. En su muy influyente libro *La ciencia en la historia,* publicado en 1954, Bernal indica (1972, p. 37):

El curso de los acontecimientos nos plantea, cada vez con mayor insistencia, ciertos problemas sobre la ciencia, como son los siguientes: el empleo apropiado de la ciencia en la sociedad, la militarización de la ciencia, las relaciones de la ciencia con los gobiernos […] la posición de la ciencia en la educación y en la cultura, en general. ¿Cómo se resuelven estos problemas? Las tentativas que se han hecho para darles soluciones recurriendo a principios aceptados o a verdades evidentes por sí mismas, sólo han servido para producir confusión […] para que sea consciente [la solución] debe implicar un conocimiento profundo de todas las relaciones existentes entre la ciencia y la sociedad, para lo cual se requiere desde luego conocer la historia de la ciencia y de la sociedad.

[4] Una de las razones del fracaso de integrar curricularmente la actividad científica profesional en un proyecto sociocultural, es que lo que se conoció durante una buena parte del siglo xx como filosofía de la ciencia, fue la posición dominante originada alrededor del Círculo de Viena. Recientemente se han estudiado sus orígenes históricos, particularmente los textos en alemán de sus fundadores entre los que sobresale Otto Neurath. Así resulta lo que dice George Reisch (2009, p. 27): "Dado que ahora sabemos que el empirismo lógico fue originalmente un proyecto filosófico con ambiciones culturales y sociales, nos encontramos en el momento oportuno para preguntarnos cómo fue transformada la disciplina y cómo se perdieron estas ambiciones culturales y sociales. La respuesta que se defiende aquí es que fue transformada durante la década de 1950 al menos parcialmente, si no principalmente, por presiones políticas que eran comunes a lo largo de toda la vida cívica, así como también de la vida intelectual, durante la guerra fría que siguió a la segunda guerra mundial. En gran parte, estas presiones llevaron al empirismo lógico a deshacerse de sus compromisos culturales y sociales debido al cambio en el movimiento de Unidad de la Ciencia de Neurath. El movimiento no era meramente un frente público y científico para un programa que de otro modo hubiera sido filosófico e independiente. Contribuyó a determinar qué clase de preguntas y temas de investigación eran perseguidos, y cómo eran perseguidos, en el corazón de la filosofía de la ciencia".

Chamizo_Paradoja_txt.indd 51 6/24/13 11:12 AM

Los casos de intelectuales ingleses tan diferentes como Toulmin y Bernal[5] ejemplifican cómo la única manera de concebir el mundo después de la segunda guerra mundial, con su secuela de guerra fría, condujo al empirismo lógico a deshacerse de sus compromisos culturales y sociales originales.[6] Lo anterior contribuyó a determinar qué clase de preguntas y temas de investigación eran perseguidos en el corazón de la filosofía de la ciencia. Después de tantos años, hoy es posible trazar la línea ideológica que entronizó a una postura filosófica que se traicionó a sí misma. La filosofía original del Círculo de Viena devino en la filosofía de la ciencia académica del mundo anglosajón que, para poder sobrevivir, se acomodó a las condiciones

[5] Reconociendo la importancia de su legado, tan cuestionado en su propio momento pero muy apreciado posteriormente por sus colegas en todo el mundo, desde 1981 la Society for Social Studies of Science ha entregado el premio J. D. Bernal a algunos de los filósofos de la ciencia más influyentes, entre los que destacan Robert K. Merton, Thomas Kuhn, Bruno Latour y Steve Shapin. Con ello queda claro, y el caso de Bernal es sólo un ejemplo, que durante la guerra fría en la mayoría del mundo intelectual anglosajón se llevó a cabo una purga que entronizó una filosofía de la ciencia que defendía analíticamente su superior pureza centrada en la metodología y en la reducción de las diversas disciplinas científicas a la física. Como lo indica el filósofo español Javier Echeverría (2003): "La reducción de unas ciencias a otras era el objetivo fundamental del Círculo de Viena en su proyecto de elaboración de una ciencia unificada. Del mismo modo que Frege, Russell y la escuela formalista de Hilbert habían reducido las matemáticas a la lógica […] las ciencias empíricas debían ser reducidas a lenguaje fisicalista, e incluso algunas ciencias a otras, como las ciencias sociales a la psicología (entendida al modo conductista) y ésta, a su vez, al fisicalismo. La impronta del positivismo de Comte, aunque muy lejana, seguía dejándose notar".

[6] Por ejemplo, Sonia Durand indica (2010, pp. 88-89): "La mayoría de estos intelectuales eran judíos, y el odio antisemita fue un telón de fondo hasta que las condiciones históricas los colocaron como primeras figuras, situación que conduce a la disgregación del movimiento intelectual. El triunfo del nazismo, con sus teorías seudo científicas sobre la raza superior los obligó al exilio […] algunos de sus miembros (como Carnap) partieron para Estados Unidos […] pero los servicios de inteligencia estaban informados de su pensamiento y le pusieron condiciones: que no relacionara el cálculo lógico con la política. Con lo cual lo obligaron a dedicarse a la formalización de las teorías, a la lógica simbólica y al cálculo. Las propuestas sociales, de contenido socialista, no eran bien vistas, de modo que la investigación que se mantuvo fue aquella relativa a los aspectos formales del lenguaje científico […]. Lo que fue un movimiento con aliento revolucionario, o por lo menos de control de las nuevas fuerzas autoritarias nacientes, se convirtió en un dogma científico conservador. Este exilio mostró la ineficacia de las armas lógicas contra el nazismo, pero también contra el maccarthysmo norteamericano […] la ciencia es una, no solamente por su método sino también por su lenguaje".

Chamizo_Paradoja_txt.indd 52 6/24/13 11:12 AM

sociales que el gobierno de posguerra estadunidense impuso a sus ciudadanos.[7] Resulta paradójico que, al negar las relaciones entre la ciencia y la sociedad, sobreviviera. Y eso es lo que varias generaciones de estudiantes de ciencias aprendimos en las aulas y que aún se está enseñando (Chamizo y Garritz, 2012).

Después de Oxford, Toulmin fue profesor visitante en la Universidad de Melburne, Australia, para obtener posteriormente una plaza en el departamento de filosofía de la Universidad de Leeds, Inglaterra, donde publicó su controvertido *The Uses of Argument*, texto fuertemente criticado por sus compañeros filósofos británicos pero también ampliamente aclamado, algunos años después, por los retóricos estadunidenses.

En 1965 emigró a los Estados Unidos, donde trabajó hasta su muerte. Escribió con June Goodfield, su esposa, tres importantes textos relacionados con la historia de la ciencia (Toulmin y Goodfield, 1961a; 1962; 1965) y otros muchos sobre filosofía de la ciencia, incursionado en asuntos de ética y moral, particularmente relacionados con la medicina. Lo anterior sin olvidar la validez de su primer trabajo sobre la argumentación y la importancia del lenguaje en las actividades humanas. Siempre en el centro de las controversias, en la crítica a uno de sus libros (*Foresight and Understanding*) se indicó (Achistein, 1963, pp. 408 y 410):

> El libro examina dos asuntos principales: los fines de la ciencia y los criterios para evaluar las teorías. Rechazando la tesis de que todas las ciencias tienen un único propósito, Toulmin, sin embargo, propone concentrarse en la noción de explicación que para él resulta de particular importancia […]. ¿Qué hace que una teoría sobreviva? Y en la respuesta a esta pregunta (para la cual Toulmin sorprendentemente rehúsa contestar considerando que su tarea es únicamente formularla) debemos tener en cuenta la evolución de las ideas científicas y el hecho de que alguna idea que en su momento se

[7] Como lo indica George Reisch (2009, p. 458): "Si estos mecanismos que transformaron la filosofía de la ciencia hubieran sido desviados, expuestos o contraatacados de alguna manera, si la profesión no sólo hubiera permitido, sino también alentado a sus luces más brillantes a completar su labor técnica en filosofía, con análisis de los asuntos y de los debates públicos, uno no podría sino preguntarse si los planes de la filosofía científica de contribuir a hacer realidad un público más informado científica y epistemológicamente, y tal vez un mundo más pacífico, económicamente estable y justo, no hubieran parecido tan ingenuos e ilusos como parecen hoy".

Chamizo_Paradoja_txt.indd 53 6/24/13 11:12 AM

consideró inútil, alcanzara considerable mérito en la medida que la teoría se desarrollaba.

A pesar de la constante objeción de sus críticos, sobre su recurrente actividad por descubrir o plantear problemas y no resolverlos, fue aclamado por diversas comunidades académicas designándolo como profesor distinguido en muchas universidades, entre las que destacan Columbia, Northwestern, Stanford y Chicago. En los últimos años también recibió diversos reconocimientos académicos en Holanda, Austria y Suecia. Cuando en 1971 publicó su tal vez más importante texto sobre filosofía de la ciencia, *La comprensión humana. El uso colectivo y la evolución de los conceptos,* adelantando que lo continuarían otros dos volúmenes (asunto que no ocurrió), identificó la tesis central de su pensamiento (Toulmin, 1977, p. 12):

> Que en la ciencia y la filosofía por igual, la preocupación exclusiva por la sistematicidad lógica ha resultado destructiva para la comprensión histórica y la crítica racional. Los hombres demuestran su racionalidad, no ordenando sus conceptos y creencias en rígidas estructuras formales, sino por su disposición a responder a situaciones nuevas con espíritu abierto, reconociendo los defectos de sus procedimientos anteriores y superándolos. Aquí, nuevamente, las nociones fundamentales son las de "adaptación" y "exigencia", más que las de "forma" y "validez".

En 1974 integró la National Commission for the Protection of Human Research Subject, instalada por el Congreso de los Estados Unidos para establecer recomendaciones sobre la investigación científica en humanos y que concluyó con el *Reporte Belmont,* de donde surgiría posteriormente la bioética académica. Como ha indicado Vázquez (2004, p. 9): "Hoy día es un lugar común afirmar que la medicina, según la célebre frase de Stephen Toulmin, ha venido a salvar la vida de la ética". Allí afinó su caracterización del "moralista", más que como un individuo, como un grupo de personas versadas en el asunto en cuestión, donde unos deberán tener más tintes de ingeniero, otros de artista y otros de sicólogo.

En los últimos años su trabajo se centró en la razón práctica, particularmente en la medicina, pero también en otras disciplinas y en la evolución histórica de las humanidades, ejemplificada en el siglo XVI por Erasmo, Tomas Moro, Montaigne, Cervantes y Shakespeare.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 54 6/24/13 11:12 AM

El contraste entre la particularidad concreta del humanismo del siglo XVI y la generalidad abstracta de las ciencias exactas del siglo XVII es fundamental en su análisis de la "modernidad". Así explica el ascenso social de las ciencias exactas como la respuesta a la profunda crisis del siglo XVII, caracterizada, entre otras cosas, por la brutalidad de la guerra de los treinta años y que el acuerdo de Westfalia, con sus ideales estáticos de orden acerca de la naturaleza y la sociedad, estableció en 1648 (Toulmin, 2001, p. 156):

> Del tratado de paz de Westfalia apareció la forma de ver el mundo en el que vivimos hoy en día, una forma tan familiar que olvidamos que alguna vez fue nueva. La paz introdujo tres nuevos elementos: un sistema de Estados, una política específica para las relaciones entre los Estados y las Iglesias y el concepto de pensamiento racional […] estos tres elementos formaron un solo paquete ideológico, de manera que el cuestionamiento de uno de sus componentes por separado se reconocía como un ataque a todos ellos.

En su último libro, *Return to Reason,* publicado en 2001 y reimpreso en 2003, Toulmin hace un recuento de algunas de sus ideas más importantes bajo el esquema de lo racional y lo razonable. Para él, durante el siglo XVI los argumentos razonables y bien sustentados, lo que se puede identificar como el conocimiento práctico, tenían tanta aceptación como las demostraciones matemáticas más rigurosas. Simplemente respondían a necesidades diferentes. Sin embargo, el siglo XVII vio emerger *el encumbramiento de la certeza,* la racionalidad que desplazó a la equidad anterior para dar un valor y reconocimiento superiores a los procedimientos matemáticos, particularmente en la física, con los que se pretendió dar respuestas a todas las áreas del conocimiento humano, incluyendo el económico, el sociológico e incluso el moral.

Asimismo, Toulmin encuentra muy limitada la idea convencional de racionalidad como aquella en la que los argumentos se centran en conceptos abstractos y las explicaciones apelan a leyes universales, neutrales, atemporales y descontextualizadas. Por otro lado, la razonabilidad, caracterizada por su interés en las narrativas específicas, contextualizadas, éticas y temporales, parece complementar esta "parcial" y tan en boga racionalidad. Toulmin resuelve el asunto proclamando que el regreso a la razón consiste en el reconocimiento de lo que de razonable hay en nosotros. De manera general y simplificada se puede

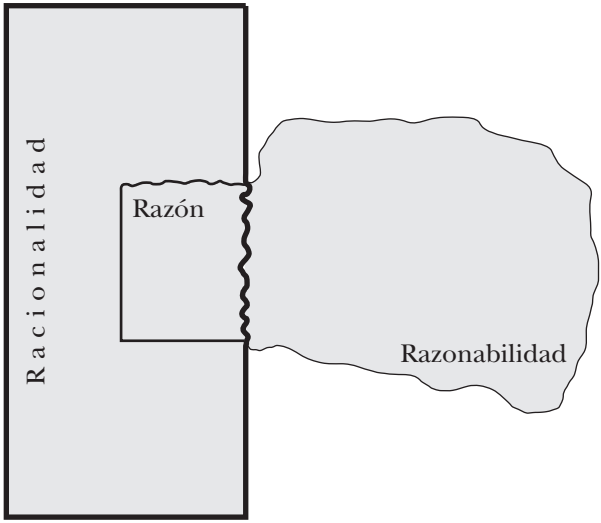


FIGURA 3.1. Componentes de la razón (Chamizo, 2007).

decir que la racionalidad responde a lo universal, abstracto, atemporal, necesario y unívoco, mientras que la razonabilidad a lo particular, concreto, presente, contingente y diverso (figura 3.1).

Así, el futuro queda abierto y las sociedades pueden construir escenarios sobre los distintos mundos posibles (Toulmin, 2001, p. 306): "Podemos descartar sueños de claridad eterna, regresar al mundo de dónde y cuándo, retomar contacto con la experiencia cotidiana y afrontar nuestras vidas y nuestros asuntos día a día".

Una aplicación de estas ideas en la enseñanza de las ciencias ha sido desarrollada recientemente por Izquierdo y Aliberas (2004) (cuadro 3.2).

De cara al futuro, Toulmin indica que éste no pertenece, por ejemplo, ni al médico experto en bioquímica molecular, como tampoco al economista experto en el cálculo de las tasas de interés necesario para mantener el retorno de tal o cual inversión. El interés en el rigor teórico (es decir, racional) será sustituido por un equilibrio diferente donde los valores y los ideales (relacionados con la razonabilidad) serán fundamentales (Toulmin, 2001, p. 214): "El futuro no pertenece tanto a los pensadores puros que se contentan

CUADRO 3.2. ASPECTOS FUNDAMENTALES A CONSIDERAR EN UNA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA RACIONAL (CON LA QUE SE APRENDA A PENSAR MEDIANTE MODELOS CIENTÍFICOS) Y RAZONABLE (A PARTIR DE PREGUNTAS QUE TENGAN SENTIDO PARA LOS ESTUDIANTES). MODIFICADO DE IZQUIERDO Y ALIBERAS (2004).

- *Concepciones actuales de la ciencia.* Donde se destaca el cambio de la idea tradicional de la ciencia como conocimiento a la ciencia como actividad humana transformadora de la realidad.
- *La ciencia escolar.* La que corresponde a los conocimientos construidos y elaborados en el entorno escolar. No es la ciencia tal cual de los científicos, sino una reconstrucción de ésta, que tampoco es un reflejo de los saberes cotidianos de los alumnos. Aquí la idea principal es la de transposición didáctica.
- *Resolución de problemas tanto teóricos como prácticos.* Los alumnos abordan su resolución de manera razonable de acuerdo con las condiciones particulares en las que se encuentren (edad, infraestructura, material, tiempo, etc.), reuniendo para ello la teoría y la práctica, y expresando sus soluciones con el mejor uso posible del lenguaje.

—como mucho— con consignas optimistas o pesimistas; es más bien una provincia para profesionales reflexivos que están dispuestos a actuar siguiendo sus ideales".

SOBRE LA ARGUMENTACIÓN

En el prefacio de la edición de 2003 de su *The Uses of Argument,* Toulmin indica que su intención original al escribirlo en 1958 era criticar la suposición de muchos filósofos angloamericanos de que cualquier argumento significativo debía expresarse en términos formales. Con este punto de partida el contraataque de los filósofos académicos fue contundente (uno de sus colegas en la Universidad de Leeds lo llamó el "libro antilógico de Toulmin") y terminaron ignorándolo. Sin embargo, pocos años después fue redescubierto en los Estados Unidos por los especialistas en comunicación, donde se convirtió en todo un hito. Desde entonces el denominado "modelo de Toulmin" de argumentación ha sido motivo de una gran cantidad de artículos, libros y cursos.

La importancia del lenguaje y la argumentación en la enseñanza de las ciencias fue manifiestamente reconocida hace más de un decenio (Lemke, 1990; Sutton, 1997; Jiménez-Aleixandre, 1998) y su papel protagónico en la enseñanza de las ciencias fue defendido por Driver (1999, p. 291):

> Si el objetivo central de la educación en ciencias es persuadir a los alumnos a buscar evidencias y razones para las ideas que tenemos y considerarlas seriamente como guías para la certidumbre y la acción, entonces al basarnos en la autoridad tradicional no sólo caricaturizamos las normas de la argumentación científica sino que también distorsionamos la naturaleza de la autoridad de la ciencia.

Una vez que para ella, pionera en la investigación sobre las "ideas previas" de los alumnos (Driver, 1999; p. 296): "La actividad principal de los científicos es evaluar cuál de entre dos o más modelos rivales encajan con la evidencia disponible y por lo tanto cuál representa la explicación más convincente para determinado fenómeno en el mundo".

Como lo han demostrado Latour y Wolgar (1995) en su minuciosa descripción del trabajo de investigación en los laboratorios de ciencias, lo que hacen los científicos es aclarar de entre diversos y muchas veces confusos resultados aquellos que parecen ser los más relevantes para resolver el problema en el que están trabajando. Para hacerlo argumentan, una y otra vez entre ellos, hasta que una postura resulta ser suficientemente convincente para "todos". La práctica de la ciencia (Hodson, 1994) requiere de una argumentación racional. Lo anterior plantea un problema, particularmente para aquellos docentes vinculados con la enseñanza de las ciencias. Ellos, que tenían la exclusividad del saber, hoy la han perdido o la están perdiendo ante la explosión de más y mejor información que hay en libros, videos, museos, computadoras e Internet (Chamizo, 2000).[8] Ante

[8] Por ejemplo, la cantidad de información está creciendo casi tan rápido como se desarrollan las nuevas tecnologías. Se ha calculado que hoy en día una persona "normal" procesa más información en 24 horas que otra persona "normal" en toda su vida hace 500 años, momento en el que se establecieron de manera clara los fundamentos de las universidades. Al inicio del siglo XXI un estudiante estadunidense promedio, de 21 años, ha pasado 10 000 horas con videojuegos, enviado 20 000 emails, visto 20 000 horas de televisión, hablado 10 000 horas por medio de un teléfono celular y menos

Chamizo_Paradoja_txt.indd 58 6/24/13 11:12 AM

demandas que cambian y que requieren que sus estilos también lo hagan, muchos docentes se encuentran ante una crisis de identidad y se repliegan a su posición de autoridad.

Contra esta respuesta simple, que contraviene también la tradición del pensamiento científico, hay que enseñar a los alumnos a argumentar de manera competente, para ello hay que proporcionarles las herramientas y la práctica necesarias para que puedan hacerlo. Por ello hay que argumentar en las aulas. Como Kress y colaboradores han indicado (1998), el mundo *no habla por sí mismo*, particularmente cuando el maestro trata de convencer a sus alumnos, por ejemplo, de que la materia es discontinua, o que el movimiento de los objetos es permanente o que por más que estiremos el cuello no nos crecerá como a las jirafas.

Ya hay una enorme cantidad de evidencia aportada por la investigación educativa sobre las "ideas previas" de las personas y de las dificultades que hay que enfrentar para transformarlas (ideasprevias, 2002; Kind, 2004). En consecuencia, no es suficiente con reconocerlas y enunciar las ideas "correctas" (de hecho éste es un error frecuente en el que caen muchos docentes ante la exigencia social de transmitir "la verdad" anclada en el contexto de justificación); hay que iniciar un largo, intenso y creativo proceso de intervención en el aula, en el cual la argumentación, como ya se ha demostrado, es sin duda importante (Driver, 2000). El anterior es un camino complejo ya que prescindir de la autoridad es difícil, porque deja al docente impotente, o con la única potencia que él es capaz de crear.

De acuerdo con el *Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua*, un argumento es un "razonamiento que se emplea para probar o demostrar una proposición, o bien para convencer a alguien de aquello que se afirma o se niega".

El silogismo fue una de las aportaciones de Aristóteles a la cultura occidental como una forma lógica de argumentación y que consiste en dos proposiciones y una consecuencia. La primera proposición se denomina *mayor* o *general*, mientras que la segunda se llama *menor* o *particular*. De estas dos proposiciones se construye la deducción. Un ejemplo de silogismo clásico es: todas las sustancias están constituidas

---

de 5 000 horas leyendo (Rodgers *et al.*, 2006). A principios de 2012 los teléfonos celulares ya eran la *comodity* mundial número uno, delante de las tomas de agua potable o de electricidad.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 59 6/24/13 11:12 AM

por átomos (primera proposición); el agua es una sustancia (segunda proposición); por consiguiente, el agua está constituida por átomos.

A pesar de que esta forma de argumentar aún se utiliza en la actualidad, tiene un gran problema por su pretensión de universalidad, que no siempre se puede sustentar y que se encuentra presente en la proposición mayor o general. Por ejemplo el silogismo: todos los ácidos contienen oxígeno (proposición mayor), el ácido muriático (HCl) no contiene oxígeno (proposición menor); por consiguiente, el ácido muriático no es un ácido… es inaceptable para cualquier estudiante de química. Por la anterior razón, el filósofo inglés J. Stuart Mill, a mediados del siglo XVIII, consideró a los silogismos estériles y propugnó por la inducción, como la forma científica de conocer.

Hay diferentes formas de argumentar según el campo del saber (las diferentes ciencias, las matemáticas, el derecho, la ética) en el que se construye el argumento. Sin embargo, para Toulmin (2003) hay partes de los argumentos que son generales para todos los campos (y que son las que aquí revisaremos) y otras particulares a cada campo.

Cuando una persona hace una afirmación, y se compromete con lo que su dicho asevera, la seriedad con la que los demás tomen esa aseveración dependerá de varios factores, por ejemplo su reputación, su edad, o sus títulos académicos, políticos o religiosos. Sin embargo, a pesar de lo anterior, la mejor forma de determinar si una afirmación debe ser seriamente considerada es revisando la base en la que se sustenta, desafiando sus "credenciales" y solicitando un argumento que la avale. Así, en principio, como un argumento es el conjunto de razones que se dan a favor o en contra de una aseveración, cuando la afirmación es puesta en duda la persona que la hizo podrá apelar a los hechos y presentarlos para demostrar lo que ha dicho. Tomando en cuenta lo anterior, Toulmin distingue entre la conclusión *(C)* del argumento y los hechos a los que apelamos como sustento de nuestra conclusión, los datos *(D)*.

Ahora bien, la conclusión de un argumento puede ser cuestionada no sólo a partir de los datos que la apoyan sino, por ejemplo, sobre cómo se llegó con esos datos a tal conclusión. Así, la tarea ya no es traer a colación más datos sino ciertas reglas o, mejor, afirmaciones hipotéticas que funcionen como puentes entre los datos y la conclusión. Estas afirmaciones suelen ser de la forma: "dados los datos *D* se

Chamizo_Paradoja_txt.indd 60 6/24/13 11:12 AM

puede aceptar que *C*". Toulmin llamará "garantías" *(G)* a estas reglas o principios. Con lo anterior se tiene el primer esquema que permite analizar los argumentos. Con una flecha Toulmin simboliza la relación que hay entre los datos *(D)* y la conclusión *(C)* que sustentan. Por otro lado, Toulmin indica la garantía *(G)* que apoya tal vínculo entre datos y conclusión, escribiéndola debajo de la flecha. En la figura 3.2 se muestra lo anterior incluyendo las mismas aseveraciones utilizadas en el ejemplo del silogismo. He aquí una de las grandes ventajas para la enseñanza de las ciencias de la estructura de argumentación de Toulmin, que requiere, de manera general, para alcanzar una conclusión (o como se discutirá más adelante para refutarla), el empleo coordinado de la teoría *(G)* y de la evidencia empírica *(D)*.

Hay que hacer notar que en los argumentos se apela explícitamente a los datos para justificar una conclusión. A la garantía se apela implícitamente. Las garantías, además, son generales y certifican la validez de todos los argumentos de un mismo tipo y son establecidas de forma muy distinta a los hechos que usamos como datos para sustentar nuestras conclusiones. Así, y esto es crucial, si en un campo de argumentación algún interlocutor no acepta ninguna de nuestras garantías, entonces será imposible someter los argumentos del campo en cuestión a cualquier tipo de valoración racional. Si en el aula estamos dispuestos a tener una argumentación racional, hay que establecer de antemano la aceptación de las garantías.

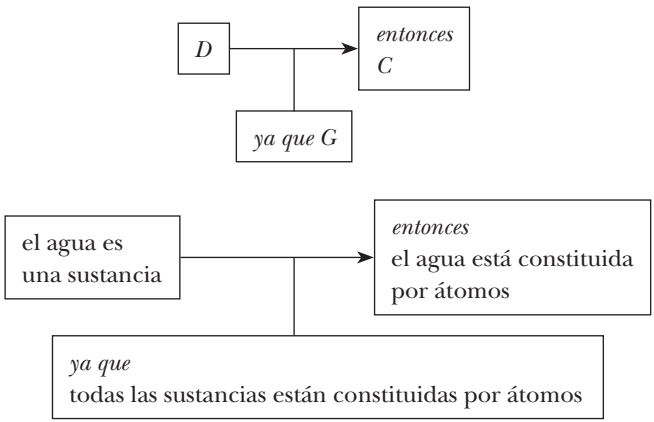


FIGURA 3.2. Datos, garantía y conclusión de un argumento.

Ambas formas de argumentar, en los silogismos y en la estructura de Toulmin, consisten en tres partes, en principio. La conclusión para Toulmin es la deducción del silogismo, mientras que los datos o la evidencia corresponden a la premisa menor, y la garantía a la premisa mayor.

A pesar de las similitudes, las diferencias son muy importantes y en eso estriba su valor en el terreno educativo. Una tiene que ver con el lenguaje. En la estructura de Toulmin el uso de la palabra *garantía* indica que la validez de la proposición debe ser establecida para garantizar efectivamente la conclusión. Como ya se dijo, representa el acuerdo mínimo del cual partir. Es el puente necesario para pasar de los datos a la conclusión una vez que, volviendo al ejemplo antes enunciado, deja clara la razón por la cual se puede afirmar que el agua está constituida por átomos. La garantía, al responder a la pregunta ¿cómo llegamos aquí?, obliga a los estudiantes a reconocer y evidenciar la "certeza" de los datos que están utilizando para llegar a una conclusión.

Asimismo, el uso de datos por Toulmin, en lugar de la aristotélica premisa menor, le indica a la persona que argumenta que requiere de evidencia empírica. En el proceso de aprendizaje esta parte es fundamental una vez que ancla, metafóricamente, la discusión al responder a la pregunta ¿qué tenemos? Finalmente, la conclusión puede construirse como la respuesta a la pregunta ¿qué se está tratando de probar? Así, a partir de tres preguntas diferentes, los alumnos están en condiciones de argumentar de acuerdo con la secuencia de pensamiento: a partir de lo que tenemos, qué se quiere probar y cómo podemos hacerlo, o también que se quiere probar, a partir de lo que tenemos y cómo podemos hacerlo.

Otra diferencia tiene que ver con la forma en la que se presenta la estructura de Toulmin a los alumnos, a partir de un esquema en el que se sugiere que el argumento va de los datos a la conclusión, apoyado por la garantía. Contra este movimiento el silogismo aparece estático.

La última e importantísima diferencia entre los silogismos y la estructura de Toulmin reside en que además de las tres partes básicas comunes a ambos, Toulmin añade otras tres que permiten matizar y precisar los alcances de la conclusión y que, por lo mismo, son de tremenda utilidad en las aulas. Hay que señalar que hay varios tipos de garantías y que cada una confiere distintos grados de fuerza a la

Chamizo_Paradoja_txt.indd 62 6/24/13 11:12 AM

conclusión que justifica. Así, dados los datos apropiados, algunas garantías permiten afirmar "necesariamente" una conclusión, mientras que otras llevan a conclusiones de manera tentativa o con algunas restricciones o excepciones. Con estas últimas se usan calificativos como "posiblemente" o "probablemente".

Por lo anterior, habrá que mostrar explícitamente el grado de fuerza que los datos confieren a la conclusión en virtud de la garantía que se aporta. Para ello se puede utilizar un calificativo modal *(Q),* pero también excepciones y condiciones de refutación *(R).* Estos últimos son distintos a la garantía, pues lo que hacen es comentar de forma implícita el alcance que tiene la garantía al apoyar el paso que se da entre datos y conclusión. Los calificativos modales indican el grado de fuerza que la garantía confiere al paso, y las excepciones y condiciones de refutación indican las circunstancias en que la autoridad general de la garantía tendrá que ser hecha a un lado. Hay, sin embargo, un punto débil, no ya sobre el sustento de la conclusión sino sobre la garantía que avala el paso desde los datos hasta la aseveración final. Por ello, también la garantía debe tener sustento *(S).* Este sustento variará de un campo de la argumentación a otro. Así, un esquema completo, con su respectivo ejemplo, quedará como se muestra en la figura 3.3.

El sustento de la garantía es bien distinto a la garantía. Esta última es una afirmación hipotética que sirve como puente entre los datos y la conclusión. En cambio, los sustentos de las garantías pueden ser expresados como afirmaciones categóricas de hechos, de manera muy similar a como se presentan los datos que apoyan las conclusiones. En ciencias, el sustento es la teoría y los modelos que sostienen la garantía.

Actualmente se ha reconocido que la argumentación es importante en el desarrollo de la ciencia (Lawson, 2003)[9] y que el público en general puede participar en los debates en torno a la ciencia y el medio ambiente si sabe argumentar de manera adecuada (Jiménez-Aleixandre y Pereira-Muñoz, 2002; Osborne *et al.,* 2004). Garritz (2009, p. 101) lo ha indicado así:

Concluimos esta editorial (sobre la argumentación) con el convencimiento de que la clase dialógica tiene mucho sentido para la formación de los estu-

[9] Por ejemplo, en 2009 el número 20 de la revista *Educación Química* fue dedicado totalmente al tema.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 63 6/24/13 11:12 AM

diantes, no sólo porque les permite practicar su lenguaje y escritura, que ya es un magnífico beneficio, sino también porque los motiva a escoger sus mejores argumentos. Esta cuestión es muy importante no sólo para el avance de su concepción sobre la ciencia, mas para ordenar el estatus de sus ideas, no únicamente en relación con los contenidos, sino sobre su importancia para el desarrollo profesional.

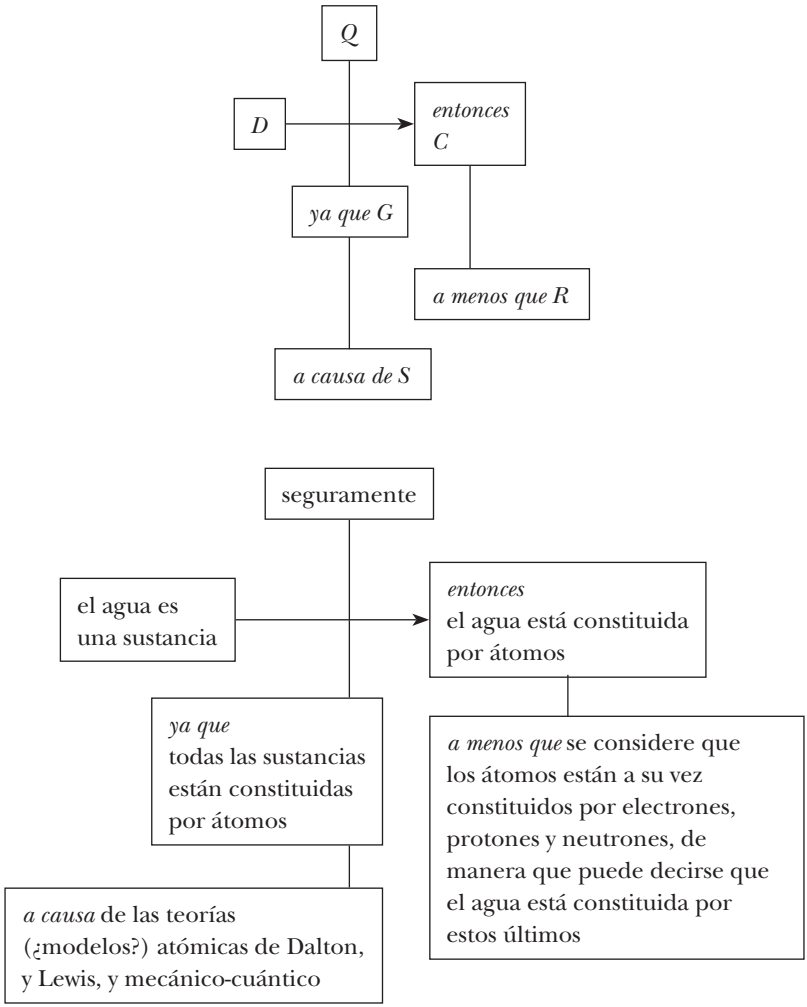


FIGURA 3.3. Esquema completo de un argumento.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 64 6/24/13 11:12 AM

Por ello la estructura de argumentación de Toulmin ha tenido una amplia y reciente repercusión, desde la creación literaria hasta asuntos relacionados con la enseñanza de las ciencias (Sardà y Sanmartí, 2000; Jiménez-Aleixandre *et al.,* 2000; Zohar y Nemet, 2002; Erduran, 2004; Pérez, 2013). Aquí hay que resaltar el reciente proyecto inglés IDEAS (Osborne, 2004a). Tradicionalmente las actividades escolares se han centrado en el aprendizaje de los conceptos. El proyecto IDEAS (Ideas, Evidence and Argument in Science), sin olvidar su importancia le da prioridad a otras tres metas: cognitivas; al involucrar a los estudiantes en la construcción y evaluación de argumentos, les permite construir habilidades de pensamiento científico; epistemológicas, que se desarrollan alrededor de la pregunta ¿cómo sabemos qué? a partir de las "ideas previas" de los estudiantes, con lo que se busca la evidencia para reconocer que una idea es correcta o equivocada; sociales, al diseñar actividades grupales requiriendo que los alumnos desarrollen en forma adecuada el lenguaje científico, particularmente escribiendo sus argumentos. IDEAS obliga a cambiar la forma tradicional del trabajo en las aulas, por lo que sus creadores han acompañado el proyecto con toda una gama de materiales para los docentes. Entre ellos, registros de aprendizaje que permiten evaluar la calidad de los argumentos escritos por los estudiantes (cuadro 3.3).

