Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química

https://doi.org/10.56117/ReSBEnQ.2024.v5.e052402

Las Prácticas Experimentales de la Química

Experimental Practices of Chemistry

Práticas Experimentais de Química

José Antonio Chamizo (jchamizo@unam.mx)
Instituto de Investigaciones Filosóficas, Universidad Nacional Autónoma de México.
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-2719-5437

Resumo

O conhecimento disciplinar está sempre ligado a um contexto social de transmissão e a um grupo social, neste caso a comunidade química, que se reproduz. Por isso, o que hoje chamamos de química, tanto acadêmica quanto industrial, só pode ser compreendido levandose em conta as grandes mudanças, aqui identificadas como transformações químicas, que suas práticas tiveram ao longo da história. Exemplificando as dificuldades de aprendizagem dessas práticas devido à confusão entre objetos científicos e fórmulas químicas, discutese a importância das práticas experimentais, identificando que "em termos de ensino de química, o maior engano em que se pode incorrer é o de acreditar que se pode aprender química no quadro negro ou no papel sem a experimentação correspondente."

Palabras-chave: História e filosofia da química. Transformações químicas. Práticas químicas. Objetos científicos. Análise e síntese.

Resumen

Un conocimiento disciplinar, como el de la química, siempre está conectado a un contexto social de transmisión y a un grupo social, en este caso la comunidad química. Por este motivo, lo que actualmente llamamos química, tanto académica como industrial, sólo puede entenderse teniendo en cuenta los grandes cambios, aquí identificadas como transformaciones químicas, que han tenido sus prácticas a lo largo de la historia. Ejemplificando las dificultades de aprendizaje de dichas prácticas por la confusión entre objetos científicos y fórmulas químicas, se discute la importancia de las prácticas experimentales identificando que "en cuanto a la enseñanza de la química, el engaño mayor en

Este texto é licenciado pela Creative Commons Attribution 4.0 International License.

ISSN: 2676-0290

que se puede incurrir es el de creer que se puede aprender química en el pizarrón o en el papel sin la experimentación correspondiente".

Palabras clave: Historia y filosofía de la química. Transformaciones químicas. Practicas químicas. Objetos científicos. Análisis y síntesis.

Abstract

Disciplinary knowledge is always connected to a social context of transmission and to a social group, in this case the chemical community, which reproduces itself. For this reason, what we currently call chemistry, both academic and industrial, can only be understood taking into account the great changes, here identified as chemical transformations, that their practices have had throughout history. Exemplifying the learning difficulties of these practices due to the confusion between scientific objects and chemical formulas, the importance of experimental practices is discussed, identifying that "in terms of teaching chemistry, the biggest deception that can be incurred is that of believing that you can learn chemistry on the blackboard or on paper without the corresponding experimentation".

Keywords: History and philosophy of chemistry. Chemical transformations. Chemical practices. Scientific objects. Analysis and synthesis.

Introducción

> *La revolución del laboratorio del siglo XIX transformó la universidad en un nuevo tipo de institución que capacitó la mano y la mente. Debido a que los laboratorios se han vuelto una parte tan integral de la sociedad moderna, es demasiado fácil superar la naturaleza radical de esta transformación. De hecho, la introducción de la capacitación de laboratorio a gran escala en el plan de estudios universitario implicó una transgresión de la división tradicional entre el trabajo intelectual y manual que caracterizaba los procesos de enseñanza y aprendizaje desde la antigüedad.*
> Frans van Lunteren (2023, pp. 65-66).

La revolución a la que se hace referencia al inicio del epígrafe ha sido identificada, siguiendo las ideas pioneras de Thomas Kuhn (1971) y William Jensen (1998), como la "revolución silenciosa" (Rocke, 1993) o la segunda revolución química (Chamizo, 2014). Posteriormente han aparecido otros artículos sobre las revoluciones de la química (Chamizo, 2017; 2019; Seeman, 2023; 2023a) al tiempo que iba sosteniendo diversas

discusiones con colegas historiadores, filósofos y educadores cuyo resultado fue mi aceptación que, contrariamente a la tesis inicial de Kuhn, los cambios que llamamos revolucionarios no son absolutos, siempre queda un proceder metodológico que se conserva, una práctica experimental específica, acompañada de otra práctica nueva. La palabra adecuada para ello, en lugar de revolución, es transformación. La transformación incorpora la novedad en la persistencia. Transformamos lo que ya está, lo que tenemos, y después de hacerlo siempre queda algo de lo que teníamos, un mínimo terreno común que en el caso de la química se refiere a su método: análisis y síntesis (Chamizo, 2022). Es decir en determinados momentos de cambio en las prácticas químicas (Chamizo, 2021, 2023), no se abandonan todos los conceptos anteriores, sino que se transforman desde adentro, cambiando las preguntas que se hacen y los criterios de respuestas aceptables. Esto concuerda también con la idea del filósofo coreano Hasok Chang (2011) de que las épocas históricas están marcadas por objetos epistémicos, así como por personas, instituciones o modelos, que persisten con el cambio:

