

La naturaleza de la química

José Antonio Chamizo,¹ Daniela Castillo¹ e Irys Pacheco¹

ABSTRACT (The Nature of Chemistry)

From a historical reflection on the particularities of chemistry, which distinguish it from other sciences, was carried out an initial study on the Nature of Chemistry. Undergraduate students from various careers related to chemistry answered a questionnaire that seeks to recognize, to what extent they are able to recognize these differences.

KEYWORDS: nature of chemistry, sciences, technology, history, education

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

M. Heidegger

Antecedentes

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 son sus ciudadanos y que si éstos se ven pequeños frente a sí mismos el país 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 tecnología han construido y que nos ha arrollado, exige toda una serie de compromisos y de 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 a nivel local, nacional y mundial. Más aún y como lo ha señalado Morin (2000), los siglos anteriores siempre creyeron en un futuro, fuera éste repetitivo o progresivo, pero el siglo XX descubrió la pérdida del futuro, es decir, su impredecibilidad. El futuro se llama incertidumbre y ante el mismo las universidades deben de ser capaces no sólo de educar en términos generales y tradicionales, sino de expresar re-

flexivamente los mundos de posibilidades que se están construyendo.

Hace varios años Brunner alertaba (2001):

La educación latinoamericana enfrenta dos desafíos de enorme magnitud. Por un lado, debe cumplir las asignaturas pendientes del siglo XX, tales como universalizar la cobertura, incorporar las poblaciones indígenas al sistema escolar, mejorar la calidad, modernizar la educación técnica de nivel medio y superior, masificar la enseñanza a nivel terciario. Por otro lado, debe dar el salto hacia el siglo XXI y emprender las nuevas tareas de las cuales dependen el crecimiento económico, la equidad social y la integración cultural, adoptando para ello sus estructuras, procesos y resultados, y las políticas educacionales a las transformaciones que —por efecto de la globalización— experimentan los contextos de información, conocimiento, laboral, tecnológico y de significados culturales en los que se desenvuelven los procesos de enseñanza aprendizaje. Ambas agendas —del siglo XX y del siglo XXI— son tremadamente exigentes y costosas. Aplicarlas al mismo tiempo es una faena que requerirá un formidable esfuerzo.

Así, y ya desde hace también muchos años, se reconoció la necesidad de alfabetizar científica y tecnológicamente a las sociedades (ICASE, 1993), lo que se suele justificar por razones socioeconómicas, culturales, de autonomía personal, utilidad para la vida cotidiana, democráticas, para la participación social en las decisiones sobre asuntos de interés público relacionados con la ciencia y la tecnología, entre otras (Vázquez *et al.*, 2005); es decir, para construir ciudadanía independiente. Para ello es fundamental que los profesionales mejor preparados, de preferencia con cursos de posgrado, participen activamente en los procesos de enseñanza a nivel licenciatura una vez que sólo ellos estarán en la posibilidad de transitar sólidamente hacia la agenda del siglo XXI (Chamizo, 2008).

En la década de los años 70 Gallagher (1971) propuso un nuevo objetivo para la ciencia escolar, en la que da el mismo valor a la comprensión de las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad que a los contenidos netamente científicos, asunto que desde entonces ha devenido en una corriente educativa

¹ Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Avenida Universidad 3000. 04510 México, Distrito Federal, México.

Correo electrónico: jchamizo@unam.mx

en sí misma (Garritz, 1994; Chamizo y Garritz, 2012). Quedaba claro que de no incorporar explícitamente contenidos curriculares que consideraran esta temática los alumnos no podrían hacerlo por sí solos. Acevedo (2008) ha indicado que después de cuatro décadas de investigación en este tema, ni los estudiantes ni los profesores tienen ideas claras sobre el mismo, que hay una equivocada creencia de que el investigador en activo, por el hecho de serlo, promueve y aclara automáticamente con sus alumnos estos temas, y que la única manera posible de hacerlo era, una vez que consideran más importantes los temas específicos de las asignaturas que imparten, diseñar materiales específicos para ello. Desde esta perspectiva el considerar la naturaleza de la ciencia, es decir los componentes históricos filosóficos y sociales de la misma, se destacó como objetivo clave del currículo de ciencia escolar y como componente principal de la alfabetización científica en diversos documentos de reforma de la educación (McComas 2000; Vázquez *et al.*, 2007a, 2007b, 2012; Catalá y Chamizo, 2010) que poco a poco los han ido incorporando.