Los primeros resultados de la aplicación en las aulas de este proyecto (Osborne *et al.,* 2005), involucrando a alumnos y profesores

CUADRO 3.3. REGISTRO DE APRENDIZAJE PARA EVALUAR LOS ARGUMENTOS (OSBORNE ET AL., 2004A)

Nivel	*Características*
1	Los argumentos son únicamente una conclusión contra otra conclusión.
2	Los argumentos tienen conclusiones, y además o datos, o garantías, o sustento, pero no refutaciones.
3	Los argumentos tienen conclusiones y, además datos o garantías o sustento, e incluyen una refutación débil o poco clara.
4	Los argumentos son completos y la refutación es clara.
5	Los argumentos son extensos y completos, avalados de manera contundente por los datos, las garantías y el soporte, y presentan más de una refutación.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 65 6/24/13 11:12 AM

británicos en "el aprendizaje de la argumentación y en la argumentación para aprender", indican que mediante la argumentación los alumnos no aprenden más conceptos científicos, pero sí los aprenden mejor. Trabajando con docentes en los Estados Unidos, a quienes se les solicita emplear la argumentación en sus aulas, Sibel Erduran y Zoubeida Dagher (2005) encuentran que se requiere un cuidadoso balance entre la presión ejercida por las instituciones (directores, otros docentes, padres de familia, etc.) para tomar riesgos en cuanto a la forma de enfrentar el aprendizaje y su capacidad profesional para

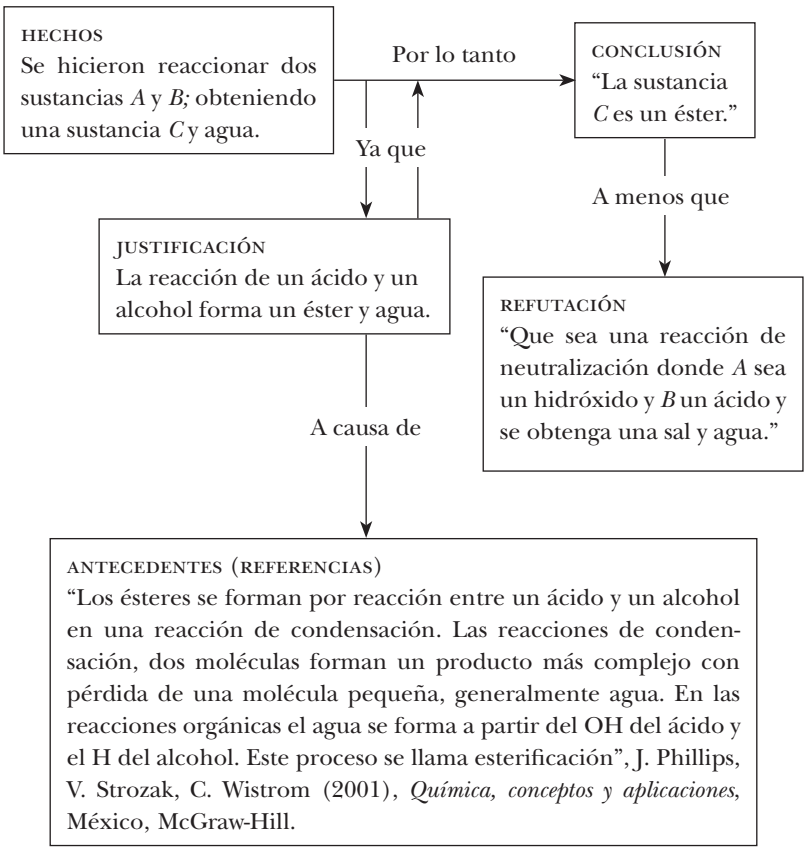


FIGURA 3.4. Rejilla Argumentativa de Toulmin (RAT) construida por alumnos de bachillerato en donde, para facilitar su uso, se ha eliminado el calificador modal (Torres, 2012).

Chamizo_Paradoja_txt.indd 66 6/24/13 11:12 AM

hacerlo. En esta nueva práctica educativa los docentes deben contar con materiales suficientes y conocer estrategias didácticas adecuadas para alcanzar el éxito, lo que no condiciona su uso, pues es lo que los docentes deben estar en condiciones de hacer, más aún en los tiempos que corren. Como lo ha indicado Jonathan Osborne (2009, p. 156, cursivas mías):

> Uno de los problemas más grandes que padece la ciencia en la escuela es el de una pedagogía dominada por la metáfora de la enseñanza como "conducto". Ésta es la idea de que la comunicación es un proceso de una sola vía, en el cual los profesores se ven a sí mismos como diseminadores didácticos del conocimiento […]. El conocimiento para los jóvenes de hoy en día se vuelve un objeto a ser adquirido como y cuando es necesitado mediante la interacción social y dialógica más que por la recepción pasiva […] lo que reside en el corazón de la sociedad contemporánea —el proceso de generación de conocimiento— coloca un interés en las habilidades del más alto orden de pensamiento: construir argumentos, hacer preguntas de investigación, hacer comparaciones, resolver problemas complejos no algorítmicos, lidiar con controversias, identificar asunciones ocultas, clasificar y establecer relaciones causales. Cualquier experiencia educativa que no ofrezca alguna de estas características cognitivas, como el currículo de ciencias escolar *(en química en su versión dominante),* es tal vez, no sorprendentemente, de interés disminuido para muchos jóvenes contemporáneos.

Como ya se dijo antes, prescindir de la autoridad es difícil, porque deja al docente impotente, o con la única potencia que él es capaz de crear; sin embargo, si lo que se busca es desarrollar en los alumnos habilidades de pensamiento científico, el camino de los dogmas y las verdades absolutas está vetado.

SOBRE LA COMPRENSIÓN HUMANA EN GENERAL Y LA CIENCIA EN PARTICULAR

Hoy difícilmente podríamos concebir la ciencia sin considerar su historia, llena de luchas, denuncias y vueltas a empezar que han cambiado al mundo; llena también de errores que generaron verdades, de evidencias que dejaron de serlo, de esperanzas y frustraciones.

Ha sido una larga lucha contra el sentido común y contra el principio de autoridad civil y religiosa a lo largo del tiempo. Poderosa en su capacidad de transformación y explicación del mundo, la ciencia también es frágil conforme que lo son las obras de las sociedades humanas (Chamizo, 2000).

Así, a pesar de lo que sostiene el empirismo lógico, resulta muy difícil, si no imposible, discutir sobre la ciencia en las aulas sin considerar su historia. Por ello, y resultado de una profunda y relativamente reciente reflexión filosófico-epistemológica sobre la ciencia misma, en los últimos años se ha reconocido la importancia de incluir en su enseñanza aspectos de su historia y filosofía (Duschl, 1994; Matthews, 1994; *Alambique,* 1996; Erduran y Scerri, 2002; Izquierdo y Aduriz, 2003), donde resulta central la idea que de la ciencia tengan tanto los alumnos como los profesores (McComas, 2000). Sobre las aportaciones de Toulmin a este asunto trata el presente apartado.

Prácticamente en todos los ámbitos educativos la enseñanza de la ciencia se ha reducido a transmitir "el conocimiento", sin permitir a los estudiantes reconocer cuáles son las actividades propiamente "científicas". Recientemente ha quedado claro que las visiones deformadas y parciales de la ciencia transmitidas por la enseñanza (donde los científicos son individuos aislados con ideas extraordinarias surgidas de la nada) son muchas, variadas y están relacionadas entre sí (cuadro 3.4). Si se quiere cambiar esto, es fundamental modificar las ideas que de la ciencia tengan los profesores.

A pesar de las diferencias manifiestas mostradas en la cuadro 3.4 se puede reconocer que muchas de estas ideas están centradas, sin embargo, en aquella postura del positivismo lógico, contra la que se

CUADRO 3.4. VISIONES DEFORMADAS DE LA CIENCIA TRANSMITIDAS POR LA ENSEÑANZA (FERNÁNDEZ ET AL., 2002)

- Visión empiroinductivista, ateórica.
- Visión rígida (algorítmica, exacta, infalible).
- Visión aproblemática y ahistórica (*ergo* dogmática y cerrada).
- Visión exclusivamente analítica.
- Visión acumulativa de crecimiento lineal.
- Visión individualista y elitista.
- Visión socialmente descontextualizada.

opusieron diversos pensadores, Toulmin entre ellos, y en las que el proceso del quehacer científico es ignorado (Allchin, 2000). La aproximación histórica al conocimiento científico tiene, además de él mismo, en Kuhn, Bernal y Lakatos, a tres de sus principales protagonistas.

Como ya se indicó en el capítulo anterior, Kuhn (1971) concibe el crecimiento racional de la ciencia por medio de periodos sucesivos de ciencia normal, en los que las comunidades de científicos comparten un mismo paradigma, interrumpidos por revoluciones en las que otro paradigma completamente diferente remplaza al anterior y propone problemas nuevos para que la investigación los dilucide. Para escoger entre un paradigma u otro, Kuhn ofrece como mecanismo su capacidad para resolver problemas o la simplicidad, lo que resulta muy difícil de hacer de manera racional para un determinado científico, y que recibe respuestas distintas provenientes de expertos diferentes.

John D. Bernal, quien puede reconocerse como uno los fundadores indirectos de la corriente educativa Ciencia Tecnología Sociedad, fue marxista y como tal asumió esa posición en su visión de la ciencia. Para él (1979, p. 13): "La ciencia se encuentra colocada en el término medio entre la práctica establecida y transmitida de los hombres que trabajan por su sustento y las normas ideológicas y tradiciones que aseguran la continuidad de la sociedad y los derechos y privilegios de las clases que la gobiernan". O también (1979, p. 74): "La ciencia influye en la historia de dos maneras principales: primero, por los cambios que trae aparejados en los métodos de producción; y, luego, por el impacto más directo, aunque menos ponderable, que tienen sus descubrimientos y sus ideas sobre la ideología de la época".

Por su parte, Lakatos (y Musgrave) (1975) tiene una concepción de la ciencia centrada en los proyectos de investigación (constituidos por un núcleo, un cinturón protector y una heurística), a los que analiza de forma incisiva. De manera simplificada, para Lakatos un programa de investigación o bien progresa (cuando cada cambio en el cinturón protector conduce a alguna predicción nueva o útil) o bien degenera (si deja de hacer predicciones inesperadas); sin embargo, no logra proporcionar mecanismos consistentes para evaluar el éxito de los programas o algún método para inventarlos racionalmente.

Toulmin, también autor de importantes libros sobre la historia de la ciencia, integró sus ideas en un ambicioso proyecto editorial titu-

lado *La comprensión humana,* de los cuales sólo publicó el primero de ellos, *El uso colectivo y la evolución de los conceptos.* El feroz ataque que este libro recibió al momento de su aparición por parte de muchos de los filósofos "reconocidos", seguramente obligó a Toulmin a madurar más sus ideas, lo que a la larga le condujo prácticamente a no continuar en esa línea de trabajo a pesar de que para otros tantos abrió nuevas formas de pensar sobre el desarrollo del conocimiento científico. Para tener una leve idea de la tempestad desatada alrededor de *El uso colectivo y la evolución de los conceptos* recogeré únicamente dos críticas. Thackray (1974, p. 81), un relevante historiador de la ciencia, indicó:

> El profesor Toulmin ha escrito un libro profundamente importante. Mejor dicho, el profesor Toulmin está escribiendo un libro profundamente importante, una vez que los volúmenes II y III están aún en preparación y aparecerán en intervalos de cada dos años aproximadamente. Sin embargo, el presente volumen nos indica de manera muy clara qué es lo que vendrá, alimenta el pensamiento e incorpora suficientes ideas nuevas como para promover varios años de debate.

Por otro lado, Bloor uno de los iniciadores de la aproximación sociológica al conocimiento científico en la Universidad de Edimburgo, comentó (Bloor, 1974, p. 252):

> Aquí está la explicación del gran tamaño y la carencia de cualquier conclusión del libro de Toulmin. Él está determinado a producir una evaluación positiva de la ciencia, pero al final sólo alcanza a hacerlo desde el punto de vista ideológico. Quiere apoyar la supremacía racional de la ciencia recurriendo a aquellas nociones de racionalidad cuya función es precisamente evitar su uso para condenar o apoyar algo en específico.

El eje central del libro de Toulmin (1977) es el "concepto", caracterizado por una interacción histórico-social específica, es decir, en un contexto determinado (1977, p. 49): "Cada uno de nosotros es dueño de sus pensamientos; pero los conceptos los compartimos con nuestros semejantes […] y de lo que creemos somos responsables como individuos; pero el lenguaje en que se articulan nuestras creencias es propiedad pública".

Así, la ciencia aparece como una de las diferentes disciplinas inte-

lectuales que las sociedades humanas han construido a lo largo de su propia historia. La unidad de las disciplinas intelectuales, en las que siempre se consideran no sólo los conceptos sino también las personas que los conciben, se debe a las ambiciones intelectuales del grupo que trabaja en ellas y les da forma. En pocas palabras, la unidad de una disciplina intelectual refleja la continuidad impuesta a los problemas que aborda (por ejemplo, respecto al concepto de afinidad en química, véase Estany e Izquierdo, 1990, y, sobre la tabla periódica, Camacho y Cuéllar, 2007). Este punto de vista es compartido por otros filósofos; por ejemplo, Larry Laudan (1986), quien indica que "el conocimiento científico avanza gracias a la resolución de problemas". A lo que aquí se podría decir, en la línea de una enseñanza racional y razonable, que el "conocimiento científico escolar" avanza gracias a la resolución de problemas. Así, basándose en la historia de la ciencia, Toulmin manifiesta de manera muy clara que las razones prácticas, podríamos adelantar que el entorno, influyen en la evolución de los conceptos científicos.

Los conceptos científicos desarrollados a lo largo de la historia integran una complejidad tal, que es necesario distinguir en ellos tres aspectos que permitirán utilizarlos, particularmente en el espacio educativo, de mejor manera:

1] El lenguaje.
2] Las técnicas de representación.
3] Los procedimientos de aplicación de la ciencia.

Sobre estos tres aspectos hay que hacer algunas precisiones. Respecto al primero, Toulmin, influido por Wittgenstein, reconoce que cada teoría tiene su propio lenguaje y cuando se adopta uno nuevo se adopta también una nueva teoría, más allá de que algunas palabras en ambos sean las mismas. Las teorías son una visión del mundo. Javier Echeverría (2003, p. 76) comenta que "buscar una forma de lenguaje común a todas ellas, por muy formalizada que esté, es una tarea vana, porque supondría privarlas de su especificidad, de lo que caracteriza a cada una como concepción del mundo, o al menos del ámbito que es objeto de su estudio". Por ello el significado de los términos científicos, contrariamente a lo que indica el positivismo absolutista con su creencia de una base empírica común a todas las teorías, depende de cada teoría.

Cuando Toulmin se refiere a las técnicas de representación, opta por los modelos como el lazo entre el mundo y las leyes de la ciencia en una postura que algunos podrían identificar como instrumentalista. Otros filósofos de las ciencias después de él, particularmente Giere (1990), continúan trabajando en la misma línea de pensamiento. Por otro lado, la importancia de los modelos en la enseñanza de la ciencia es un asunto aceptado (Gilbert y Boulter, 2000) (véanse capítulos 4 y 5).

Estas dos características de los conceptos se refieren a aquellos aspectos simbólicos de la explicación científica —esto es, la actividad científica que llamamos *explicar*—, una de las formas en las que hacemos públicos nuestros pensamientos, una de las formas en las que una generación le transmite a otra el contenido de una ciencia, una "enculturación".

Aquí Toulmin retoma una de sus ideas anteriores acerca de uno de los objetivos principales de la ciencia: explicar el mundo. Así, indica (1977, p. 167):

> Un enfoque de la explicación basado en los procedimientos facilita la comprensión del proceso histórico por el cual los conceptos científicos se transmiten de una generación a la siguiente […] el contenido de una ciencia se transmite de una generación a la siguiente por un proceso de enculturación. Este proceso supone un aprendizaje, por el cual ciertas habilidades explicativas se transfieren, con o sin modificación, de una generación más vieja a otra más joven. En este aprendizaje, el núcleo de la transmisión —el elemento primario que debe ser aprendido, probado, aplicado, criticado y cambiado— es el repertorio de técnicas, procedimientos, y habilidades intelectuales y métodos de representación que se emplean para dar explicaciones de sucesos y fenómenos dentro del ámbito de la ciencia involucrada. Para mostrar públicamente —y probar— su comprensión de los poderes explicativos de su ciencia, el recién llegado debe, ante todo, aprender cómo y cuándo aplicar esas técnicas y procedimientos de modo de explicar fenómenos que caen dentro del ámbito corriente de la ciencia.

Así, son los procedimientos y técnicas de una disciplina científica los que forman sus aspectos comunales —y comprensibles— y, por ende, los que definen el conjunto representativo de conceptos que constituyen la transmisión colectiva de la ciencia. Por ello, los conceptos sólo tienen un uso genuinamente explicativo cuando se apli-

Chamizo_Paradoja_txt.indd 72 6/24/13 11:12 AM

can en el mundo, lo cual es relevante en la educación. Considerar como innovador que la ciencia siempre se desarrolla en contexto sólo tiene sentido desde una postura filosófica (positivista-lógica) en la que la ciencia se considera separada de la sociedad que la construye y en la que se manifiesta culturalmente (Chamizo e Izquierdo, 2005). De esta manera, el tercer aspecto (los procedimientos de aplicación de la ciencia) comprende el reconocimiento de situaciones para las que son apropiadas estas actividades simbólicas, el entorno. En el aprendizaje de una ciencia, el aprendiz debe aprender también dónde aplicar los aspectos simbólicos de los conceptos y a construir modelos que mejor encajen con el mundo (Toulmin, 1977, p. 194):

> La reorganización conceptual de nuestra comprensión científica nos exige prestar atención a los hechos empíricos, sin duda; pero no meramente con la intención de informar sobre hechos o siquiera generalizar acerca de ellos. Nuestra meta es, en cambio, construir una representación mejor, nomenclaturas mejores y procedimientos explicativos mejores para dar cuenta de los aspectos importantes de la naturaleza y discernir con mayor precisión en qué condiciones y con qué grado de exactitud la representación resultante puede aplicarse a la explicación de la naturaleza del mundo tal como lo encontramos.

Finalmente, Toulmin caracteriza un problema por medio de la relación:

problemas = ideales explicativos – capacidades corrientes

Así, llega a proponer cinco tipos de problemas conceptuales presentes en las disciplinas científicas:

- Extensión de nuestros procedimientos actuales a nuevos fenómenos.
- Mejoramiento de las técnicas para abordar fenómenos conocidos.
- Integración intradisciplinaria de las técnicas en una sola ciencia.
- Integración interdisciplinaria de técnicas de ciencias vecinas.
- Resolución de conflictos entre ideas científicas y extracientíficas.

La aplicación de estas ideas en la química se muestra en el cuadro 3·5·

CUADRO 3.5. EJEMPLOS DE PROBLEMAS RESUELTOS Y NO RESUELTOS EN LA HISTORIA DE LA QUÍMICA

		Aspectos distinguibles de los conceptos		
		Lenguaje	*Técnicas de representación*	*Procedimientos de aplicación*
Problemas conceptuales	Extensión de nuestros procedimientos actuales a nuevos fenómenos	Nicotina	$C_{10}H_{14}N_2$	Análisis elemental
	Mejoramiento de las técnicas para abordar fenómenos conocidos	Insulina	Gly-Ile-Val-Glu-Gln-Cys-Ala-Ser-Val-Cys-(etc.)	Máquina de secuenciación de aminoácidos
	Integración intradisciplinaria de las técnicas en una sola ciencia	Ácido	H^+ HOMO	Catálisis
	Integración interdisciplinaria de técnicas de ciencias vecinas	Spin	$s = 1/2$	Valencia
	Resolución de conflictos entre ideas científicas y extracientíficas	Vida	$S < 0$	Vida artificial

Estos cinco tipos de problemas conceptuales presentes en las disciplinas científicas pueden integrarse en tres (Chamizo e Izquierdo, 2005) (cuadro 3.6), aceptando las dificultades que Toulmin identifica en su clasificación, dificultades sobre todo en lo referente a las fronteras internas de las ciencias consigo mismas y entre ellas. A partir de esta taxonomía de los problemas, resulta evidente que lo que comúnmente se identifica como "el contexto" corresponde a la tercera columna y a la tercera fila.

De lo anterior resulta que la ciencia siempre se desarrolla "en contexto" y, como ya se dijo anteriormente, considerar que esto es innovador sólo tiene sentido desde una postura filosófica en la que la ciencia está separada de la sociedad que la construye y en la que se manifiesta culturalmente. En esta postura, la de la lógica positivista (que, como se vio en el capítulo anterior, es la posición dominante del currículo de la química), tal como la han ido transmitiendo los libros de texto al servicio de una enseñanza memorística, la ciencia es vista como la acumulación de conocimiento incorporado

CUADRO 3.6. LOS PROBLEMAS CONCEPTUALES DE LA CIENCIA. MODIFICADO DE TOULMIN (CHAMIZO E IZQUIERDO, 2005)

		Aspectos distinguibles de los conceptos		
		Lenguaje	*Técnicas de representación*	*Procedimientos de aplicación*
Problemas conceptuales	Tipo I* Al interior de cada ciencia			Contexto
	Tipo II** Entre las ciencias			Contexto
	Tipo III*** Entre las ciencias y los demás saberes	Contexto	Contexto	Contexto

* Integra los que requieren la extensión de nuestros procedimientos actuales a nuevos fenómenos y el mejoramiento de las técnicas para abordar fenómenos conocidos.

** Son aquellos referentes a la integración intradisciplinaria de las técnicas en una sola ciencia y la integración interdisciplinaria de técnicas de ciencias vecinas.

*** Son aquellos acerca de la resolución de conflictos entre ideas científicas y extracientíficas.

en un determinado marco teórico y las teorías pueden ser entendidas como sistemas axiomáticos para los cuales pueden aplicarse los métodos de validación del análisis lógico. Aquí la racionalidad es absoluta, el conocimiento científico es universal y ahistórico.[10] Hemos de ser conscientes de que las propuestas docentes de "ciencia en contexto" que se hacen recientemente son incompatibles con esta imagen distorsionada que a menudo se ofrece de la ciencia, haciéndola aparecer como algo elitista y sin compromisos con sus aplicaciones, ignorando las instituciones en las que se desarrolla.[11]

[10] Por otro lado, Óscar Zapata ha indicado (2005, p. 32-33): "Toulmin afirma que una ciencia experimental no es sólo una población histórica de conceptos y teorías lógicamente independientes, con sus procedimientos y técnicas para analizar problemas teóricos, sino también un conjunto organizado de instituciones y profesionales ocupados en mejorar esos procedimientos y técnicas, por lo que es necesario contemplar la ciencia con esta mirada holística. Las formas teóricas o principales patrones explicativos de una disciplina científica son elaborados mucho antes de que contemos con un claro reconocimiento de sus alcances empíricos. Por esta razón, el desarrollo científico ha operado por medio de dos registros: con el refinamiento analítico de los patrones intelectuales y con el progresivo reconocimiento de su ámbito empírico".

[11] Sobre esta corriente, Glen S. Aikenhead ha dicho (Aikenhead, 2005): "*¿Es* creí-

Los problemas y su resolución, ya sean teóricos o experimentales, tienen una larga tradición en la enseñanza de las ciencias (*Alambique*, 1995; Bodner y Herron, 2002; Bodner y Bhattachayya, 2005) y hoy son motivo de diversas estructuras curriculares, particularmente en la conocida como Aprendizaje por Resolución de Problemas (PBL, por sus iniciales en inglés) donde los estudiantes aprenden y aplican sus conocimientos para resolver problemas (Knowlton, 2003). Reconociendo la dificultad del asunto y la enorme variedad en los tipos de problemas reportados en la literatura especializada, Watts (1991) caracteriza a la solución de problemas en dos categorías diferentes, como puede verse en el cuadro 3.7.

CUADRO 3.7. DIFERENTES MANERAS DE RESOLVER PROBLEMAS

Resolución de problemas 1 (RP1)	*Resolución de problemas 2 (RP2)*
Resolución de problemas como un proceso puramente intelectual.	Resolución de problemas como la ejecución de tareas para plasmar en resultado práctico.
Resolución de problemas "ideales" o cuantitativos como los que se encuentran en la mayoría de los libros de texto, asumiendo un estudio académico de la ciencia y poco o nada evidente de la tecnología.	En gran parte cualitativo, de la vida real, o del plan de estudios dedicado a los problemas tecnológicos, relacionados con la investigación en la escuela o basados en la práctica.
Se desarrollan estrategias de enseñanza para enriquecer las estructuras de representación de los estudiantes y de los repertorios de resolución de problemas, orientados a aumentar las habilidades intelectuales y obtener éxito en los exámenes.	Un enfoque en el desarrollo de estrategias de resolución de problemas que implican la experimentación práctica para desarrollar habilidades cognitivas, manipulativas y afectivas.
Un asunto individualista.	Una actividad grupal

ble la propuesta educativa sobre la enseñanza de la ciencia CTS? La literatura de investigación nos presenta dos respuestas claras: desde el punto de vista educativo es sin lugar a dudas creíble, pero políticamente no lo es. Por lo tanto, todos los proyectos futuros CTS que se consideren innovadores tendrán la necesidad de incorporar tanto un componente educativo y un componente político para hacer una diferencia significativa en lo que sucede en una clase de ciencias".

Chamizo_Paradoja_txt.indd 76 6/24/13 11:12 AM

Establecer en la literatura especializada la diferencia entre un problema (que, de acuerdo con Watts, podría tener una resolución del tipo RP2) y un ejercicio (resolución del tipo RP1) ha sido en sí mismo "un problema". Bodner y Herron (2002) apelan a que la diferencia está en la experiencia del que resuelve, asunto que no necesariamente comparten otros investigadores (Chi, 1981; Camacho y Cuéllar, 1989). Esta dificultad desaparece utilizando la propuesta de Toulmin, como lo han demostrado Izquierdo y Chamizo (2005) y ejemplificado Robles (2008). Se tiene un problema cuando están presentes los tres aspectos que caracterizan a los conceptos, si uno de ellos está ausente lo que se tiene es un ejercicio. En el cuadro 3.8 se ejemplifica lo anterior, donde, tomados de un libro de química general (Garritz, 2001), se encuentran presentes tanto actividades teóricas (1, 2, 5, 6) como experimentales (3, 4), ejercicios (1, 2, 4, 6) y problemas (3, 5) (Chamizo, 2006). Con el mismo marco teórico es posible reconocer y construir problemas para aprender (del tipo RP2; Izquierdo, 2005). En términos educativos, si cada alumno enfrenta en cada curso nuevos problemas en su propio contexto y está en posibilidad de pensar y comunicar a otros alumnos (y al profesor) el procedimiento para resolverlos, estará aprendiendo ciencia. En esto reside la ciencia escolar (Izquierdo *et al.,* 1999).

El severo cuestionamiento de Toulmin a la concepción positivista de la ciencia, centrada en el Círculo de Viena, con su entronización de la axiomatización (particularmente de la física, y más particularmente de la mecánica clásica) como el método para analizar el conocimiento que denominamos científico, llevó a muchos adeptos de esta corriente a responder masivamente el ataque. Aunque hoy se reconoce que hay otras formas de abordar el conocimiento científico sin reducirlo a axiomas (por ejemplo, en la química los trabajos de Scerri, 2000), Toulmin aceptó de una manera u otra algunas de las objeciones que se le plantearon, particularmente aquellas relacionadas con la "vaguedad e intensamente metafórica manera de aproximarse al cambio conceptual y el papel que la racionalidad juega en el mismo" (Suppe, 1979) y no publicó los dos volúmenes restantes de *La comprensión humana.*

Tal vez otro de sus detractores, el filósofo David L. Hull (1973), lo aclaró de manera muy transparente: "Lo mejor que ha hecho Toulmin con este volumen es identificar un programa de investigación, que crecerá o caerá dependiendo de que tan bien él y sus colabora-

CUADRO 3.8. EJEMPLOS DE EJERCICIOS Y PROBLEMAS UTILIZADOS EN UN CURSO DE QUÍMICA GENERAL (L = LENGUAJE; R = REPRESENTACIÓN; A = APLICACIÓN) (GARRITZ, 2001)

Ejercicios y problemas	*Aspectos distinguibles de los conceptos científicos*		
	L	R	A
1] Una muestra de helio ocupa 400 ml a una presión de 500 torr. ¿Cuál será su volumen cuando se duplique la presión a la misma temperatura?	✓	✓	
2] La anilina, o fenilamina, sirve para teñir telas. Se puede obtener por la reducción del nitrobenceno con hierro metálico, en ácido clorhídrico. Asigna con cuidado los números de oxidación en los átomos de la anilina.	✓	✓	
3] ¿Cuál es el contenido de alcohol de las principales cervezas mexicanas?	✓	✓	✓
4] Hierve media taza de agua e introduce en ella una bolsa de té negro durante unos minutos. Extrae la bolsa de té. Divide el té en cantidades iguales entre dos vasos de cristal. Agrega a uno de los vasos unas gotas de limón (un ácido). Disuelve en el otro unas gotas de los productos empleados para destapar caños (una base). Compara el color de ambos vasos. Realiza un experimento para saber si los blanqueadores caseros son ácidos o bases.	✓	✓	
5] La hidrólisis parcial de un polipéptido arrojó los siguientes fragmentos: (Glu-Ser), (Glu-Ser-Phe), (Ile-His-Leu-His-Ala-Glu), (Phe-Gly-Ala). ¿Cuál es el polipéptido? ¿Cuál su fórmula mínima? ¿Por qué se obtienen esos fragmentos y no otros? ¿Cuál es la función de ese polipéptido en el metabolismo humano? ¿Cómo se sabe que cumple esa función?	✓	✓	✓
6] Investiga en qué consisten las enfermedades producidas por la carencia o insuficiencia de vitaminas; enfoca sobre todo tu atención a las siguientes: *a*] beriberi, *b*] pelagra, *c*] escorbuto, *d*] raquitismo.			✓

dores lo trabajen en el futuro". Lamentablemente Toulmin no consiguió aglutinar alrededor de sus provocadoras ideas un número suficiente de seguidores que conformaran una escuela capaz de constituirse en una opción en contra de la concepción positivista de la ciencia; sin embargo, adelantó una corriente de pensamiento que posteriormente, incluyendo desde Kuhn hasta Laudan, puede identificarse hoy como racionalismo moderado (Izquierdo, 2000).

Lo anterior es de fundamental importancia para la enseñanza de las ciencias, una vez que, como ya se indicó, hay muchas y deformadas visiones de la naturaleza de la ciencia. Aquí el protagonista de su transmisión es el docente y sus propias ideas sobre ella. Fernández y colaboradores (2002) indican sobre este asunto que: "Las concepciones docentes sobre la ciencia serían, pues, expresión de esa visión común, que los profesores de ciencia aceptaríamos implícitamente debido a la falta de reflexión crítica y a una educación científica que se limita, a menudo, a una simple transmisión de conocimientos ya elaborados".

El conocimiento científico es uno de los grandes logros de la cultura contemporánea. Su avance presenta los mayores dilemas políticos y éticos de las sociedades modernas, por lo que su estudio debe abordarse como una totalidad y no en forma ahistórica y segmentada. El concepto que de ciencia tenemos los docentes sigue siendo un asunto central en nuestra enseñanza, y aquí, con sus ideas contrarias al autoritarismo, Toulmin apela a una mayor reflexión, un discurso más riguroso y una esfera de influencia más amplia. En sintonía con lo anterior, Larry Laudan (1985) sostiene que los científicos pueden, sin modificar sus compromisos metodológicos ni axiológicos, alterar sus compromisos teóricos (Colombo, 1997). En la ciencia es posible cambiar.[12]

[12] Así, en su defensa del avance de la ciencia por medio de la resolución de problemas, indica (p. 293): "Sin embargo, lo que sí puede decirse es que el modelo [de resolución de problemas] es capaz de acomodar el número más racional de rasgos persistentes del desarrollo científico que las explicaciones prevalecientes de la ciencia consideran como intrínsecamente irracionales. Hasta este grado, promete poder explicar por qué la ciencia funciona tan bien como lo hace".

Chamizo_Paradoja_txt.indd 79 6/24/13 11:12 AM

SOBRE LA TECNOLOGÍA. LA RAZÓN TECNOCIENTÍFICA

Contra la idea común de que la técnica es la respuesta a la necesidad, ya Ortega y Gasset (1982) la caracterizaba como *la producción de lo superfluo* (p. 35) insistiendo en la capacidad humana, hoy y en el Paleolítico, de crearse la propia vida "artificial" a diferencia de los animales que sólo existen (Ortega, 1982, p. 51):

> Bajo esta perspectiva, la vida humana, la existencia del hombre aparece consistiendo formalmente, esencialmente en un problema. Para los demás entes del universo existir no es un problema —porque existencia quiere decir efectividad, realización de una esencia—; por ejemplo, que "el ser toro" se verifique, acontezca. Ahora bien, el toro, si existe, existe ya siendo toro. En cambio, para el hombre existir, no es ya, sin más, existir como el hombre que es, sino, meramente, posibilidad de ello y esfuerzo hacia lograrlo.

La conquista de lo superfluo —abundan otros filósofos como Bachelard— nos da un mayor estímulo espiritual que la conquista de lo necesario, porque los humanos son creaciones del deseo, y no de la necesidad.

Más recientemente, en el tiempo y en el terreno de la presente discusión, el historiador de la ciencia Pickstone (2000) reconoce tres formas de conocer:

1] La historia natural. Se refiere a una primera clasificación de los componentes del mundo. Comprende la variedad de objetos naturales o artificiales, normales o patológicos. Es el espacio de las taxonomías: celestes, geológicas o biológicas, y el lugar donde se vuelven públicos los jardines botánicos, los zoológicos y los grandes museos de ciencias.
2] El análisis. Si la variedad y el cambio son identificados por la historia natural, el análisis busca el orden por disección. El análisis aparece cuando los objetos se pueden ver como compuestos de "elementos", o cuando los procesos se pueden ver como el "flujo" de un "elemento" por medio de un sistema. Es el espacio de los laboratorios de anatomía, química, física e ingeniería y el lugar donde se vuelven públicos las escuelas, institutos, politécnicos, hospitales y universidades.
3] La experimentación. Si el análisis considera el separar cosas, la

Chamizo_Paradoja_txt.indd 80 6/24/13 11:12 AM

> experimentación es sobre cómo ponerlas juntas. El análisis especifica la composición de lo "conocido" para posteriormente, poniendo juntos los "elementos", crear nuevos objetos o fenómenos. La experimentación se basa en la síntesis, en la producción sistemática de la novedad. Es el espacio "privado" del control, ya sea por motivos militares o económicos, de los laboratorios de biomedicina y farmacia, de diseño de nuevos materiales o de física nuclear, así como el lugar donde se vuelven públicos, el complejo tecnocientífico industrial.

Estas tres formas de conocer coexisten desde al menos un siglo; sin embargo, la última va ganando cada día más importancia. En el mundo globalizado, la creación de la novedad sirve cada vez más al mercado y es decisiva en la batalla económica que se libra, particularmente, entre las grandes compañías transnacionales. El producto de la ciencia, "el conocimiento científico" es así cada día menos público y más privado. Ni qué decir que lo anterior no está considerado por la visión heredada sobre la naturaleza de la ciencia centrada en el positivismo lógico.

Por su parte, el planteamiento de Toulmin de abordar la comprensión humana como la suma de varias empresas racionales en evolución, le permite considerar con el mismo esquema tanto a la ciencia como a la tecnología, asunto que a los puristas académicos les cuesta mucho. Para él las artesanías y tecnologías profesionales especializadas tienen tanto derecho como las ciencias a ser llamadas disciplinas y comparten los mismos tipos de cambio histórico. Así (Toulmin, 1977, p. 370):

> El elemento fundamental de una disciplina colectiva es el reconocimiento de un objetivo o ideal sobre el que existe suficiente acuerdo y en términos del cual es posible identificar los problemas comunes principales. Cuando este objetivo común es de carácter explicativo, la disciplina es científica […]. A este respecto, la herrería, en tanto una actividad profesional disciplinada como la cristalografía, la medicina tanto como la fisiología, la ingeniería electrónica, tanto como la física atómica. Por naturaleza los ideales colectivos que gobiernan el desarrollo tecnológico no son explicativos ni en las intenciones ni en los efectos. En cambio son prácticos, por estar dirigidos a mejorar las técnicas para producir y distribuir materiales, vehículos, medios de comunicación, información, etc. Correspondientemente, la transmisión de

Chamizo_Paradoja_txt.indd 81 6/24/13 11:12 AM

una técnica en desarrollo histórico comprende no una población cambiante de teorías y conceptos, sino una población cambiante de recetas y diseños, técnicas y procesos de fabricación y otros procedimientos prácticos.

Al considerar la historia de la tecnología como una disciplina colectiva en evolución, con sus propios problemas, Toulmin cuestiona la arraigada idea de que ésta es únicamente un catálogo de artefactos creados para mejorar nuestra existencia; es más bien el testimonio público de la fertilidad de la mente creadora presente en las diversas sociedades que han habitado nuestro planeta, una de las mayores expresiones de la vida humana. Lo anterior coincide con Bruno Latour (1992), quien incorpora el término tecnociencia "para describir todos los elementos vinculados a contenidos científicos sin que importe lo sucio, inesperados, o extraños que parezcan" (p. 168).