> *Las épocas históricas están marcadas por objetos epistémicos (entidades que identificamos como partes constituyentes de la realidad) tanto como por personas, instituciones o teorías, por lo que cuando reconocemos las continuidades y discontinuidades en los objetos epistémicos, esto afecta nuestra historiografía de manera sustancial…Una vez que los objetos epistémicos están completamente establecidos y entendidos, se convierten en objetos técnicos con propiedades estables y confiables, que pueden usarse en el estudio de otros objetos epistémicos* (Chang, 2011, p. 414).

Muchos de los objetos epistémicos de la química, particularmente los invisibles, también son objetos científicos (Daston, 2014)[1] o entidades ocultas (Arabatzis, 2008).

Además, como los objetos científicos pueden incorporarse tanto desde la teoría como desde la práctica, condensan gran parte del saber disciplinar en un determinado momento histórico. Y al hacerlo, la comunidad química estabiliza esos objetos científicos. Una forma de reconocer un proceso de cambio, una transformación química, consis-

[1] *Las palabras ‘‘objeto”, objectus, object, Gegenstand, oggeto y voorwerp comparten el significado originario de anteponer, de situar en contra o al frente… En un sentido amplio, los objetos se arrojan frente a nosotros, aniquilan los sentidos, penetran nuestra conciencia. No son ni sutiles ni evanescentes ni ocultos. No se requieren esfuerzo, ingenio o instrumentos para revelarlos. No necesitan ser descubiertos o investigados; poseen la autoevidencia de una bofetada en la cara. Son sólidos, obvios y bruscamente delineados; son cosas en el curso de la experiencia cotidiana: las paredes que obstruyen, la lluvia que cae, el proyectil que golpea, la piedra que nos hace tropezar. Todos esos objetos son tan estables, tan reales en el sentido coloquial de ‘‘difícil de hacer que se vayan”. Pueden ser el prototipo psicológico de todos los objetos tal como lo sugiere la etimología, pero rara vez son objetos de la investigación científica…En contraste con los objetos cotidianos, los objetos científicos son elusivos y se ganan a pulso… Aunque los objetos científicos carecen de la obviedad y obstinación de los objetos cotidianos, pueden estar cargados de consecuencias para la vida cotidiana* (Daston, 2014 pp. 10-12).

te en el uso de nuevos instrumentos, la incorporación de nuevos objetos epistémicos (científicos o entidades ocultas) y de acuerdo con el último Kuhn (1992), el surgimiento de nuevas subdisciplinas.

La química como la conocemos hoy es el resultado del trabajo, en Europa, de un grupo de individuos que terminaron compartiendo prácticas experimentales, lenguaje, modelos y una entidad característica: el átomo (Chalmers, 2009). Se puede identificar su inicio cuando el holandés H. Boeerhaave publicó el libro *Elementa Chimiae*, en 1732, y con ello consolidó, por primera vez, la enseñanza de la química en la Universidad de Leiden (Powers, 2016). Entre otros de los individuos "fundadores" se pueden identificar a J. Black, A. Lavoisier, A. Volta, J. Dalton y J.J. Berzelius. Este último reunió, en 1818, la mayor cantidad de pesos atómicos (y moleculares, a pesar de que en aquel momento había una importante confusión entre átomos y moléculas) que se tenía en ese tiempo. Lo anterior, una vez que la química no es únicamente teoría, acompañado por la producción industrial patentada de ácido sulfúrico mediante el proceso de las cámaras de plomo (Roebuck y Garbett) y la producción a gran escala de carbonato de sodio patentada por N. LeBlanc. El carbonato de sodio se utilizó principalmente en la fabricación de jabones, vidrio y papel. La producción de cientos de toneladas de las sustancias patentadas al año significó el comienzo de la química industrial, y con ella la búsqueda de soluciones para remediar su impacto en el medio ambiente. La química es una ciencia y una industria.

Una vez aceptado que la química surge colectivamente entre mediados del siglo XVIII a principios del XIX, es posible interpretar el resto de la historia de la química a través de otras cuatro transformaciones, como se muestra en la Tabla 1.

Resumiendo, un conocimiento disciplinar siempre está conectado a un contexto social de transmisión y a un grupo social, en este caso la comunidad química, que se va reproduciendo. Por este motivo, lo que actualmente llamamos química, tanto académica como industrial, sólo puede entenderse teniendo en cuenta los grandes cambios que han tenido sus prácticas a lo largo de la historia y lo que es más importante, fue en los entonces nuevos laboratorios de enseñanza, durante la primera transformación de la química, dónde los estudiantes fueron verdaderamente disciplinados… adquirieron la disciplina.