Sin embargo, al revisar algunas publicaciones recientes, en las que se discuten los contenidos básicos disciplinares para la enseñanza de la química en el bachillerato y en las universidades (Garritz, 1998; Caamaño, 2003; Gutiérrez-Crispín, 2010), observamos que carecen de contenidos que consideren explícitamente el estudio de la historia y la filosofía de la química. En ellas está ausente el estudio histórico-epistemológico de la construcción de los conocimientos científicos y tecnológicos, la dinámica de las comunidades de especialistas, y no se considera el contexto en que se dio el desarrollo científico y tecnológico. De acuerdo con Tovar-Gálvez (2008), estas temáticas permitirían proponer una didáctica específica para nuestra disciplina, la química, de manera que no deba subordinarse más a principios generales de disciplinas auxiliares.

Reconociendo esta carencia, y por otra parte el brutal crecimiento de la información química —evidenciada sobre todo por el filósofo alemán J. Schummer (1999)—, ya se ha indicado (Chamizo, 2007) que nos guste o no nos guste, lo sepamos o no, los profesores de química somos en realidad profesores de historia de la química. Por todo ello, nos debemos a nosotros mismos y a nuestros alumnos una más profunda reflexión sobre lo que en realidad estamos enseñando y para qué lo estamos haciendo (Chamizo, 2008).

En este artículo, que coincide con la discusión que establece la posibilidad de cambiar la Naturaleza de la Ciencia, por Naturaleza de las Ciencias, y abordando las diferentes disciplinas de manera específica (Acevedo, 2008), presentamos una caracterización de lo que hemos llamado Naturaleza de la Química y un estudio preliminar de la construcción de un instrumento (NQ2) que permita determinarla, así como primeros resultados de las respuestas de alumnos universitarios.

La química

La química, omnipresente e imposible de encontrar, opera en todas partes, y en todas partes está subordinada a cuestiones,

problemas, intereses o técnicas que no le pertenecen en propiedad y, además, es víctima de las vicisitudes contemporáneas del concepto de “progreso industrial”. “Hija de una madre desvergonzada”, la alquimia, consiguió dar una imagen de sí misma seria, moral, responsable, invocando su utilidad social y su interés económico. Ahora bien, todas esas proezas industriales, agrícolas o médicas que parecían asegurarle a la química un valor positivo, se vuelven hoy en su contra y la hacen sumamente vulnerable. La “química de los profesores” enarbola con orgullo un blasón de doble faz: “ciencia pura” al servicio del conocimiento desinteresado, y “ciencia aplicada”, al servicio de la humanidad. Pero en la actualidad todo sucede como si la “pureza” fuera un rasgo exclusivo de la física. Considerada más “útil para la vida” que “para la mente”, según una expresión de Bachelard, la química se presenta como objetivo escogido de las controversias políticas y sociales a propósito de los valores de la industria y del progreso. Catástrofes como la de Bhopal (3,500 muertos y centenares de miles de personas irreversiblemente minusválidas), lluvias ácidas, gases CFC que destruyen la capa de ozono, fertilizantes con nitratos o pesticidas que envenenan las capas freáticas, residuos industriales peligrosos. Todo esto “es química”.

Bensaude-Vincent B y Stengers I. (1997)

Durante la Segunda Guerra Mundial se consolidó en una buena parte del planeta una versión de la filosofía de la ciencia que defendía su superioridad analítica y se apoyaba en una gran idea que podría resumirse así: a partir de experimentos empíricos, la aceptación del método científico universal con la reducción de las diversas disciplinas científicas a una sola, la física (Echeverría, 2003; Reisch 2009). Muchos nos educamos y crecimos con esta visión de la ciencia que se volvió prácticamente hegemónica en los currículos de ciencia en muchos países. Sin embargo, a mediados del siglo pasado diversos filósofos cuestionaron la carencia de historicidad del positivismo lógico y empezaron a incorporar otras ideas como cambio, progreso o revolución (Kuhn, 1971; Toulmin, 1972). La historia se hacia un lugar en la filosofía y la ciencia dejó de ser singular y empezó a verse de manera plural.