La separación arbitraria entre ciencia y tecnología, queda así eliminada. Sin llegar al extremo de considerar la ciencia como tecnología (Lelas, 1993), y más en la posición adelantada por Toulmin, Javier Echeverría ha introducido una clara caracterización de la tecnociencia, particularmente en cuanto a su cuestionamiento a la pureza del conocimiento científico (cuadro 3.9).

La caracterización anterior avanza por un camino en el cual hay que destacar la postura de Toulmin (1977) sobre la racionalidad, una de sus principales y más discutidas aportaciones (p. 375):

> Lo que señala como racional a la obra de un científico no es su competencia para la manipulación formal de conceptos y argumentos establecidos, sino su disposición a concebir, explorar y criticar nuevos conceptos, argumentos y técnicas de representación, como maneras de abordar los problemas principales de su ciencia. Así, tanto en la ciencia como en la tecnología, las cuestiones operativas de la racionalidad se plantean con respecto a la justificación de cambios en los procedimientos, y se plantean de modos similares, sean tales procedimientos científicos, esto es, explicativos o representacionales, sean tecnológicos, es decir, prácticos o técnicos. La diferencia en los productos finales nada tiene que ver con la racionalidad de los cambios mismos […] las trabas a la racionalidad también son las mismas en la tecnología y en la ciencia: el conservadurismo intelectual, los intereses de individuos dominantes, la administración atolondrada, o demasiado cautelosa y la excesiva rivalidad entre generaciones profesionales.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 82 6/24/13 11:12 AM

CUADRO 3.9. ALGUNAS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOCIENCIA (ECHEVERRIA, 2003, P. 318)

La tecnociencia no es sólo la búsqueda de conocimiento representacional adecuado, sino ante todo:

- Un sistema de acciones eficientes, basadas en conocimiento científico que transforman el mundo.
- Las acciones están desarrolladas tecnológica e industrialmente, y ya no versan sólo sobre la naturaleza, también se orientan a la sociedad y a los seres humanos, sin limitarse a describir, explicar, predecir o comprender el mundo, sino tendiendo a transformarlo, basándose en una serie de valores.
- Los valores son satisfechos, en mayor o menor grado, por la actividad tecnocientífica y por sus resultados; entre dichos valores, la verdad o verosimilitud no ocupan el lugar central, aunque siguen teniendo un peso específico considerable.
- Por oposición a la ciencia moderna, la tecnociencia implica no sólo una profesionalización sino una empresarialización de la actividad científica.
- La tecnociencia, como la ciencia, también se enseña públicamente, pero a diferencia de esta última el conocimiento y la práctica tecnocientífica tienden a privatizarse.
- La tecnociencia no sólo es un instrumento de dominio y transformación de la naturaleza, sino también de las sociedades.
- La tecnociencia se inserta en un nuevo sistema de producción, al que podemos denominar postindustrial (sociedad del conocimiento y de la información).
- La tecnociencia no se reduce a la razón pura *(epistéme)*, sino que es, además, una modalidad de la razón práctica, puesto que transforma el mundo conforme a criterios, métodos, acciones y objetivos discutibles racionalmente.

Este camino va acompañado también por la razonabilidad, caracterizada por las particularidades del aquí y el ahora, y ejemplificada en la práctica clínica de la medicina. Así, contra las explicaciones racionales y generales sobre una determinada enfermedad, la presencia particular de la misma en un determinado individuo requiere el conocimiento de la historia clínica del paciente. Sin lo último, lo primero es insuficiente. Por ello Toulmin insiste en reponer el balance entre la racionalidad y la razonabilidad cuya intersección es la

razón (figura 3.1).[13] Razón que ya bosquejaba en la *Comprensión humana* pero de manera constitutiva de la racionalidad, como se puede apreciar en el siguiente párrafo (Toulmin, 1977, p. 376):

En las cuestiones prácticas, como en las intelectuales, debemos, por lo tanto, oponernos a Kant. Ni la racionalidad de los conceptos teóricos, ni la de los procedimientos prácticos pueden ser juzgadas de manera definitiva, intemporal o de una vez por todas. La Razón Práctica, como la Razón Pura, no debe tener presente lo Bueno o lo Mejor de Todo, y menos aún lo Único-Concebible-Coherentemente, sino lo Mejor Comparativamente. Y siendo lo que es la racionalidad de las empresas humanas colectivas, esto significa siempre lo Mejor-por-el-Momento.

Para Toulmin la razón tiene mayores alcances que la sola ciencia, incluye a la tecnología (por ello hablamos de tecnociencia), pero también a la ética o la política, campos en los cuales se puede tener una argumentación racional. Por ello, el regreso a la razón consiste en el reconocimiento de lo que de razonable hay en nosotros. Lo que convierte las creencias del ser humano en prejuicios o supersticiones no es su contenido, sino su modo de sustentarlas. A este respecto, el prejuicio y la superstición son lo contrario de lo razonable; tienen menos que ver con lo que nuestras opiniones son, que con la manera en que tratamos de hacerlas valer y que permitiría abordar de manera clara lo que se reconoce como los límites de la propia tecnociencia (González, 2002).

Esta razón tecnocientífica, en la que los ideales de un progreso ilimitado no se contraponen a las carencias presentes, en la que los principios absolutos no son ciegos a las cambiantes condiciones actuales, permite incorporar las ideas de pensadores de la tecnología como George Basalla (1991).[14]

[13] En términos de la razón, la racionalidad apuntaría hacia los fines últimos, mientras la razonabilidad se orientaría hacia la evidencia disponible, asunto que, en el contexto de la elección, aborda Elisabetta Di Castro (2002). De acuerdo con ella, "cada situación tiene un mínimo y un máximo de información que es razonable considerar antes de hacer una elección", o de construir un argumento, agregaríamos.

[14] Él mismo indica (p. 263): "Aunque se han realizado las elecciones conscientemente para satisfacer las metas inmediatas, como la de volar en aparatos más pesados que el aire o una mayor eficiencia del combustible para un motor de automóvil, la suma total de estas elecciones no constituye el progreso humano. Una teoría operativa de la evolución tecnológica exige que no haya un progreso tecnológico en el sen-

Chamizo_Paradoja_txt.indd 84 6/24/13 11:12 AM

Finalmente, y volviendo al terreno de la química, se ha reconocido que ésta es uno de los mejores ejemplos del conocimiento tecnocientífico (Schummer, 2006). Los profesionistas de la química (unos tres millones de personas en todo el mundo) hacen fundamentalmente nuevas sustancias: de algunos cientos en 1800 a 38 millones hoy. El número se ha venido duplicando cada 13 años, por lo que podemos extrapolarlo a cerca de 80 millones en 2025 y 300 millones en 2050. Se puede reconocer así la enorme presencia en la forma experimental de conocer del sesgo tecnocientífico. Ya lo indicaba Nina Hall en la introducción de su libro *La nueva química* (Hall, 2000), publicado con la intención de ilustrar algo de la investigación más importante en este campo durante los últimos 30 años. Los autores de los diversos capítulos de este libro son algunos de los químicos más renombrados del mundo (incluyendo varios ganadores del premio Nobel) y allí indican lo que a su parecer son los más importantes retos de esta disciplina:

El objeto de la química es extenso. Cubre virtualmente todos los aspectos del comportamiento de átomos y de moléculas: desde la creación de los elementos en las estrellas hasta las moléculas complejas de la vida. La química, sin embargo, es mucho más que investigar el universo en el nivel molecular; su mandato central (que es absolutamente diferente de los de otras disciplinas) es sintetizar nuevas formas de materia, muchas de las cuales son extremadamente útiles, por ejemplo, los productos farmacéuticos.

Hay que recordar que la química actual es heredera de una gran cantidad de oficios y tradiciones que influyeron en la vida cotidiana de todas las culturas. Los laboratorios, tal y como los conocemos hoy, son una de esas herencias compartidas con las otras ciencias y que caracterizan el quehacer de la química como una ciencia experimental. Sin embargo, el experimento químico, como acto de creación

---

tido tradicional del término, pero acepta la posibilidad de un progreso limitado hacia una meta cuidadosamente seleccionada en un marco delimitado. Ni el registro histórico ni nuestra comprensión del papel actual de la tecnología en la sociedad justifican el retorno a la idea de que existe una conexión causal entre los avances tecnológicos y la mejora general de la especie humana. Por ello hay que descartar la popular pero ilusoria noción de progreso tecnológico. En su lugar deberíamos cultivar el aprecio por la diversidad del mundo producido, la fertilidad de la imaginación tecnológica y la grandeza y antigüedad de la red de artefactos emparentados".

Chamizo_Paradoja_txt.indd 85 6/24/13 11:12 AM

que identifica a la química como la actividad científica más productiva, la vuelve prácticamente singular.

En los laboratorios —como espacios dedicados al trabajo práctico, en lugar de la investigación teórica— las actividades han sido consideradas de menor nivel intelectual desde hace miles de años. La palabra latina *laborare* remite al trabajo manual, el cual era realizado por los esclavos tanto en el Imperio romano como en las ciudades griegas que le antecedieron. Thomas Hobbes, el filósofo inglés del siglo XVII, indicaba la inferioridad social de aquellos que se dedicaban al trabajo práctico: drogueros, jardineros, herreros o mecánicos. Aquellos que creían que con dinero (con el cual comprar mejores materiales y equipamiento) podían obtener conocimiento, estaban equivocados. Para él, como para otros muchos académicos de su tiempo, y aun hoy en día, una biblioteca era mucho mejor que un laboratorio. Estas ideas influyeron fuertemente en la mentalidad de las universidades hispanas, y más tarde en las latinoamericanas, en particular en la investigación y enseñanza de la química, en la que se privilegió el hablar al hacer.

Desde la más remota Antigüedad y especialmente a partir de la Edad Media, la preparación de medicamentos, la fabricación de jabones, pigmentos, vidrio, materiales cerámicos y explosivos, y la extracción de metales, fueron actividades prácticas, alejadas de la reflexión filosófica y realizadas alrededor de mercados y en lugares públicos. Sin embargo, desde esa época ya estaba identificada la característica más importante de un laboratorio: su aislamiento de la vida cotidiana. Esto se logró con los primeros laboratorios de química que antecedieron a los de física por casi dos siglos. Como lo ha indicado Crosland (2005):

> En los laboratorios alquímicos, habría uno o varios hornos, a ser posible junto con un almacén de combustible y un suministro de agua, con un fregadero, frascos, retortas y otros aparatos, y una variedad de reactivos químicos etiquetados. Como ya hemos señalado anteriormente, era habitual en los laboratorios alquímicos la presencia de diferentes tipos de horno, proporcionando grados ascendentes de calor, que iban desde un fuego suave con un baño de agua a un horno de reverbero. La destilación usalmente se llevaría a cabo a una temperatura intermedia, aunque, por supuesto, el concepto de temperatura realmente se alcanzó hasta el siglo XVIII.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 86 6/24/13 11:12 AM

Así, desde el siglo XVII el acceso a una fuente de calor permanente y agua corriente fueron configurando el espacio de lo que hoy reconocemos en cualquier lugar del mundo como un laboratorio. Incluso a principios del siglo XIX los laboratorios de química eran aquellos en los que se utilizaba la recién descubierta corriente eléctrica y que en Inglaterra Sir H. Davy utilizó tan eficazmente para aislar muchos de los elementos alcalinos y alcalinotérreos.

Los aparatos y los reactivos en los laboratorios químicos eran productos artesanales, construidos y preparados localmente. Eran preciadísimos en pleno siglo XIX, como se muestra en las cartas que Cannizzaro escribía a sus colegas en diversos lugares de Italia para intercambiarlos entre ellos. Es importante hacer notar que los aparatos utilizados en los laboratorios a partir del siglo XVII eran construidos ya con dos propósitos: para realizar propiamente investigación en química y para enseñar. Algunos de los aparatos que utilizó Antoine Laurent de Lavoisier tenían este último propósito. La fabricación masiva de balanzas comerciales empezó en Londres sólo hasta mediados del siglo XIX, poco antes de que Bunsen, en Alemania, inventara su famoso mechero.

La síntesis de nuevos compuestos hace que la química sea la ciencia más productiva. Como lo ha indicado el filósofo de la química alemán Joachim Schummer (2006), en el año 2000 el *Chemical Abstracts,* la base de datos que informa sobre la mayoría de publicaciones de esta disciplina, reportó prácticamente el mismo número de publicaciones que todas las demás ciencias juntas.

La síntesis de nuevos compuestos se hace mediante experimentos químicos. Y en ellos los gases y el aire mismo funcionan como disolventes, permitiendo o inhibiendo la formación de determinados productos químicos. La síntesis de una determinada sustancia química, como un medicamento o un material específico, se logra en un disolvente, pero no en otro diferente. Como lo ha indicado Cerruti (1998): "Los fenómenos son generalmente aceptados, y filosóficamente discutidos, como los objetivos y el resultado del experimento en física; en general, las sustancias son los objetivos y los resultados de las prácticas experimentales más importantes en química".

La química actual es la empresa tecnocientífica más productiva. Lo sepamos o no, nos guste o no, los cerca de 7000 millones de personas que habitamos este planeta vivimos en un mundo artificial

Chamizo_Paradoja_txt.indd 87 6/24/13 11:12 AM

construido fundamentalmente a partir de experimentos químicos. Este enorme poder coloca a la química actual como parcialmente responsable de muchos problemas e indispensable para su solución.[15]

A MANERA DE RESUMEN

En los últimos años, ante las crecientes dudas sobre las formas tradicionales empleadas en la educación, se ha reconocido la importancia de incluir la argumentación y los aspectos de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza de las ciencias. Al considerar, alrededor de la ciencia y con la ciencia, asuntos como el lenguaje, el contexto histórico-social, el cambio conceptual, los problemas o los valores, hacen de Stephen Toulmin, paradójicamente, uno de los más influyentes e ignorados precursores en este terreno (algo semejante podría decirse de John D. Bernal). En su postura ante las verdades absolutas y de lo eternamente seguro, recuperando el lugar de la razón como eje central sobre el que giran lo racional, lo razonable y también lo ético, es y ha sido uno de los principales exponentes del racionalismo moderado, corriente filosófica sobre la que se apoya la ciencia escolar. En su vida ha transitado por muchos caminos, ninguno de ellos ortodoxo. No es el único en asumir estos riesgos. Por ejemplo, el reconocido filósofo estadunidense Richard Rorty (1983) pone al descubierto la idea prevaleciente entre muchos filósofos analíticos de que la función última de esta disciplina —que supuestamente descubre, representa o refleja realidades subyacentes acerca de los seres humanos y de las relaciones con el mundo y entre sí— es una imagen de autocomplacencia académica. Rorty insiste en que la filosofía puede pensarse de otras maneras, en particular como una forma de contar historias; en su propia odisea, Toulmin las cuenta y las que cuenta funcionan bien para que, partiendo del experimento, se logre entender el desarrollo tecnocientífico de la química.

[15] Recientemente acuñé el término tecnoquímica para hacer más explícita la parte técnica del saber químico (Chamizo, 2013).

Chamizo_Paradoja_txt.indd 88 6/24/13 11:12 AM

ORDETEVE. Resultado de la fusión del ordenador, el teléfono y la televisión en un solo objeto provisto de un teclado, sin cable y de una pantalla lisa, fácilmente legible de cerca y de lejos.

El ordeteve será uno de los principales objetos de consumo (DATO celulares) del primer tercio del siglo. Tendrá todas o parte de las actuales funciones de los tres medios de comunicación que hemos indicado. Permitirá una interactividad inmediata y será de fácil funcionamiento, incluso para quienes hayan olvidado cómo leer.

CLONIMAGO. Doble virtual que cada uno podrá lanzar a los espacios de la red para hacerlo vivir, trabajar, consumir por poderes, con los dobles virtuales creados por otros.

Pronto se convertirá en holograma dotado de tacto, de palabra y de una cierta forma de inteligencia, capaz de intervenir en la vida cotidiana. Además de compañero de juegos para los niños, podrá servir para simular a tamaño real el comportamiento de un obrero ante una máquina o de un cliente en un almacén. El clonimago, primer actor y cantor, también podrá participar después en un espectáculo vivo. Representará el mayor cambio y producirá la mayor conmoción mental en el entorno cotidiano del hombre.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 89 6/24/13 11:12 AM

4. LOS MODELOS EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA[1]



[1] Este capítulo recoge y ordena varios artículos: Chamizo, 1991; Chamizo 1992; Chamizo y Márquez, 2006a; Chamizo, 2006b; Chamizo y García, 2010; Chamizo, 2010; y Chamizo 2011.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 90 6/24/13 11:12 AM

> Hacemos modelos en ciencia, pero también en la vida corriente. El realismo "dependiente del modelo" se aplica no sólo a los modelos científicos, sino también a los modelos mentales conscientes o subconscientes que todos creamos para interpretar y comprender el mundo cotidiano… Nuestra percepción no es directa, sino más bien está conformada por una especie de lente, a saber, la estructura interpretativa de nuestros cerebros humanos.
>
> STEPHEN HAWKING Y LEONARD MLODINOW (2010, p. 55)

ANTECEDENTES

El repensar la química por medio de sus modelos fue la propuesta original, hace más de 20 años, de Suckling (1987), continuando una línea de pensamiento iniciada varias décadas atrás por von Neumann, alrededor de la física y las matemáticas. Éste como otros tantos asuntos que escapan de la "normalidad científica" fue prácticamente olvidado y es ahora cuando las estrechas recetas sobre la actividad científica, realizadas por los investigadores y trasladadas a las aulas por los profesores, fracasan en todo el mundo cuando se vuelven a reconsiderar (Gilbert *et al.,* 2000; Erduran y Duschl, 2004). A lo anterior hay que agregar un reciente e intenso interés por incorporar en la enseñanza de la ciencia las últimas discusiones filosóficas e históricas sobre estos temas (Acevedo, 2008), en particular las críticas al positivismo lógico (Marcos, 2000; Echeverría, 2003; Van Aaslvoort, 2004) como ya se discutió en el capítulo anterior y que resume en su peculiar postura el pensador francés Edgar Morin (2002, p. 65):

> El afrontar la dificultad de la comprensión humana necesitaría el recurso, no de enseñanzas separadas, sino una pedagogía conjunta que agrupara al filósofo, al sicólogo, al sociólogo, al historiador, al escritor, y esto se conjugaría con una *iniciación a la lucidez*. La iniciación a la lucidez es en sí inseparable de una iniciación a la omnipresencia del problema del error.
>
> Es necesario enseñar, y esto desde la escuela primaria, que toda percep-

ción es una traducción reconstructora operada por el cerebro a partir de terminales sensoriales, y que ningún conocimiento puede dejar de ser una interpretación.

MODELOS

La palabra modelo es polisémica; se ha empleado y se emplea aún con sentidos diversos. Por un lado, es ejemplar; es decir, indica aquellas cosas, actitudes o personas que se propone imitar. La valentía de un guerrero, la inteligencia de un sabio, la solidaridad de un médico, la velocidad de un corredor o la belleza de una mujer son ejemplos de modelos en este sentido. En el presente texto se emplea la palabra modelo en su otro y también generalizado sentido. Así, continuando con lo establecido en un trabajo anterior (Chamizo, 2010): "Los modelos *(m)* son representaciones, basadas generalmente en analogías, que se construyen contextualizando cierta porción del mundo *(M)* con un objetivo específico".

En esta definición todas las palabras son importantes: las *representaciones* son ideas, en lo fundamental, aunque no necesariamente pues también pueden ser objetos materiales. Lo anterior quiere decir que, de entrada, hay dos tipos de modelos: los que corresponden a las ideas, y que por ello son privados, y los que se materializan, lo que los convierte en públicos. Las representaciones no son por sí mismas, y valga la redundancia, autoidentificantes. Las representaciones lo son de algo, un objeto, un fenómeno o un sistema, y las hace alguien (una persona, o un grupo, generalmente este último) que las identifica como tales. Una pelota es una pelota y la misma pelota puede ser una representación de un planeta para unos alumnos de primaria, o el núcleo de un átomo para otros.

Una *analogía* está constituida por aquellos rasgos o propiedades que sabemos similares en el modelo *m* con el mundo *M*. Los modelos se construyen generalmente a partir de analogías. Hay algo en el modelo que remite al mundo, pero no es el mundo.[2] Lo anterior queda claro con el famoso texto de Jorge Luis Borges, "Del rigor en la ciencia":

[2] Por ello la frase de Arturo Rosenblueth, "el mejor modelo material de un gato es otro. Preferentemente el mismo gato", está equivocada.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 92 6/24/13 11:12 AM

En aquel Imperio, el Arte de la Cartografía logró tal Perfección que el Mapa de una sola Provincia ocupaba toda una Ciudad, y el Mapa del Imperio, toda una Provincia. Con el tiempo, estos Mapas Desmesurados no satisficieron y los Colegios de Cartógrafos levantaron un Mapa del Imperio, que tenía el Tamaño del Imperio y coincidía puntualmente con él. Menos Adictas al Estudio de la Cartografía, las Generaciones Siguientes entendieron que ese dilatado Mapa era Inútil y no sin Impiedad lo entregaron a las Inclemencias del Sol y los Inviernos. En los Desiertos del Oeste perduran despedazadas Ruinas del Mapa, habitadas por Animales y por Mendigos; en todo el País no hay otra reliquia de las Disciplinas Geográficas.

Magistralmente Borges explota la paradoja que resulta cuando, al anularse toda diferencia con su objeto, el modelo es el mundo. Por ello en la definición *cierta porción del mundo* indica su carácter limitado. Los modelos son, respecto al mundo *M,* parciales.

"Que se construyen contextualizando" remite a un tiempo y lugar históricamente definido, lo que además enmarca la representación. Los modelos se construyen, son productos culturales humanos. Por otro lado, como ya se indicó en el capítulo anterior, el "contexto" es un tema que cobra auge como carencia de una postura filosófica específica: el positivismo lógico. No por ello es pertinente reconocer su significado. *Contexto* proviene del latín *contextere,* que significa "tejer juntos" y, como lo indica Gilbert (2006), por esta palabra, específicamente relacionada con la educación, se entienden "las circunstancias que forman el escenario de un evento, o idea y los términos en los que se puede entender" o "las partes que inmediatamente preceden o siguen a una palabra o pasaje y aclaran su significado".

"Un objetivo específico" establece su finalidad, general pero no necesariamente, el explicar, y, sobre todo, predecir. Hay que recordar que la explicación es una de las más significativas características de las ciencias (Bailar-Jones, 2002), pero que en determinados casos, aun sin poder comprender del todo, una buena parte de su prestigio radica en predecir.

Los modelos *(m)* son representaciones basadas por lo general en analogías.[3] Los modelos pueden ser semejantes a esa porción del

[3] Así puede verse en Achinstein (1987) y Clement (2008). En su trabajo sobre los modelos, Peter Achinstein indica (p. 9): "el modelo de Bohr postula electrones que describen órbitas, por analogía con el sistema planetario. El modelo de la gota líquida para el núcleo atómico explica la fisión nuclear, por analogía con la división de una

Chamizo_Paradoja_txt.indd 93 6/24/13 11:12 AM

mundo *M* que representan, generalmente más sencillos, pero no por completo, de manera que se pueden derivar predicciones del mismo y someterlas a prueba. Los resultados de esta prueba dan nueva información sobre el modelo.

Antes de continuar con esta definición de los modelos, es pertinente aclarar qué se entiende aquí por realidad, recordando, por ejemplo, la postura del filósofo Ian Hacking acerca de la realidad de los electrones y los quarks, donde dice: "Si usted puede rociarlos, entonces, son reales […]. Somos conscientes de los efectos, entendemos las causas, y usamos esto para saber algo más" (Hacking, 1983, pp. 22-24). Así, para él la existencia de los electrones es inequívocamente empírica, a partir de la cual es posible inferir propiedades de esas entidades o diseñar experimentos con ellos, es decir, intervenir en el mundo.

Esta condición de certeza empírica, cuando es aplicada a los modelos, permite que se puedan hacer con ellos predicciones exitosas en el mundo y que éstas puedan ser reconocidas por medio de una metodología aceptada por una determinada comunidad en un momento histórico específico, en este caso la comunidad científica. Así, se puede decir que:

- La realidad, y sus entidades, es independiente de sus observadores.
- Las aseveraciones sobre la existencia de las entidades tiene valor de verdad.
- Los modelos de la química deben ser empíricamente confiables.

Esta confiabilidad empírica sobre un mundo real implica que los objetos, fenómenos o sistemas existen independientemente de nuestras mentes. O, como lo ha insinuado Edgar Morin al inicio de este capítulo, y explícitamente indicado por el filósofo Mario Bunge

---

gota líquida en dos gotas más pequeñas. El modelo nuclear de capas se desarrolló recurriendo a una analogía entre el núcleo atómico y las capas de electrones extranucleares. Esto concuerda con el punto anterior de que los modelos […] tienen por objeto proporcionar una representación útil de un sistema: para proporcionar una representación así, muchas veces resulta útil establecer una analogía entre el sistema en cuestión y algún sistema conocido que esté gobernado por leyes que se entienden y suponen que algunas de esas leyes, u otras similares, gobiernan también el sistema que se trata de describir en el modelo".

Chamizo_Paradoja_txt.indd 94 6/24/13 11:12 AM

(2006, p. 30), "la ocurrencia frecuente del error, más aún que el ocasional encuentro con una verdad, prueba la existencia del mundo real". La confiabilidad empírica del conocimiento químico, obtenido mediante sus modelos, ha sido bien identificada por las filósofas Ursula Klein (1999, 2003) y Mary S. Morgan y Margaret Morrison:

> En 1853 Dumas utilizó sus fórmulas para introducir el concepto de sustitución, algo que más tarde se convertiría en una nueva teoría sobre la estructura unitaria de los compuestos orgánicos. Esta idea de sustitución es un ejemplo de la construcción de una concepción química que estaba limitada por las fórmulas. Actuando como modelos, estas fórmulas químicas no eran sólo el referente de la nueva concepción, sino también las herramientas para su producción. Por medio de estos modelos, la concepción de una sustitución unía, por primera vez, las proporciones con las nociones de compuesto y de reacción. Vemos entonces cómo las fórmulas (modelos) sirvieron de base para el desarrollo del concepto de sustitución, que a su vez le permitió a los químicos del siglo XIX tener una representación teórica de los conocimientos empíricos de las transformaciones orgánicas (Morgan y Morrison, 1999, p. 18).

Se puede decir que hoy millones de compuestos son predichos y sintetizados por los químicos orgánicos utilizando la idea de sustitución de Dumas, y que su confiabilidad empírica y realidad existencial coinciden con lo indicado por Hacking alrededor de los electrones y los quarks. Así, los modelos son intermediarios entre el mundo real y nosotros; debido a que son reales, podemos usar sus propiedades para diseñar experimentos, como es el caso de la síntesis química, en la producción de artificialidad, en la intervención en el mundo, en la construcción de un mundo nuevo. Éste es un tema eminentemente químico que le da una mayor profundidad a los modelos y del que se hablará más adelante. Después de esta aclaración sobre la realidad, regresemos a la primera idea sobre los modelos.

Obviamente los modelos lo son de "algo". "Algo" que se encuentra en el mundo. "Algo" que es el mundo. Ahora bien, el mundo real *(M)* es tan extraordinariamente complejo, en cada objeto (como un automóvil o un puente) o fenómeno (algo que sucede y que es percibido, como la lluvia, la digestión o la aspirina) o sistema (el conjunto de cosas que se relacionan entre sí y funcionan juntas integralmente, como algunos mapas del metro, una disolución o el sistema solar) e influyen tantas y tan diversas variables, que para intentar

Chamizo_Paradoja_txt.indd 95 6/24/13 11:12 AM

CUADRO 4.1. DIFERENTES MODELOS UTILIZADOS PARA REPRESENTAR A LOS GASES (*Atkins, 1984*)

• Modelo de gas ideal	$p = RT/V$
• Modelo de van der Waals	$p = RT/(V - b) - a/V^2$
• Modelo de Berthelot	$p = RT/(V - b) - a/TV^2$
• Modelo de Beattie-Bridgeman	$p = (1 - \gamma)RT(V + \beta)/V^2 - \alpha/V^2$

entenderlo lo relacionamos con sus respectivos modelos *(m)*. Como se muestra en el cuadro 4.1, hay diferentes modelos m (m_1, m_2, m_3, etc.) para representar una porción del mundo M que llamamos gas (Atkins, 1984), cada uno con sus propias características, simplezas o complejidades o, como se verá mas adelante, otra porción del mundo M que llamamos átomo (Cruz, Chamizo y Garritz, 1987).

En la construcción de los modelos, esto es, en el modelaje, es importante distinguir entre abstracción (o aproximación) e idealización (Portides, 2007). La abstracción no incluye todas las propiedades objetivas que se reconocen en un objeto, fenómeno o sistema, es decir, elimina algunas de esas propiedades, por ejemplo, la omisión de fuerzas intermoleculares en el modelo de gas ideal o la consideración de disoluciones iónicas infinitamente diluidas (con lo cual se asume que los iones no interactúan entre sí) en el modelo de Debye-Huckel.[4] La idealización, por su parte, caracteriza un objeto, fenómeno o sistema, distorsionándolo deliberadamente, por ejemplo, asumiendo que los electrones son únicamente puntos, o los ligantes (iones o moléculas en los compuestos de coordinación)[5] en la "teoría" de campo cristalino. Esta distorsión no permite que la representación que hacen sobre la porción del mundo sea fiel pero puede ser útil.

Hay que aclarar además que los modelos no guardan únicamente una relación pasiva con el objeto, fenómeno o sistema del mundo que representan, y en química se ejemplifica contundentemente

[4] El modelo de Debye-Huckel se utiliza para explicar la conductividad eléctrica de disoluciones salinas. Asume que la disolución de las sales en agua es infinita, es decir, los iones (átomos o moléculas con carga eléctrica) nunca se encuentran entre sí.

[5] Los compuestos de coordinación son aquellos en los que un ión o un átomo metálico se combina con una o más moléculas o iones que actúan como bases de Lewis. Algunos ejemplos son el $Fe(CO)_5$, el $[Co(NH_3)_6]Cl_3$ o la clorofila y la hemoglobina.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 96 6/24/13 11:12 AM

como veremos más delante, pueden ser instrumentos de investigación, intermediarios para intervenir en él.[6] De manera abreviada los modelos *(m)* que construimos son nuestros intermediarios con el mundo real *(M)* y su relación con éste es bidireccional: ambos pueden modificarse, el mundo y nosotros.

Finalmente, antes de reconocer una tipología de los modelos es pertinente recordar lo que sobre ellos nos dice el filósofo Rom Harré (2004, p. 6): "Un objeto, real o imaginario, no es un modelo en sí mismo. Pero funciona como modelo cuando se le ve relacionado de alguna manera con otras cosas. Así, la clasificación de los modelos es finalmente una clasificación de la manera en que las cosas y los procesos pueden funcionar como modelos".

Los modelos pueden clasificarse de acuerdo con dos parámetros: la representación y el contexto. Según la representación, los modelos pueden ser *mentales* y *materiales*. De acuerdo con el contexto, pueden ser *científicos* y *didácticos*.

Clasificación de los modelos de acuerdo con la representación

Los *modelos mentales*[7] son representaciones plasmadas en la memoria episódica (aquella de largo plazo, explícita y declarativa), construidos por nosotros para dar cuenta de una situación (dilucidar, explicar, predecir). Son los precursores de las conocidas "ideas previas" (Kind, 2005) o concepciones alternativas, y en ocasiones pueden ser equivalentes.

Los *modelos materiales* (que también pueden ser identificados como prototipos) son aquellos a los que tenemos acceso empírico y han sido construidos para comunicarse con otros individuos. Los *modelos materiales* son los *modelos mentales* expresados (Gilbert, Boulter y Elmer, 2000) de diferentes maneras, y por ello pueden ser:

[6] En este sentido las filósofas Mary S. Morgan y Margaret Morrison hacen una precisión (1999, p. 25): "Queremos advertir, sin embargo, que nuestro punto de vista de los modelos como instrumentos no es aquel que implica una interpretación instrumental clásica. Defender el instrumentalismo sería socavar las distintas formas en que los modelos nos enseñan acerca de las teorías y el mundo al proporcionarnos información concreta de los sistemas físicos reales, así como de los económicos. Pueden hacer esto porque, además de jugar el papel de los instrumentos, cumplen una función representativa".

[7] Véase Greca y Moreira, 1998; Franco y Colinvaux, 2000; Rapp, 2005; y Clement y Rea-Ramírez, 2008.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 97 6/24/13 11:12 AM

- Simbólicos
- Experimentales
- Icónicos

Si la expresión ocurre mediante un lenguaje específico, como el de las matemáticas o la química, hablamos entonces de *modelos materiales simbólicos,* y son, cuando los símbolos corresponden a las matemáticas, aquellas ecuaciones construidas para describir precisamente la porción del mundo que se está modelando. Los modelos materiales simbólicos (matemáticos) (Malvern, 2000) representan las regularidades que las comunidades científicas, en diversos momentos de su historia, identifican en cierta porción del mundo *(M),* y que, conocidas como leyes, son la manera más común, que no la única, de explicar en la tradición científica (Suppe, 1989). Sobre esto ya el filósofo Ronald N. Giere (1999) adelantó la posibilidad de tener ciencia sin leyes. La ecuación $PV = nRT$ es un ejemplo de un modelo simbólico (matemático) que permite explicar el comportamiento de los gases "ideales", en donde las partículas no tienen volumen (Atkins, 1982) (cuadro 4.1).

Aquí hay que recordar la opinión del gran químico Linus Pauling (1950) sobre lo que son las leyes que empleamos tan a menudo en las aulas sin pensar suficientemente qué son en realidad (p. 111):

> Una ley es una descripción sucinta del resultado de un número finito de experimentos. No es un dogma inflexible. Describe únicamente los experimentos que se han realizado mientras la ley se reconoce como válida. Estas leyes básicas de la naturaleza, dependiendo del resultado de un nuevo experimento, podrán no ser válidas el próximo año.

Por lo demás, los modelos materiales simbólicos (matemáticos) no sólo pueden formularse lingüísticamente (con algún lenguaje matemático, desde luego) sino también mediante diagramas, gráficas u objetos tridimensionales (Mehrtens, 2004), lo que los convierte, como se verá más adelante, en modelos materiales icónicos.

Ejemplos de *modelos materiales simbólicos* son aquellos que los químicos representamos con elementos, compuestos y reacciones (Hoffmann y Lazlo, 1991). Como lo ha indicado Jacob (cuadro 4.2) en su estudio sobre la semántica de la química (2007, p. 127):

Chamizo_Paradoja_txt.indd 98 6/24/13 11:12 AM

CUADRO 4.2. EJEMPLOS DE MODELOS MATERIALES SIMBÓLICOS (ADAPTADO DE JACOB, 2007)

$H_2 + O_2 \rightarrow H_2O_2$	(ecuación 1)
$2C_2H_6O + 2\ Na \rightarrow 2C_2H_5ONa + H_2$	(ecuación 2)
$60C \rightarrow C_{60}$	(ecuación 3)

La ecuación 1 describe la síntesis de H_2O_2. 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 2 contiene las expresiones para los compuestos isoméricos (etanol o dimetiléter) y predice un solo producto posible. Tales fórmulas empíricas ("C_2H_6O") son ambiguas. Por lo tanto, la ecuación 2 pudo ser válida para la síntesis (en el caso del etanol), o no (en el caso del dimetiléter). Los fórmulas usadas en la ecuación 2 no contienen suficiente información analítica para nombrar un compuesto determinado y, por lo tanto, invalidar las predicciones.

La síntesis del fulereno (ecuación 3) es un procedimiento químico simple que habría podido realizarse hace cientos de años. ¿Por qué ocurrió hasta el decenio de 1980 la obtención del C_{60}? La respuesta no sólo puede referirse a la práctica química, se relaciona también con las reglas de la sintaxis química. La expresión "C_{60}" no ha sido parte de la nomenclatura química. No había —hasta el decenio de 1980— reglas sintácticas que permitieran la síntesis del "C_{60}"; la ecuación de reacción "60C a C_{60}" habría sido sintácticamente incorrecta. El resultado de tal síntesis habría sido una representación del grafito, del diamante, o de cualquier combinación de C_2, C_3, C_4, etcétera.

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 sustancias mismas. Es en esta interfase, entre la manipulación de sustancias y la manipulación de los símbolos, donde las operaciones simples (tales como mezclar o quemar) llegan a ser descriptibles y generalmente reproducibles.