Tabla 1 - *Transformaciones de la química a través del surgimiento de sus subdisciplinas e incorporaciones acumulativas de nuevos objetos epistémicos (científicos o entidades ocultas), generalmente explícitas en sus "ejemplares", los renovados libros de texto de uso generalizado en todo el mundo.*

Transformación	Nuevas subdisciplinas	Nuevas entidades	Nombre alternativo	Referencia
Primera (1828-1873)	Química orgánica	Molécula	Revolución silenciosa, Segunda revolución	Rocke (1993) Chamizo (2014)
Segunda (1887-1923)	Fisico química / Químico física	Electrón, núcleo, isótopo, ión, radical libre	Revolución del número atómico, Tercera revolución	Wray (2018), Chamizo (2014)
Tercera (1945-1966)	Química instrumental, Química cuántica, Biología molecular	Espín	Revolución instrumental, Cuarta revolución	Morris (2002), Seeman (2023a) Chamizo (2019)
Cuarta (1973-1999)	Química organometálica, química verde, química supramolecular, nanoquímica, femtoquímica	Nanopartícula	Regímen histórico organometálico, Quinta revolución	Llanos (2019), Chamizo (2017)

Fuente: Chamizo (2022)

Interludio[2]

— Profesor, ¿lo puedo molestar un momento? — tímidamente, al finalizar la clase, se acercó el joven de segundo año de la carrera de química a su profesor de Química Orgánica.

— No me molestas —exclamó el profesor —. ¿Quieres preguntarme algo?

— Efectivamente —agregó el alumno.

— Si no me haces la pregunta, no tendrás respuesta, así que adelante –insistió el profesor, amigablemente.

[2] Agradezco al colega José Manuel Méndez Stivalet, profesor de química orgánica en la UNAM por la anécdota.

El alumno le mostró al profesor una hoja de su cuaderno con la fórmula $H_2C=O$

— Ajá, ¿cuál es tu pregunta? —dijo el profesor.

— No entiendo por qué, en esta fórmula, el H_2C es igual a cero —susurró el alumno.

El profesor, abrió los ojos, sorprendido por lo que se suponía que debería de saber el alumno y lo que en realidad sabía. Como todos sus compañeros había aprobado los cursos obligatorios de química en la secundaria, en el bachillerato y varios en la universidad …

—Acompáñame —le indicó—. Vamos al laboratorio, donde te voy a presentar una botella con formol, formaldehído o metanal, lo oleremos con cuidado ya que tiene un olor muy característico, te mostraré para qué se usa desde hace siglos, además de las reacciones de polimerización en las que participa… y no lo olvidarás jamás (Figura 1). Por cierto, lo que me mostraste es una fórmula química, no una fórmula matemática.

Figura 1 - Figura 1. Órganos de vaca sumergidos en formol. Uno de los gabinetes que integran la exposición *Vivir para siempre (por un momento)* de D. Hirst, expuesta en la ciudad de México en mayo de 2024. Estos frascos, con diferentes órganos o especímenes, eran comunes en los laboratorios de biología del siglo pasado. Los tiburones inmersos en formol, que también forman parte de la exposición y famosos en todo el mundo, no.



Fuente: Fotografías del autor

El formol, una disolución acuosa del gaseoso formaldehído o metanal, es uno de los objetos científicos de las prácticas químicas, pero no es una entidad oculta, como si lo son: los átomos, las moléculas o los electrones. La palabra y el concepto de objeto esta muy relacionada con objetividad. Podemos encontrarnos con el formaldehído objetivamente, ya que posee la autoevidencia de una bofetada en la cara, una vez que como lo indicó el filósofo Evandro Agazzi (2019, p. 83):

> *En cualquier caso, ya se sugiere un rasgo importante de esta concepción original del objeto como algo que existe, en específico, que debe ser idéntico para todos los sujetos que lo conocen por familiaridad…Aplicado al conocimiento, este principio general conduce a la conclusión de que algo real no puede existir en ciertas circunstancias para ciertos sujetos si no existe, al mismo tiempo, en otras circunstancias y para otros sujetos. Por supuesto, esto no significa que cada porción de la realidad esté siempre ante la presencia cognitiva de cada sujeto posible, sino sólo que, si se pone algo real ante la presencia cognitiva de varios sujetos [la situación en la cual ellos poseen la habilidad, y se encuentra en las condiciones necesarias y suficientes, para conocer (por familiaridad) un objeto en particular], estos no podrán evitar conocerlo*.

