

La química como un sistema de prácticas. Una alternativa para su enseñanza

Chemistry as a system of practices. An alternative for your teaching

José Antonio Chamizo / Facultad de Química-Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM, México



resumen

La química es un sistema de prácticas científicas y tecnológicas, experimentales, estabilizadas y enseñadas de la misma manera en la mayoría de los países. A lo largo de su historia las comunidades químicas, ferozmente realistas, fueron integrando entidades (átomos, iones, orbitales) que les permitían explicar pragmáticamente sus propias prácticas. Diferentes a las de la física, las prácticas de la química tienen su propio método: análisis y síntesis, muchas veces en una combinación dialéctica. Resultado de sus prácticas, las comunidades químicas cada día añaden al mundo más de 15.000 sustancias nuevas que constituyen una sobrenaturaleza.

palabras clave

Prácticas químicas, sustancias químicas, análisis, síntesis, entidades químicas.

abstract

Chemistry is a system of scientific and technological practices, experimental, stabilized and taught in the same way in most countries. Throughout their history, fiercely realistic chemical communities were integrating entities (atoms, ions, orbitals) that allowed them to pragmatically explain their own practices. Different from those of physics, the practices of chemistry have their own method: analysis and synthesis, often in a dialectical combination. As a result of their practices, chemical communities add more than 15,000 new substances to the world every day, constituting a supernatural nature.

keywords

Chemical practices, chemical substance, analysis, synthesis, chemical entities.

«[...] la química, al igual que cualquier otra actividad humana, está profundamente arraigada en las prácticas sociales que dan forma a su identidad (ser químico), normas (lenguaje), convenciones (fondos de investigación, subvenciones), discursos (publicaciones), instrumentos (laboratorios, cultura experimental) e instituciones (universidades, centros de investigación, academias). Por lo tanto, «hacer» química se fusiona con «hacer» política. Dado que los químicos crean un contexto político para sus propias prácti-

cas, el producto químico se convierte en un elemento político en un contexto específico.

Del mismo modo, las fábricas, laboratorios y otros lugares de la química actúan como mediadores entre expertos, ideología política y propaganda en una sociedad de consumo basada en la tecnología.»

Agustí Nieto-Galán (2019: 2)

Introducción

La forma tradicional cómo enseñamos las ciencias, y la química en particular, apela a una pureza, objetividad y neutralidad

que difícilmente coincide con su desarrollo histórico en diversos lugares del mundo. Tal como hoy la conocemos, la química es resultado de una multitud de herencias que, concretadas en oficios, influyeron en la vida cotidiana de todas las culturas. No deja de ser sorprendente que prácticas tan diferentes y antiguas como la del herrero y la metalurgia, el curandero y la farmacia, el alfarero y la cerámica, el panadero y la biotecnología hayan podido estar reunidas y terminar por fundirse, entre los siglos XVIII y XIX, en un

campo común. Ese terreno que hoy conocemos como química es donde se estudia, se practica y se transmite cómo transformar las sustancias, en pequeñas y en muy grandes cantidades. Por ello, la química es una ciencia y también una tecnología, es decir una tecnociencia, y en su enseñanza hay que abordar ambos aspectos. Valga con mostrar tres ejemplos:

— Contra la generalizada idea de que somos libres de sintetizar y producir cualquier sustancia química, hay que hablar y enseñar sobre el Protocolo de Montreal. Los que en su día se consideraron «magníficos» freones (clorofluorocarbonos) por sus eficaces aplicaciones en la vida cotidiana, reducen la capa de ozono estratosférico.

— Contra la generalizada idea de que el arsénico es malo, de manera absoluta, hay que hablar y enseñar que un descubrimiento de las prácticas alquimistas, precursoras de las químicas, fue «la dosis es el veneno». El contexto es importante.

— Contra la generalizada creencia de que hay que memorizar los principios de la química (fundamentalmente físicos) y la tabla periódica, debemos rescatar el estudio de los productos de sus prácticas, las sustancias químicas. Convivir con ellas representa un riesgo. Hoy las sociedades humanas vivimos más tiempo que nunca antes, y lo hacemos rodeados de contaminantes, alimentos preparados, medicinas y otras muchas sustancias químicas.

En el presente texto se argumenta a favor de asumir la química como un sistema de prácticas y considerar los cambios que esto conlleva en su enseñanza.