El lenguaje de la química es un modelo material simbólico y, como tal, tiene limitaciones frente al mundo, en este caso las sustancias y reacciones "reales" sintetizadas en un determinado momento histórico, como se ejemplifica en el cuadro 4.2.

Los *modelos materiales* también pueden ser experimentales (Pérez Tamayo, 2005; Harré, 2009) como las ratas macho Sprague-Dawley (figura 4.1), que se utilizan de manera estandarizada en las investi-

Chamizo_Paradoja_txt.indd 99 6/24/13 11:12 AM

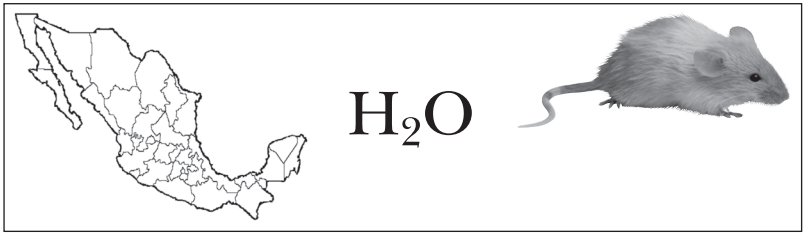


FIGURA 4.1. Ejemplos de modelos materiales: mapa, fórmula del agua y rata (modelo experimental).

gaciones biomédicas para modelar enfermedades o la acción de posibles remedios para las mismas (piénsese en ellas como una especie de maqueta robot no construida por nosotros). Así, por ejemplo, para conocer la toxicidad de una sustancia es necesario matar, pero en la actualidad, en lugar de matar esclavos como se sugería en la antigua Grecia, o prisioneros en los campos de concentración nazis, se matan ratas. La toxicidad de cualquier producto es lo que se conoce como dosis letal media (LD_{50}, por sus siglas en inglés). El LD_{50} indica la masa de una sustancia que, una semana después de que la

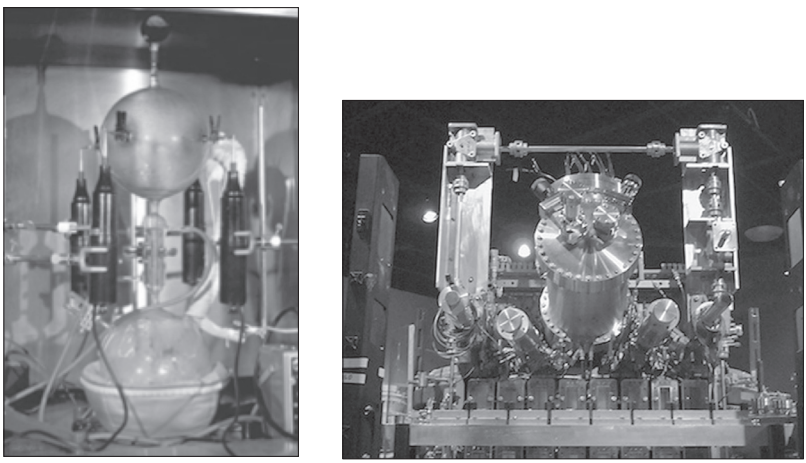


FIGURA 4.2. El aparato de Urey-Miller, donde se representa la atmósfera primigenia, y el Tokomak, donde se representan las estrellas.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 100 6/24/13 11:12 AM

ingirió un determinado número de ratas aisladas, mata a la mitad de las mismas. Cuando se realiza un experimento dándoles a las ratas esa determinada sustancia, sobre ellas se modela la toxicidad.

Modelos materiales experimentales también lo son los aparatos, como el famoso de Urey-Miller (sobre las condiciones originales de la atmósfera terrestre que permitieron la generación de aminoácidos) o el Tokomak (en el que se estudian las reacciones de fisión que se producen en las estrellas) con los que se realizan experimentos que simulan un determinado aspecto del mundo (*M*).

De acuerdo con el filósofo de la ciencia Rom Harré (2004, p. 175), "un experimento es la manipulación de un aparato, el cual es, en el mundo material, un arreglo de objetos integrados de diferentes maneras". El mismo Harré indica además que (2004, p. 180) "un aparato es un modelo material". La anterior definición de aparato se relaciona estrechamente con lo que se dijo antes: un aparato es un modelo material experimental, pero no todo modelo material experimental es un aparato (como el caso de las ratas macho Sprague-Dawley). Así, algunos aparatos son modelos materiales experimentales (es decir, establecen una relación analógica con el mundo real, como el de Urey-Miller) o producen fenómenos (por ejemplo, la cuba neumática con la que Joseph Priestley separó, pero no identificó como tal, el oxígeno, y no modela nada sobre el mundo real) y

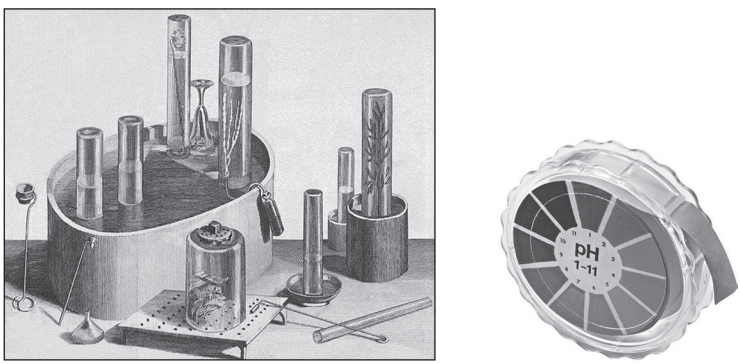


FIGURA 4.3. Aparato de Joseph Priestley, con el cual separó el oxígeno del aire; y papel pH, instrumento que permite medir la acidez de una disolución acuosa.

son instrumentos (es decir, capaces de aislar físicamente las propiedades de las entidades que queremos usar y conocer, como el caso del papel pH, con el que se puede conocer la acidez de una disolución acuosa).[8]

Aquí hay que recordar la diferencia que hace Cerruti (1998) entre la química y la física, y que ya se indicó en el capítulo anterior: "las sustancias son los objetivos y los resultados de las prácticas experimentales más importantes en química". Por ello, un fenómeno en química de hace más de un siglo es la síntesis del acetilsalicilato de metilo, mejor conocido como aspirina (figura 4.4) y del cual se consumen anualmente más de 200 000 millones de pastillas.

Los *modelos materiales icónicos* son seguramente los más conocidos. Las imágenes, desde cuadros hasta fotografías, los diagramas y las

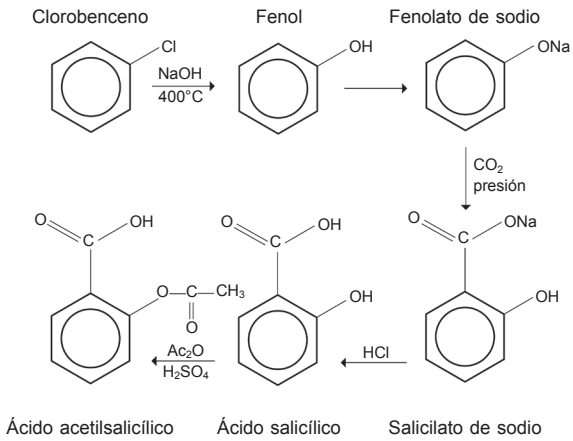


FIGURA 4.4. Modelo material simbólico de la síntesis de la aspirina.

[8] En este sentido ha indicado la importancia de los disolventes, que pueden asumirse como el instrumento químico por excelencia (Cerruti, 1998): "El uso fundamental de ciertos disolventes es permitir que se lleven a cabo reacciones entre sustancias que, bajo diferentes condiciones, no serían capaces de reaccionar, o lo harían de manera diferente. En muchos casos, los disolventes proporcionan medios de reacción, a la medida de las necesidades de la síntesis química". Así, los gases y el aire mismo funcionan como disolventes permitiendo, o inhibiendo, la formación de determinados productos químicos. Por ejemplo, el sodio metálico es uno en agua, otro muy diferente en aceite, y otro en amoniaco líquido.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 102 6/24/13 11:12 AM

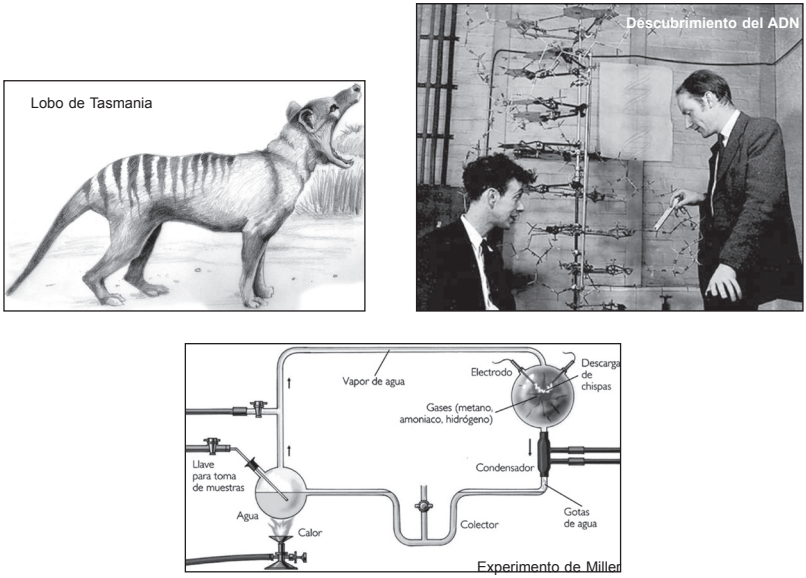


FIGURA 4.5. Modelos materiales icónicos, de modelos materiales icónicos… y no es una paradoja. La imagen del lobo de Tasmania, animal declarado extinto en 1986, es un modelo material icónico existente, de un ser que ya no existe.

maquetas (o los llamados "modelos moleculares" y cuyo más famoso ejemplo es el de la molécula de ADN, por Watson y Crick) forman parte de nuestro acervo cultural,[9] esto es, se encuentran en la mayoría de los libros de texto en todo el mundo.

Clasificación de los modelos de acuerdo con el contexto

La palabra *contexto*, según indica el diccionario, remite a un entorno físico o a una situación determinada, ya sea política, histórica, cultural o de cualquier otra índole, en la cual se considera un hecho. También establece el sentido y el valor de una palabra, frase o fragmentos considerados. Sobre los modelos, hay que diferenciar clara-

[9] Sobre este asunto es pertinente consultar a Francoeur, 2001; de Chadarevian y Hopwood, 2004; y Tversky, 2005.

mente dos contextos: el de la investigación científica, por un lado, y el de la ciencia escolar y sus didácticas, por el otro (Galagovsky y Aduriz-Bravo, 2001). En ambos casos tenemos modelos consensuados (Gilbert, Boulter y Elmer, 2000) por diferentes comunidades en un momento histórico específico.

LOS MODELOS CIENTÍFICOS

El conocimiento científico (cuando no está sujeto a las restricciones de secrecía que le imponen las compañías comerciales o los ministerios de defensa) es conocimiento público sujeto a comprobación por otras personas, generalmente científicos. Es esa posibilidad de repetir una y otra vez los experimentos y las observaciones en diferentes condiciones de tiempo y espacio, y validarlos comúnmente, lo que hace que el conocimiento científico se presente como objetivo y confiable. La principal forma de comunicarlo es mediante artículos en revistas especializadas, de las cuales se publican miles, mes tras mes, en todo el mundo. Uno de los ejemplos más famosos de lo anterior proviene de la astronomía. Cuando en 1687 el físico y alquimista inglés Isaac Newton publicó su libro *Principia*, lo que hizo fue describir el mundo físico con modelos que no hacían necesariamente referencia explícita a objetos del mundo real. Unos años más tarde, en 1695, Edmund Halley, un astrónomo y amigo de Newton, aplicó dichos modelos para explicar el movimiento de los cometas. Así pudo predecir que a finales del entonces lejano 1758 volvería un cometa que se había observado en 1530-1531, 1607-1608 y 1682. El asunto no era tan sencillo una vez que, junto con estas observaciones "confiables" de cometas, había al menos otras 24 en otras tantas fechas. Halley publicó su trabajo en 1705, el cual fue recibido con entusiasmo en Inglaterra, y, como era de esperarse, con escepticismo en Francia. Pasaron los años, Halley murió 15 años antes de 1758, pero para ese entonces la evidencia experimental sobre los modelos de Newton era tan amplia que en 1756 la misma Academia de Ciencias de Francia ofreció un premio a la predicción más exacta del retorno del cometa, el cual apareció, ya bautizado como cometa Halley, antes de la Navidad del esperado 1758.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 104 6/24/13 11:12 AM

Un modelo puede ser un instrumento para responder las preguntas que se hacen los científicos en un determinado momento histórico. Se emplea para obtener información que no puede obtenerse directamente. Esta imposibilidad ha suscitado a lo largo de la historia diversas preocupaciones entre destacados integrantes de la comunidad científica que incluso han querido desterrar las palabras que relacionan los modelos con la realidad. Las siguientes citas así lo indican para el caso particular de los átomos (Chamizo, 1996):

Si estuviera en mis manos borraría la palabra átomo de la ciencia persuadido de que va más allá de la experiencia.

DUMAS, 1837

No admito ni la ley de Avogadro, ni los átomos, ni las moléculas; me resisto a creer en lo que no puedo ver ni imaginar.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE, 1860

Aunque no sepamos nada de lo que es un átomo, no podemos evitar formarnos alguna idea de una pequeña partícula que se nos representa en la imaginación; y aunque nuestra ignorancia de la electricidad sea al menos igual, porque somos incapaces de decir si ella es una materia, o varias, o simplemente un movimiento de la materia común, o más bien un tercer género de potencia o de agente, sin embargo existe un número inmenso de hechos que nos autorizan a pensar que los átomos de materia están en cierta manera dotados de potencias eléctricas, o están asociados con estas potencias, a las que están obligados por sus cualidades más notables, en especial por sus afinidades mutuas.

FARADAY, 1833

Faraday centra el problema. Ya desde la primera mitad del siglo XIX se pedía "a gritos" una explicación de la materia por medio de los átomos.

Regresando a los artículos en revistas científicas, cuya publicación es la garantía de validez (también provisional) de ese conocimiento, como lo ha indicado Díaz (2005, p. 11):

Una pesquisa por los índices de revistas y los títulos de trabajos científicos actuales muestra que la palabra "modelo" está entre las diez más frecuentes en los títulos de artículos de las ciencias fisicomatemáticas, biomédicas, con-

Chamizo_Paradoja_txt.indd 105 6/24/13 11:12 AM

ductuales, sociales e incluso las humanidades. Además se trata del único término de esa menuda muestra de palabras favoritas que no designa sistemas o procesos concretos, como son los términos "rata", "humano", "célula", "proteína" o "gen", que encabezan la lista en los títulos de artículos biológicos y biomédicos, o de las palabras "niño", "familia", "lenguaje", "trabajo" o "social", que con mayor frecuencia especifican los artículos en ciencias sociales y de conducta. La palabra "modelo" es, entonces, la que en mayor medida comparten los cuatro puntos cardinales de la indagación académica, y es una palabra proveniente de la teoría y, en particular, de la metodología.

Los científicos construyen modelos sobre una determinada porción del mundo, y son dichos modelos, con sus ventajas y desventajas, lo que reportan a sus colegas en un momento histórico determinado,[10] como se puede ver, en el caso particular de la química, en el cuadro 4.3. Contrariamente a lo que se piensa comúnmente, una vez que no hay un método científico universal (McComas, 1998), una de las actividades principales de los científicos es evaluar cuál, de entre dos o más modelos rivales, encaja con las pruebas disponibles y por lo tanto cuál representa la explicación más convincente para determinado fenómeno en el mundo (Driver, Newton y Osborne, 2000). Los modelos *(m)*, mediante los cuales los científicos explican el mundo real *(M),* son históricos. Al contrario también de lo que proponía el positivismo lógico en su búsqueda de absolutos, las sociedades científicas evolucionan, como diría Toulmin, resolviendo problemas. Muchos modelos son la concreción de las soluciones encontradas en un momento histórico específico. Por ejemplo, el cuadro 4.4 identifica la interrelación de diversos modelos ácido-base, cada uno cons-

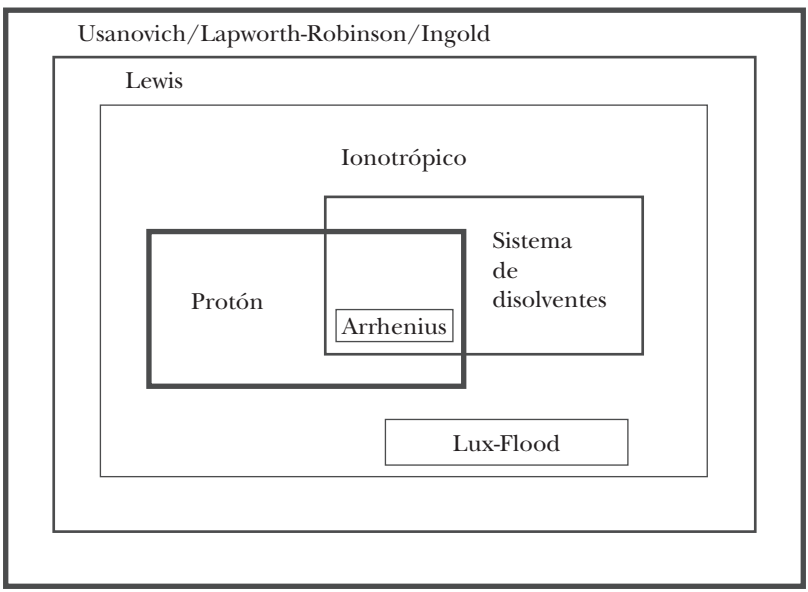
[10] Ismo Tapio Koponen mostró en relación con las revistas de física (2007, p. 770): "En los 7 249 artículos publicados en la revista *Physical Review E* durante el periodo 2001-2003, la palabra 'modelo' aparece en 3 013 (42%) artículos, mientras sólo 370 (5%) se refieren a las leyes. En *Physical Review B* para el mismo periodo se registraron 14 065 artículos, de los cuales 4 667 (33%) mencionan modelos y 251 (2%) leyes. El uso del término 'ley' (y ley experimental) parece haber disminuido en la investigación de la física. El PROLA, base de datos de las revisiones de física, demuestra que en el último siglo se ha producido un cambio drástico en las ocurrencias de la palabra 'modelo' y 'ley' en las publicaciones de física. En el periodo 1898-1939 la fracción relativa de las palabras 'modelo' a 'ley' fue de 0.4, en el decenio de 1940 se incrementó a 1.2, y desde entonces, progresivamente, hasta alcanzar un valor máximo de 15.9 en el decenio de 1970 (en lo que parece ser el auge de los modelos). Después de eso, la fracción relativa ha disminuido y ahora es 8.6".

Chamizo_Paradoja_txt.indd 106 6/24/13 11:12 AM

CUADRO 4.3. MODELOS MATERIALES CIENTÍFICOS UTILIZADOS EN DIFERENTES MOMENTOS DE LA HISTORIA DE LA QUÍMICA

Modelo sobre	*Referencia*
Cinética química	Justi y Gilbert (1999)
Ácidos y bases	Kousathana *et al.* (2005)
Modelo atómico de Lewis-Langmuir-Sidgwick	Chamizo (2007)
Calórico y calor	Cotignola *et al.* (2002)
Cantidad de sustancia	Padilla y Furio-Mas (2008)
Átomos	Justi y Gilbert (2000), Taber (2003), Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo (2009)
Flogisto	Allchin (1997)
Alquimia	Katsiampoura (2008)
Química orgánica clásica	Klein (1999)
Fisicoquímica orgánica	Akeroyd (2000)

CUADRO 4.4. INTERRELACIÓN ENTRE LOS DIVERSOS MODELOS IÓNICOS Y ELECTRÓNICOS ÁCIDO-BASE (ADAPTADO DE JENSEN, 1980)



truido con propósitos diferentes (desde reacciones en fase gaseosa o en disolución acuosa, hasta aquellas en estado sólido) gestado en el siglo XX.

LOS MODELOS DIDÁCTICOS

La ciencia escolar (Izquierdo *et al.*, 1999; Izquierdo y Aduriz, 2003) es la que corresponde a los conocimientos construidos y elaborados en el entorno escolar. No es la ciencia de los científicos, sino una reconstrucción de ésta, al mismo tiempo que tampoco es un reflejo de los saberes cotidianos de los alumnos. Aquí la idea principal es la de transposición didáctica (Chevallard, 1997), que indica los procesos por medio de los cuales el conocimiento científico se transforma de manera que sea posible su aprendizaje por los alumnos, independientemente de su edad y de sus condiciones socioculturales. Como estas últimas son extremadamente diversas, también lo es la transposición didáctica.

> Sin embargo, la enseñanza nunca ha sido un negocio fácil y natural. Voy a considerar un poco más de cerca por qué muchas personas simplemente no ven las cosas de esta manera. Como quiera que sea, la razón principal para las dificultades y vicisitudes de la enseñanza, la fuente de su incertidumbre y fragilidad, es casi evidente por sí misma. Los conocimientos, con pocas excepciones, no están diseñados para ser enseñados, sino para ser utilizados. Enseñar un conjunto de conocimientos es una empresa artificial. La transición desde el conocimiento, considerado como una herramienta para ser puesto en uso, hasta el conocimiento, como algo que debe ser enseñado y aprendido, es precisamente lo que he denominado la transposición didáctica del conocimiento (Chevallard, 1988, p. 6).

A pesar de ello, una condición necesaria es que el conocimiento no deje de ser riguroso y abstracto. Resumiendo, la transposición didáctica es la transformación del conocimiento científico en un conocimiento posible de ser enseñado en un aula específica a unos alumnos particulares.

Ejemplos de modelos didácticos son, además de los dibujos que hacen tanto alumnos como docentes, muchas de las ilustraciones que se

Chamizo_Paradoja_txt.indd 108 6/24/13 11:12 AM

muestran en los libros de texto y que generalmente aparecen como verdades incuestionables, sin identificar sus limitaciones, descontextualizadas históricamente (en lo que se ha denominado modelos híbridos; Justi, 2000). En pocas palabras, "la enseñanza de la química está dominada por la enseñanza de sus modelos", como lo han indicado los investigadores educativos Richard K. Coll y David F. Treagust (2003).

Lo anterior obliga a repensar el sentido de la ciencia que estamos enseñando y en qué medida es realmente ciencia escolar. Como bien lo ha indicado el investigador educativo Derek Hodson (2003, pp. 647-648):

> Hay un extenso reconocimiento entre los educadores de la ciencia de que ésta es un producto de su lugar y de su tiempo, estrechamente relacionada con instituciones locales y profundamente influida por sus métodos de construcción y validación. Muchos estudiantes no aprenden lo que nosotros quisiéramos: su conocimiento sobre la ciencia y la capacidad de usar tal conocimiento efectivamente están lejos de lo que ambicionamos; su entendimiento sobre la naturaleza y los métodos de la ciencia son generalmente incoherentes, distorsionados y confusos [...]. Ahora, por primera vez en la historia, estamos educando alumnos para vivir en un mundo acerca del cual sabemos muy poco, excepto que estará caracterizado por un vertiginoso cambio y que será más complejo e incierto que el mundo de hoy [...] ¿qué tipo de educación en ciencias es apropiada para preparar a nuestros estudiantes para ese desconocido mundo del futuro?

Así, respecto al contexto, que hay que reconsiderar de acuerdo con la cita anterior, hay dos modos diferentes con los cuales los modelos son interpretados, una vez que están dirigidos y construidos por dos grupos diferentes: los aprendices y los expertos. De acuerdo con el cuadro 4.5 (modificado de Grosslight, Unger, Jay y Smith, 1991), hay que hacer notar que los aprendices adquieren, construyen y aplican modelos de manera inconsciente.[11] Una manera importante de entender en qué consiste la práctica científica pasa por tener conciencia de que se está trabajando con modelos.

[11] La que permite relacionar y separar el hacer de los científicos profesionales con la actividad desarrollada en el aula, que puede caracterizarse alrededor de tres temas: la importancia de los procesos metacognitivos (por ejemplo, hay que enseñar a los estudiantes a pensar); la importancia de las ideas previas (de los propios estudiantes... y, por qué no decirlo, de algunos profesores) y la transposición didáctica.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 109 6/24/13 11:12 AM

CUADRO 4.5. DIFERENCIAS ENTRE CÓMO SON ENTENDIDOS LOS MODELOS POR LOS APRENDICES (QUE NO SÓLO SON LOS ALUMNOS, EN ESTE GRUPO TAMBIÉN SE ENCUENTRAN VISITANTES DE MUSEOS Y CONSUMIDORES EN GENERAL) Y LOS EXPERTOS

Aprendices	*Expertos*
Los modelos son materiales.	Los modelos son mentales y materiales.
Ayudan a conocer y a comunicarse con el mundo real.	Los modelos ayudan a entender o a pensar sobre una porción contextualizada del mundo.
Modelos diferentes del mismo objeto, sistema, fenómeno o proceso muestran diferentes aspectos del objeto, sistema, o proceso real.	Diferentes modelos de diferentes objetos, sistemas o procesos pueden construirse para diferentes propósitos.
Los modelos pueden cambiar si son equivocados o se encuentra nueva información.	Los modelos son remplazados por otros más adecuados con los propósitos establecidos.
Los modelos más actualizados son siempre los más correctos y los que mejor explican el objeto, fenómeno o sistema.	Los modelos ya remplazados pueden seguir utilizándose si los propósitos de su uso son satisfechos por dicho modelo, que incluso puede resultar más simple.

En los últimos años diversos investigadores educativos han insistido en la importancia de que los alumnos aprendan a modelar, es decir, que construyan en las aulas modelos didácticos, en lugar de que éstos les sean proporcionados por los libros, las computadoras o sus maestros. Se aprende no sólo en el diseño del modelo, sino también en la comparación con los modelos científicos construidos para un propósito que puede ser semejante. El modelaje no es necesariamente fácil, sobre todo porque los profesores no fuimos preparados para ello, pero ya hay suficientes experiencias sobre el tema.[12]

[12] Como puede consultarse en Justi y Gilbert, 2002a; Acher *et al.,* 2007; Izquierdo *et al.,* 2007; Schwarz *et al.,* 2009; Chamizo y García, 2010; Justi *et al.,* 2011; y Seok y Jin, 2011.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 110 6/24/13 11:12 AM

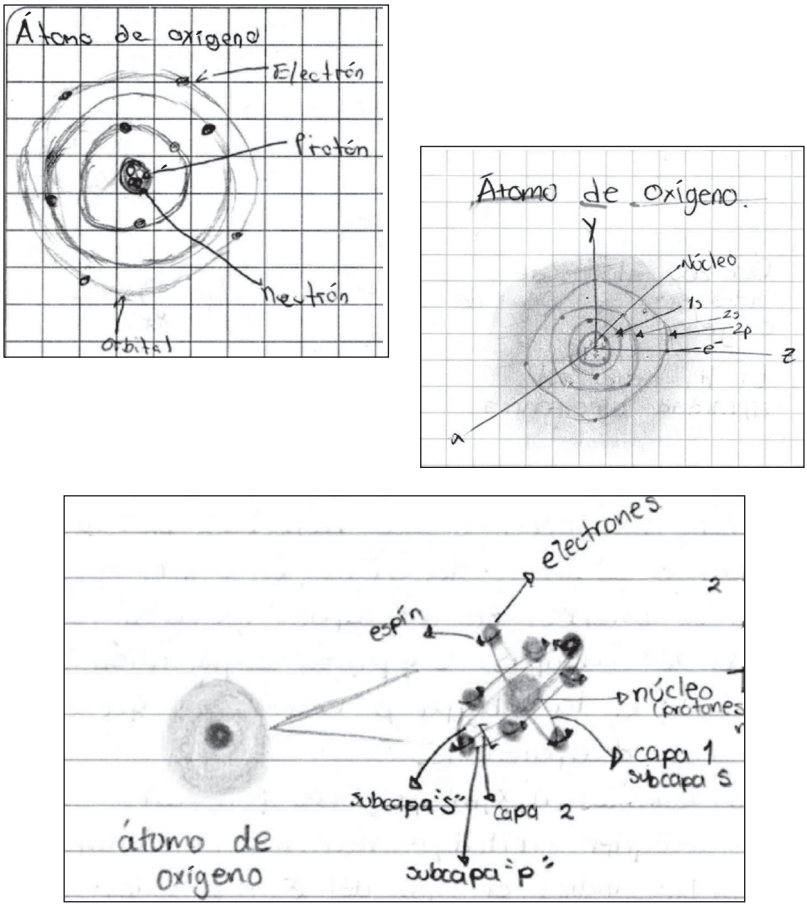


FIGURA 4.6. Modelos materiales icónicos didácticos sobre el átomo de oxígeno construidos por alumnos que inician la carrera de química.

Un primer esquema sobre los modelos y el modelaje se muestra en la figura 4.7, donde el resultado obtenido de enlazar los tres cuadros mediante las tres funciones es conocimiento, ya sea escolar o científico. El lector entenderá el sentido de utilizar recuadros punteados, semicontinuos y continuos alrededor de las leyendas modelo mental, modelo material y mundo real, cada una de ellas con distintos tipos de letras.

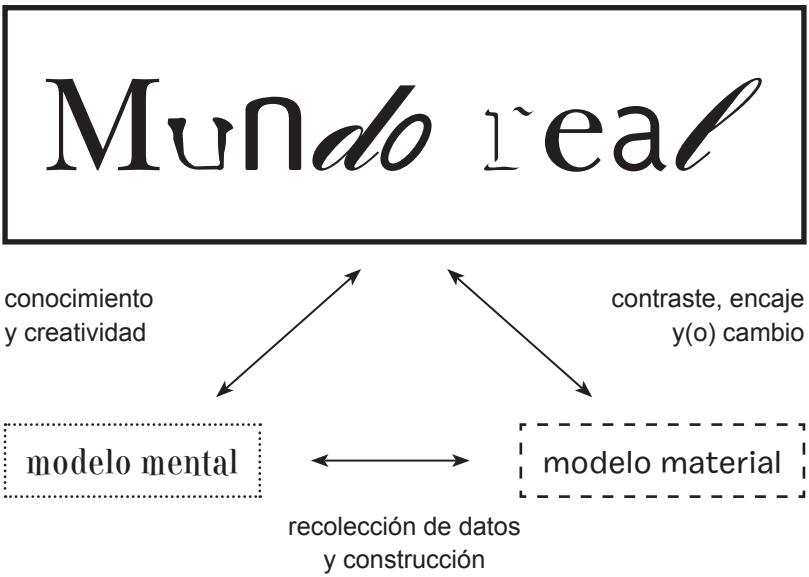


FIGURA 4.7. El complejo y diverso "mundo real" del cual, mediante el proceso de modelaje (flechas), se construyen inicialmente modelos mentales y posteriormente modelos materiales. Algunos de los modelos materiales experimentales pueden modificar el mundo real (Chamizo, 2010a).

MODELAJE

Es en la explicitación de la enseñanza de los modelos y del modelaje donde se puede establecer de manera muy clara la distancia que separa la construcción teórica (científica, social, histórica) del mundo real (Hacking, 2000) y donde se puede gestar permanentemente la condición del cambio.

En el contexto de ciencia escolar (Izquierdo, Caamaño y Quintanilla, 2007) los estudiantes pueden construir los dos tipos de modelos: mentales y materiales. Muchos profesores, desde luego, estarán familiarizados con los modelos materiales de dos y tres dimensiones <www.modelosymodelajecientifico.com>, y seguramente, sin saberlo a cabalidad, con los modelos mentales. También es posible modelar material y simbólicamente, como se hace, por ejemplo, al construir

la ecuación que permite predecir la altura a la que rebotará una pelota si se conoce la altura desde la que se la deja caer (tras recopilar una buena cantidad de datos experimentales) (Radford, 1990). Como lo indican las investigadoras Izquierdo, Sanmarti y Estana (2007, p. 161), pero extendiéndolo a todas las ciencias:

> La enseñanza de la química planificada como actividad de modelización de los fenómenos permitiría recuperar el significado práctico y axiológico de los conceptos químicos, puesto que éstos sólo dicen cómo es el mundo a partir de lo que se puede hacer en él. Si los fenómenos que se escogen son relevantes desde un punto de vista social, este nuevo enfoque de la enseñanza sería adecuado para la alfabetización científica de la ciudadanía, permitiendo introducir las entidades científicas a partir del conocimiento profundo de fenómenos en los que se puede intervenir.

Por lo anterior, hay que tener muy claro que lo que aparece en los libros de texto son modelos (generalmente híbridos) y no realidades; más aún, que una de las funciones de la educación debe ser el enseñar a modelar (Justi y Gilbert, 2002b).

Lo anterior queda claro indicando que para la enseñanza y el aprendizaje efectivos de las ciencias, se debe realizar en las aulas y en los laboratorios escolares (Chamizo y García, 2009) lo que hacen los científicos, que en el caso de la química es modelar la estructura de la materia posible.[13]

La construcción de un modelo es un compromiso entre las analogías y las diferencias que guardan con la porción del mundo que se está modelando, como se indica en el cuadro 4.1 para los gases. Así, cuando el modelo no encaja con los datos empíricos puede ser ampliado y corregido. En el cuadro 4.6 se indican algunos modelos construidos sobre el átomo. Como ya se dijo, su mayor complejidad generalmente se reconoce a lo largo del tiempo (Justi y Gilbert, 1999).

Los modelos se desarrollan por medio de un proceso iterativo en el cual las pruebas empíricas permiten revisar y modificar los presupuestos básicos de los mismos (Suckling, Suckling y Suckling, 1978). Un modelo es generalmente uno, en una secuencia histórica (Cha-

[13] Como lo ha indicado Sibel Erduran (Erduran, 2004, p. 130): "para aspirar a un aprendizaje efectivo de la química en los salones de clases hay que mostrar lo que 'los químicos hacen', es decir, modelar la estructura y la reactividad de la materia".

Chamizo_Paradoja_txt.indd 113 6/24/13 11:12 AM

CUADRO 4.6. EJEMPLOS DE MODELOS ATÓMICOS

Año	*Modelo*	*Evidencia experimental que no pudieron incorporar*
1808	Dalton	La existencia de los electrones.
1897	Thomson: budín con pasas.	La existencia de los protones.
1911	Rutherford: núcleo con carga positiva.	Atracción de los electrones por el núcleo.
1913	Bohr: sistema solar.	Naturaleza ondulatoria del electrón.
1926	Schoedinger: aquí ya no hay analogía macroscópica.	Los electrones, a pesar de tener la misma carga, pueden ocupar espacios cercanos, asunto que se explica mediante el spín.

mizo, 2007), en un área particular del saber, ya sea ésta científica o escolar. La historia de la ciencia es rica en ejemplos de cómo las comunidades científicas han desarrollado modelos para explicar el mundo real y cómo éstos han evolucionado para ir acomodando la evidencia empírica acerca de los hechos observados. El modelo atómico de Dalton es más sencillo que el modelo atómico de Thomson (una vez que éste considera la existencia de los electrones) y éste, a su vez, más sencillo que los de Rutherford o de Bohr (ya que ambos consideran, además de la existencia de los electrones, la del núcleo). Otro modelo atómico (únicamente del átomo de carbono) le sirvió a Robert van't Hoff para explicar algunas de las propiedades exclusivas (en su tiempo) de los compuestos en los que forma parte (figura 4.8).