Podemos manipular el formol para preservar tejidos animales, hacerlo reaccionar con urea, en una de las primeras reacciones de polimerización conocidas, para dar lugar a la bakelita (termoplástico que tiene la capacidad de moldearse a medida que va solidificando lo que le dió importantes aplicaciones ya que los objetos hechos de esta resina no conducen la electricidad y son prácticamente insolubles en agua: carcasas de radios, rasuradoras y teléfonos, platos de cocina, mangos de sartenes, botones, etc)[3] , o en la síntesis de diversos medicamentos. Desde hace muchos años, se producen cientos de miles de toneladas anuales en todo el mundo. Sin duda es real y existe en nuestro mundo.

El metanal no es $H_2C=O$. Esta última es su fórmula mínima, que ha sido la manera en la que las comunidades de prácticas químicas desde hace mas de 200 años **representamos** los objetos científicos con los que trabajamos. Lo que aquí se ejemplifica es, en palabras de Agazzi, la ausencia de presencia cognitiva del alumno, ausencia que no es nece-

[3] Refrendando el carácter teórico-empírico de la química, el desarrollo industrial de la bakelita ha sido sujeto de muchas investigaciones. En una de ellas Bijker indicó (1993, p.166): Casi al mismo tiempo que Hyatt fundaba su empresa para la fabricación de placas dentales (1884), Adolf Baeyer en Alemania observaba reacciones de condensación entre aldehídos y derivados fenólicos. Aunque encontró que bajo condiciones específicas se formaban compuestos químicos que pertenecían al grupo de los tintes fenólicos, la mayoría de los productos de condensación eran resinosos y difíciles de cristalizar. Muchos historiadores de la industria del plástico identifican el producto de condensación de Baeyer como la primera resina sintética. Una vez producida la resina, los "investigadores" dirigieron sus esfuerzos a transformarla en un proceso industrial. Esto finalmente lo logró Leo Hendrik Baekeland. Para el propio Baeyer, sin embargo, el producto de la reacción significaba algo completamente diferente a una resina sintética. Debido a que el carácter resinoso del producto de condensación presentaba un problema para los métodos de análisis habituales, Baeyer no pudo evaluar su importancia como potencial colorante sintético. Esto hacía que la resina de fenol-formaldehído fuera sólo un subproducto molesto que había que desechar.

sariamente su culpa, sino la de un sistema educativo que poco a poco va cerrando los laboratorios y privilegiando las pantallas. Las pantallas no huelen…

Las Prácticas Experimentales

> *Si los profesores engañan a los alumnos enseñándoles en teoría*
> *lo que no se puede hacer en la práctica,*
> *si los alumnos engañan a los profesores demostrando perfectamente cálculos teóricos*
> *sin poder llevar a la práctica las reacciones,*
> *si las autoridades docentes engañan a los dirigentes de la sociedad cumpliendo*
> *con una enseñanza teórica barata sin poder gastar lo que hace falta*
> *para una enseñanza práctica, si los administradores públicos engañan a los encargados*
> *de dar enseñanza exigiendo que sea barata sin aportar los recursos adecuados,*
> *entonces, todo lo anterior y todo lo demás sobra.* ***En cuanto a la enseñanza de la química, el engaño mayor en que se puede incurrir es el de creer que se puede aprender química en el pizarrón o en el papel sin la experimentación correspondiente.***
> *Mientras no se tenga una conciencia clara, por parte de todos,*
> *de que la química se aprende manejando experimentalmente las sustancias químicas*
> *será muy difícil progresar en serio. Esa manipulación experimental debe ir combinada*
> *con el estudio teórico en la mayor armonía posible, y debe quedar perfectamente claro,*
> *sin que ninguno nos llamemos a engaño, que sólo con lecciones teóricas*
> *no se puede enseñar química. La ficción mayor y de más trágicas consecuencias,*
> *en cuanto a la enseñanza de la química, consiste en hacer creer al público,*
> *a los docentes y a los estudiantes que se da una enseñanza gratuita o muy barata*
> *cuando no se gasta lo que hace falta gastar para costear una adecuada*
> *enseñanza experimental. Semejante ficción sólo tiene su complemento en el engaño*
> *que suelen hacer los docentes a los administradores públicos, aceptando que enseñan química en forme gratuita o barata, porque hacen una enseñanza teórica -barata- con una muy deficiente enseñanza experimental -costosa-;*
> *la enseñanza que así se ofrezca será gratuita o barata, pero no será enseñanza.*
> Francisco Giral (1969, pp. 7-8)