La química actual es heredera de una gran cantidad de oficios y tradiciones que influyeron en la vida cotidiana de todas las culturas. Estas tradiciones se concretaron en técnicas y requirieron de un lugar específico para desarrollarlas. 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. En los laboratorios, como espacios dedicados al trabajo práctico, más que a la investigación teórica, las actividades allí realizadas desde hace miles de años han sido consideradas de menor nivel intelectual. La palabra latina *laborare* nos remite al trabajo manual, el cual era realizado, tanto en el imperio romano como en las ciudades griegas que le antecedieron, por los esclavos. T. Hobbes, filósofo inglés del siglo XVII, indicaba la inferioridad social de aquellos que se dedicaban al trabajo práctico: drogueros, jardineros, herreros o mecánicos. Aque-

llos que suponían que con dinero (con el cual comprar mejores materiales y/o 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 calaron fuertemente en la mentalidad y en las universidades hispanas, y posteriormente en las latinoamericanas, particularmente en lo referente a la investigación y enseñanza de la química, en la que se privilegió el hablar al hacer.

Ya se ha discutido que la historia de la química, particularmente para su enseñanza, puede interpretarse a través de cinco revoluciones (tabla 1) a las que antecede un largo periodo identificado como proto-químico. Desde la más remota antigüedad, y en particular 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 se identifica 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 usualmente se llevaría a cabo a una temperatura intermedia, aunque, por supuesto, el concepto de temperatura realmente se alcanzó hasta el siglo XVIII.

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. Inclusive 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 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 preciados, como se muestra en las cartas que Cannizzaro, en pleno siglo XIX, escribía a sus colegas, en diversos lugares de Italia, para intercambiarlos entre ellos. Es importante hacer notar que, a partir del siglo XVII, los aparatos utilizados en los laboratorios eran construidos ya con dos intenciones, una para realizar propiamente investigación en química y la otra para enseñar. Algunos de los aparatos que utilizó Lavoisier tenían este último propósito. La primera revolución química, lo es también de la educación química. 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.

Desde hace casi medio siglo los filósofos de la ciencia dejaron claro que no hay tal cosa como un método científico universal (MacComas, 2000). El método de la química es análisis y síntesis (Bachelard, 1976; Chamizo, 2009). Para el filósofo canadiense I. Hacking, la actividad experimental de

Tabla 1. Las revoluciones químicas (Jensen, 1998; Chamizo, 2011).

Revolución	Periodo	Características generales	Protagonistas
Primera	1770-1790	<ul style="list-style-type: none"> • Química cuantitativa • Lenguaje 	A. Lavoisier
Segunda	1855-1875	<ul style="list-style-type: none"> • Congreso de Karlsruhe • Química molecular • Valencia • Tabla periódica • Química orgánica industrial • Espectroscopía 	S. Cannizzaro A. Kekulé E. Frankland D. Mendeleiev W. Perkin R. W. E. Bunsen
Tercera	1904-1924	<ul style="list-style-type: none"> • Química eléctrica • Química nuclear • Rayos X • Fisicoquímica 	M. Curie G. N. Lewis F. Soddy W. L. Bragg W. Ostwald
Cuarta	1945-1965	<ul style="list-style-type: none"> • Química instrumental • Química computacional • Química y bioquímica orgánica sintética • Química macromolecular 	L. Pauling R. Woodward R. Hoffmann H. Staudinger A. J. P. Martin
Quinta	1973-1993	<ul style="list-style-type: none"> • Química ambiental • Química organometálica • Química supramolecular • Nanoquímica 	M. Molina G. Wilkinson J. M. Lehn H. Kroto

las ciencias es el resultado de *Representar e Intervenir* (1983), nombre de su influyente libro. Los químicos, aproximadamente un poco más de tres millones de personas en todo el planeta, hacemos nuevas sustancias, intervenimos en el mundo. El número de sustancias y de aplicaciones comerciales de las mismas ha crecido de manera impresionante a lo largo de los últimos 200 años. De algunos cientos en 1800 al día de hoy (marzo de 2012) cuando se han identificado poco más de 65 millones de sustancias diferentes, a las cuales se añaden más de 6,000 cada día.

La síntesis de nuevos compuestos hace que la química sea la ciencia más productiva, como Schummer (2006) lo ha reiterado en múltiples ocasiones. Así, en el año 2000, el *Chemical Abstracts*, la base de datos que informa sobre la mayoría de publicaciones de esta disciplina, reportaba prácticamente el mismo número de publicaciones que todas las demás ciencias juntas.