Como los modelos se construyen para responder una o varias preguntas sobre una determinada parte del mundo, es crucial identificar el sentido con el que se construyó, de dónde viene y, de alguna forma, a dónde va. Así se está en posibilidades de reconocer lo que se ha eliminado de la totalidad del mundo (por abstracción o idealización) para poder entenderlo mejor. Por ejemplo, el modelo atómico de Lewis-Langmuir, que busca explicar la naturaleza del enlace químico y la estructura de las moléculas, y que los electrones no caigan al núcleo o que no se repelan entre sí, tiene poca importancia una vez que con su uso se responde a las preguntas que importaban en su tiempo (y aún hoy en día) a los químicos, aquellas relacionadas con

Chamizo_Paradoja_txt.indd 114 6/24/13 11:12 AM

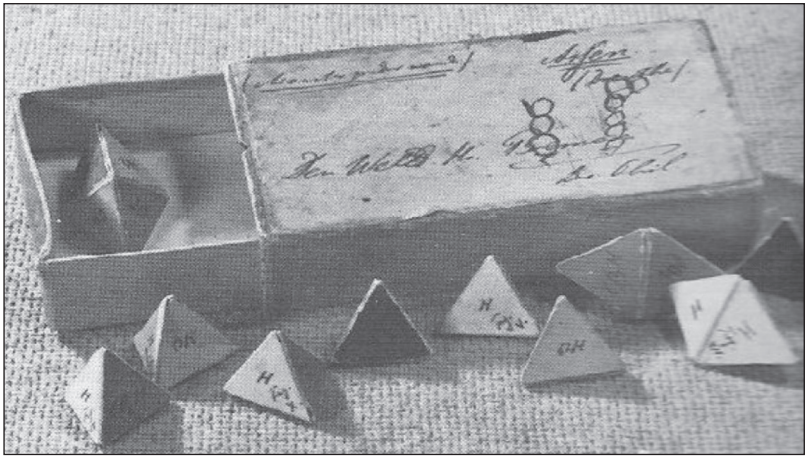


FIGURA 4.8. Modelo material icónico de modelos materiales icónicos de átomos de carbono tetraédrico construidos en 1884 por Robert van't Hoff. Con ellos se puede explicar la estereoisomería y predecir qué compuestos de carbono la presentarán, asunto que, por ejemplo, el modelo de Bohr es incapaz de hacer.

la estructura molecular (a las que respondía y aún hoy responde bien). Así lo indicaba el premio Nobel de Química de 1932, Irving Langmuir (1919), hace casi un siglo (p. 868):

El problema de la estructura de los átomos ha sido estudiado principalmente por los físicos, quienes consideran de manera muy pobre las propiedades químicas, las que en última instancia deben ser explicadas por una teoría de la estructura atómica. La gran cantidad de conocimientos que sobre las propiedades químicas se tiene y las relaciones como las que resume la tabla periódica deben emplearse como un mayor fundamento para la estructura atómica que los relativamente escasos datos experimentales obtenidos únicamente con ideas físicas.

No siempre es fácil establecer la sencillez o complejidad de un determinado modelo. Hay que hacer notar que los modelos son útiles para alguien en particular. Así, un modelo sencillo, como el modelo atómico de Lewis (que considera la existencia del núcleo y de los electrones pero asume que estos últimos están fijos en los

vértices de un cubo), es muy conveniente para discutir mucha de la química de los compuestos orgánicos, en lugar del mucho más complejo modelo cuántico atómico (Purser, 1999).

La actividad científica consiste, fundamentalmente, en la construcción y validación de modelos, y modelar es construir modelos ya sea en los laboratorios de investigación o en las aulas (Justi y Gilbert, 2002). Ahora bien, la actividad científica no empieza en los hechos, sino en las preguntas, y las preguntas dependen del marco teórico desde el cual se formulan. Así, los hechos no son independientes de los observadores y de sus maneras de ver el mundo. La sociedad en que viven día a día la comunidad científica, los docentes y los alumnos (estos dos últimos en un proyecto de ciencia escolar) determina o limita el tipo de preguntas que se hacen o que pueden responder ellos mismos, además de influir en sus conclusiones, debido a 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.[14]

Así, a partir de las preguntas sobre el mundo real se deriva la construcción de un primer modelo: un modelo mental. Esta actividad de modelaje privada se representa con una flecha que une ambos cuadros (véase la figura 4.7) y tiene dos puntas porque asume que las preguntas dependen de la estructura mental del individuo que las realiza, además de que defiende la postura empirista de acuerdo con la cual la representación depende en su totalidad de los datos obtenidos a partir de la percepción del mundo. Lo anterior, recordando que los modelos se construyen contextualizando una determinada porción del mundo con un objetivo específico, no hay ni reglas ni métodos para aprender a hacerlo, pero sin duda requieren tres condiciones:

[14] Como ya se discutió en el capítulo anterior, véase Echeverría (2003). También es importante recordar la discusión que André Giordan (1995), uno de los grandes teóricos sobre las ideas previas y el aprendizaje, presentó alrededor de los modelos y el modelaje generados por los alumnos (p. 244), los aquí llamados modelos didácticos: "Esta proposición nos lleva a la producción de modelos alejados del saber actual, aunque este saber sea el objetivo que debe alcanzarse a largo plazo. Esta idea no es fácil que sea aceptada, particularmente en algunos medios científicos autorizados. A éstos, en nombre de la modernidad, les sería difícil pensar que pueden dejar de enseñarse los saberes más actuales. Desafortunadamente, la observación cotidiana nos ha enseñando que hacerlo puede tener como consecuencia conducir a enunciados inaccesibles, produciendo efectos contrarios a los esperados, pues contribuyen a mitificar la ciencia".

Chamizo_Paradoja_txt.indd 116 6/24/13 11:12 AM

- conocimiento (para saber, hasta donde sea posible, cómo es esa porción del mundo);
- selección e integración del conjunto de elementos que, muchas veces de acuerdo con la analogía, son importantes en la construcción del modelo;
- imaginación y creatividad (para diseñar virtualmente el modelo compatible con esa porción del mundo de acuerdo con el objetivo establecido).

El segundo paso en el modelaje consiste en expresar el modelo mental construyendo un modelo material. La expresión es, comparada con la riqueza y diversidad del modelo mental, necesariamente limitada. La persona que está modelando considera los aspectos más relevantes del modelo mental (abstrae o idealiza), recolecta datos, corrige, reinicia, afina y finalmente arriba a una versión final del modelo material. Aquí se promueve una primera discusión entre los diversos constructores del modelo. Es un proceso de ida y vuelta que se construye generalmente respondiendo las preguntas ¿qué pasaría si? o ¿cómo explicar esto? A ello se debe que la flecha que une ambos cuadros y que caracteriza el proceso del modelaje también sea bidireccional.

Finalmente, el modelo material debe ser sometido a la prueba más importante que es el experimento real, siempre y cuando éste sea posible. El contraste y encaje entre el modelo material y el mundo real, en el proceso de modelaje, implican la observación del modelo material y la conducta del objeto, fenómeno o sistema de referencia. Es una observación pública indicada con una flecha también bidireccional, una vez que, resultado de la misma observación, se pueden realizar adecuaciones al modelo material, de forma que encaje de la mejor manera con el mundo real. En el encaje se prioriza la calidad de la explicación y de las predicciones hechas por el modelo. Aquí, dependiendo de la postura filosófica de la persona o la comunidad que construyó el modelo, se puede ser más o menos estricto haciendo notar que un modelo material le puede quedar bien a cierta realidad concreta, tal y como un traje le puede quedar bien a una persona y mal a otra. Así, si el modelo encaja satisfactoriamente con la porción del mundo *(M)* que se identificó previamente (objeto, fenómeno o sistema) de acuerdo con el objetivo establecido, una importante y última pregunta que deben hacerse los constructores del modelo *(m)* es si el modelo puede extenderse a otras porciones

Chamizo_Paradoja_txt.indd 117 6/24/13 11:12 AM

del mundo. Lo anterior sin olvidar que se puede tener al final más de un modelo (m_1, m_2, m_3 … etc.) de diferente complejidad para la misma porción del mundo modelada *(M)* (como aquí se ha indicado con los gases y los átomos).

Aquí hay que hacer una precisión a propósito de los modelos que se utilizan en la química científica. En un informe del National Research Council (Breslow, 2003) se indica en diferentes partes:

> El aspecto más distintivo de la química y de la ingeniería química es la capacidad de crear nuevas moléculas en diversas cantidades, sin limitarse al estudio de las que ya existan en naturaleza […] la promesa de mejores medicinas y materiales depende de la capacidad de los químicos especialistas en síntesis para diseñar nuevas formas de transformar la materia y de utilizarla en la creación y fabricación de sustancias nuevas. No es ninguna sorpresa que la síntesis sigue siendo la preocupación principal de una gran fracción de los químicos practicantes, y permanecerá así por un buen tiempo.

En la síntesis, los químicos modelan lo que sucederá con los reactivos para obtener el producto. Si un modelo falla en explicar el resultado experimental, se construye otro modelo. Sin una explicación generalmente basada en la estructura molecular el experimento de síntesis es una receta de cocina que sólo es exitosa a nivel fenomenológico.

Por ello, y recordando a Marcellin Berthelot, la química no sólo crea objetos; puede crear desde que lo nombra —una vez que el lenguaje es un modelo simbólico— su propio objeto. No existe previamente, es inventado en la medida que progresa.

Así, los químicos no sólo hacen modelos para entender el mundo, sino también para intervenir en él. A partir de los modelos materiales que los químicos construyen se construye un mundo nuevo (figura 4.4) y eso es algo que hay que enseñar.[15]

[15] En una reciente revisión teórica sobre la importancia del uso de los modelos en las aulas, Seok y Jin (2011) proporcionan una visión general de los mismos centrada en cinco aspectos: significado de los modelos; la construcción de modelos; la multiplicidad de modelos científicos; el cambio en los modelos científicos, y los usos de los modelos en las clases de ciencias.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 118 6/24/13 11:12 AM

A MANERA DE RESUMEN

Hay dos asuntos a resaltar. El primero es la frecuente confusión entre modelos y realidad que, a fuerza de no aclararse desde la enseñanza básica, confunde hasta a los más expertos. Tal es el caso de la discusión que se ha entablado desde el año 2000, acerca de si los orbitales atómicos pueden observarse. Artículos de las más prestigiosas revistas de ciencias (como *Nature*) así lo defienden, mientras que filósofos de la ciencia hacen notar que donde los científicos dicen ver realidad, en realidad ven un modelo.[16]

Por otro lado, hay que reconocer que, como ya se indicó desde el capítulo anterior, la química actual es heredera de una gran cantidad de oficios y tradiciones que influyeron en la vida cotidiana de todas las culturas. Los laboratorios, tal y como los conocemos hoy, son una de esas herencias compartidas con las otras ciencias y que caracterizan el quehacer de la química como una ciencia experimental. Sin embargo, el experimento químico, como acto de creación, y que identifica a la química como la actividad científica más productiva, lo vuelve prácticamente singular. Usando modelos, los químicos construimos otro mundo, un mundo nuevo.

Ésta es una primera respuesta a la pregunta que se planteó en el capítulo 2, donde se discutía sobre los diferentes currículos de química. La pregunta era "¿qué enseñar?" Allí bosquejada, puede ahora mejorarse y contextualizarse a partir del trabajo de Derek Hodson (*supra,* pp. 104-105). Guy Claxton, otro investigador educativo inglés, en su famoso libro *Enseñar mentes curiosas,* enfáticamente da la respuesta (Claxton, 1974, p. 159, las cursivas son mías):

> En el mundo en el que van a vivir los jóvenes, nada podría tener más valor que la capacidad de construir nuestra propia vida a medida que la vivimos: encontrar nosotros mismos qué es lo que nos satisface, conocer nuestros propios valores y nuestra propia mente, enfrentarnos a la incertidumbre con coraje e ingenio, y valorar lo que nos dicen los demás con un escepticismo inteligente y sano […]. La preocupación fundamental de una educación contemporánea útil debe centrarse en la capacidad de las personas para aprender bien. Cualquier otra prioridad, por muy apreciada que sea, que

[16] Sobre esta disputa, que tiene claras implicaciones educativas, véase Zuo *et al.,* 1999; Scerri, 2000; Spence, 2001; y Scerri, 2001.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 119 6/24/13 11:12 AM

socave el compromiso de *fomentar la habilidad para el manejo del cambio* o nuestro éxito en hacerlo, deberá ser relegada o suspendida.

Así, una tentativa y primera respuesta es: hay que enseñar para el cambio, para el incierto futuro, fuera de las rígidas verdades a las que nos acostumbró el positivismo lógico… y eso se puede hacer enseñando por medio de modelos y modelaje.

Finalmente, y volviendo de alguna manera al principio, como Morin (2002) indica, la enseñanza de los modelos, como algunos de los varios caminos (los correctos y los equivocados con la argumentación necesaria para así ser reconocidos, como ya lo indicó Toulmin) que construyen las comunidades de científicos y que pueden también construir los alumnos en las aulas, puede ser uno de los caminos a la lucidez.

MODELO

Un modelo es a la vez lo que se imita y lo que imita:

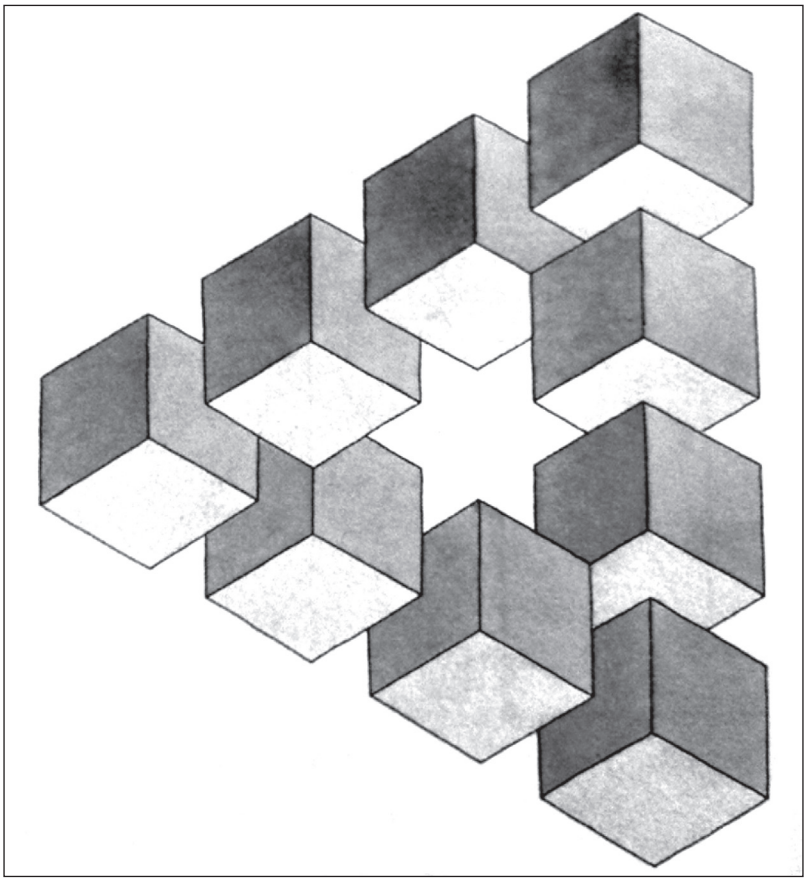
– artistas, deportistas, jugadores de ajedrez estarán entre aquellos a quien se imita. Hasta que cada uno se convierta en creador de su propio modelo para triunfar;

– los modelos en ciencias sociales, que imitan lo real, se convertirán en universos virtuales,* simulacros, maquetas hiperrealistas en las que se simularán las consecuencias de las decisiones que se piensan tomar.

* La definición se encuentra al final del siguiente capítulo.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 120 6/24/13 11:12 AM

5. EL APRENDIZAJE DE HABILIDADES DE PENSAMIENTO CIENTÍFICO[1]



[1] Este capítulo recoge y ordena varios artículos: Chamizo e Izquierdo, 2007a; Colsá y Chamizo, 2009; Chamizo, 2011-2012; y Pérez y Chamizo, 2012; Chamizo y García, 2012.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 121 6/24/13 11:12 AM

ANTECEDENTES

Como ya se indicó en el capítulo 3, la ciencia es una, entre varias, de las diferentes disciplinas intelectuales que las sociedades humanas han construido a lo largo de su propia historia. La unidad de las disciplinas intelectuales, en las que siempre se consideran no sólo los conceptos sino también las personas que los conciben, se debe a las ambiciones intelectuales del grupo que trabaja en ellas y les da forma. En pocas palabras, la unidad de una disciplina intelectual refleja la continuidad impuesta a los problemas que aborda, y los problemas se concretan a partir de una pregunta de su tiempo.

La discusión sobre qué ciencia enseñar, tanto en la educación básica como en el bachillerato y la universidad, está inmersa en una profunda parálisis. Por un lado, ante la enorme magnitud de conocimiento científico producido en la actualidad, y que se duplica cada cuatro o cinco años (dependiendo de la disciplina específica), los profesores de ciencias nos hemos convertido, sepámoslo o no, querámoslo o no, en profesores de historia de las ciencias (Chamizo, 2007). Por otro lado, hay una disputa entre los defensores de la tradición, que apelan por continuar con lo que se ha venido haciendo desde hace décadas: un currículo especializado centrado en las disciplinas, maquillado de moderno al incluir temas de actualidad (por ejemplo, asuntos de contaminación en química, energías renovables en física, discusiones bioéticas en biología, etc., es decir, lo que se conoce como ciencia en contexto *light*). Del otro lado de la disputa se encuentran los defensores del contexto, los generalistas, que asumen que es posible aprender ciencias a partir de una discusión socio-económico-política sobre la contaminación, los recursos naturales o el aborto, por ejemplo, olvidándose muchas veces de los aspectos específicos del saber humano que identificamos como científicos.

Lo anterior obliga a replantear el asunto en otros términos, de manera que no sólo se salga de esa estéril dicotomía, originada en parte por la ignorada postura filosófica que subyace oculta en los currículos, sino que también se permita reconocer el carácter fundamental que las ciencias tienen en la cultura contemporánea, y cómo la educación, una educación de su tiempo, pueda y deba reconocer.

Las ciencias que se enseñan en las aulas no son las ciencias tal como la estudian y construyen los científicos, sino una reconstrucción de éstas, y tampoco son un reflejo de los saberes cotidianos de los

Chamizo_Paradoja_txt.indd 122 6/24/13 11:12 AM

alumnos. La ciencia escolar corresponde a los conocimientos construidos y elaborados en el entorno escolar. Por ello debe ser problemática, es decir, abordarse a partir de problemas genuinos de los alumnos de manera que éstos, al resolverlos, aprendan. Aquí la idea principal es la de transposición didáctica (Chevallard, 1997), la cual se refiere a los procesos por medio de los cuales se transforma el conocimiento científico, de manera que éste pueda ser aprendido en diferentes edades y contextos, sin que por ello deje de ser riguroso (Izquierdo, 1999).

De particular importancia para la ciencia escolar es la interrelación entre la teoría y la práctica, entre el hacer y el pensar. Se considera que el pensamiento teórico que ofrecemos a nuestros alumnos (teorías, modelos, leyes, etc.) se convierte en una de las principales herramientas para alcanzar su autonomía personal en el futuro, siempre y cuando esté en función de una pregunta por contestar, de un problema por resolver, y condicionada a una actuación por realizar. Para ello, antes que cualquier otra cosa, hay que aprender a preguntar.

LAS PREGUNTAS

Preguntar requiere del que lo hace, movilizar conocimientos y habilidades que permiten reconocer la profundidad del saber. Gaston Bachelard, maestro de química y filósofo de las ciencias, lo dijo así (1979, p. 16):

> Y dígase lo que se quiera, en la vida científica los problemas no se plantean por sí mismos. Es precisamente este sentido del problema el que indica el verdadero espíritu científico. Para un espíritu científico todo conocimiento es una respuesta a una pregunta. Si no hubo pregunta, no puede haber conocimiento científico. Nada es espontáneo. Nada está dado. Todo se construye.

Sobre las preguntas hay una paradoja interesante. En la antigua Grecia, Menón desafió a Sócrates con el siguiente dilema: si alguien sabe la respuesta a una pregunta entonces no puede aprender nada por medio de esa pregunta. Por otro lado, si no sabe la respuesta, entonces no está en la posibilidad de reconocer la respuesta correcta, aunque ésta le sea proporcionada. De lo anterior se deduce que

Chamizo_Paradoja_txt.indd 123 6/24/13 11:12 AM

no se puede aprender nada formulando preguntas. La solución a la paradoja de la investigación de Menón se encuentra en que el que investiga posee la cantidad suficiente de conocimientos como para reconocer la respuesta cuando es correcta, pero no para proporcionarla inicialmente. Es la posición intermedia la que permite el avanzar.

El conocimiento científico no empieza en los hechos, sino en las preguntas. Los hechos no son independientes de los observadores y 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. Sobre la combustión, por ejemplo, no se preguntó lo mismo Antoine Lavoisier en París, que Yuan T. Lee, premio Nobel en 1986, 200 años después en Berkley, por su investigación de la dinámica de procesos químicos elementales, encontrando cientos de sustancias en una flama.

Así, la sociedad en que viven día a día los científicos, docentes y alumnos (estos dos últimos en un proyecto de ciencia escolar) 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 mediante 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 se hacen los científicos, docentes y alumnos corresponden a las que tradicionalmente las sociedades o las escuelas aceptan. Además, como ya se dijo antes, las preguntas concretan los problemas y constituyen la espina dorsal de una metodología (Polya, 1945). Como se muestra en el cuadro 5.1, hay varios tipos de preguntas (Chamizo, 2000a), y las que aquí nos interesan, las que tienen que ver con el conocimiento científico en el ámbito de la ciencia escolar, son las abiertas. Por ello aprender a preguntar es una habilidad, y aprender a evaluarla una necesidad (Doran *et al.,* 2002).

Las investigaciones sobre la generación de preguntas en las aulas de ciencias indican que los estudiantes preguntan poco y mal (Graesser y Pearson, 1994). Hace unos años, Pedroza y Watts (2003) consideraron importante la clasificación de las preguntas en confirmatorias y transformadoras. Las primeras son aquellas que buscan clarificar la información, ejemplificar o definir ("¿cuál es la definición de lluvia ácida en química?", "¿por qué se debe de agregar el ácido al agua y no al revés?"). Por otra parte, las preguntas transformadoras permiten

Chamizo_Paradoja_txt.indd 124 6/24/13 11:12 AM

CUADRO 5.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS PREGUNTAS

Preguntas		
Cerradas	*Intermedias*	*Abiertas*
Se contestan en una o dos palabras y la respuesta está en una determinada página de un libro o un cuaderno de apuntes.	La pregunta generalmente requiere una o dos oraciones para ser contestada. La respuesta no está en un lugar determinado de un libro o de un cuaderno de apuntes. Sin embargo, si se entiende el material que en ellos se presenta, se está en posibilidad de responderla.	La pregunta requiere al menos un párrafo para ser contestada. La respuesta no se encuentra en un solo libro.
La respuesta es correcta o equívoca.	La respuesta puede ser correcta si está bien explicada, pero también puede estar equivocada.	La respuesta es correcta si está de acuerdo con la información mostrada en los libros o cuadernos de apuntes y además si está bien explicada.
Generalmente empiezan con *qué, dónde* o *cuándo.*	Generalmente empieza con *cómo.*	Generalmente empiezan con *por qué* o *qué pasaria si.*

reorganizar la comprensión de los estudiantes. Con ellas se busca lo que hay detrás de las ideas, averiguar sobre los límites del conocimiento, atravesar fronteras ("¿de qué manera es posible para nosotros prevenir la lluvia ácida?", "¿cómo es posible generar una imagen a partir de un experimento de resonancia magnética nuclear?"). De esta clasificación y resultado de su investigación en Portugal, llegaron a la conclusión de que hay dos tipos de personas: los interrogadores de baja calidad, aquellos que sólo hacen un tipo de preguntas (generalmente confirmatorias), fuera de contexto y confusas, y los interrogadores de alta calidad cuyas preguntas son confirmatorias y transformadoras, ubicadas en el contexto apropiado y claramente enunciadas.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 125 6/24/13 11:12 AM

Años después Córdova y sus colaboradores (2007) clasificaron poco más de 7 000 preguntas realizadas por alumnos de licenciatura de química después de leer diferentes narraciones (sobre alimentación, salud y vivienda) en dos grandes categorías:

- *Inductoras.* Son las que remiten a la composición química, análisis y procesos que pueden involucrar diferentes áreas disciplinarias, por ejemplo: "¿qué sustancia contiene…?", "¿cómo se comporta el…?", "¿qué reacción ocurre cuando…?"
- *No inductoras.* Aquellas que tienen una respuesta obvia o corta, que carecen de relación, cuya respuesta está en la misma narración, que interrogan si lo planteado en el texto es cierto, o son preguntas semánticas, por ejemplo: "¿qué es…?", "¿qué significa…?", "¿es verdad que…?", "¿dónde está…?"

Esta clasificación remite a la posibilidad de realizar posteriormente una investigación, ya sea teórica o experimental. En el estudio realizado sólo una tercera parte correspondía a preguntas inductoras, mientras que dos terceras partes correspondieron a las preguntas no inductoras. Ejemplos de ellas se muestras en el cuadro 5.2.

Hay más taxonomías de preguntas, pero lo que queda claro es que, guardando las diferencias que se encuentran en las clasificaciones, los motivos para construirlas y las palabras que se empleen para enunciarlas, hay dos extremos. Por un lado están las preguntas cerradas, confirmatorias o no inductoras, y por el otro las abiertas, transformadoras e inductoras. Estas últimas son las que caracterizan una de las habilidades del pensamiento científico.

Antes de precisar una tipología de las preguntas (cuadro 5.3) cabe hacer notar que, para un mismo tema, las preguntas relevantes pueden ser distintas para diferentes estudiantes; por lo tanto, estas preguntas pueden hacer considerar como importantes otros registros y transformaciones.

Como se dijo al principio de este apartado, preguntar requiere del que lo hace, movilizar conocimientos y habilidades que permiten reconocer la profundidad del saber, es decir, las preguntas deben estar bien formuladas (estructuradas con precisión y claridad), ser unívocas (es decir, que su significación sea la misma para diferentes sujetos), estar contextualizadas (en el tiempo y el espacio) y ser factibles (pueden responderse en las condiciones particulares en las que

Chamizo_Paradoja_txt.indd 126 6/24/13 11:12 AM

CUADRO 5.2. EJEMPLOS DE PREGUNTAS INDUCTORAS (CÓRDOVA, 2007) O ABIERTAS Y NO INDUCTORAS O CERRADAS, DERIVADAS DE UNA NARRACIÓN ESPECÍFICA

Narración	*Preguntas inductoras*	*Preguntas no inductoras*
…colocar una moneda de cobre en los nopales durante su cocimiento para conservarlos verdes…	¿Qué reacción química ocurre durante el cocimiento de los nopales que hace que éstos pierdan su color? ¿Cuál es la acción del cobre metálico que evita que esto ocurra?	¿Tiene algún efecto tóxico? ¿La moneda podría tambien ser de plata?
…poner a cocer en agua, con un poco de aceite y sin sal, los frijoles que había dejado remojando la noche anterior…	¿Qué fenómeno ocurre al remojar frijoles en agua? ¿Qué efecto tendría la sal en la rehabilitación de la semilla?	¿Por qué se ponen a cocer los frijoles en agua y no en otra sustancia? ¿El aceite se usa para que no se peguen a la olla?
…cocer el maíz remojado en agua con cal para preparar el nixtamal y después molerlo en el metate de piedra negra…	¿Qué reacción química se produce al añadir cal al maíz? ¿Por qué es necesario remojar el maíz en agua con cal?	¿Por qué molerlo en metate de piedra? ¿El metate de piedra negra le da sabor a la tortilla o sólo sirve para moler el maíz?

CUADRO 5.3. TIPOS DE PREGUNTAS (RÍOS, 2013)

- *Cerrada.* La pregunta solicita información textual de una sola fuente, y la respuesta se encuentra en un solo lugar, es obvia, corta, con pocas palabras o números.
- *Abierta.* La pregunta solicita evidencias e información sobre la causa-efecto e información de dos o más fuentes, la respuesta es amplia, remite al análisis, apela a la organización de ideas, conceptos, hechos y establece relaciones entre ellas.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 127 6/24/13 11:12 AM

se encuentra el sujeto que las enuncia). Preguntar así es una habilidad del pensamiento científico.

Una vez formulada una pregunta que de alguna manera concreta un problema, la mejor estrategia para abordar su resolución parece ser la diseñada hace unos años por Gowin mediante su ya famosa *Ve* epistemológica o heurística. Este "organizador de teoría gráfico" (Trowbridge y Wandersee, 1998) fue desarrollado primeramente para ayudar a estudiantes y profesores a aclarar la naturaleza y los objetivos de los experimentos en los laboratorios de ciencias. Su éxito en esta actividad promovió además su uso para analizar una lectura, diseñar una investigación, preparar una clase, como instrumento para análisis de currículos y resultó de suma utilidad en la evaluación, tanto del trabajo teórico como del experimental. Novak y Gowin (1984) afirman que el conocimiento no se transmite ni se descubre, sino que se construye por cada individuo, y que, por lo tanto, tiene una estructura que puede ser analizada.

Para construir la *Ve,* se escribe la pregunta central en su parte superior; por ejemplo, ¿cuál es el problema que se quiere solucionar?, ¿cuál es la parte medular de una práctica?, ¿qué pregunta se quiere contestar con el trabajo experimental? (figura 5.1). En el vértice de la *Ve* se encuentra lo que Gowin llama *eventos* (que acontecen o se hacen acontecer) y son elementos a partir de los cuales, y con el manejo adecuado, se va adquirir un nuevo conocimiento. En el lado derecho de la *Ve* —llamado por Gowin "dominio metodológico"— se tiene el "cómo hacer" o metodología seguida para tratar los hechos o eventos. En este lado se encuentran los registros, esto es, los datos obtenidos de un experimento. Esos registros son sujetos a transformaciones para obtener, entre otras cosas, tablas o gráficas que al ser interpretadas pueden dar lugar a un conocimiento, el cual tiene además una valoración determinada.

En el lado izquierdo de la *Ve* se halla el *dominio conceptual*, donde se explicitan los conceptos, leyes, teorías, principios y filosofía que orientan el trabajo que se está realizando. Es importante señalar que los lados derecho e izquierdo de la *Ve* están estrechamente relacionados, y debe ofrecerse la seguridad de que la pregunta inicial quede debidamente contestada.

Cuando se construye una *Ve*, el estudiante está pensando y repensando, organizando sus ideas y la información disponible (Chamizo y Hernández, 2000a), negociando lenguajes (Izquierdo, 1995). Esta

Chamizo_Paradoja_txt.indd 128 6/24/13 11:12 AM

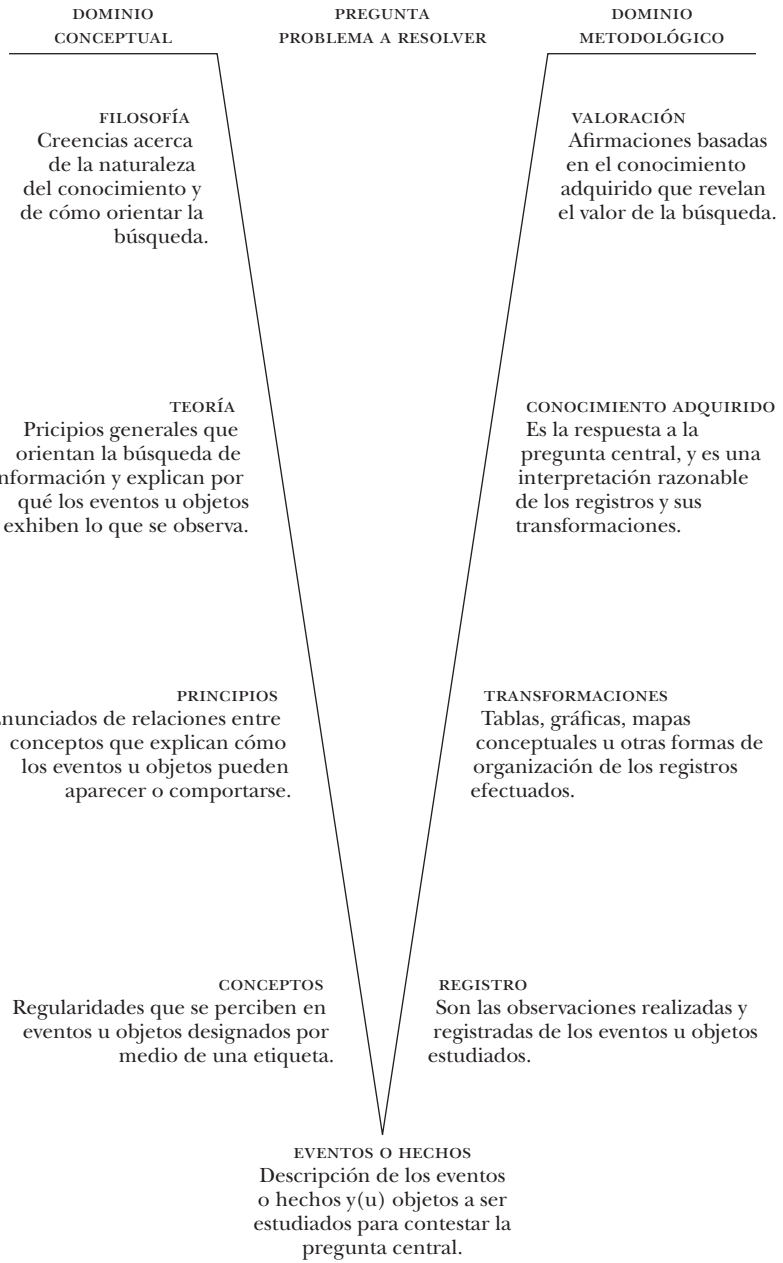


FIGURA 5.1. *Ve* de Gowin.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 129 6/24/13 11:12 AM

organización ocurre de acuerdo con la estructura cognitiva de cada uno de los estudiantes, y, por lo tanto, es una construcción única, propia de cada uno de ellos.

En cuanto al uso de la *Ve* como instrumento de evaluación, dicen Novak y Gowin (Novak, 1984, p. 113):

> A pesar de que la elaboración de diagramas *Ve* es una tarea relativamente compleja, nuestra experiencia indica que los estudiantes responden de modo positivo a ella. En especial cuando se compara con los trabajos por escrito, el diagrama *Ve* resulta ser una manera esquemática para poner de manifiesto lo que comprenden los estudiantes acerca de un tema o un área de estudio, y también les ayuda a organizar las ideas y la información.

La construcción de *Ves* tiene cierto grado de dificultad, por lo que son necesarios varios ejercicios para familiarizarse con su uso. A los alumnos les toma cierto tiempo adquirir la habilidad para construir *Ves*, pues se requiere identificar plenamente cada uno de los elementos que intervienen en ellas. En un principio es necesario promover la discusión y reflexión para que se identifique cuál es la pregunta central, cuáles son los objetos, eventos u hechos observados, cuál es la filosofía o las teorías requeridas para contestar la pregunta y qué hay que hacer para ello.

A pesar de sus evidentes virtudes,[2] la *Ve* presenta una carencia importante en su lado izquierdo. Para muchas personas, aprendices y expertos no está claro cuáles filosofías o teorías están involucradas en la explicación que responde a las preguntas. Por ello, en la parte conceptual hemos introducido una modificación siguiendo los lineamientos de Toulmin (Chamizo e Izquierdo, 2007a). Como ya se dijo (*supra,* p. 67), para él los conceptos científicos desarrollados a lo largo de la historia integran una complejidad tal, que es necesario distinguir en ellos tres aspectos diferentes que permitirán utilizarlos, particularmente en el espacio educativo, de mejor manera:

1] El lenguaje.
2] Las técnicas de representación (o modelos).
3] Los procedimientos de aplicación de la ciencia.

[2] Por ejemplo, en la resolución de problemas (Escudero, 1999).

Chamizo_Paradoja_txt.indd 130 6/24/13 11:12 AM

Los dos primeros se refieren a aspectos simbólicos de la explicación científica —esto es, la actividad científica que llamamos *explicar*— una de las formas en las que hacemos públicos nuestros pensamientos, una de las formas en las que una generación le transmite a otra el contenido de una ciencia, una "enculturación". Éstos sólo tienen un uso genuinamente explicativo cuando se aplican en el mundo. Así, el tercer aspecto comprende el reconocimiento de situaciones para las que son apropiadas estas actividades simbólicas, el entorno. En el aprendizaje de una ciencia , el aprendiz debe aprender *también* dónde aplicar los aspectos simbólicos de los conceptos (Chamizo, 2005).

LOS DIAGRAMAS HEURÍSTICOS

Los diagrama heurísticos (*heurístico* viene de la palabra griega *heuriskein,* descubrir), en los que se conservan muchas de las características establecidas por Gowin —pero incorporando las tres características de los conceptos antes enunciadas—, se presentan en forma de una tabla cuya secuencia de llenado, de su parte superior a la inferior, reconoce de manera explícita el método de trabajo realizado (figura 5.2). En la figura 5.3 se reproducen las instrucciones para su llenado.