Actualmente se reconoce que las comunidades científicas y tecnológicas son comunidades de prácticas, entendiendo por práctica la serie de actividades coordinadas y compartidas (procedimientos, propósitos, creencias) que se disciplinan mediante el cambio de normas o procedimientos "correctos" al interior de una determinada comunidad, que es la que identifica y corrige los "errores" (Martínez & Huang, 2015). Como las otras prácticas humanas, las que identificamos como científicas, son capaces de modificar el mundo en el que se desarrollan. Las prácticas experimentales de la química (Llored, 2013) con su utilización de sustancias (Cerruti, 1998) e instrumentos (Baird, 2004) intervienen (Hacking, 1983) y construyen un mundo, uno de los mundos posibles (Latour, 2005). Las prácticas experimentales de la química se centran en el análisis y la síntesis de sustancias, nuevas o viejas, mientras que las de la física apuntan al diseño de nuevos fenómenos. Y, lo que es central en el presente texto, una práctica tiene una estructura esta-

ble con capacidad de reproducirse a través de diferentes procesos de aprendizaje. Por ello incorporar en los currículos situaciones que conflictuan la imagen "tradicional" de lo que son las ciencias y las tecnologías con su carga de certezas absolutas, podrán facilitar el entendimiento del mundo en el que vivimos y transformamos.

Dos caracterizaciones de lo que se entiende por experimento, provenientes de diferentes tradiciones experimentales son las de los filósofos Ian Hacking (1983, p. 230) y Luigi Cerruti (1998, p.57). El primero de ellos indicó:

> *Experimentar es crear, producir, refinar y estabilizar fenómenos.*

Mientras que el segundo agregó:

> *Los fenómenos son generalmente aceptados y discutidos filosóficamente como objetivos y resultados de experimentos en física. Por otro lado, las sustancias, son el objetivo y el resultado más importante de las prácticas experimentales químicas*.

A continuación se muestran ejemplos que precisan lo anterior. Comúnmente se dice que los termómetros miden la temperatura, pero la temperatura, a diferencia de la masa, la distancia o el tiempo no esta en el mundo para que pueda medirse. No posee la auto-evidencia de una bofetada en la cara. De acuerdo con el historiador de la ciencia Hasok Chang la temperatura se inventó cuando se estuvo de acuerdo cuales eran los puntos fijos, particularmente los correspondientes a la solidificación y evaporación del agua. Lo indicó así (2004, pp. 11-12):

> *Fundamentalmente, no había "puntos fijos" estándar, es decir, fenómenos que pudieran usarse como puntos de referencia termométricos porque se sabía que tenían lugar siempre a la misma temperatura. Sin puntos fijos creíbles era imposible crear una escala de temperatura significativa, y sin puntos fijos compartidos utilizados por todos los fabricantes de termómetros había pocas esperanzas de hacer una escala estandarizada...[...] En 1776, la Royal Society de Londres nombró un ilustre comité de siete miembros para hacer recomendaciones definitivas sobre los puntos fijos de los termómetros. El presidente de este comité era Henry Cavendish (1731-1810), el aristócrata solitario y científico devoto que una vez fue descrito como `` el más sabio de los ricos y el más rico de los sabios ''. El comité de la Royal Society dio por sentado que los dos puntos de agua debería utilizarse, pero abordó las dudas generalizadas que existían sobre su verdadera fijeza, particularmente en lo que respecta al punto de ebullición. El informe publicado por el comité comenzó señalando que los termómetros existentes, incluso los fabricados por los "mejores artistas", diferían entre sí en sus especificaciones del punto de ebullición. Las diferencias fácilmente ascendieron a 2-3 grados Fahrenheit. Se identificaron claramente dos causas de variación y se abordaron con éxito. Primero, se sabía que la temperatura de ebullición variaba con la presión atmosférica, y el comité especificó una presión estándar de 29,8 pulgadas inglesas (aproximadamente 757 mm) de mercurio, bajo la cual se debe medir el punto de ebullición. Basándose*

> *en el trabajo anterior de De Luc, el comité también dio una fórmula para ajustar el punto de ebullición según la presión, en caso de que no fuera conveniente esperar a que la atmósfera asumiera la presión estándar. La segunda causa principal de variación fue que el mercurio en el vástago del termómetro no estaba necesariamente a la misma temperatura que el mercurio en el bulbo del termómetro. Esto también se resolvió de manera sencilla, mediante una configuración en la que toda la columna de mercurio se sumergió en agua hirviendo (o en vapor que salía del agua hirviendo). Así, el comité de la Royal Society identificó dos problemas principales y los resolvió satisfactoriamente*.

Chang identificó el proceso a través del cual se establecieron los puntos fijos, y que permiten producir, refinar, estabilizar y estandarizar algo que es desconocido, y a lo que se accede a través de prácticas experimentales, como de iteración epistémica (2004, p.253):

> *La iteración epistémica es un proceso en el que se crean etapas sucesivas de conocimiento, cada una de las cuales se basa en la anterior, para mejorar el logro de ciertas metas epistémicas ... En cada paso, la etapa posterior se basa en la etapa anterior, pero no puede puede deducirse de él en un sentido sencillo [...] y toda la cadena exhibe un progreso innovador dentro de una tradición continua.*