La síntesis de nuevos compuestos se hace a través de 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 tecno-científica (Latour, 1987) más productiva, lo cual nos ha llevado a acuñar el término tecno-química (Chamizo, 2012). Por ello lo sepamos o no, nos guste o no nos guste, los cerca de 7 000 millones de personas que habitamos este planeta vivimos en un mundo artificial construido fundamentalmente a partir de la síntesis química. Este enorme poder coloca a la química actual, a sus industrias, y a sus profesores y estudiantes, como parcialmen-

te responsable de muchos problemas e indispensable para su solución.

Naturaleza de la química. INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

Para la mayoría de nuestros alumnos la ciencia es una actividad neutral, impulsada sólo por su propia lógica interna y funcionando independientemente de cuestiones sociales, históricas, económicas, políticas...; y los científicos son personas objetivas, de mente abierta, poseedoras de un método infalible y todopoderoso, del que todo el mundo habla: "el método científico".

Fernández, et al., 2002

A partir de instrumentos publicados para conocer las ideas que estudiantes y profesores tenían sobre la naturaleza de la ciencia (QNOSP, VNOS y SUSSI, tabla 2) se construyó uno específicamente para la química (Robles, 2008; Pacheco, 2009). El cuestionario NQ1 contenía dos partes, la primera de ellas con afirmaciones tipo Likert provenientes de QNOSP y SUSSI, y la segunda con ítems abiertos, tomados y modificadas de VNOS y SUSSI. Al tratarse de una investigación preliminar y provenir los ítems de investigaciones publicadas no se realizó la validación estadística correspondiente. Se hizo una prueba piloto del cuestionario NQ1 con seis estudiantes de la maestría en educación media superior de cuyo resultado se procedió a reducirlo en tamaño y reescribir algunas de las afirmaciones. El nuevo cuestionario NQ2 quedó integrado por 14 ítems, divididos en dos partes: en la primera, 10 ítems eran afirmaciones tipo Likert (Robson, 2002) con cuatro opciones —lo que permite reconocer fácilmente una tendencia—, en tanto que en la segunda, los cuatro restantes eran abiertos. Este cuestionario fue sujeto a una segunda prueba, ahora por un grupo de tres alumnos de licenciatura y dos profesores de química a los cuales, después de que lo contestaron, se les hizo una entrevista personal a fin de corroborar su comprensión, la inteligibilidad de las afirmaciones así como la viabilidad de las respuestas.

Tabla 2. Instrumentos utilizados para la construcción de NQ1 y NQ2.

Instrumento	Características
VNOS. Views of Nature of Science Questionnaire (Lederman, et al., 2002)	Es un cuestionario tipo entrevista que permite identificar si las personas evaluadas tienen una postura informada o ingenua sobre temas relacionados con la naturaleza de la ciencia como: el empirismo; la tentatividad o el mito del método científico.
QNOSP. Questionnaire of Nature of Science Profile (Nott y Wellington, 2000)	Es una herramienta desarrollada para evaluar el perfil epistemológico de acuerdo con la idea original de Bachelard (1978). Permite caracterizarlo a partir de las respuestas que da el individuo a preguntas tipo Likert alrededor de dualidades caracterizadas como: relativismo-positivismo; inductivismo-deductivismo; contextualismo-descontextualismo; proceso-contenido; instrumentalismo-realismo.
SUSSI. Student Understanding of Science and Scientific Inquiry (Liang, et al., 2006).	Es una herramienta desarrollada para evaluar la percepción de profesores y alumnos sobre temas específicos de la naturaleza de la ciencia en diferentes entornos culturales. Algunos de los temas considerados son: teorías y leyes científicas; creatividad e imaginación; método científico; teorías y leyes científicas. Este instrumento combina afirmaciones tipo Likert y preguntas abiertas.

Tabla 3. Primera parte de NQ2. Afirmaciones tipo Likert y frecuencia de respuestas.