La columna derecha del diagrama heurístico reconoce explícitamente la evaluación y la autoevaluación mediante un proceso de autocognición. Si la premisa fundamental es la relación entre las partes que lo integran, un registro de aprendizaje (Chamizo, 1996a) como el de la figura 5.4 ayuda a realizarlo. En el caso de las preguntas, por ejemplo, no se asigna ningún punto si no hay pregunta. Recibe un punto si se hace basada en los hechos, lo que implica que la pregunta parte de un determinado lugar, los hechos del mundo. Estas preguntas son equivalentes a las preguntas literales identificadas por García (García, 2007), a partir de textos, en su investigación sobre preguntas con ideas y detalles expresados en el texto de partida. La pregunta recibe dos puntos si reconoce conceptos (en cualesquiera de sus tres componentes) y, finalmente, tres puntos si ya adelanta una posible metodología de resolución (figura 5.4).

Para completar el diagrama hay que indicar, antes que nada, sobre qué trata. La siguiente sección pide que se reconozcan los hechos.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 131 6/24/13 11:12 AM

Diagrama heurístico sobre:		Puntos
HECHOS		
PREGUNTA		
CONCEPTOS	**METODOLOGÍA**	**0**
Aplicaciones	**Procedimiento para la obtención de datos**	
Lenguaje	**Procesamiento de los datos para obtener un resultado**	
Modelo	**Análisis y conclusión derivado de los datos**	
RESPUESTA O RESULTADO		
	REFERENCIAS De los hechos: De los conceptos: De la metodología:	
	Autoevaluación (total de puntos)/20 puntos posibles	

FIGURA 5.2. Diagrama heurístico.

Diagrama heurístico sobre: (Se refiere al tema de la investigación)		**Puntos**
HECHOS (Se refiere a la información obtenida y observaciones realizadas respecto a algo que sucede en el mundo que nos lleva a formular una pregunta. Preferentemente deben de identificarse varios de ellos.)		
PREGUNTA (Enunciado de una pregunta centrada en los hechos. Hay que asegurarse de que es una sola y única pregunta.)		
CONCEPTOS	**METODOLOGÍA**	**0**
Aplicaciones	**Procedimiento para la obtención de datos**	
(Se refiere a los usos que tiene el tema que estamos investigando.)	(Se refiere a lo que hacemos para obtener la información pertinente para poder contestar la pregunta. Hay que precisar y detallar.)	
Lenguaje	**Procesamiento de los datos para obtener un resultado**	
(Se refiere a los términos que requerimos saber para responder la pregunta.)	(Se refiere al manejo de datos y resultados en tablas , gráficas, diagramas etc. que resumen los datos obtenidos.)	
Modelo (Se refiere al modelo que se usa para dar la respuesta a la pregunta. Puede ser científico, económico, social, etc. Por ejemplo, modelo atómico de Lewis, modelo de acidez de Arrhenius, modelo de mercado, modelo de aprendizaje constructivista, etc.)	**Análisis y conclusión derivado de los datos** (Se refiere únicamente a lo obtenido a partir de los datos procesados.)	
RESPUESTA O RESULTADO (Una vez elegida una respuesta o un resultado se refiere a la explicación que responde a la pregunta reuniendo los conceptos con la metodología o con las razones por las cuales el experimento falló, o no se puede contestar la pregunta.)		
REFERENCIAS De los hechos: De los conceptos: De la metodología: (Se refiere a los libros, artículos de revistas, páginas web, etc., consultados y utilizados en cada parte de la investigación.)		
Autoevaluación (total de puntos)/20 puntos posibles (Hay que sumar todos los puntos obtenidos y compararlos contra los posibles.)		

FIGURA 5.3. Instrucciones para completar un diagrama heurístico.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 133 6/24/13 11:12 AM

Un hecho acerca del mundo es una afirmación (que no contiene valores) acerca del mundo, en la que coinciden diversas personas (por ejemplo, el cielo es azul, las mariposas tienen alas o los ácidos queman). Los hechos requieren ser documentados, por ello hay que identificar en la sección de referencias de dónde provienen. Con los hechos se construye una pregunta (idealmente abierta, transformadora o inductora) que para responderse requiere de una determinada metodología. Así hay que indicar el procedimiento escogido para responder la pregunta, procesar los datos obtenidos y alcanzar una conclusión de los mismos. La conclusión no es la respuesta a la pregunta, ya que para serlo se necesita incorporar los conceptos. Lo más simple de éstos es reconocer las aplicaciones de lo que estamos investigando. El lenguaje permite iniciar el proceso de explicación, que es más complejo y se concreta con la identificación o proposición de un determinado modelo. El modelo es el que explica la pregunta y debe ser parte de la respuesta.

Hay que hacer notar que una investigación (experimental o teórica) es una manera de responder una pregunta pero que no necesariamente se realiza de manera exitosa. Lo anterior depende de la complejidad de la pregunta, del tiempo disponible para contestarla, de la metodología empleada, de la destreza y experiencia que se tiene para transformarla, así como de otros factores. Por ello en ocasiones no se alcanza a dar una respuesta a la pregunta original pero sí un resultado que considera los errores hallados (generalmente en la parte metodológica). Por ello, en la evaluación del diagrama heurístico tiene igual valor la respuesta como el resultado. Hay que aprender a optar por una u otro, y esto es algo que los alumnos deben reconocer explícitamente al tomar su elección. Sobre la decisión, Fernando Savater indica (2003, p. 35): "Actuar es en esencia elegir y elegir consiste en conjugar adecuadamente conocimiento, imaginación y decisión en el campo de lo posible".

Además, en los conceptos puede tener mayor valor indicar o proponer el modelo que es capaz de explicar la pregunta y en la metodología la capacidad de concluir, lo que se reconoce otorgando más puntos a estas secciones. Destacar paulatinamente las secciones que pueden tener más valor a lo largo de un curso también es una decisión del profesor. Con los diagramas heurísticos se muestra un método para realizar investigaciones que, fructíferas o no, construyen poco a poco habilidades de pensamiento científico. Como todo

Chamizo_Paradoja_txt.indd 134 6/24/13 11:12 AM

proceso, requiere ser analizado y autoevaluado a lo largo del camino, lo que en general requiere al menos tres pasos:

1] Identificación clara de la pregunta a partir de los hechos.
2] Llenado de una primera versión completa del diagrama heurístico para su autoevaluación y discusión con el profesor y los compañeros.
3] Hacer los cambios o investigaciones necesarias para completar adecuadamente el diagrama heurístico conforme a los comentarios recibidos en la versión anterior. Volver a autoevaluarlo.

A continuación se muestra su uso en tres diferentes ámbitos y en otros tantos grados educativos.

Diagramas heurísticos en la resolución de problemas

Sobre un tema del currículo oficial, los profesores profundizan el saber con la intención de que los alumnos generen una pregunta abierta. Para ello hay diversas estrategias: lecturas adicionales, ya sea de libros o revistas (Robles, 2008); visitas a museos (Pérez y Chamizo 2011), laboratorios o empresas; análisis de videos y películas; realizar experimentos (Colsa y Chamizo 2009). Lo primero es que los alumnos de manera individual se hagan una pregunta y posteriormente, al interior de su equipo de trabajo (idealmente integrado por tres de ellos), escojan cuál de las que hicieron individualmente es la más adecuada para responder grupalmente. El diagrama heurístico de la figura 5.3 y el registro de aprendizaje de la figura 5.4 indican lo que deben hacer.

Si la respuesta a la pregunta se obtiene de manera teórica, lo que en el ámbito escolar significa por medio de una investigación bibliográfica, debe quedar muy claro en la sección de metodología. Generalmente la pregunta y la autoevaluación evolucionan a lo largo de la investigación. En un proceso de ida y vuelta cada vez se tiene más información y se va depurando lo que se quiere saber, además de que se van precisando, del lado de los conceptos, las aplicaciones, el lenguaje y el modelo. Fue el caso de un grupo de alumnos de bachillerato que realizó, para el tema curricular de minerales, una investigación sobre los diamantes. Su pregunta fue cambiando, con cada

Chamizo_Paradoja_txt.indd 135 6/24/13 11:12 AM

Puntos	*Características*
	HECHOS
0	No hay hechos
1	Se identifican hechos documentados
2	Se identifican hechos documentados y algunos conceptos
3	Se identifican hechos documentados, conceptos y algunos aspectos metodológicos
	PREGUNTA
0	No hay pregunta
1	Hay una pregunta basada en los hechos
2	Hay una pregunta basada en los hechos e incluye conceptos
3	Hay una pregunta basada en los hechos que incluye conceptos y sugiere aspectos metodológicos
	METODOLOGÍA
0	No hay metodología
1	Hay un procedimiento que permite la recolección de datos
2	Los datos son procesados, ya sea por medio de tablas o gráficas
4	Con los datos procesados se obtiene una conclusión
	CONCEPTOS
0	No hay conceptos
1	Se identifican las aplicaciones
2	Se identifican las aplicaciones y el lenguaje
3	Se identifican las aplicaciones, el lenguaje y el o los modelos capaces de explicar la pregunta
	RESPUESTA EN LUGAR DE RESULTADO
0	No hay respuesta
1	La respuesta es muy semejante a la conclusión de la parte metodológica
2	La respuesta incorpora, además de la conclusión de la parte metodológica, los hechos
3	La respuesta incorpora, además de la conclusión de la parte metodológica, los hechos y los conceptos (particularmente el modelo)
	RESULTADO EN LUGAR DE RESPUESTA
0	No hay resultado
1	Se identifican los errores
2	Se identifican y se explican los errores
3	Se identifican y se explican los errores y se propone una alternativa razonable de solución
	REFERENCIAS
0	No hay referencias
1	Hay referencias únicamente de los hechos de los conceptos o de la metodología
2	Hay referencias de los hechos, y de los conceptos o de la metodología
3	Hay referencias de los hechos, de los conceptos y de la metodología

FIGURA 5.4. Registro de aprendizaje del diagrama heurístico.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 136 6/24/13 11:12 AM

uno de los tres pasos antes indicados, de la siguiente manera. "¿En qué consisten los procesos de formación de diamantes?"; "¿por qué el carbono cristaliza de diferentes formas?"; "¿por qué las formas (alotrópicas) del carbono tienen diferentes propiedades?" Asimismo, la autoevaluación (figura 5.4) de su diagrama, comparada con la evaluación hecha por el profesor del curso, pasó a lo largo de las tres etapas de 18/13 puntos a 18/15 puntos a una convergencia final de 19/19 puntos. Recientemente, John Hattie (2009) ha reportado que la estimación hecha por los estudiantes de su propio desempeño es el factor más importante relacionado con el logro.

Una de las demandas más complicadas del diagrama heurístico es la correspondiente al modelo, ya que implica que los estudiantes tengan un buen conocimiento y comprensión de su tema de investigación, lo cual es difícil de alcanzar en periodos cortos en este nivel educativo, particularmente por el hecho de que algunos temas están relacionados no sólo con algún aspecto de química sino que tienen que ver con la filosofía, la economía o la historia. Queda claro que el entendimiento de los modelos se debe ir construyendo por medio de la escolaridad, desde la escuela básica.

Si responder una pregunta requiere la realización de un experimento se está coincidiendo con lo propuesto por la investigadora educativa Andrée Tiberghien (2000) en el sentido de que el próposito fundamental del trabajo práctico experimental es permitir que los alumnos establezcan relaciones entre el mundo real y los conceptos, no necesariamente entendidos a la manera de Toulmin, pero sí en su condición de entidades teóricas, como se puede ver en la figura 5.5.

Después de varios años de diversas investigaciones sobre el trabajo experimental (Chamizo, 2004a) hemos adoptado una postura

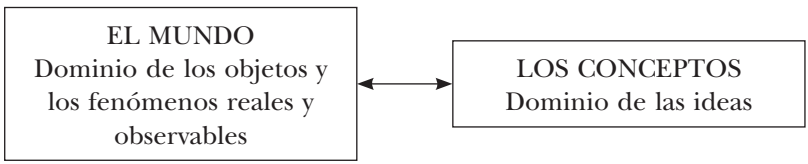


FIGURA 5.5. Propósito fundamental del experimento escolar.

<table>
<tr><td colspan="2">DIAGRAMA HEURÍSTICO SOBRE:
Síntesis y caracterización de una sustancia gaseosa</td><td>Puntos</td></tr>
<tr><td colspan="2">HECHOS
El peróxido de hidrógeno se descompone en hidrógeno y oxígeno. El MnO_2 y el KI se utilizan como catalizadores en esta reacción. El oxígeno, como muchos otros gases, puede ser “atrapado” por desplazamiento de agua.</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="2">PREGUNTA
¿Cómo afecta el uso de diferentes catalizadores en la reacción de descomposición del agua oxigenada para obtener 10 ml de oxígeno medido a lo largo de su desplazamiento de agua?</td><td>3</td></tr>
<tr><td>CONCEPTOS</td><td>METODOLOGÍA</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Aplicaciones
El oxígeno es ampliamente utilizado en las industrias de manufactura de acero y papel.</td><td rowspan="2">Procedimiento para la obtención de datos
Utilizando la misma cantidad de peróxido de hidrógeno se requieren 120 s para obtener 10 ml de oxígeno medido a lo largo del desplazamiento de una cantidad equivalente de agua. Empleando la misma cantidad KI como catalizador sólo se requieren 13 s.</td><td>1</td></tr>
<tr><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Lenguaje
Catalizador
Velocidad de reacción
Gas
Energía de activación</td><td rowspan="2">Procesamiento de los datos para obtener un resultado
<table>
<tr><th>Catalizador</th><th>Tiempo (s) para obtener 10 ml de oxígeno</th></tr>
<tr><td>MnO_2</td><td>120</td></tr>
<tr><td>KI</td><td>13</td></tr>
</table></td><td>1</td></tr>
<tr><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Modelo
El catalizador aumenta la velocidad de la reacción disminuyendo su energía de activación.</td><td rowspan="2">Análisis y conclusión derivado de los datos
La velocidad de la reacción fue aproximadamente 10 veces mayor utilizando KI en lugar de MnO_2.</td><td>2</td></tr>
<tr><td>2</td></tr>
<tr><td colspan="2">RESPUESTA O RESULTADO
Utilizando diferentes catalizadores en la reacción de descomposición del peróxido de hidrógeno, la velocidad de la misma cambió. Como resultó ser más rápida con KI que con MnO_2, la energía de activación con la primera sustancia debe ser menor que con la segunda.</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="2">REFERENCIAS
De los hechos: Brown, T., y Lemay, E. (1987). Química, México: Prentice Hall.
De los conceptos: Rayner, G. (2000). Química inorgánica, México: Pearson.
De la metodología: González, J., y Ortega, F. (1998). Prácticas de química, Madrid: UNED.</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="2">Autoevaluación (total de puntos)/20 puntos posibles</td><td>20</td></tr>
</table>

FIGURA 5.6. Diagrama heurístico sobre una investigación experimental realizado por alumnos de bachillerato.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 138 6/24/13 11:12 AM

explícita. En lugar de solicitar los reportes de prácticas tradicionales, hemos trabajado con alumnos de bachillerato incorporando los diagramas heurísticos con gran aceptación de ellos mismos. Para hacerlo hay que asumir, de acuerdo con Derek Hodson (1994), que se requiere "menos práctica y más reflexión". Lo anterior se traduce, además de aprender a llenarlos, en un tiempo específico para pensar las preguntas (en equipos de dos alumnos) a partir de los hechos (generalmente el tema de la actividad experimental que está indicado en los currículos tradicionales) y discutirlas entre todos los integrantes del curso antes de proceder en el laboratorio a intentar responderlas. Uno de dichos diagramas se muestra en la figura 5.6.

Es pertinente hacer notar que, sobre todo en el trabajo experimental, muchas veces los alumnos no reportan respuestas sino resultados. El mundo real es como es y muchas veces en su estudio o manipulación nos equivocamos.

Diagramas heurísticos en la enseñanza de la historia de las ciencias

Durante los últimos 15 años se ha realizado una intensa reflexión entre los expertos acerca de la educación en ciencias desde la perspectiva de la "nueva historia y filosofía de la ciencia" (Duschl, 1994; Matthews, 1994; Wandersee y Griffard, 2002; Quintanilla, 2007) y de las ciencias cognitivas con las que se cuestiona severamente la forma tradicional de su enseñanza y sugieren nuevos campos de investigación en la enseñanza de las ciencias.

De acuerdo con muchos investigadores educativos, hay que introducir en los cursos convencionales de ciencias diversos aspectos acerca de la naturaleza misma de la ciencia (McComas, 2000; Acevedo, 2008) así como de su historia y filosofía (por ejemplo en química, Jensen, 1998; Scerri, 2001). Las propuestas han sido variadas y en ocasiones contradictorias una vez que pocas veces aclaran las premisas de las cuales parten. Aquí se reconoce que la relación entre pasado y presente es semejante a la que hay entre la memoria y el olvido. La memoria, en su caracterización más simple, es la presencia del pasado. Sin embargo, el pasado difícilmente pertenece a un individuo aislado, más bien lo es del individuo en un entorno particular, del individuo en contexto. Así, la memoria aparece como la

Chamizo_Paradoja_txt.indd 139 6/24/13 11:12 AM

lenta acumulación colectiva y espontánea de todo lo que un determinado grupo ha podido vivir en común. Desde otro punto de vista, un grupo lo es en la medida en que comparte una determinada cultura, en este caso la cultura química, y que es el modo en que viven los individuos al interior de las diferentes sociedades humanas (en nuestro caso, por ejemplo, en los laboratorios escolares), y sólo mediante esa cultura es posible descifrar el pasado.

Para el historiador de las ciencias Helge S. Kragh (1987), una manera de organizar la historia de la ciencia consiste en dividirla en dos secciones: horizontal y vertical (figura 5.7). En la sección horizontal se aborda el estudio de un determinado concepto a lo largo del tiempo, es en general la historia de las disciplinas científicas presentes. En la sección vertical se considera el periodo en cuestión, el acontecimiento o la microhistoria de acuerdo con la división braudeliana del tiempo.[3] Kragh indica (p. 111):

El historiador inclinado por el sistema vertical parte de una perspectiva que tiene una naturaleza más interdisciplinar, en la que la ciencia que se analiza es considerada simplemente como un elemento más de la vida cultural y social de un periodo. Un elemento que no puede aislarse de los demás elementos del periodo en cuestión y que, junto a ellos, caracteriza el "espíritu de la época" que constituye el verdadero terreno de este tipo de historia de la ciencia. Mientras la historia horizontal constituye una película de una parte pequeña y concreta de la ciencia, la historia vertical es una instantánea de la situación general.

[3] De acuerdo con el historiador francés Fernand Braudel, habría tres niveles de tiempo histórico: la larga duración (o nivel de las estructuras cuya estabilidad es muy grande); la coyuntura (estadio intermedio, en que el cambio es perceptible), y el acontecimiento (o la microhistoria, considerada como la espuma de la historia, lo más visible pero lo menos significativo, y que habría sido el enfoque temporal más habitual). Como él mismo lo indica (citado de Chartier, 2007 p. 89): "La historia se ubica en niveles diferentes, diría en tres niveles, pero es una manera de decir simplificando mucho […]. En la superficie, la historia que se inscribe en un tiempo corto es una microhistoria. En el nivel medio, una historia coyuntural sigue un ritmo más amplio y más lento. Hasta ahora se le ha estudiado sobre todo en el plano de la vida material, los ciclos e interciclos económicos. […] Más allá de ese 'recitativo' de la coyuntura, la historia estructural, o de larga duración, cuestiona siglos enteros; está en los límites de lo móvil y lo inmóvil y, por sus valores fijos durante largo tiempo, aparece como invariante con respecto a otras historias, que pasan y se cumplen más rápido y que, en última instancia, gravitan en torno a ella".

Chamizo_Paradoja_txt.indd 140 6/24/13 11:12 AM

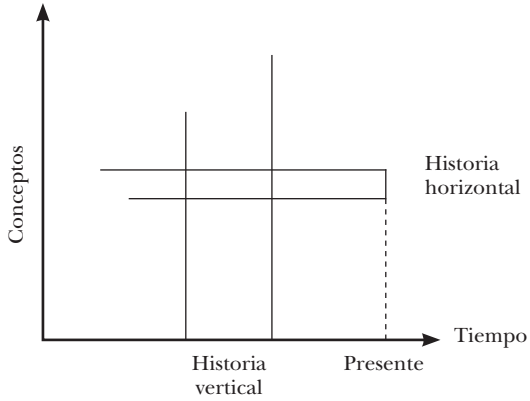


FIGURA 5.7. Dos maneras de organizar la historia de la ciencia. el argumento en el eje vertical puede ser una disciplina científica o un concepto.

En la figura 5.7 la intersección entre la historia vertical y horizontal apela a una reconstrucción del acontecimiento en un tiempo histórico específico. Esta reconstrucción racional de la historia es diferente de la propuesta por Imre Lakatos (1978), en la cual se tiene como referencia absoluta un estándar extrahistórico de racionalidad, muchas veces derivado del presente. En este sentido se asume la postura de Toulmin (1972, p. 95) y su propuesta de racionalidad moderada:

> Las cuestiones de racionalidad conciernen precisamente no a las doctrinas intelectuales particulares que un hombre —o un grupo profesional— adopta en cualquier momento dado, sino a las condiciones y la manera en que está dispuesto a criticar y modificar esas doctrinas a medida que pasa el tiempo. La racionalidad de una ciencia no está encarnada en los sistemas teóricos corrientes en ella en momentos determinados, sino en sus procedimientos para llevar a cabo descubrimientos y cambios intelectuales a lo largo del tiempo.

El uso de diagramas heurísticos obedece a una reconstrucción toulminiana[4] en cuyos conceptos se reconocen dos tiempos histórі-

[4] Relacionados con este tipo de reconstrucción se han publicado varios trabajos en química, por ejemplo, sobre la afinidad (Estany e Izquierdo, 1990) y la tabla periódica (Camacho y Cuéllar, 2007).

Chamizo_Paradoja_txt.indd 141 6/24/13 11:12 AM

cos, el que corresponde al evento que se está investigando y que, derivado del conocimiento presente, se reconoce a lo largo de la historia horizontal, y el pasado, que asumiendo una historia vertical lo contextualiza. Con el diagrama heurístico se está estudiando la evolución de los conceptos. Así los estudiantes, a partir de su conocimiento presente, mayormente obtenido de fuentes secundarias, enuncian una pregunta cuya respuesta requiere una metodología de búsqueda de las evidencias, generalmente a partir de fuentes primarias, las cuales son contrastadas con los dos tiempos históricos, el presente y el pasado. Para ello tienen que identificar las aplicaciones, el lenguaje y el modelo que se emplearon en el pasado y relacionarlos con el concepto, objeto de la pregunta enunciada desde el presente. Ésta es, sin duda, la parte más compleja en la elaboración del diagrama heurístico debido a la carencia de fuentes de información, particularmente cuando nos dirigimos más atrás en el tiempo. Como bien lo indicó Kuhn, los paradigmas en los que fuimos educados borraron los anteriores… encontrarlos no siempre es tarea fácil. A pesar de esta dificultad, por medio del diagrama heurístico se investiga de modo histórico, como lo hacen los propios historiadores (Fines, 1994). Por último, hay que hacer notar que la evaluación de estos diagramas debe considerar un doble valor en la sección de los conceptos. Un ejemplo de un diagrama heurístico histórico construido por un par de alumnos de licenciatura se muestra en la figura 5.8. La pregunta recibe dos de tres puntos posibles porque no se hace mención a los neutrones o no se identifica nada de estas partículas en los hechos. En la sección de modelos del pasado tampoco queda claro de qué manera Frederick Soddy explicaba la radiactividad; por ello, en lugar de dos puntos posibles, reciben uno.

Diagramas heurísticos en la investigación educativa

Del extenso debate sobre el estado actual de la educación en sus diversos aspectos (por ejemplo en México; Flores, 2009), cómo realizar investigaciones en educación, particularmente en la formación de docentes (Bell, 2005; Zapata, 2005) y luego llevarlas a los salones de clases (Gilbert *et al.*, 2002), queda claro que una de las principales dificultades tiene que ver con el llamado *conocimiento pedagógico del*

Chamizo_Paradoja_txt.indd 142 6/24/13 11:12 AM

<table>
<tr><td colspan="3">DIAGRAMA HEURÍSTICO SOBRE:
Frederick Soddy, premio Nobel de Química en 1921</td><td>Puntos</td></tr>
<tr><td colspan="3">HECHOS
• En 1896 Antoine Becquerel descubre la radiactividad en compuestos de U.[3]
• Pierre y Marie Curie identifican la radiactividad como una propiedad atómica específica.[3]
• En 1911 Ernest Rutherford postula su modelo atómico.[2]
• Kasimir Fajans y Otto Hönigschmid comprueban la diferencia de masa atómica entre el Pb “normal” y el proveniente de la desintegración de U y Th.[3]
• Frederick Soddy y Ernest Rutherford proponen las series de desintegración nuclear.[1]</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="3">PREGUNTA
¿Por qué Soddy, con toda la evidencia experimental recabada durante su investigación, no propuso la existencia de otra partícula atómica?</td><td>2</td></tr>
<tr><td colspan="2">CONCEPTOS</td><td rowspan="2">METODOLOGÍA</td><td>0</td></tr>
<tr><td>PASADO</td><td>PRESENTE</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">Aplicaciones
Investigación científica</td><td rowspan="2">Aplicaciones
Investigación científica
Medicina
Armas</td><td rowspan="2">Procedimiento para la obtención de datos
Investigación bibliográfica sobre las concepciones científicas de la época y el trabajo de investigación sobre la radiactividad realizado por Soddy y otros científicos.</td><td>2</td></tr>
<tr><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="8">Lenguaje
Isótopo
Radiactividad
Mesotorio
Radiotorio
Transmutación</td><td rowspan="8">Lenguaje
Isótopo
Radiactividad
Neutrón
^{228}Ra
^{228}Th</td><td colspan="2">Procesamiento de los datos para obtener un resultado</td><td rowspan="2">2</td></tr>
<tr><td>Año</td><td>Acontecimiento</td></tr>
<tr><td>1896</td><td>Se descubre la radiactividad.</td></tr>
<tr><td>ca. 1897</td><td>Thomson propone la existencia del electrón.</td></tr>
<tr><td>1896-1920</td><td>Investigación sobre la naturaleza de los compuestos radiactivos realizada por Soddy.</td><td rowspan="6">1</td></tr>
<tr><td>1903</td><td>Interpretación del fenómeno de desintegración radiactiva.</td></tr>
<tr><td>1904</td><td>Modelo atómico de Thomson.</td></tr>
<tr><td>1911</td><td>Modelo atómico de Rutherford.</td></tr>
<tr><td>ca. 1918</td><td>Rutherford propone la existencia del protón.</td></tr>
<tr><td>1914-1918</td><td>Primera guerra mundial.</td></tr>
</table>

		1932	Chadwick descubre el neutrón	
Modelo Modelos atómicos de Thomson y Rutherford para explicar la radiactividad	**Modelo** Modelos nucleares cuánticos de la gota líquida y de capas[4]	**Análisis y conclusión derivado de los datos** Soddy sabía que el modelo atómico de Thomson no era válido para describir la radiactividad, mientras el modelo atómico de Rutherford lograba describirlo de una manera más precisa sin llegar a explicar la diferencia de peso entre los isótopos. Para explicar lo anterior era necesaria una combinación entre ambos modelos, la cual establece la existencia de partículas negativas dentro del núcleo, es decir, el núcleo del átomo de un isótopo se comporta como el modelo de Thomson indica.		3 2
RESPUESTA O RESULTADO Porque el modelo que Soddy planteó explicaba la diferencia de masa entre los isótopos mientras que el equipo del que disponía no era capaz de detectar las diferencias de masa entre un protón y un neutrón.				2
REFERENCIAS [1] http://nobelprize.org/nobel prizes/chemistry/laureates/1921/soddy-bio-html [2] http://nobelprize.org/nobel prizes/chemistry/laureates/1908/rutherford-bio-html [3] *Nobel Lectures, Chemistry 1901-1921* (1966). Ámsterdam: Elsevier. [4] Acosta, V., Cowan, C. L., y Graham, B. J. (1980). *Essentials of Modern Physics,* Nueva York: Harper.				3
			Autoevaluación (total de puntos)/24 puntos posibles	21

FIGURA 5.8. Diagrama heurístico histórico construido por dos alumnos de licenciatura.

contenido (Garritz y Trinidad-Velasco, 2004; Garritz, 2006), el cual apunta no sólo al conocimiento general sobre pedagogía, sino al conocimiento profundo del profesor sobre la asignatura que imparte. Lee S. Schulman (1987, p. 9), a quien se debe este término, lo caracteriza como "las formas más útiles de representación de estas ideas; las analogías, ilustraciones, ejemplos, explicaciones y demostraciones más poderosas; en pocas palabras, las formas de representación y formulación del tema que lo hacen comprensible a otros".

Chamizo_Paradoja_txt.indd 144 6/24/13 11:12 AM

HECHOS

El principal origen de la dificultad para comprender el tema *enlace químico* […] está en la existencia de las *ideas previas* que los alumnos poseen (Herrera, 2005); estas ideas limitan, condicionan y dirigen el aprendizaje. Los diversos modelos de *cambio conceptual* conforman propuestas teóricas para entender cómo se pueden transformar las ideas previas en concepciones más cercanas a las científicas (Bello, 2007); los puntos en común de estos modelos apuntan a la necesidad de conocer las ideas previas de los alumnos para poder actuar en consecuencia (Rodríguez-Moneo, 1999). El diseño de unidades didácticas ha sido señalado como una de las tendencias más recientes y afortunadas para la enseñanza de la ciencia (Campanario *et al.*, 1999), y más cuando van acompañadas de estrategias encaminadas a fomentar e incorporar cambios menores y no centradas en las fases finales del mismo proceso de cambio (Thagard, 1992), ya que desde los modelos constructivistas en la enseñanza de la ciencia, el cambio conceptual debería ser la meta final de la enseñanza científica, no su método cotidiano (Pozo, 1997).

PREGUNTA

¿Cuál será el impacto en las ideas previas que sobre el enlace químico posee un grupo de alumnos de la ENP y un grupo de alumnos del CCH si el tema es presentado por medio de una unidad didáctica (UD) diseñada bajo una perspectiva constructivista? (Moreira, 1999)

CONCEPTOS

CIENTÍFICOS

Aplicación

El enlace químico es un concepto indispensable para explicar la cohesión de la materia y sus propiedades, también es la base para predecir la formación de nuevos compuestos y materiales, controlar cambios e incluso explicar lo que ocurre a nivel nanoscópico en una reacción química (Herrera, 2005).

PEDAGÓGICOS

Aplicación

A partir del conocimiento ofrecido por los modelos de cambio conceptual se pueden diseñar estrategias de enseñanza más eficaces que contribuyan a construir aprendizajes duraderos (Bello, 2007), además de favorecer el desarrollo de nuevas concepciones sobre el aprendizaje y contribuir a la consolidación de perspectivas sobre el proceso de enseñanza (Rodríguez-Moneo y Aparicio, 2004).

MÉTODO

Datos

Aplicación de un cuestionario diagnóstico sobre enlace químico (con diferentes ejes y reactivos) en dos grupos: *A)* un grupo de quinto año de la ENP, y *B)* un grupo de primer semestre del CCH en dos momentos: *I)* previo a la aplicación de la UD, y *II)* al finalizar la misma. Por razones de espacio sólo se ilustran los resultados que se refieren a las concepciones del enlace químico.

Procesamiento

Categorías	Porcentajes			
	I	II	I	II
El enlace químico como modelo	34	58	4	55
El enlace químico como realidad	16	24	8	4
El enlace químico como modelo y realidad	45	17	88	41
Otra opción	5	0	0	0

Lenguaje Átomos, electrones, iones, enlace químico, interacciones electromagnéticas, propiedades y comportamiento de la materia, estructura de la materia, redes iónicas, moléculas, metales.	**Lenguaje** Unidad didáctica, ideas previas, cambio conceptual radical, cambio conceptual menor, aprendizaje significativo, perspectiva constructivista.	**Análisis** En el primer momento, la concepción mayoritaria del enlace químico recayó en una noción combinada; es decir, para los alumnos de ambos grupos el enlace químico es un modelo y un hecho real, desprendiéndose su dificultad para distinguir entre uno y otro. Para el segundo momento hubo un cambio, ya que para ambos grupos la concepción mayoritaria del enlace químico se situó en la categoría de modelo.
Modelos Modelo unificado del enlace químico con sus tres modalidades: iónica, covalente y metálica.	**Modelos** Modelo para el diseño de unidades didácticas de Sánchez y Valcárcel (1993), modelo de cambio conceptual desarrollado por Thagard (1992), perspectiva constructivista de Ausubel con el aprendizaje significativo (1978).	

(CRITERIOS DE EVALUACIÓN)		
Rubro	*Puntos*	*Justificación*
Hechos	3	Se tienen identificados hechos, conceptos y método, además de las referencias correspondientes.
Pregunta	3	Se tiene una pregunta que, además de estar basada en los hechos, incluye conceptos y método.
Conceptos	6	Hay aplicaciones pedagógicas y químicas. Hay lenguaje pedagógico y químico. Hay modelos mucho más claros, coherentes e identificables tanto químicos como pedagógicos.
Metodología	6	Hay una metodología que recolecta datos de acuerdo con la pregunta, así como también hay un procesamiento de datos y hay una primera conclusión.
Respuesta	2	Se tiene una primera respuesta que incorpora conceptos, hechos y modelos, tanto pedagógicos como químicos. Sin embargo, la amplitud de la respuesta se queda corta ante la envergadura de la investigación de la tesis. (Se continúa trabajando en ello.)
Total: 20 puntos		

FIGURA 5.9. Diagrama heurístico utilizado en investigaciones educativas a nivel posgrado.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 146 6/24/13 11:12 AM

De acuerdo con esta corriente, queda claro que el docente, más allá de que realice una determinada investigación educativa, debe conocer con certeza el marco de referencia teórico desde el que trabajará y las características específicas desde el punto de vista de la química que abordará. Lo anterior, cuando se refiere a una investigación educativa, se puede concretar con un diagrama heurístico en el que se consideran conceptos pedagógicos y disciplinarios, y en el que se resumen con extraordinaria precisición las premisas de dichas investigaciones. Experiencias con diagramas heurísticos, como se mostró en la figura 5.9,[5] ya han sido documentadas (Chamizo, 2007c; Robles, 2008; Chamizo y García, 2012) y bien recibidas por los docentes.[6]

A MANERA DE RESUMEN

Como ya se ha indicado, las ciencias avanzan porque resuelven problemas y esto es un asunto que debe formar parte de la enseñanza de las ciencias. Resolver problemas es una habilidad de pensamiento científico que se concreta en la forma de preguntar y en la de responder, sobre todo si se identifican los modelos involucrados en la respuesta. Preguntar requiere del que lo hace, movilizar conocimientos que permiten reconocer la profundidad del saber en el mejor sentido de la paradoja de Menón; es decir, las preguntas deben estar bien formuladas, ser unívocas y factibles (por ejemplo, que puedan responderse en las condiciones particulares del laboratorio escolar), además de ser abiertas. Cabe hacer notar que las preguntas relevantes pueden ser distintas para diferentes estudiantes. Las buenas preguntas ayudan, generalmente, a resolver las paradojas.

Aprender resolviendo problemas ofrece a los estudiantes una mayor autonomía, pues ellos escogen su problema, plantean su pregunta, establecen la metodología que seguirán para llegar a la solución y los recursos que utilizarán. Los problemas, a diferencia de los currículos rígidos generan un itinerario flexible semejante al mostrado en la figura 1.2. Todo lo anterior tiene sus respectivos aprendizajes

[5] En esta versión de la autoevaluación se informaba en una hoja anexa.

[6] Utilizando la técnica de diferencial semántico como se reporta en Chamizo (2007c).

Chamizo_Paradoja_txt.indd 147 6/24/13 11:12 AM

intrínsecos: no hay una sola respuesta racional (absoluta) sino que además es razonable (con las deficiencias personales en cuanto a recursos y estrategias para buscar información, con las complicaciones que surgen al trabajar en equipo, etc.). En términos de Toulmin, se apela a la razón. Asimismo, dado que esta estrategia está acompañada por el uso de los diagramas heurísticos, permite que los estudiantes adquieran otros aprendizajes: contextualizar sus preguntas con los "hechos", identificando el "lenguaje" utilizado en la investigación y el "modelo" necesario para dar respuesta a la pregunta. A pesar de que esta estrategia es compleja, pues implica un mayor esfuerzo por parte de los estudiantes y del profesor, una vez que rompe con los esquemas tradicionales de educación (donde el profesor y alumnos sólo juegan el papel de transmisor-receptor, respectivamente), los resultados obtenidos hasta ahora son satisfactorios. Recordando lo dicho en el capítulo 2, es una manera de escapar.