Por otro lado y coincidiendo con Cerruti las prácticas químicas se refieren esencialmente al análisis y la síntesis de sustancias. Por ejemplo una práctica milenaria de síntesis, consiste en colocar juntas tres sustancias diferentes, lo mas puras posible de acuerdo con los procedimientos de análisis de la época: carbón, azufre y salitre. Con ello obtenemos una mezcla conocida como pólvora, que tiene la propiedad de que, al calentarse, da lugar a otras cuatro sustancias diferentes de las originales... ¡explotando! Empleando el lenguaje de la química escolar, la reacción química correspondiente es:

$$8C + 3S + 10KNO_3 \rightarrow 2K_2CO_3 + 3K_2SO_4 + 6CO_2 + 5N_2$$

La intensidad de la explosión variará según la relación que guarden entre sí las cantidades originales de las sustancias involucradas. Más aún, si cambiamos una de esas tres sustancias por otra, digamos el salitre por cloruro de sodio, o agregamos una sustancia más, por ejemplo agua, no hay reacción, no hay explosión. Desde luego el interés de esta reacción no reside en los productos obtenidos, sino en el hecho de que al ponerlos en contacto y calentarlos explotan. Hoy, que entendemos las condiciones químicas y físicas para producir explosiones, el interés ha cambiado. Es a través de las reacciones químicas que se genera una multitud de nuevas sustancias. Ésa es una práctica química que también produce, refina, estabiliza y estandariza lo que hoy conocemos y comercializamos como pólvora.

Como lo indicó el ingeniero químico devenido filósofo de las ciencias, Rom Harré:

> *Me enganché a la ciencia la noche en que mi padre y yo, usando una simple retorta, aislamos bromo. Me aseguró que esta 'cosa' nunca apareció en la naturaleza como el líquido marrón oscuro que habíamos sacado a la luz... los átomos de bromo no existen en forma líquida en ninguna parte, pero incluso cuando están encerrados en combinaciones moleculares sí poseen esa capacidad.Hay más requisitos para "poner algo a disposición". Necesitamos aparatos pero también sustancias para trabajar... Así, toda la química, bioquímica, metalurgia, etc. se basa en la idea de la distinción puro-impuro* (Harré, 2004, p. 203).

Coincidiendo con Harré el análisis de sustancias, permanentemente asociado al concepto de pureza, ha sido una obsesión para los químicos. Gastón Bachelard lo dijo así: *...el químico busca primero la sustancia homogénea, después pone en tela de juicio la homogeneidad, buscando detectar lo otro en el seno de lo mismo, la heterogeneidad oculta en el seno de la homogeneidad evidente* (1976, p.123). Como las sustancias "naturales" no pueden considerarse puras, la separación de sus partes constituyentes, el aislamiento de lo que se desea, ha sido una constante en las prácticas químicas, incluso desde que eran alquímicas. Hoy en día está claro que no existen las sustancias puras. En cambio, existe un modelo de sustancia pura que se ha ido incorporando a la interfaz de la tecnociencia a lo largo de los años (Fernández, 2013). A lo que tenemos acceso directo es a una sustancia "predominante" mezclada en cantidades menores o muy menores con otras sustancias diferentes. La pureza depende de nuestra capacidad técnica para identificar impurezas. Muchas veces las modificaciones en las prácticas químicas, en este caso las de análisis, son causadas por innovaciones experimentales, asociadas a la incorporación de nuevos instrumentos, más que por una nueva teoría. A lo anterior hay que agregar la dimensión industrial de la producción de pureza, que apela además de la teoría, al éxito empírico:

> *Bachelard sugiere aquí que una mirada más cercana a los procesos utilizados para producir sustancias químicas puras puede proporcionar nuevas ideas filosóficas... La producción de pureza nos recuerda que la pureza es ante todo una cuestión material (relacionada con la homogeneidad, pero no reducible a ella) y no conceptual. Bachelard extrae dos lecciones...la complejidad de las actividades involucradas en el proceso de purificación y la naturaleza social del proceso. La complejidad que conlleva la alineación de una serie de pasos en un proceso productivo hace que el proceso de purificación no pueda ser realizado económicamente por una sola persona. Es necesario dividir el proceso en etapas constitutivas y coordinar las sucesivas intervenciones sobre la materia prima. Si bien en el contexto de los estudios científicos del siglo XXI esto representa una visión mínima de la producción social de objetos científicos, es sin embargo un claro reconocimiento de que el mundo químico no es tan simple como la tabla periódica incorpórea con sus ordenadas filas y columnas de elementos puros podría sugerir* (Simon, 2012 p. 90).