Afirmación	Frecuencia de las categorías				Tendencia de la categoría (moda)
	TD	D	A	TA	
La química avanza porque resuelve problemas	3	16	27	14	A
La química es diferente de las otras ciencias porque tiene su propio método	12	31	15	2	D
Las leyes de la química son todas de origen físico	11	25	21	1	D
No hay avances propios en la química, únicamente los hay en su aplicación (por ejemplo en ingeniería, en bioquímica, en alimentos)	24	27	8	1	D
Los experimentos que realizan los químicos profesionales cambian el mundo	4	16	30	10	A
La química sólo es física aplicada	20	33	6	1	D
La química es responsable de la contaminación ambiental	19	31	9	1	D
La química es un técnica	29	22	9	0	D
El lenguaje de la química permite no sólo nombrar sino investigar nuevos compuestos	1	1	39	19	A
La investigación en química es más productiva que la de las otras ciencias (física, medicina, biología, etc.)	9	33	13	5	D

Con el objetivo de tener una primera evaluación sobre la percepción que tenían acerca de la Naturaleza de la Química se solicitó, a lo largo de los semestres 2011-1 y 2011-2, a 60 alumnos que contestaran el cuestionario NQ2. Los alumnos encuestados cursaban entre el quinto y el octavo semestre de alguna de las cinco licenciaturas impartidas en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, aunque se buscó una mayor presencia de los que lo hacían en aquella que no va dirigida a un área de aplicación específica y que, por lo tanto, deberían de tener ideas más claras sobre su disciplina. Así, el 70% de los estudiantes cursaban la licenciatura de química; el 5%, química de alimentos; el 7%, ingeniería química; el 11%, ingeniería química metalúrgica, y el 7% restante, químico farmacéutico biólogo. Las afirmaciones y sus resultados, así como las frecuencias de respuestas a ambas partes de NQ2 se muestran en las tablas 3 y 4.

Los resultados obtenidos a través de escalas como la de Likert están sujetas a diversas interpretaciones. Desde luego

hay rigurosos procedimientos estadísticos que permiten validar su consistencia interna y discriminar entre los individuos considerados en el estudio. No es nuestra intención que apunta, por lo pronto, a ir reconociendo aquellos temas de química que merecen una mayor reflexión pública y que puedan así incorporarse de manera explícita en los currículos. En este estudio preliminar nos interesa la tendencia de la moda, es decir, de los valores más frecuentes que nos permitirán contrastarlos con los resultados de los ítems abiertos (tabla 3).

De los resultados de este estudio preliminar queda claro que falta aún un trecho importante para tener un mejor instrumento que permita reconocer claramente las ideas que se tienen sobre la Naturaleza de la Química. Sin embargo, se puede adelantar que sobre el lugar de la química en la sociedad se la ve de manera inocentemente optimista. Para los estudiantes de las licenciaturas en química, ésta es independiente de la física y, aunque es difícil explicitar las diferencias entre ambas, avanza ayudando a resolver problemas, transfor-

Tabla 4. Segunda parte de NQ2. Ítems abiertos respuestas más frecuentes a los mismos.

Ítem	Resultados
Indique algunas de las leyes, modelos o teorías fundamentales de la química.	Las tres leyes más populares fueron: con 21% la ley de la conservación de la materia, con un 13% el modelo atómico de Bohr y con un 10% las leyes de la termodinámica.
Indique cuál es la principal diferencia de la química y el resto de las ciencias.	El 45% de los alumnos encuestados consideran que la diferencia principal de la química frente al resto de las ciencias es que explica los fenómenos con base en sus cualidades estructurales, sus cambios y sus propiedades. Por debajo, un 19% de los alumnos encuestados consideran que su enfoque o su aplicación son distintos a los de las demás ciencias. Sin embargo, sólo un 13% identificó como principal diferencia el hecho de que la química crea su propio objeto de estudio.
Indique el nombre de cinco químicos famosos y la razón por la que lo son.	Los químicos más nombrados son: Lavoisier con un 19%, Mendeleiev con un 17% y Mario Molina con un 14%. Faltan muchas respuestas.
Indique algunas de las aportaciones fundamentales a la química que provengan de México.	En este caso se identifican claramente la píldora anticonceptiva como una aportación mexicana, con un 36%, y en segundo lugar las investigaciones acerca del daño causado por los compuestos de fluoroclorocarbono (CFC) a la capa de ozono, con un 27%. Cabe señalar que un 25% de los alumnos encuestados dejaron en blanco dicha respuesta, lo que indica una deficiente cultura acerca de la química mexicana.

ma el mundo pero lo hace sin asumir responsabilidades (como las relativas al ambiente).