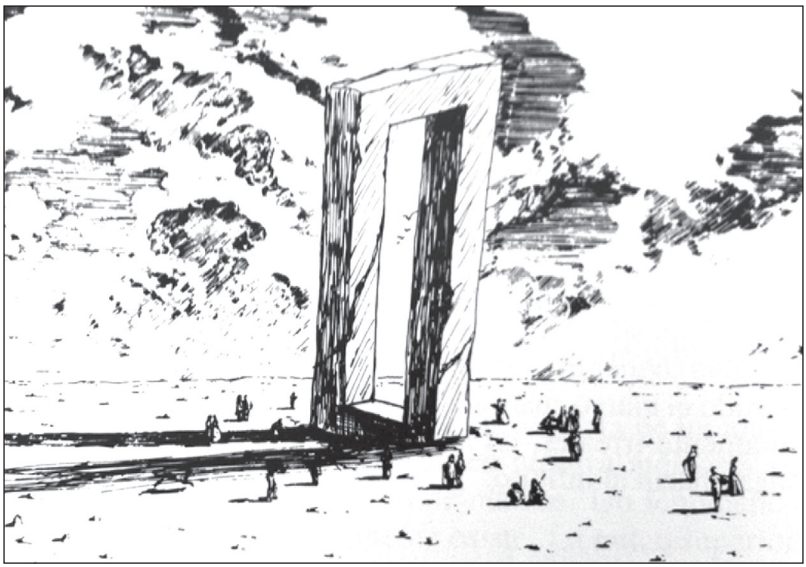
VIRTUALIDAD (1)

Será el ámbito de cualquier aventura y de nuevas locuras. En él se trabajará, se consumirá, se distraerá, se hará el amor al menos tanto como en la realidad. Las psicosis estarán al acecho de quienes no puedan soportar esta disolución de las fronteras entre lo imaginario y lo vivido, el sueño y lo virtual, el fantasma y el espectáculo, la razón y el delirio.

Se abrirán perspectivas vertiginosas que pondrán en tela de juicio conceptos filosóficos y reglas morales de cualquier civilización. Ya no se podrá distinguir del mismo modo al loco del cuerdo, lo moral de lo amoral, lo legal de lo ilegal, el código ético de la ley. La legislación de lo virtual no podrá ser la misma que la de lo real, puesto que una de sus razones de ser consiste precisamente en permitir que allí se lleve a cabo lo que está prohibido en la vida real: la velocidad, la guerra, la violencia, cualquier transgresión… Ni siquiera la sexualidad del campo virtual será objeto de tantos tabúes como la vida real. Lo mismo que hoy en día se autorizan los asesinatos virtuales, mañana se autorizarán las violaciones virtuales.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 148 6/24/13 11:12 AM

6. PARA TERMINAR: LAS METÁFORAS[1]



[1] Una parte de este capítulo se presentó en la Primera Reunión Latinoamericana de la International History and Philosophy of Science Teaching Group, en Maresias, Brasil, 2009, y retoma la tesis de maestría de M. Muñoz.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 149 6/24/13 11:12 AM

Aprendiendo por ósmosis. De acuerdo con Aristóteles, una metáfora da nombre a una cosa que corresponde a otra, produciéndose así una transferencia de sentido. Para cualquier químico es claro que el inicio de este capítulo es una metáfora. El aprendizaje es un proceso que nada tiene que ver con la ósmosis estrictamente, pero muchos profesores empleamos esta metáfora para indicar que no es suficiente estar en contacto físico con los libros o con los profesores para aprender de ellos.

Las metáforas han estado presentes de una u otra forma a lo largo de la historia de la ciencia, y han desempeñado un papel importante en el lenguaje descriptivo empleado en los libros de divulgación de las ciencias y de enseñanza de las mismas.[2] Expresiones metafóricas empleadas con frecuencia son: "a la luz de la ciencia", "la red cristalina", "los espectros de emisión son las huellas digitales de los átomos", "en un mar de valencia de electrones deslocalizados" y "la nube electrónica" (Raviolo, 2009).

En otras ocasiones, los científicos han descrito y expresado sus ideas por medio de metáforas; por ejemplo, en termodinámica surgió "el demonio de Maxwell", un ser imaginario ideado por James Clerk Maxwell como parte de un experimento mental diseñado para ilustrar la Segunda Ley de la Termodinámica (Márquez, 2007), o el sueño sugerente de Friedrich August Kekulé, que al intentar descubrir la estructura del benceno, y después de reflexionar mucho al respecto, durante un sueño visualizó una serpiente que se enroscaba y retorcía hasta morderse la cola; por consiguiente, se le ocurrió la idea de que el benceno poseía una estructura en forma de anillo (no cadena lineal, sino cerrada). Como lo han indicado Hoffman, Cochran y Nead (1993, p. 213): "Los científicos piensan en términos de una metáfora o su imagen básica y solamente después de explorar y de pensar las relaciones implicadas en ella utilizan un formato analógico explícito para su desciframiento".

Las metáforas no han sido bien recibidas por muchos filósofos, científicos y profesores. Así, durante el siglo XX los filósofos lógico-positivistas rechazaron su uso por suponer que pertenecen al lenguaje emotivo, que no indican nada sobre la realidad y que, más bien, refieren el estado sicológico del que habla. Por ello, Rudolf Carnap

[2] Bhushan y Rosenfeld lo indican de manera más enfática (1995, p. 578): "esencialmente en química todos los modelos son metafóricos".

Chamizo_Paradoja_txt.indd 150 6/24/13 11:12 AM

no sólo se opuso a su uso, sino intentó además construir lenguajes formales (basados en las matemáticas) que evitaran los equívocos de las lenguas comunes. No lo consiguió, pero la importancia de la herencia de pensamiento del Circulo de Viena, como se discutió en los capítulos 2 y 3, sigue presente en muchos de nuestros cursos.

Contra esta corriente se han manifestado radicalmente George Lakoff y Marc Johnson (1986), autores de un influyente estudio sobre las metáforas en el que sostienen que prácticamente todo el lenguaje es metafórico. Definen su postura contundentemente (p. 39):

> Para la mayoría de la gente, la metáfora es un recurso de la imaginación poética, y los ademanes retóricos una cuestión de lenguaje extraordinario más que ordinario. Es más, la metáfora se contempla característicamente como un rasgo sólo del lenguaje, cosa de palabras más que de pensamiento o acción. Por esta razón, la mayoría de la gente piensa que puede arreglárselas perfectamente sin metáforas. Nosotros hemos llegado a la conclusión de que la metáfora, por el contrario, impregna la vida cotidiana, no solamente el lenguaje, sino también el pensamiento y la acción. Nuestro sistema conceptual ordinario, en términos del cual pensamos y actuamos, es fundamentalmente de naturaleza metafórica.
>
> Los conceptos que rigen nuestro pensamiento no son simplemente asuntos del intelecto. Rigen también nuestro funcionamiento cotidiano, hasta los detalles más mundanos. Nuestros conceptos estructuran lo que percibimos, cómo nos movemos en el mundo, la manera en la que nos relacionamos con otras personas. Así que nuestro sistema conceptual desempeña un papel central en la definición de nuestras realidades cotidianas. Si estamos en lo cierto, al sugerir que nuestro sistema conceptual es en gran medida metafórico, la manera en que pensamos, lo que experimentamos y lo que hacemos cada día también es en gran medida cosa de metáforas.

La propuesta de Lakoff y Johnson, en el extremo del positivismo lógico, adolece, en su generalidad, de gran fragilidad una vez que, al asignar un sentido tan amplio a las metáforas, como lo muestran en los ejemplos de su libro, colocan prácticamente a todos los lenguajes como metafóricos. Así, ayudando a entender y desentrañar el sentido de mucho de lo que decimos en la vida cotidiana y en las aulas, como sin duda lo hacen (cuadro 6.1), esta caracterización de la metáfora, rigurosamente aplicada, la vuelve poco útil una vez que resulta ser el lenguaje mismo.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 151 6/24/13 11:12 AM

CUADRO 6.1. EJEMPLOS DE METÁFORAS EMPLEADAS EN LA ENSEÑANZA (BOWEN, 1992)

Metáforas	*Ejemplos en la enseñanza*
Orientacionales	• Mis estudiantes están en el fondo. • Ésta es mi clase cumbre.
Ontológicas	• Tenemos que cubrir una gran cantidad de material para terminar el curso.
Estructurales	• El tiempo es un recurso. • Derrote a los alumnos perezosos.

Por otra parte, Max Black (1970) sostiene un enfoque comparativo de la metáfora, ya que la interpreta como el resultado de la interacción entre dos sistemas de cosas; por lo tanto, la metáfora consiste en una relación analógica entre ciertas entidades (crea la semejanza). También identificó semejanzas entre las metáforas y los modelos, cuando se expresan conceptos o ideas sobre hechos científicos; en este sentido, comenta lo siguiente (Black, 1970, p. 231):

> No cabe duda de que hay cierta semejanza entre el empleo de un modelo y el de la metáfora (acaso deberíamos decir: de una metáfora sostenida y sistemática), y la crucial cuestión sobre la traducibilidad de las metáforas (los que ven el modelo como una simple muleta se parecen a quienes consideran la metáfora como mero ornamento o decoración). Pero la metáfora tiene usos sumamente vigorosos e irremplazables, que no están descritos adecuadamente por la vieja fórmula de "decir una cosa y referirse a otra".

Mi postura recoge parte de las ideas de Black y coincide con Bailar-Jones (2002), al reconocerse como intermedia entre el positivismo-lógico, que desprecia las metáforas, y el relativismo, que asume que todo es metafórico, una vez que considero que muchos modelos, pero no todos, son metafóricos. Lo que tienen en común las metáforas y los modelos es su origen, la analogía.[3]

Como ya se discutió en el capítulo 4, con la analogía se identifica una relación de semejanza, mientras que con la metáfora se presen-

[3] El uso de la analogía en la educación está ampliamente documentado (por ejemplo, González, 1997).

Chamizo_Paradoja_txt.indd 152 6/24/13 11:12 AM

ta una relación de equívoca igualdad (es decir, una paradoja). Como lo indican Nalini Bhushan y Stuart Rosenfeld, lo que resulta chocante y aparentemente contradictorio, es que "en el aspecto metafórico del modelo reside el que los estudiantes puedan entenderlo" (1995, p. 579). Lo anterior se debe, en buena medida, al uso del lenguaje ordinario en la metáfora, mientras que los modelos requieren de un lenguaje especializado. Por lo tanto, la característica más sobresaliente de las metáforas es que forman parte natural de la explicación, debido a que nos permiten expresar conceptos o ideas que son difíciles de enunciar por medio del lenguaje disciplinar. Dada la limitación que en ocasiones poseen los docentes para traducir sus pensamientos en palabras, esta "transferencia o traslado de sentido", propio de las metáforas, ayuda a expresar de mejor manera aquello que de otra forma es difícil de verbalizar (Aparicio y Pozo, 2006).

La importancia de las metáforas en la enseñanza de la química radica en que sugieren relaciones entre diversas partes del mundo "químico" que generalmente se nos escapan (cuadro 6.2) y que en su concreción como modelos permiten explorar. Su uso no es sencillo. En una investigación sobre la enseñanza de la química, Herbert Beall (1999) concluye que las metáforas, además de ser poderosos instrumentos del lenguaje, deben utilizarse conscientemente con

CUADRO 6.2. ALGUNAS METÁFORAS EMPLEADAS EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA (BEALL, 1999)

Enunciado	*Metáfora*
La nube electrónica rodea al núcleo del átomo.	El electrón es como una nube.
Las reacciones químicas se representan con ecuaciones.	Una reacción química es una igualdad matemática.
Los electrones giran sobre su propio eje.	Los electrones son trompos.
La energía de activación es la barrera al cambio de reactivos en productos.	La energía de activación es un obstáculo.
Una batería de automóvil acumula energía.	La batería del automóvil es un recipiente.
Las moléculas de un gas rebotan al chocar con las paredes del recipiente que las contiene.	Las moléculas de un gas son pelotas.

cuidado (esto es porque la mayoría de los docentes ignoran que las están utilizando), para no incurrir en confusiones.

Sin embargo, considerando esta precaución en cuanto a su uso, que parte, en buena medida, de la ignorancia de muchos profesores según el lenguaje que están utilizando, hay una premisa fundamental que debe anteponerse en cualquier actividad docente: las metáforas permiten pensar el mundo en su abrumadora complejidad y no aceptarlo como una retórica de conclusiones (Schwab, 1962), o como una verdad revelada (Woolley, 1985), asunto que lamentablemente muchos profesores, de química y de las otras ciencias, continúan haciendo.[4]

Para Thomas Kuhn (1979) el lenguaje empleado en la ciencia, como en su enseñanza, no es neutral y aparece como un dato muy relevante incorporado en cada paradigma. El lenguaje es el que crea las distinciones que en determinados momentos parecen reales y posteriormente resultan ilusorias. Para él, al igual que para Stephen Toulmin, el mundo no es mundo, a menos que incluya, de acuerdo con el momento histórico específico (lo que se denominó *historia vertical* en el capítulo anterior), la clase de cosas a las cuales se refiere el lenguaje hablado en una determinada época. Por ello, cuando cambian los conceptos también cambian los modelos, el lenguaje y los procedimientos de aplicación. Además también cambian las metáforas. Como lo indica Beatriz Garza Cuarón (1998, p. 21): "por lo tanto no es sólo el lenguaje el que se va ajustando a un mundo en apariencia real, sino que cuando nos referimos a lo que llamamos 'el mundo' estamos hablando del producto de la mutua acomodación entre experiencia y lenguaje".

[4] Éste es, en buena medida, el sentido del presente libro, reconocer: 1] Que cuando pensamos lo hacemos en un momento histórico determinado, desde un marco de referencia definido por nuestra experiencia personal y cultural. No hay verdades absolutas, enfrentamos la vida de manera racional y razonable. 2] Que la química no es física reducida. Tiene su propia historia (en la que se "inventó", por ejemplo, el laboratorio), su método, su lenguaje. Al ser diferente a las otras ciencias su enseñanza debe hacerse de acuerdo con sus características. 3] Que cuando nos comunicamos con los demás lo hacemos usando un lenguaje (modelo conceptual) que fundamentalmente es metafórico, lo que facilita una comunicación simple pero que puede obstaculizar una compleja. Lo anterior puede superarse si se está consciente del sentido metafórico del lenguaje. 4] Que una manera de aprender y aprehender el mundo es reconocer las paradojas que desde nuestra cultura reconocemos como tales y que finalmente comunicamos a los demás mediante modelos materiales (conceptuales, experimentales e icónicos) con los que además intervenimos en él, transformándolo. En este siglo XXI, más que en ningún otro, el mundo es artificial. Y esto es una metáfora.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 154 6/24/13 11:12 AM

En el capítulo anterior se identificaron tres diferentes tipos de modelos materiales: conceptuales, experimentales e icónicos. Profundizando en estos últimos, un tipo de modelo material icónico lo constituye la metáfora. A diferencia de las imágenes, diagramas y maquetas que establecen una relación de semejanza con una determinada porción del mundo *(M)*, con la metáfora se establece una relación de equívoca igualdad. Resumiendo lo anterior y de acuerdo con algunas de las ideas expresadas a principios del siglo pasado por el filósofo estadunidense Charles S. Peirce (1966) y más recientemente por el filósofo mexicano Mauricio Beauchot (2007), resulta que los modelos materiales icónicos pueden ser, a su vez, imágenes, diagramas o metáforas.

Así, mediante modelos conocemos el mundo real. Las metáforas reconocidas como modelos materiales icónicos, que establecen una relación de equívoca igualdad con dicho "mundo real", nos ayudan a ello. Como lo indica Pier Aldo Rovatti (1999, p. 17):

> Una de las más esenciales certidumbres de las que hoy disponemos en filosofía es la de que las cosas no se pueden mirar ya directamente cara a cara, so pena de tergiversar la función del pensamiento; ya no podemos pretender que la verdad sea una adecuación entre nuestro pensamiento y las cosas, porque ahora sabemos que de la adecuación (limitadora e ilusoria, antes aún que imposible) no emana verdad alguna, y que si queremos perseguir la verdad de algo debemos ir a buscar esa verdad no precisamente en plena luz, sino en esa zona en la que necesariamente juegan la luz y la sombra, y no ya a la manera de objetos o de entes (y de leyes que los expliquen), ni tampoco en el renovado (y también metafísico) sueño de hallar allí una dimensión completamente otra, un mundo sumergido en las profundidades, que "es" pero está fuera de nuestro alcance.

El vínculo que la metáfora (entendida como lugar indefinido, intermedio) lleva consigo podría entenderse como una señal y un vehículo de la debilitación de nuestra pretensión ya secularizada: una repatriación, que puede modular la apertura que la metáfora parece de todos modos prometernos, en oposición a la clausura de todo lenguaje-objeto.

Mediante las metáforas (es decir, modelos materiales icónicos metafóricos), en un ejercicio de creatividad y de distanciamiento, se reconocen relaciones entre aspectos del mundo que antes no se reconocían: se aprende y se comprende.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 155 6/24/13 11:12 AM

Para el lector atento que llegó al final, el título del presente texto adquiere sentido. Por medio de los modelos y las metáforas se pueden conocer diversos y paradójicos aspectos del mundo (del MUNDO REAL, con mayúsculas) en términos de algo diferente, aquello que nos es más cercano y familiar. Ya sea en los laboratorios de investigación o en las aulas, a partir de la analogía, con la metáfora se sugiere y con el modelo se explora.

Parece que hemos terminado, pero la siguiente metáfora, proveniente de la literatura (Calvino, 1983, p. 109), donde se presenta el modelo de los modelos, lo impide:

En la vida del señor Palomar hubo una época en que su regla era ésta: primero construir en su mente un modelo, el más perfecto, lógico, geométrico posible; segundo, verificar si el modelo se adapta a los casos prácticos observables en la experiencia; tercero, aportar las correcciones necesarias para que modelo y realidad coincidan.

[…] Para construir un modelo —Palomar lo sabía— es preciso partir de algo, es decir, tener principios de los cuales pueda salir por deducción el propio razonamiento. Estos principios —llamados también axiomas o postulados— uno no los elige, sino que ya los tiene, porque si no los tuviera no podría siquiera ponerse a pensar. […] La construcción de un modelo era, pues, para él un milagro de equilibrio entre los principios (que permanecían en la sombra) y la experiencia (inasible), pero el resultado debía tener una consistencia mucho más sólida que los unos y la otra. En un modelo bien construido, en realidad, cada detalle debe estar condicionado por los demás, con lo cual todo se sostiene con absoluta coherencia, como en un mecanismo donde si se bloquea un engranaje todo se bloquea. El modelo es por definición aquel que funciona a la perfección, en cambio la realidad vemos perfectamente que no funciona y se desintegra por todas partes; por lo tanto no queda sino obligarla a tomar la forma del modelo, por las buenas o por las malas.

[…] No le queda sino exponer estos bellos pensamientos en forma sistemática, pero un escrúpulo lo detiene: ¿y si el resultado fuese un modelo? Por eso prefiere mantener sus convicciones en estado fluido, verificarlas caso por caso y convertirlas en la regla implícita del propio comportamiento cotidiano, en el hacer o en el no hacer, en el elegir o en el excluir, en el hablar o en el callar.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 156 6/24/13 11:12 AM

VIRTUALIDAD-2

Después, el clonimago acercará aún más lo virtual a lo real, tanto en el espectáculo como en la vida. Cada cual tendrá su doble virtual primero en dos y después en tres dimensiones, primero en lo virtual y después en la realidad, y podrá vivir aventuras por delegación, tanto del futuro, como del pasado. Cada uno tendrá con los clonimagos de otros relaciones que ni intentaría —ni podría— tener con el ser real.

En fin, mucho después, la fusión total entre lo virtual y lo real en la clonación (para los seres vivos) y en la nanotecnología (para lo inerte) diluirá la idea que se tenía de la especie desde hace miles de años.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 157 6/24/13 11:12 AM

Chamizo_Paradoja_txt.indd 158 6/24/13 11:12 AM

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo, J. A. (2008), "El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias", *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5: 134-169.

Acher, A., M. Arca y N. Sanmartí (2007), "Modeling as a teaching learning process for understanding materials. A case study in primary education", *Science Education*, 91: 398-418.

Achinstein, P. (1987), *Los modelos teóricos. Seminario de problemas científicos y filosóficos,* México, UNAM.

——— (1963), "Review of Foresight and Understanding", *Isis*, 54: 408-410.

Adúriz-Bravo, A. y E. Meinardi, (2000), "Dos debates actuales en la investigación en didáctica de las ciencias experimentales", *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 14: 69-85.

Aikenhead, G. S. (2005), "STS education: A rose by any other name", en R. Cross (ed.), *A vision for science education. Responding to the work of Peter Fensham*, cap. 5, pp. 59-75, Nueva York, RoutledgeFalmer [traducido como "Educación Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS): una buena idea como quiera que se le llame", *Educación Química*, 16(2): 114-124.

Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales (1996), "Naturaleza e historia de la ciencia", núm. 8, Barcelona, Graó.

Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales (1995), "Monográfico sobre la resolución de problemas", núm. 5, Barcelona, Graó.

Allchin, D. (2000), "How Not to Teach History in Science", *Journal of College Science Teaching*, 30: 33-37.

Aparicio, A. y J. I. Pozo (2006), "De fotógrafos a directores de orquesta: las metáforas desde las que los profesores conciben el aprendizaje", en J. I. Pozo, N. Scheuer, M. P. Pérez Echeverría, M. Mateos, E. Martín y M. de la Cruz (eds.), *Nuevas formas de pensar la enseñanza y el aprendizaje: las concepciones de profesores y alumnos*, Barcelona, Graó, pp. 265-288.

Archer, R. D. (1994), "Foreword", en A. T. Schwartz, D. M. Bunce, R. G. Silberman, C. L. Stanitski, W. J. Stratton y A. P. Zipp, *Chemistry in Context. Applying Chemistry to Society,* Dubuque, American Chemical Society.

Attali, J. (1999), *Diccionario del siglo XXI,* Barcelona, Paidós.

Atkins, P. W. (1984), *Physical Chemistry,* Oxford University Press, Oxford.

——— (1999), "Chemistry: the great ideas", *Pure Appl Chem*, 71: 927-929.

Ausubel, D., J. D. Novak y H. Hanesian (1993), *Psicología educativa*, México, Trillas.

Bachelard, G. (1972), *El compromiso racionalista,* Buenos Aires, Siglo XXI Editores.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 159 6/24/13 11:12 AM

Bachelard, G. (1976), *El materialismo racional,* Buenos Aires, Paidós.
——— (1979), *La formación del espíritu científico,* México, Siglo XXI Editores.
Bailar-Jones, D. (2002), "Models, Metaphors and Analogies", en P. Machamer y M. Silbestein (eds.), *Philosophy of Science,* Oxford, Blackwell Publishers.
Barnet, R. J. (1976), *La economía de la muerte,* México, Siglo XXI Editores.
Bartell, L. S. (2001), "Apparent Paradoxes and Instructive Puzzles in Physical Chemistry", *Journal of Chemical Education,* 78: 1067-1069.
Basalla, G. (1991), *La evolución de la tecnología,* México, Grijalbo.
Beall, H. (1999). "The Ubiquitous Metaphors of Chemistry Teaching", *Journal of Chemical Education,* 76: 366-368.
Beuchot, M. (2007), "Interpretación, analogía e iconicidad", en D. Lizarazo (coord.), *Semántica de las imágenes: figuración, fantasía e iconicidad,* México, Siglo XXI Editores.
Bell, J. (2005), *Cómo hacer tu primer trabajo de investigación,* Barcelona, Gedisa.
Bennett, J. y J. Holman (2002), "Context-based approaches to the teaching of chemistry: what are they and what are their effects?", en J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. F. Treagust y J. H. van Driel (eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
Bensaude-Vincent, B. e I. Stengers (1997), *Historia de la química,* Madrid, Addison-Wesley/Universidad Autónoma de Madrid.
Bernal, J. D. (1979), *La ciencia en la historia,* México, UNAM-Nueva Imagen.
Black, M. (1970), *Modelos y metáforas,* Madrid, Tecnos.
Bhushan, N. y S. Rosenfeld (1995), Metaphorical models in Chemistry, *Journal of Chemical Education,* 72: 578-582.
Bloor, D. (1974), "Rearguard rationalism. Review of Human Understanding", *Isis,* 65: 249-253.
Bodner, G. M. y G. Bhattacharyya (2005), "A cultural approach to problem solving", *Educación Química,* 16: 222-229.
Bodner, G. M. y J. D. Herron (2002), "Problem-solving in chemistry", en J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. F. Treagust y J. H. van Driel (eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
Bohoslavsky, R. (1975), "Psicopatología del vínculo profesor-alumno: el profesor como agente socializante", *Revista de Ciencias de la Educación,* Rosario, Argentina.
Bordieu, P. y J. C. Passeron (1979), *La reproducción. Elementos para una teoría del sistema de enseñanza,* Barcelona, Laia.
Bowen, C. W. (1992), "Myths and Metaphors. Their Influence on Chemistry Instruction", *Journal of Chemical Education,* 69: 479-482.
Bulte, A. M. W., H. B. Westbroek, E. M. M. van Rens y A. Pilot (2004), "Involving students in meaningful chemistry education by adapting authentic practices", en B. Ralle y I. Eilks (eds.), *Quality in practice-oriented research in science education (Proceedings of the 17th Symposium on Chemical Education in Dortmund),* Aachen, Alemania, Shaker Publishing, pp. 105-116.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 160 6/24/13 11:12 AM

Bulwik, M. (2000), "Formación docente continua: más que una necesidad", *Educación Química*, 11: 294-299.

Bybee, R. W., N. Hams, B. Ward y R. Yager (1980), "Science, Technology and society and science education", *Science Education*, 64: 377-395.

Bybee, R. W. y G.E. DeBoer (1994), "Research on goals for the science curriculum", en D. L. Gabel (ed.), *Handbook of Research en Science Teaching and Learning*, Nueva York, MacMillan Reference Books.

Caamaño, A. (2003), "Modelos híbridos en la enseñanza y el aprendizaje de la química", *Alambique*, 35: 70-81.

Calvino, I. (1983), *Palomar*, Madrid, Alianza.

Camacho, J. y L. Cuéllar (2007), "La tabla periódica analizada desde el modelo de Toulmin. Aportes para la enseñanza de la historia de la química", en M. Quintanilla, *Historia de la ciencia. Propuestas para su divulgación y enseñanza*, vol. II, Santiago, Arrayan Editores.

Cerruti, L. (1998), "Chemicals as instruments. A language game", HYLE, 4: 1-18.

Chamizo, J. A. (2013), "Technochemistry. One of the Chemists' ways of knowing", *Foundations of Chemistry*, Online First, febrero.

Chamizo, J. A. y A. García Franco (2012), "Heuristic diagrams as a tool to formatively asses teachers' research", *Teachers and Teaching: research and practique*, pp. 1-15, ifirst.

Chamizo, J. A. y A. Garritz (2012), "Hacia una reconstrucción del currículo de la química", en C. C. Silva y M. E. B. Prestes (eds.), *Learning science and about science through history and philosophy,* São Paulo, Editora da Livraria da Física/FAPESP.

Chamizo, J. A. (2011-2012), "Heuristic diagrams as a tool to teach history of science", *Science & Education*, 2011, publicado en línea el 23 de agosto de 2012, 21: 745-762.

——— (2011), "La imagen pública de la química", *Educación Química*, 22, 320-331.

——— (2011), "A new definition of models and modeling in chemistry' teaching", *Science & Education*, publicado en línea el 31 de octubre.

——— (2010), "Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias", *Eureka, Revista de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7: 26-41.

Chamizo, J. A. y A. García (eds.) (2010), *Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias*, México, Facultad de Química-UNAM, <www.modelosymodelajecientifico.com>.

Chamizo, J. A. (2008), "Las carreras de Química en América Latina: dos agendas que enfrentar", *Revista Iberoamericana de Educación*, 46: 1-13.

——— (2007), "Las aportaciones de Toulmin a la enseñanza de las ciencias", *Enseñanza de las ciencias*, 25: 133-146.

Chamizo, J. A.y M. Izquierdo (2007a), "Evaluación de las competencias de pensamiento científico", *Alambique*, 51: 9-19.

Chamizo, J. A. (2007b), "Teaching Modern Chemistry through 'Recurrent Historical Teaching Models'", *Science & Education*, 16: 197-216.

Chamizo, J. A. (2007c), "Heuristic Diagrams as a tool in science teachers research projects", *European Science Education Research Association Conference,* Malmo.

Chamizo, J. A. (2006b), "Los modelos de la química", *Educación Química*, 17: 476-482.

Chamizo, J. A. y J. R. Márquez (2006a), "Modelación molecular: estrategia didáctica sobre la constitución de los catalizadores y el lenguaje químico", *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11: 1241-1258.

Chamizo, J. A., A. Sánchez y M. E. Hernández (2006), "La enseñanza de la química en secundaria. El caso de México", en M. Quintanilla y A. Aduriz-Bravo (eds.), *Enseñar ciencias en el nuevo milenio,* Santiago, Ediciones Universidad Católica de Chile.

Chamizo, J. A. (2006), "Sobre historia, problemas y competencias", en *Resoldre problemes per aprendre,* EINES, D' innovació docent en educació superior, Barcelona, IDES-UAB, por publicarse.

Chamizo, J. A. y M. Izquierdo (2005), "Ciencia en contexto: una reflexión desde la filosofía", *Alambique*, 46: 9-17.

Chamizo, J. A. (2004b), "La formación de profesores en México. Recuento de una utopía", *Educación Química*, 15: 32-39.

——— (2004a), *Cómo acercarse a la química,* México, Esfinge.

——— (2004a), *Antología de la enseñanza experimental,* México, Facultad de Química-UNAM.

——— (2000c), *La ciencia,* México, Dirección General de Divulgación de la Ciencia-UNAM.

——— (2000b), "La enseñanza de las ciencias en México. El paradójico papel central del profesor", *Educación Química*, 11: 132-136.

Chamizo, J. A. y G. Hernández (2000a), "Evaluación de los aprendizajes. Cuarta parte: Construcción de preguntas, *Ve* de Gowin y examen ecléctico individualizado", *Educación Química*, 11: 182-187

Chamizo, J. A. y A. Garritz (1997), "La química con nosotros. Una propuesta desde Nepantla", *Tarbiya*, 16: 51-67.

Chamizo, J. A. (1996), "Enseñar lo esencial acerca de lo más pequeño", *Revista de la Sociedad Química de México*, 40: 88-94; *Educación Química* (1996), 7: 7-12.

——— (1996a), "Evaluación de los aprendizajes en química. Segunda parte: Registro de aprendizaje, asociación de palabras y portafolios", *Educación Química*, 7: 86-89.

——— (1994), *El científico de la sonrisa contagiosa. Linus Pauling*, México, Pangea-Conaculta.

——— (1992), "Modelos del enlace químico", *Elementos*, 2: 28-32.

——— (1991a), "Modelo de los 18 electrones", *Cuadernos de la DGPA. Química Inorgánica*, núms. 33-38, México, UNAM-Porrúa.

——— (1991b), "Modelo de ácidos y bases duros y blandos", *Cuadernos de la DGPA. Química Inorgánica*, núms. 57-60, México, UNAM-Porrúa.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 162 6/24/13 11:12 AM

Chamizo, J. A. (2007), *La historia o la lectura del tiempo,* Barcelona, Gedisa.
Chartier, R. (2007), *La historia o la lectura del tiempo*, Barcelona, Gedisa.
ChemCom: Chemistry in the Community (1988), American Chemical Society, Dubuque, Kendall/Hunt.
Chevallard, Y. (1988), "On didactic transposition theory: some introductory notes, Communication", *International symposium on research and development in mathematics education*, agosto 3-7, Bratislava.
Chevallard, Y. (1997), *La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado,* Buenos Aires, Aique Grupo Editor.
Claxton, G. (1994), *Educar mentes curiosas. El reto de la ciencia en la escuela*, Madrid, Visor.
Clement, J. J. y M. A. Rea-Ramirez (2008), *Model Based Learning and Instruction in Science,* Nueva York, Springer.
Clement, J. J. (2008), *Creative Model Construction in Scientists and Students*, Nueva York: Springer.
Coll, R. K. y D. F. Treagust (2003), "Investigation of secondary school, undergraduate, and graduate learners' mental models of ionic bonding", *Journal of Research in Science Teaching*, 40: 464-486.
Colombo, L. (1997), "Ideas epistemológicas de Laudan y su posible influencia en la enseñanza de las ciencias", *Enseñanza de las Ciencias*, 17: 327-331.
Colsa, M. E. y J. A. Chamizo (2009), "Heuristic Diagrams as an assessment of experimental student learnig tool", *European Science Education Research Association Conference,* Estambul.
Córdova, J. L., V. Feregrino, C. Reza, L. Ortiz y A. Dosal (2007), "La importancia de las preguntas", *Alambique*, 54: 16-27.
Crosland, M. (2005), "Early laboratories *c.*1600-*c.*1800 and the Location of Experimental Science", *Annals of Science*, 62: 233-253.
Cruz, D., J. A. Chamizo y A. Garritz (1987), *Estructura atómica. Un enfoque químico,* México, Addison Wesley Iberoamericana.
De Chadarevian, S. y N. Hopwood (2004), *Models. The third dimension of science,* Stanford, Stanford University Press.
De Jong, O. y J. H. Van Driel (2004), "Exploring the development of student teachers' PCK of the multiple meanings of chemistry topics", *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2: 477-491.
De Vos, W., A. M. W. Bulte y A. Pilot (2002), "Chemistry currícula for general education: analysis and elements of design", en J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. F. Treagust y J. H. van Driel (eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
Di Castro, E. (2002), *La razón desencantada,* México, Instituto de Investigaciones Filosóficas-UNAM.
Doran, R., F. Chan, P. Tamir y C. Lenhardt (2002), *Science Educators's Guide to Laboratory Assessment*, Arlington, NSTA Press.
Driver, R., P. Newton y J. Osborne (2000), "Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms", *Science Education*, 84: 287-312.

Durand, S. E. (2010), *La trama del saber humano. Del mito y la leyenda a la ciencia y la tecnología*, Buenos Aires, Gran Aldea Editores.

Duschl, R. A. (1994), "Research on the history and philosophy of science", en D. L. Gabel (ed.), *Handbook of Research en Science Teaching and Learning,* Nueva York, MacMillan Reference Books.

Easlea, B. (1983), *Fathering the Unthinkable. Masculinity, Scientists and the nuclear arms race,* Londres, Pluto Press.

Echeverría, J. (2003), *Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX,* Madrid, Cátedra.

Erduran, S. y Z. Dagher (2005), "Exemplary teaching of argumentation in science: Case studies of two middle school teachers", *Proceedings of ESERA 2005*, Barcelona.

Erduran, S. y R. Duschl (2004), "Interdisciplinarity Characterization of models and the Nature of Chemical Knowledge in the Classroom", *Studies in Science Education*, 40: 111-144.

Erduran, S., S. Simon y J. Osborne (2004), "Taping into argumentation: Developments in the use of Toulmin's argument pattern in studing science discourse", *Science Education*, 88: 915-933.

Erduran, S. y E. Scerri (2002), "The nature of chemical knowledge and chemical education", en J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. F. Treagust y J. H. van Driel (eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Ernst, B. (1998), *Un mundo de figuras imposibles,* Köln, Taschen.

Escudero, C. y M. A. Moreira (1999), "La *V* epistemológica aplicada a algunos enfoques en resolución de problemas", *Enseñanza de la Ciencias*, 17: 61-68.

Estany, A. y M. Izquierdo (1990), "La evolución del concepto de afinidad analizada desde el modelo de Toulmin", *Llull*, 13: 349-378.

Fensham, P. J. (1992), "Science and technology", en P. W. Jackson (ed.), *Handbook of research on curriculum,* Nueva York, Macmillan.

Fernández, I., D. Gil, J. Carrascosa, A. Cachapuz y J. Praia (2002), "Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza", *Enseñanza de las Ciencias*, 20: 477-488.

Feyerabend, P. (1975), *Contra el método. Esquema de una teoría anarquista del conocimiento,* Barcelona, Ariel.

Fines, J. (1994), "Evidence. The basis of the discipline?", en H. Bourdillon (ed.), *Teaching History,* Londres, Routledge-The Open University Press.

Fisher, G. (2003), "Explaining explanation in Chemistry", en J. Earley (ed.), *Chemical Explanation*, Annals of the New York Academy of Sciences", vol. 988.