Mediante el funcionamiento de sistemas técnico-químicos, los seres humanos, como agentes voluntariosos, obtienen objetos que no estaban en el mundo, como la di-

namita, la aspirina, el nailon, el futboleno, los clorofluoroalcanos y los millones de sustancias artificiales que constituyen una sobrenaturaleza, y que filosóficamente llamamos artefactos. No existen nuevas sustancias -o artefactos- sin acción y sin diseño. No son sólo el resultado de una acción humana intencional, sino que también tienen un significado incrustado en un contexto histórico específico. El propio término "tecnociencia" expone que la distinción entre ciencia y tecnología no es en absoluto evidente…*los objetos de la tecnociencia son cosas o procesos y…se definen por lo que pueden hacer y por cómo podrían resultar valiosos* (Bensaude-Vincent 2011, pp. 368, 370).

Desde su origen milenario, a través de los oficios, la principal forma en que los químicos hoy "saben" es "haciendo", y esta práctica química caracterizada por la acción siempre ha incrementado la complejidad del mundo. Los profesionales de la química (unos pocos millones de personas en todo el mundo) producen sustancias fundamentalmente nuevas. Gracias a sus prácticas de síntesis, la cantidad de sustancias pasó de varios cientos en 1800 a más de 150 millones a principios del siglo XXI, la mayoría de las cuales están en el mercado. Y cada día se añaden más de 15 000 nuevos, es decir, uno cada seis segundos. La síntesis de nuevas sustancias hace de la química la ciencia más productiva. *Chemical Abstracts*, la base de datos que informa sobre la mayoría de publicaciones de esta disciplina, ha reportado prácticamente el mismo número de publicaciones que el resto de ciencias en conjunto. A través de sus prácticas más generalizadas, la mayoría de las comunidades químicas no descubren, sino que diseñan, hacen o fabrican (Chamizo, 2013). Algunas de ellas, como las de los ingenieros químicos, lo hacen en grandísimas cantidades. El conocimiento de las propiedades químicas de una sustancia, que muchas veces genera nuevas sustancias, es prácticamente inacabable. Esta peculiaridad tremendamente exitosa de las prácticas químicas, esta fabricación de artefactos, provocó un debate ético sobre su impacto en el mundo. Un mundo con una sobrenaturaleza técnicamente construida ha pasado desapercibido para los filósofos de las ciencias y para muchos educadores y profesionales de la química.

Una Reflexión Final

> *Los usos de los experimentos en las ciencias naturales son muchos, pero inmediatamente me viene uno a la mente: descubrir y darle sentido al mundo material... si uno examina la evolución de los pasajes de la práctica experimental en el tiempo, queda claro que el conocimiento científico se articula en acomodación a las resistencias que surgen en el mundo material. Existe una relación directa y*

analizable entre el conocimiento científico y el mundo material, aunque es de coherencia, no de correspondencia natural.
Andy Pickering (1989, pp 275, 279).

Las prácticas químicas constituyen una tecnociencia. Enseñar tecnociencia, particularmente tecnoquímica debe hacerse experimentalmente, considerando sus componentes culturales y éticos (Nieto & Chamizo, 2013). Si no lo hacemos así, estamos engañando y engañándonos. La razón es simple: a través de los experimentos nos enfrentamos a la dura realidad, realidad que es material. El formaldehído es más que una fórmula, ¡huele! Es a través de esa relación entre los objetos materiales, artefactos y sobrenaturaleza que hicimos y hacemos, que nos construimos también a nosotros mismos. ¡Y eso es lo que hay que enseñar!

Referencias

Agazzi, E. (2019). *La objetividad científica y sus contextos*. Fondo de Cultura Económica-UP.

Arabatzis, T. (2008). "Experimenting on (and with) Hidden Entities: The Inextricability of Representation and Intervention". In U. Feest, H-J. Rheinberger, J. Schickore, F. Steinle (eds.) *Generating Experimental Knowledge*. Max Plank Institute for the History of Science.

Bachelard, G. (1976). *El materialismo racional*. Paidós.

Bensaude-Vincent, B., Loeve, S., Nordmann, A., Schwarz, A. (2011). Matters of interest: The objects of Research in Science and Technoscience, *Journal of General Philosophy of Science,* 42, 365-383.

Baird, D. (2004). *Thing knowledge*. *A philosophy of scientific instruments*. University of California Press.

Bijker W.E. (1993)."The Social Construction of Bakelite: Towards a theory of Invention". In W. E. Bijker, T. P. Hughes, T. J. Pinch (eds) *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*. MIT Press.

Cerruti L. (1998). Chemicals as Instruments. A language game, *HYLE -An International Journal for the Philosophy of Chemistry,* 4, 36-61.

Chalmers, A., (2009). *The scientist's atom and the philosopher's stone*. *How Science Succeeded and Philosophy Failed to Gain Knowledge of Atoms*. Springer.

Chamizo, J.A., (2023). Filosofía de la química II. Sobre el estilo de pensamiento de las prácticas químicas, *Educación Química*, 34,16-35.

Chamizo, J.A., (2022). Las prácticas químicas a través de sus transformaciones, *CRÍTICA, Revista Hispanoamericana de Filosofía,* 54, 57-82.