Respecto de su epistemología, predomina la falsa idea de un solo método científico, y se reconoce como la más importante diferencia con la física el uso de un lenguaje particular en la química. Se confunden leyes, modelos y teorías entre sí y en los que corresponden a la química y a la física. Lo anterior se evidencia en indicar que las leyes de la química no son todas de origen físico pero en reconocer al modelo atómico de Bohr como uno de los más importantes de la química, mientras que no aparece, por ejemplo, la ley periódica. Hay que hacer notar que los estudiantes aprenden que la química fundamentalmente explica, no construye: retomando a Hacking (1983), ...no interviene.

Finalmente los estudiantes ignoran que la química es la disciplina más productiva, que una buena parte de su actividad puede reconocerse como técnica, quienes son los protagonistas que la han construido a lo largo de su historia y pocas de las aportaciones que se han hecho desde México.

Conclusiones

El estudio preliminar que sobre la Naturaleza de la Química estamos informando nos permite decir, con las limitaciones propias del caso, que la comunidad química en formación no cuenta con suficientes elementos para juzgar a la química como una ciencia y una tecnología (tecnoc-química) autónoma y determinante en el desarrollo económico, político y social de nuestros países, de manera responsable. Su condición de ciudadanía independiente y la posibilidad de manejar el impredecible futuro como profesionales de la química parece quedar entonces en entredicho.

Es necesario trabajar concientudamente en programas que incorporen el estudio de la Naturaleza de la Química para lograr una formación química integral con alumnos y docentes una vez que la prioridad será evitar, como hasta ahora, la transmisión de visiones deformadas de las ciencias en general y de la química en particular (Fernández *et al.*, 2002).

Referencias

- Acevedo, J. A., El estado actual de la naturaleza de las ciencias en la didáctica de las ciencias, *Revista Eureka de Divulgación y Enseñanza de las Ciencias* 5, 134-169, 2008.
- Bachelard, G., *La filosofía del no*. Buenos Aires: Amorrortú, 1978.
- Bachelard, G., *El materialismo racional*. Buenos Aires: Paidós, 1976.
- Bensaude-Vincent, B., Stengers, I., *Historia de la Química*. Madrid: Addison-Wesley / Universidad Autónoma de Madrid, 1997.
- Brunner, J. J., *Globalización y el futuro de la educación: tendencias, desafíos, estrategias*, Documento de apoyo, Séptima reunión del Comité regional intergubernamental del Proyecto Principal de Educación en América Latina y el Caribe. Montevideo: UNESCO, 2001.
- Caamaño, A., La enseñanza y el aprendizaje de la química. En: M.P. Jiménez Aleizandre (coord.), *Enseñar Ciencias*, Capítulo 9, pp. 203-240, Barcelona: Grao, 2003.
- Catalá, R. M. y Chamizo, J. A., *Las reformas curriculares de ciencias en México y España en los niveles secundaria y bachillerato*, Cuadernos México-Ciencias para el Mundo Contemporáneo, 2, 9-22, 2010.
- Cerruti, L., Chemicals as Instruments. A Language Game, *HYLE*, 4, 1-18, 1998.
- Chamizo, J. A. y Garritz A., Hacia una reconstrucción del currículo de la química. En: Silva, C. C. & Prestes, M. E. B. (eds.), *Learning science and about science through history and philosophy*. São Paulo: Editora da Livraria da Física/ FAPESP, 2012.
- Chamizo, J. A., Technochemistry. One of the chemists ways of knowing, aceptado para su publicación en *Foundations of Chemistry*, 2012.
- Chamizo, J. A., La imagen pública de la química, *Educ. quím.*, 22(4), 320-331, 2011.
- Chamizo, J. A., Filosofía de la química: I. Sobre el método y los modelos, *Educ. quím.*, 20(1), 6-11, 2009.
- Chamizo, J. A., Las carreras de química en América Latina. Dos agendas que enfrentar, *Revista Iberoamericana de Educación*, 46, 4-10, 2008.
- Chamizo, J. A., Teaching modern chemistry through 'historical recurrent teaching models', *Science & Education*, 16, 197-216, 2007.
- Crosland, M., Early laboratories c1600-c1800 and the Location of Experimental Science, *Annals of Science*, 62, 233-253, 2005.
- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A. y Praia, J., Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza, *Enseñanza de las Ciencias*, 20, 477-488, 2002.
- Gallagher, J., A broader base for science education, *Science Education*, 55, 329-338, 1971.
- Garritz, A., Una propuesta de estándares nacionales para la educación científica en el bachillerato. La corriente educativa Ciencia, Tecnología y Sociedad, *Ciencia*, 49, 27-34, 1998.
- Garritz, A., Ciencia-Tecnología-Sociedad. A diez años de iniciada la corriente, *Educ. quím.*, 5(4), 217-223, 1994.
- Gutiérrez, A. y Crispín, M. C., Contenidos esenciales en la asignatura de Química III en la Escuela Nacional Preparatoria. Un análisis mediante el empleo de redes semánticas naturales, *Educ. quím.*, 21(2), 139-145, 2010.
- Hacking, I., *Representing and Intervening*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- ICASE, *Project 2000+: Scientific and Technological Literacy for All*. Paris: International Council of Associations for Science Education, 1993.
- Jensen, W., One Chemical Revolution or Three?, *Journal of Chemical Education* 75, 961-969, 1998.
- Kuhn, T. S., *La estructura de las revoluciones científicas*, México, Fondo de Cultura Económica, 1971.
- Latour, B., *Science in Action*. Milton Keynes: Open University Press, 1987.

- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S., Views of Nature of Science Questionnaire (VNOS): Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science, *Journal of Research in Science Teaching*, XXXIX(6), 497-521, 2002.
- Liang, L. L., Chen, S., Chen, X., Kaya, O. N., Adams, A. D., Macklin, M., y otros. *Student Understanding of Science and Scientific Inquiry (SUSSI): Revision and Further Validation of an Assessment Instrument* (pp. 1-38). San Francisco: Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), 2006.
- McComas, W. F. (ed.), *The nature of science in science education: rationales and strategies*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- McComas, W. F., Clough, M. P. and Alazroa, H., The nature of science in international science education standards documents. En: W. F. McComas (ed.), *The nature of science in science education: rationales and strategies* (pp. 41-52). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- Morin, E., *La mente bien ordenada*. Barcelona: Seix Barral, 2000.
- Nott, M., & Wellington, J., A Programme for Developing Understanding of the Nature of Science in Teacher Education. En: W. F. McComas (ed.), *The nature of science in science education: rationales and strategies* (pp. 293-314). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- Ortega, C., *Ciudadanía independiente*. México: Ortega y Rómeu Ed., 1991.
- Pacheco, I., *Posturas filosóficas sobre la química en la Facultad de Química*. Tesis de Licenciatura, UNAM, México, 2009.
- Reish, G. A., *Cómo la Guerra Fría transformó la filosofía de la ciencia*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes, 2009.
- Robles, C., *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 del CCH-UNAM*, Tesis de maestría-MADEMS, UNAM, México, 2008.
- Robson, C., *Real World Research. A resource for social scientists and Practitioner- Researchers*. Oxford: Blackwell, 2002.
- Schummer, J., The philosophy of chemistry. From infancy toward maturity. En: Baird, D., Scerri, E. and McIntyre, L. (eds.), *Philosophy of Chemistry*. Dordrecht: Springer, 2006.
- Schummer, J., Challenges for chemistry documentation, education and working chemist, *Educ. quím.*, 10(2), 92-101, 1999.
- Tovar-Gálvez, J. C., Propuesta de modelo de evaluación multidimensional de los aprendizajes en ciencias naturales y su relación con la estructura de la didáctica de las ciencias, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5, 259-273, 2008.
- Toulmin, S., *Human Understanding*. Princeton: Princeton University Press, 1972.
- Vázquez, A., Acevedo, J. A. y Manassero, M. A., Más allá de una enseñanza de las ciencias para científicos: hacia una educación científica humanística, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), 2005.
- Vázquez, A., Manassero, M. A., Acevedo, J. A. y Acevedo, P., Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: la ciencia y la tecnología en la sociedad, *Educ. quím.*, 18(1) 38-55, 2007a.
- Vázquez, A., Manassero, M. A., Acevedo, J. A. y Acevedo, P., Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: la comunidad tecnocientífica, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6, 331-363, 2007b.
- Vázquez, A. y Manassero, M. A., La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (partes 1 y 2), *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9, 2-31 y 32-53, 2012.