Fletcher, W. J. (1979), "Science teaching: are we nurturing scientist or conformists?", *New Zeeland Science Teacher*, 21: 46-54.

Flores Camacho, F., L. Gallegos Cázares y F. Reyes Cárdenas (2007), "Perfiles y orígenes de las concepciones de ciencia de los profesores mexicanos de química", *Perfiles Educativos*, XXX: 60-84.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 164 6/24/13 11:12 AM

Franco, C. y D. Colinvaux (2000), "Grasping Mental Models", en J. K Gilbert y C. J. Boulter (eds.), *Developing Models in Science Education,* Dordrecht, Kluwer.

Francoeur, E. (2001), "Molecular models and the articulation of structural constrains in chemistry", en U. Klein (ed.), *Tools and Modes of Representation in the Laboratory Sciences,* Dordrecht, Kluwer.

Gabel, D. (1999), "Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future", *Journal of Chemical Education*, 76: 548-554.

Galagovsky, L. y A. Aduriz-Bravo (2001), "Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico", *Enseñanza de las Ciencias*, 19: 231-242.

García, H. (1987), *La bomba y sus hombres,* México, Alhambra Mexicana-IPN.

García, M. (2001), "Las actividades experimentales en la escuela secundaria", *Perfiles Educativos*, 33: 70-90.

García, A. (2007), *¿Qué, qué?,* México, Editorial Byblos.

Garforth, F. (1983), "Chemistry to 16 + Examination: Work in progress-Help nedeed!", *Education in Science*, pp. 29-30.

Garnett, P., P. Garnett y M. Hacling (1995), "Students' Alternative Conceptions in Chemistry: A review of Research and Implications for Teaching and Learning", *Studies in Science Education*, 25: 69-95.

Garritz, A. (2009), "Argumentación en una nueva asignatura: ciencia y sociedad", *Educación Química*, 20: 98-101.

——— (2006), "Historia y retos de la formación de profesores", *Educación Química*, 17: 322-326.

Garritz, A. y R. Trinidad-Velasco (2004), "El conocimiento pedagógico del contenido", *Educación Química*, 15: 98-101.

Garritz, A. y J. A. Chamizo (1994), "Chemistry Teaching Through the Student's World", *Journal of Chemical Education*, 71: 143-145.

——— (1994a), *Química*, México, Addison-Wesley Iberoamericana.

Garza Cuarón, B. (1998), *Metáfora (su significado en las lenguas naturales)*, México, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades-UNAM.

Giere, R. N. (1999), *Science without laws*, Chicago University Press, Chicago.

——— (1992), *La explicación de la ciencia*, México, CONACYT.

——— (1990), *Explaining Science: A cognitive approach,* Chicago, University of Chicago Press.

Gilbert, J. K. y D. Treagust (2009), "Towards a coherent Model for Macro, Submicro and Symbolic Representations in Chemical Education", en J. K. Gilbert y D. Treagust (eds.), *Multiple Representations in Chemical Education*, Nueva York, Springer.

Gilbert, J. K., O. de Jong, R. Justi, D.F. Treagust y J. H. Van Driel (eds.) (2002), *Chemical Education: Towards Research-based Practice,* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Gilbert, J. K. y C. J. Boulter (2000), *Developing Models in Science Education,* Dordrecht, Kluwer.

Gilbert, J., C. Boulter y R. Elmer (2000), "Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education", en J. K Gilbert y C. J. Boulter (eds.), *Developing Models in Science Education*, Dordrecht, Kluwer.

Glasoe, P. M. (1938), "The Present High-School Course in Chemistry. A paradox", *Journal of Chemical Education*, agosto, pp. 364-367.

González, M. J. (1997), *Aprendizaje por analogía*, Valladolid, Editorial Trotta.

Graesser, A. J. y N. K. Pearson (1994), "Questions asking during tutoring", *American Educational Research Journal*, 31: 104-137.

Greca, I. M. y M. A. Moreira (1998), "Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo", *Enseñanza de las Ciencias*, 16: 289-303.

Greenbowe, T. J. y M. J. Sanger (1998), "The ChemCom Curriculum", *Journal of Chemical Education*, 75: 691-693.

Grosslight, L., C. Unger, E. Jay y C. Smith (1991), "Understanding models and their use in science conceptions of middle and high school students and experts", *Journal of Research in Science Teaching*, 28: 799-822.

Hacking, I. (2000), *The social construction of what?*, Cambridge, Harvard University Press.

——— (1983), *Representing and Intervening*, Cambridge, Cambridge University Press.

Hall, N. (2000), *The new Chemistry*, Cambridge, Cambridge University Press.

Harré, R. (2004), *Modeling: Gateway to the unknown*, Ámsterdam, Elsevier.

——— (2009), *Pavlov's Dogs and Schroedinger's Cat: Scenes from living laboratory*, Oxford, Oxford University Press.

Hattie, J. (2009), *Visible learning. A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*, Londres, Roultledge.

Hawking, S. y L. Mlodinow (2010), *El gran diseño*, Barcelona, Crítica.

Herron, J. D. (1982), "Science, Society and the reformation", *Journal of Chemical Education*, 59: 560-64

Hodson, D. (2009), "Putting Your Money Where Your Mouth Is: Towards an Action-oriented Science Curriculum", *Journal for Activist Science & Technology Education, 1*(1), versión electrónica disponible en <www.wepaste.org/Resources/JASTE_1-1_1-Hodson.pdf>, 13 de junio de 2009.

——— (2003), "Time for action: science education for an alternative future", *International Journal of Science Education*, 25: 645-670.

——— (1994), "Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio", *Enseñanza de las Ciencias*, 12: 299-313.

Hoffmann, R. y P. Lazlo (1991), "Representation in Chemistry", *Angew Chemistry International Edition English*, 30: 1-16.

Hull, D. L. (1973). "A populational approach to scientific change. Review of Human Understanding", *Science*, 182: 1121-1124.

Ideas previas (2002), <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/searching.htm>.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 166 6/24/13 11:12 AM

Izquierdo, M. (2005). "Hacia una teoría de los contenidos escolares", *Enseñanza de las Ciencias*, 23: 111-122.

——— (2005a). "Com fer problemàtics els problems que no en són prou. Noves temàtiques per als problemes de química", en Mercè Izquierdo (ed.), *Resoldre problemes per aprendre,* EINES, d' innovació docent en educació superior, Barcelona, IDES-UAB.

Izquierdo, M. (2000), "Fundamentos epistemológicos", en Francisco Javier Perales y Pedro Cañal (eds.), *Didáctica de las ciencias experimentales*, Alcoy, Editorial Marfil.

——— (1995), "La *V* de Gowin como instrumento para la negociación de los lenguajes", *Lenguaje y Ciencias Experimentales*, 43: 27-33.

Izquierdo, M., A. Caamaño y M. Quintanilla (2007), *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar*, Bellaterra, Universitat Autònoma de Barcelona.

Izquierdo, M., N. Sanmartí y J. L. Estaña (2007), "Actividad Química Escolar: modelización del cambio químico", en M. Izquierdo, N. Sanmartí y J. L. Estaña (eds.), *Investigar en la enseñanza de la química Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar*, Barcelona, Servei de Publicacions-UAB.

Izquierdo, M. y J. A. Chamizo (2005), "Toulmin's concepts and problem characterization in chemistry and chemistry teaching", *Proceedings from 8th International History and Philosophy of Science Teaching Group International Conference*, Leeds.

Izquierdo, M. y J. Aliberas (2004), *Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències,* Materials 150, Barcelona, Universitat Autònoma de Barcelona.

Izquierdo, M. y A. Aduriz (2003), "Epistemological Foundations of School Science", *Science & Education*, 12: 27-43.

Izquierdo, M., N. Sanmartí, M. Espinet, M. P. Garcia y R. M. Pujol (1999), "Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar", *Enseñanza de las ciencias*, número extraordinario, junio, 79-92.

Jacob, C. (2007). "Análisis y síntesis. Operaciones interdependientes entre la práctica y el lenguaje químico", en José Antonio Chamizo (ed.), *La esencia de la química. Reflexiones sobre filosofía y educación*, México, Facultad de Química-UNAM, <www.uruguayeduca.edu.uy/Userfiles/P0001/File/LaEsenciaDeLaQuimica.pdf>.

Jensen, W. B. (1998), "Does Chemistry have a Logical Structure?", *Journal of Chemical Education*, 75: 679-687; "Can we unmuddle the chemistry textbook?", *Journal of Chemical Education*, 75: 817-828; "One Chemical Revolution or Three?", *Journal of Chemical Education*, 75: 961-969.

——— (1980), *The Lewis Acid-Base Concepts. An Overview*, Nueva York, Wiley.

Jiménez-Aleixandre, M. P. y C. Pereiro-Muñoz (2002), "Knowledge producers or knowledge consumers? Argumentation and decision making about environmental management", *International Journal of Science Education*, 24: 1171-1190.

Jiménez-Aleixandre, M. P., A. Rodrigues y R. Duschl (2000), "Doing the Les-

son or Doing Science: Argument in High School Genetics", *Science Education*, 84: 757-792.

Jiménez Aleixandre, M. P. (1998), "Diseño curricular: Indagación y razonamiento con el lenguaje de las ciencias", *Enseñanza de las Ciencias*, 16: 203-216.

Johnstone, A. H. (1991), "Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem", *Journal of Computer Assisted Learning*, 7: 75-80.

Justi, R. (2006), "La enseñanza de la ciencia basada en la elaboración de modelos", *Enseñanza de las ciencias*, 24: 173-184.

——— (2000), "Teaching with historical models", en J. K Gilbert y C. J. Boulter (eds.), *Developing Models in Science Education*, Dordrecht, Kluwer.

Justi, R., J. A. Chamizo, A. García y K. Figueiredo (2011), "Experiencias de formación de profesores latinoamericanos sobre modelos y modelaje", *Enseñanza de las ciencias*, 29: 413-426.

Justi, R. y J. K. Gilbert (2002a), "Models and modelling in Chemical Education", en J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. F. Treagust y J. H. Van Driel (eds.) (2002), *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Justi, R. y J. K. Gilbert (2002b), "Philosophy of chemistry in university chemical education: The case of Models and modelling", *Foundations of Chemistry*, 4: 213-240.

Justi, R. y J. K. Gilbert (1999), "History and Philosophy of Science through Models: The case of Chemical Kinetics", *Science & Education*, 8: 287-307.

Koponen, I. T. (2007), "Models and modelling in physics education: A critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions", *Science & Education*, 16, núms. 7-8: 751-773.

Kind, V. (2004), *Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química*, México, UNAM-Santillana.

Knowlton, D. S. (2003), "Preparing Students for Educated Living: Virtues of Problem-Based Learning Across the Higher Education Curriculum", *New Directions for teaching and learning*, 95: 5-12.

Kragh, H. (1987), *An Introduction to the Historiography of Science*, Cambridge, Cambridge University Press.

Kress, G., J. Ogborn, C. Jewitt y B. Tsatsaleis (1998), *Rhetorics of the science classroom: A multimodal approach*, Londres, Institute of Education.

Kuhn, T. S. (1993), "Methaphor in Science", en A. Ortony (ed.), *Methaphor and Thought,* Cambridge, Cambridge University Press.

——— (1982), *La tensión esencial,* México, Fondo de Cultura Económica.

——— (1971), *La estructura de las revoluciones científicas,* México, Fondo de Cultura Económica.

——— (1963), "The Function of Dogma in Scientific Research", en A. C. Crombie (ed.), *Scientific Change*, Londres, Heineman.

Lakatos, I. (1978), *Mathematics, Science and Epistemology: Philosophical papers 2*, Cambridge, Cambridge University Press.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 168 6/24/13 11:12 AM

Lakatos, I. y A. Musgrave (1975), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona, Grijalbo.

Lakoff, G. y M. Johnson (1986), *Metáforas de la vida cotidiana*, Madrid, Cátedra.

Langmuir, I. (1919), The arrangement of electrons in atoms and molecules, *Journal of the American Chemical Society*, 41: 868-883.

Latorre, A. (2007), *La investigación-acción. Conocer y cambiar la práctica educativa*, Barcelona, Graó.

Latour, B. (1992), *Ciencia en acción,* Barcelona, Labor.

Latour, B. y S. Woolgar (1995), *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos,* Madrid, Alianza Editorial.

Laudan, L. (1986), *El progreso y sus problemas. Hacia una teoría del crecimiento científico,* Madrid, Ediciones Encuentro.

Laudan, L. (1985), "Un enfoque de solución de problemas al progreso científico", en I. Hacking, *Revoluciones científicas*, México, Fondo de Cultura Económica.

Lawson, A. E. (2003), "The nature and development of hypothetico-predictive argumentation with implications for science teaching", *International Journal of Science Education*, 25: 1387-1408.

Lelas, S. (1993), "Science as technology", *Britain Journal of Philosophy of Science,* 44: 423-442.

Lemke, J. (1990), *Talking Science, Language, learning and values*, Ablex, Norwood.

Lewis, B. B. (1981), "Science, teaching and society", *Journal of Chemical Education*, 58: 704-708.

Malvern, D. (2000), "Mathematical Models in Science", en J. K Gilbert y C. J. Boulter (eds.), *Developing Models in Science Education*, Dordrecht, Kluwer.

Marcos, A. (2000), *Hacia una filosofía de la ciencia amplia*, Madrid, Tecnos.

Matthews, M. R. (1994), *Science teaching: the role of history and philosophy of science,* Londres, Routledge.

McComas, W. F. (2000), "The principal elements of the nature of science: dispelling the myths", en W. F. McComas (ed.), *The Nature of Science in Science Education,* Dordrecht, Kluwer.

——— (2000), *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies,* Dordrecht, Kluwer.

Mehrtens, H. (2004), *Mathematical models in de Chadarevian S. and Hopwood N. Models. The third dimension of science,* Stanford, Stanford University Press.

Modelos y modelaje científico, <www.modelosymodelajecientifico.com/main.html>.

Morin, E. (2002), *La mente bien ordenada*, Barcelona, Seix Barral.

Muñoz, L. H. (2004), *La racionalidad ética. Un estudio sobre Stephen Toulmin*, tesina, departamento de Filosofía, Universitat Autònoma de Barcelona.

Nakhleh, M. B., J. Polles y E. Malina (2002), "Learning chemistry in a laboratory environment", en J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. F. Treagust y J.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 169 6/24/13 11:12 AM

H. van Driel (eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Nelson, P. G. (2002), "Teaching chemistry progressively: from substances, to atoms and molecules, to electrons and nuclei", *Chemistry Education;Research and Practice in Europe*, 3: 215-218.

National Research Council (NRC) (2003), *Beyond the molecular frontier: Challenges for chemistry and chemical engineering*, Washington, D. C., The National Academy Press.

Novak, J. y R. Gowin (1984), *Learning how to learn*, Cambridge, Cambridge University Press.

Nussbaum, E. M. y G. M. Sinatra (2003), "Argument and conceptual engagement", *Contemporary Educational Psychology*, 28: 384-395.

Ortega Guerrero, C. (1991), *Ciudadanía independiente*, México, Ortega y Romeu.

Ortega y Gassett, J. (1982), *Meditación de la técnica*, Madrid, Revista de Occidente/Alianza Editorial.

Osborne, J. (2009), "Hacia una pedagogía más social en la educación científica: el papel de la argumentación", *Educación Química*, 20: 156-165.

Osborne, J. *et al.* (2005), *Symposium learning to argue and arguing to learn,* Barcelona, Proceedings of ESERA.

Osborne, J., S. Erduran y S. Simon (2004), "Enhancing the quality of argument in school science", *Journal of Research in Science Teaching*, 41: 994-1020.

——— (2004a), *IDeas, Evidence an Argument in Science*, In-service Training Pack, Resource Pack and Video, Londres, Nuffield Foundation.

Pauling, L. (1950), "The place of chemistry in the integration of the sciences", *Main Currents in Modern Though*, 7: 108-111.

Pedroza, H. y M. Watts (2003), "Questions of Chemistry", *International Journal of Science Education*, 25: 1015-1034.

Peirce, C. S. (1966), *Selected Writings*, en Philip P. Wiener (ed.), Nueva York, Dover.

Pérez Tamayo, R. (2005), "Los modelos en las ciencias experimentales", en A. López Austin (coord.), *El modelo en la ciencia y la cultura*, Cuadernos del Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos de la UNAM, México, Siglo XXI Editores.

Pérez, A. (1988), *Curriculum y enseñanza: Análisis de componentes*, Málaga, Universidad de Málaga.

Pérez, Y. y J. A. Chamizo (2011), "Los museos: un instrumento para el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP)", *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8: 312-322.

Pickstone, J. V. (2000), *Ways of knowing*, Manchester, Manchester University Press.

Pimentel, G. C. y D. W. Ridgway (1988), "Chem Study, Past-Present-Future", *Chem 13 News*, 178: 4-5.

Polya, G. (1945), *How to solve it*, Princeton, Princeton University Press.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 170 6/24/13 11:12 AM

Purser, G. (1999), Lewis Structures are Models for Predicting Molecular Structure, Not Electronic Structure, *Journal of Chemical Education*, 76: 1013-1017.

Quintanilla, M. (ed.) (2007), *Historia de la Ciencia. Aportes para la formación del profesorado,* Santiago, Arrayan Editores.

Radford, D. (1990), *Science, models and toys. Stage Three,* Londres, Simon & Schuster.

Rapp, D. N. (2005), "Mental models: Theoretical issues for visualizations in science education", en J. K. Gilbert (ed.), *Visualization in Science Education*, Dordrecht, Springer.

Reichenbach, H. (1938), *Experience and prediction. An analysis of the foundation and the estructure of knowledge,* Chicago, University of Chicago Press.

Reisch, A. G. (2009), *Cómo la Guerra Fría transformó la filosofía de la ciencia. Hacia las heladas laderas de la lógica*, Buenos Aires, Universidad Nacional de Quilmes.

Ríos, G. (2013), *Las preguntas abiertas como estrategia didáctica en la química del agua*, tesis de maestría, México, UNAM/MADEMS, en proceso.

Roberts, D. A. (1988), "What counts as Science Education?", en P. F. Fesham (ed.), *Development and Dilemma's in Science Education,* Londres, Falmer Press.

Robles, C. (2008), *Aprendizaje basado en la solución de problemas: una propuesta de aplicación de la definición de problema de Toulmin en la segunda unidad del curso de Química II del Colegio de Ciencias y Humanidades en la UNAM*, tesis de maestría, México, MADEMS-UNAM.

Rodgers, M., D. Runyon, D. Starret y R. von Holzen (2006), The 21st Century Learner, *Proceedings from the 22nd Annual Conference on Distance Teaching and Learning*, Madison, The Board of Regents of the University of Wisconsin System.

Rorty, R. (1983), *La filosofía y el espejo de la naturaleza*, Madrid, Cátedra.

Rovatti, P. A. (1999), *Como la luz tenue: Metáfora y saber*, Barcelona, Gedisa.

Russell, C. B. y G. C. Weaver (2008), "Students perceptions of the Purpose and Function of the Laboratory in Science: A Grounded Theory Study", *International Journal for the scholarship of teaching and learning*, 2: 1-14.

Sainsbury, R. M. (1995), *Paradoxes*, Cambridge, Cambridge University Press.

Sánchez Blanco, G. y M. V. Valcárcel (2003), "Los modelos en la enseñanza de la química: concepto de sustancia pura", *Alambique*, 35: 45-52.

Salters GCSE Chemistry Course (1987), University of York/Science Education Group, York.

Sanger, M. J. y T. J. Greenbowe (1996), "Science-Technology-Society (STS) and ChemCom Courses versus College Chemistry Courses: Is there a Mismatch?", *Journal of Chemical Education*, 73: 532-536.

Sardá, A. y N. Sanmartí (2000), "Ensenyar a argumentar científicament: un repte de les classes de ciències", *Enseñanza de las Ciencias*, 18: 405-422.

Savater, F. (2003), *El valor de elegir*, Barcelona, Ariel.

Sauls, F. C. (2008), "Paramagnetism Paradoxes: Projectable Demonstrations", *Journal of Chemical Education*, 85: 529-531.

Scerri, E. R. (2001), "The Recently Claimed Observation of Atomic Orbitals and Some Related Philosophical Issues", *Philosophy of Science*, núm. 68 (Proceedings), S76-S88, N. Koertge (ed.), Philosophy of Science Association, Michigan, East Lansing.

——— (2000b). "Have Orbitals Really Been Observed?", *Journal of Chemical Education*, 77(11): 1492-1494.

——— (2000a). "The failure of reduction and how to resist disunity of the sciences in the context of chemical education", *Science & Education*, 9: 405-425.

Scerri, E. R. (2000), "Philosophy of Chemistry: A New Interdisciplinary Field?", *Journal of Chemical Education*, 77: 522-525.

Schulman, L. S. (1987), "Knowledge and teaching foundations of the new reform", *Harvard Educational Reviews*, 57: 1-22.

Schummer, J. (2003), "The philosophy of chemistry", *Endeavour*, 27: 37-41.

——— (2000), "The Philosophy of Chemistry: From Infancy Howard Maturity", en D. Baird *et al.*, *The Philosophy of Chemistry. Synthesis of a New Discipline*, Dordrecht, Springer.

——— (1999), "Challenges for Chemistry Documentation, Education and Working Chemist", *Educación Química*, 10: 92-101.

Schwab, J. J. (1962), *The teaching of science as inquiry,* Cambridge, Harvard University Press.

Schwarz, C. V., B. J. Reiser, E. A. Davis, L. Kenyon, A. Acher y D. Fortus (2009), "Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners", *Journal of Research in Science Teaching*, 46: 632-654.

Seok, P. y S. Jin, S. (2011), "What teachers of science need to know about models: An overview", *International Journal of Science Education*, 33: 1109-1130.

Shymansky, J. A., W. C. Kyle y J. M. Alport (1983), "The effects of new science curricula on students performance", *Journal of Research in Science Teaching,* 20: 387-404.

Silberstein, M. (2002), "Reduction, Emergence and explanation", en P. Machamer y M. Silberstein, *Philosophy of Science*, Oxford, Blackwell.

Solomon, J. (1983), *Science in a social CONtext,* Londres, Association for Science Education.

Sorensen, R. (2007), *Breve historia de la paradoja. La filosofía y los laberintos de la mente,* Barcelona, Tusquets.

Spence, J. C. H., M. O'Keeffe y J. M. Zuo (2001), "Have orbitals really been observed?", *Journal of Chemical Education*, 78(7): 877.

Stenhouse, L. (1975), *An introduction to curriculum Research and Development*, Londres, Heineman.

Suckling, C. J., K. E. Suckling y C. W. Suckling (1978), *Chemistry through models,* Cambridge, Cambridge University Press.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 172 6/24/13 11:12 AM

Suppe, F. (1989), *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism*, Urbana: University of Illinois Press.

——— (1979), *The Structure of Scientific Theories,* Urbana, University of Illinois Press.

Sutton, C. (1997), "Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje", *Alambique,* 12: 8-32.

Taber, K. (2002), *Chemical misconceptions: prevention, diagnosis and cure,* Londres, Royal Society of Chemistry.

Tague J., J. Beheshti y L. Rees-Potter (1981), "The law of exponential growth: Evidence implications and forecasts", *Library Trends*, 30: 125-150.

Talanquer, V. (2009), "Química agazapada", en J. A. Chamizo (coord.), *Historia y filosofía de la química*, México, Facultad de Química-UNAM-Siglo XXI Editores.

Tanner, D. y L. N. Tanner (1980), *Curriculum Development. Theory into practice,* Nueva York, Macmillan.

Thackray, A. (1974), "Review of Human Understanding", *British Journal for the History of Science*, 7: 80-81.

Tiberghien, A. (2000), "Design teaching situations in the secondary school", en R. Millar, J. Leach y J. Osborne (eds.), *Improving Science Education: The Contribution of Research*, Buckingham, Open University Press.

Torres, M. (2013), *La enseñanza de la argumentación en química. Diseño de una unidad didáctica sobre temas de química orgánica y polímeros*, tesis de maestría, México, UNAM/MADEMS, en proceso.

Tosh, N. (2003), "Anachronism and Retrospective Explanation: In Defence of a Present Centred History of Science", *Studies in History and Philosophy of Science*, 34: 647-659.

Toulmin, S. (2003), *The Uses of Argument*, Cambridge, Cambridge University Press.

——— (2001), *Return to Reason,* Cambridge, Harvard University Press.

——— (1977), *La comprensión humana. I El uso colectivo y evolución de los conceptos*, Madrid, Alianza Editorial.

——— (1964), *El puesto de la razón en la ética,* Madrid, Revista de Occidente.

——— (1961a), *Foresigth and Understanding: An Inquiry Into the Aims of Science*, Bloomington, Indiana University Press.

Toulmin, S. y J. Goodfield,(1965), *The Discovery of Time*, Nueva York, Harper and Row.

——— (1962), *The Architecture of Matter,* Nueva York, Harper and Row.

——— (1961), *The Fabric of the Heavens*, Nueva York, Harper and Row.

Treagust, D., R. Duit y M. Nieswandt (2000), "Sources of students' difficulties in learning chemistry", *Educación química*, 11: 228-235.

Trowbridge, J. E. y J. H. Wandersee (1998), "Theory-Driven Graphic Organizers", en J. J. Mintzes J. H. Wandersee y J. D. Novak (eds.), *Teaching Science for Understanding. A Human Constructivist View,* San Diego, Elsevier Academic Press.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 173 6/24/13 11:12 AM

Tversky, B. (2005), "Prolegomenon to scientific visualizations", en J. K. Gilbert (ed.), *Visualization in Science Education,* Dordrecht, Springer.

Van Aalsvoort, J. (2004), "Logical positivism as a tool to analyze the problem of chemistry's lack of relevance in secondary school chemical education", *International Journal of Science Education*, 26: 1151-1168.

Van Berkel, B., W. de Vos, A. H. Verdonk y A. Pilot (2000), "Normal Science Education and its Dangers: The Case of School Chemistry", *Science & Education*, 9: 123-159.

Van Driel, J. H., O. de Jong y N. Verloop (2002), "The Development of Preservice Chemistry Teachers' Pedagogical Content Knowledge", *Science Education*, 86: 572-590.

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

Vitz, E. (2000), "Paradoxes, Puzzles, and Pitfalls of Incomplete Combustion Demonstrations", *Journal of Chemical Education*, 77: 1011-1013.

Wandersee, J. H. y P. B. Griffard (2002), "The history of chemistry: Potential and actual contributions to chemical education", en J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. F. Treagust y J. H. van Driel (eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Watts, M. (1991), *The science of problem-solving. A practical Guide for Science Teachers*, Londres, Cassell.

Woolley, R. G. (1985), "The Molecular Structure Conundrum", *Journal of Chemical Education*, 62: 1082-1084.

Zapata, O. A. (2005), *Herramientas para elaborar tesis e investigaciones socioeducativas,* México, Editorial Pax.

Zohar, A. y F. Nemet (2002), "Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics", *Journal of Research in Science Teaching*, 39: 35-62.

Zuo, J., M. Kim, M. O'Keeffe y J.C.H. Spence (1999), "Direct observation of d-orbital holes and Cu-Cu bonding in Cu_2O", *Nature*, 401: 49-56.

Chamizo_Paradoja_txt.indd 174 6/24/13 11:12 AM

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 2.1. Ejemplos de diferencias entre los modelos y los objetos, sistemas, o procesos que representan 19

CUADRO 2.2. Cronología del Chem Study 22

CUADRO 2.3. Énfasis curriculares 28

CUADRO 2.4. La estructura lógica de la química 33

CUADRO 2.5. Categorías para el análisis del currículo de química 35

CUADRO 2.6. Diez premisas sobre el currículo de química 36

CUADRO 2.7. Cinco premisas fundamentales (corregidas del cuadro 2.5) y categorías que representan sobre el currículo actual de química 39

CUADRO 3.1. Características principales del positivismo lógico 48

CUADRO 3.2. Aspectos fundamentales a considerar en una enseñanza de la ciencia racional (con la que se aprenda a pensar mediante modelos científicos) y razonable (a partir de preguntas que tengan sentido para los estudiantes). Modificado de Izquierdo y Aliberas (2004) 57

CUADRO 3.3. Registro de aprendizaje para evaluar los argumentos 65

CUADRO 3.4. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza 68

CUADRO 3.5. Ejemplos de problemas resueltos y no resueltos en la historia de la química 74

CUADRO 3.6. Los problemas conceptuales de la ciencia. Modificado de Toulmin 75

CUADRO 3.7. Diferentes maneras de resolver problemas 76

CUADRO 3.8. Ejemplos de ejercicios y problemas utilizados en un curso de química general (l = lenguaje; r = representación; a = aplicación) 78

CUADRO 3.9. Algunas de las características de la tecnociencia 83

CUADRO 4.1. Diferentes modelos utilizados para representar a los gases 96

CUADRO 4.2. Ejemplos de modelos materiales simbólicos 99

CUADRO 4.3. Modelos materiales científicos utilizados en diferentes momentos de la historia de la química 107

Chamizo_Paradoja_txt.indd 175 6/24/13 11:12 AM

CUADRO 4.4. Interrelación entre los diversos modelos iónicos y electrónicos ácido-base (adaptado de Jensen, 1980) 107

CUADRO 4.5. Diferencias entre cómo son entendidos los modelos por los aprendices (que no sólo son los alumnos, en este grupo también se encuentran visitantes de museos y consumidores en general) y los expertos 110

CUADRO 4.6. Ejemplos de modelos atómicos 114

CUADRO 5.1. Características de las preguntas 125

CUADRO 5.2. Ejemplos de preguntas inductoras o abiertas y no inductoras o cerradas, derivadas de una narración específica 127

CUADRO 5.3. Tipos de preguntas 127

CUADRO 6.1. Ejemplos de metáforas empleadas en la enseñanza 151

CUADRO 6.2. Algunas metáforas empleadas en la enseñanza de la química 153

Chamizo_Paradoja_txt.indd 176 6/24/13 11:12 AM

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. Una paradoja visual [N. Rodgers, *Incredible Optical Illusions*, Nueva York, Barnes and Noble, 1998, p. 112] 12

FIGURA 1.2. Una de las paradojas visuales más famosas, *La cascada*, de Maurits Cornelis Escher (1961) [<http://temakel.net/galeria surrealismoescher.htm>] 13

FIGURA CAPÍTULO 2. Rene Magritte, La condition humaine [1933, National Gallery of Art, Washington, <http://filosofiajovial.blogspot.mx/2011_05_01_archive.html>] 17

FIGURA 2.1. Currículo de bloques unitarios o unidades didácticas [Elaboración propia] 44

FIGURA 2.2. Una secuencia curricular [Elaboración propia] 44

FIGURA CAPÍTULO 3. Plano de construcción de una pieza imposible, B. Ernst, *Un mundo de figuras imposibles*, Taschen, 1998, p. 74 46

FIGURA 3.1. Componentes de la razón [Elaboración propia] 56

FIGURA 3.2. Datos, garantía y conclusión de un argumento [Elaboración propia] 61

FIGURA 3.3. Esquema completo de un argumento [Elaboración propia] 64

FIGURA 3.4. Rejilla Argumentativa de Toulmin (RAT) [Elaboración propia] 66

FIGURA CAPÍTULO 4. Ouroboros [<www.esotericonline.net/profiles/blogs/jung>] 90

FIGURA 4.1. Ejemplos de modelos materiales [Elaboración propia] 100

FIGURA 4.2. El aparato de Urey-Miller y el Tokomak [UREY-MILLER: <http://blogcienciasdelmundocontemporaneo.blogspot.mx/2012/05/el-experimento-de-miller-y-urey.html>; TOKOMAK: A fusion reactor in a Canadian museum. Photo credit: David R. Carrol via Flickr/CC BY, <www.treehugger.com/corporate-responsibility/infinite-clean-energy-just-decades-away-plans-laid-for-the-first-fusion-reactor.html>] 100

FIGURA 4.3. Aparato de Joseph Priestley, papel pH [PRIESTLEY: <http://recuerdosdepandora.com/ciencia/quimica/joseph-priestley-el-hombre-que-descubrio-el-oxigeno/>; PAPEL PH:

Chamizo_Paradoja_txt.indd 177 6/24/13 11:12 AM

<www.compostadores.com/h/el-compost-casero/el-ph-en-el-compost>] 101

FIGURA 4.4. Modelo simbólico de la síntesis de la aspirina [Elaboración propia] 102

FIGURA 4.5. Modelos materiales icónicos [LOBO DE TASMANIA: <http://1.bp.blogspot.com/_0gLIwekDOS8/Se3wH_x-r8I/AAAAAAAABBw/myQY6VO9_n0/s1600-h/lobo%20tasmania>; DESCUBRIMIENTO DEL ADN: Juan José Ibáñez, La piedra filosofal de la calidad científica ha sido descifrada: ¡Confirmado!, 24 de marzo de 2010 <www.madrimasd.org/blogs/universo/universo/2010/03/24/135745>; EXPERIMENTO DE MILLER: <http://mx.kalipedia.com/ciencias-vida/tema/experimento-miller.html?x=20070417klpcnavid_349.Kes&ap=2>] 103

FIGURA 4.6. Modelos materiales icónicos didácticos [Diagramas elaborados por alumnos] 111

FIGURA 4.7. El complejo y diverso "mundo real" [Elaboración propia] 112

FIGURA 4.8. Modelo material icónico de modelos materiales icónicos de átomos de carbono tetraédrico construidos en 1884 por Robert van't Hoff [B.O. Ramsay, *Stereochemistry*, Heyden, Londres, 1981, p. 84] 115

FIGURA CAPÍTULO 5. O. Reutersvärd, Homenaje a B. Ernst , B. Ernst, *Un mundo de figuras imposibles*, Taschen, 1998, p. 14 121

FIGURA 5.1. *Ve* de Gowin [Elaboración propia] 129

FIGURA 5.2. Diagrama heurístico [Elaboración propia] 132

FIGURA 5.3. Instrucciones para completar un diagrama heurístico [Elaboración propia] 133

FIGURA 5.4. Registro de aprendizaje del diagrama heurístico [Elaboración propia] 136

FIGURA 5.5. Propósito fundamental del experimento escolar [Elaboración propia] 137

FIGURA 5.6. Diagrama heurístico sobre una investigación experimental [Elaboración propia] 138

FIGURA 5.7. Dos maneras de organizar la historia de la ciencia [Elaboración propia] 141

FIGURA 5.8. Diagrama heurístico histórico [Elaboración propia] 144

FIGURA 5.9. Diagrama heurístico [Elaboración propia] 146

FIGURA CAPÍTULO 6. B. Ernst, *Un mundo de figuras imposibles*, Taschen, 1998, p. 26 149

Chamizo_Paradoja_txt.indd 178 6/24/13 11:12 AM

ÍNDICE

PRESENTACIÓN 9

1. ANTECEDENTES: LAS PARADOJAS 11

2. EL CURRÍCULO OCULTO EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA 17
   Antecedentes, 18; Diversas posiciones respecto al currículo de química, 27; La posición dominante del currículo de química, 34; Condiciones para escapar de la posición dominante del currículo de química, 41; A manera de resumen, 45

3. DESDE EL POSITIVISMO LÓGICO HASTA LA TECNOCIENCIA EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA 46
   Antecedentes, 47; Sobre la argumentación, 57; Sobre la comprensión humana en general y la ciencia en particular, 67; Sobre la tecnología. La razón tecnocientífica, 80; A manera de resumen, 88

4. LOS MODELOS EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA 90
   Antecedentes, 91; Modelos, 92; Los modelos científicos, 104; Los modelos didácticos, 108; Modelaje, 112; A manera de resumen, 119

5. EL APRENDIZAJE DE HABILIDADES DE PENSAMIENTO CIENTÍFICO 121
   Antecedentes, 121; Las preguntas, 123; Los diagramas heurísticos, 131; A manera de resumen, 147

6. PARA TERMINAR: LAS METÁFORAS 149

BIBLIOGRAFÍA 159
ÍNDICE DE CUADROS 175
ÍNDICE DE FIGURAS 177

Chamizo_Paradoja_txt.indd 179 6/24/13 11:12 AM

Chamizo_Paradoja_txt.indd 180 6/24/13 11:12 AM

Chamizo_Paradoja_txt.indd 181 6/24/13 11:12 AM

Chamizo_Paradoja_txt.indd 182 6/24/13 11:12 AM

Chamizo_Paradoja_txt.indd 183 6/24/13 11:12 AM

Chamizo_Paradoja_txt.indd 184 6/24/13 11:12 AM