Chamizo, J.A., (2021). La química como un sistema de prácticas. Una alternativa para su enseñanza, *EduQ (Sociedad Catalana de Química)*, 29, 12-18.

Chamizo, J.A., (2019). About continuity and rupture in the history of Chemistry: The Fourth Chemical Revolution (1945-1966), *Foundations of Chemistry*, 21, 11-29.

Chamizo, J.A., (2017). The Fifth Chemical Revolution: 1973-1999, *Foundations of Chemistry*, 19, 157-179.

Chamizo, J.A., (2014). The Role of Instruments in Three Chemical' Revolutions, *Science & Education*, 23, 955–982.

Chamizo, J.A., (2013). Technochemistry: One of the chemist' way of knowing. *Foundations of Chemistry*, 15, 157–170.

Chang, H. (2004). *Inventing Temperature. Measurement and Scientific Progress*. Oxford University Press.

Chang, H. (2011). The Persistence of Epistemic Objects Through Scientific Change. *Erkenntnis*, 75, 413–429.

Daston, L. (ed) (2014). *Biografías de los objetos científicos*. La cifra.

Fernández-González, M. (2013) Idealization in Chemistry: Pure Substance and Laboratory Product, *Science & Education*, 22, 1723-1740.

Giral, G. (1969). *Enseñanza de la Química Experimental*. Monografía 6. OEA.

Hacking, I.(1983). *Representing and intervening*. *Introductory topics in the philosophy of natural sciences.* Cambridge University Press.

Harre R. (2004). *Modellng*: *Gateway to the Unknown*. Elsevier.

Jensen, W., (1998). One chemical revolution or three?, *Journal of Chemical Education*, 75, 961–969.

Kuhn, T., (1971). *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. Fondo de Cultura Económica.

Kuhn, T., (1992). *The Trouble with the Historical Philosophy of Science. Robert and Maurine Rothschild Distinguished Lecture, An Occasional Publication of the Department of History*, Harvard University.

Llanos E.J., Leal W., Luu, D.H., Jost J., Stadler P.F. y Restrepo G., (2019). Exploration of the chemical space and its three historical regimes, *PNAS,* 116, 12660-12665.

Llored J.P. (ed) (2013). *The Philosophy of Chemistry: Practices, Methodologies, and Concepts.* Cambridge Scholars.

Martínez, S.F. & Huang, X. (2015). *Hacia una filosofía de la ciencia centrada en prácticas.* Bonilla Artigas-Instituto de Investigaciones Filosóficas-UNAM.

Morris, P.J.T. (ed.), (2002). *From Classical to Modern Chemistry. The Instrumental Revolution.* RSC-Science Museum-CHF.

Nieto, C. & Chamizo, J.A., (2013). *La Enseñanza Experimental de la Química. Las experiencias de la UNAM.* Facultad de Química-UNAM. Se puede acceder gratuitamente en: https://librosoa.unam.mx/handle/123456789/2803

Pickering, A. (1989). "Living in the Material World: on realism and experimental practice". In D. Gooding , T.J. Pinch, and S. Schaffer (eds) *The uses of experiment*. Cambridge University Press.

Powers,J.C. (2016). *Inventing Chemistry. Herman Boerhaave and the Reform of the Chemical Arts.* The University of Chicago Press.

Rocke A.J., (1993). "The quiet revolution of the 1850s: Social and Empirical Sources of Scientific Theory". In S.H. Mauskopf (ed) *Chemical Sciences in the Modern World*. University of Pennsylvania Press.

Seeman, J. (2023). Revolutions in science, revolutions in chemistry, *Foundations of Chemistry*, 25, 321-335

Seeman, J. (2023a). Revolutions in Chemistry: Assessment of Six 20th Century Candidates (The Instrumental Revolution; Huckel Molecular OrbitalTheory; Hückel's 4n + 2 Rule; the Woodward– Hoffmann Rules; Quantum Chemistry; and Retrosynthetic Analysis, *JACS Au* 3, 2378-2401.

Simon, J. (2012). The production of purity as the production of knowledge, *Foundations of Chemistry*, 14, 83-96.

van Lunteren, F. (2023). "The laboratory Ethos, 1850-1900". In K. van Berkel, E. Homburg (eds), *The Laboratory Revolution and the Creation of the Modern University, 1830-1940*. Amsterdam University Press.

Wray K.W., (2018). The atomic number revolution in chemistry: a Kuhnian analysis, *Foundations of Chemistry*, 20, 209-217.

Submetido em: 28/05/2024 **Aceito em:** 26/09/2024 **Publicado em:** 04/10/2024

Periódico organizado pela Sociedade Brasileira de Ensino de Química – SBEnQ

Este texto é licenciado pela Creative Commons Attribution 4.0 International License.