La química como un sistema de prácticas

Hace décadas, el filósofo escocés A. Pickering indicó que: «Hacer “ciencia” es verdaderamen-

te trabajar y este trabajo requiere recursos para su realización [...]; “cultura” denota el campo de recursos de los que hacen uso los científicos en su trabajo; y “práctica” hace referencia a los actos de hacer (y deshacer) que llevan a cabo en ese campo» (Pickering, 1992: 3). Con ello se reivindicó la validación de los instrumentos (Baird, 2004), la intervención (Hacking, 1983), la experimentación y la creación, en las prácticas centrales de la química (Llored, 2013). 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» en el interior de una determinada comunidad, que es la que identifica y corrige los «errores» (Martínez & Huang, 2015). Así, una práctica tiene una estructura estable con capacidad de reproducirse a través de diferentes procesos de aprendizaje. Una práctica específica da por sentado conocer otras prácticas diferentes y, más en general, una serie de presupuestos culturales que permiten distinguir una práctica de otra (Olivé, 2008).

La química fue la primera, de entre todas las demás ciencias, en dotarse de un laboratorio. Tanto entonces como ahora, el laboratorio sigue siendo el lugar privilegiado de práctica donde los químicos producen tanto modelos como sustancias (Morris, 2016). Las comunidades de prácticas químicas, herederas de milenarios oficios artesanales, son experimentales y crecieron con la incorporación de nuevos instrumentos que dieron lugar a nuevas subdisciplinas (Chamizo, 2014; 2017; 2019). A través de sus actividades de laboratorio, tanto académicas como industriales,

centradas en el análisis y la síntesis, los químicos desarrollaron una forma específica de pensar y adquirieron puntos de vista específicos sobre la transformación de las sustancias en lo que puede reconocerse como «una manera de conocer» tecnocientífica. A finales del siglo XIX las tecnociencias modernas se gestaron a partir de la química orgánica industrial en Alemania y de la electricidad industrial en los Estados Unidos, ambas prácticas protegidas por patentes. Hace pocos años el filósofo vasco J. Echeverría introdujo una clara caracterización de la tecnociencia, particularmente en lo que se refiere a la pureza del conocimiento científico (tabla 1) y «para describir todos los elementos vinculados a contenidos científicos sin que importe lo sucios, inesperados, o extraños que parezcan» (Latour, 1992: 168). Tal y como la conocemos hoy la química es uno de los mejores ejemplos de tecnociencia.

Finalmente, las prácticas químicas consideran *un saber tácito* (Polanyi, 1966) aquel que no puede expresarse en palabras, propio de diferentes actividades de investigación, y que poco a poco se ha ido reconociendo como fundamental en la filosofía de las ciencias experimentales. En su variante científica, pero más aún en la tecnológica e industrial, las prácticas químicas apelan al pragmatismo.

La historia de la química puede reconstruirse a partir de las *prácticas* que llevaron a cabo diferentes comunidades, es decir, los hechos emanados de los pequeños laboratorios de investigación, amplificados enormemente a través de los procesos industriales y que han transformado la faz del planeta. Así, estamos hablando de pluralismo (Chang, 2012). Tanto en las prácticas químicas de ayer como

| |
|---|
| La tecnociencia no es solo 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 tecnológicamente e industrialmente, y ya no versan solo 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 solo 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 solo 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 (<i>epistémé</i>), sino que es, además, una modalidad de la razón práctica, puesto que transforma el mundo conforme a criterios, métodos, acciones y objetivos discutibles racionalmente. |

Tabla 1. Algunas de las características de la tecnociencia (Echeverría, 2003: 318).

en las de hoy, al aceptar el *pluralismo de propósitos*, que para unos consiste en sintetizar una nueva sustancia, para otros en producirla en grandes cantidades, y aún para otros verificar que no contamina el medio ambiente, se rechaza la idea propia del monismo identificado con un único método científico.

Las prácticas de la química son generalmente diferentes de las prácticas de la física. Tienen su propio método: análisis y síntesis, muchas veces en una combinación dialéctica.

Desde el principio, el análisis de las sustancias, asociado permanentemente al concepto de pureza, ha sido una obsesión para los químicos. Toda vez que las sustancias «naturales» no son puras, la separación de las partes que las constituyen, el aislamiento de lo que se quiere, ha sido una constante de las prácticas químicas, incluso desde que éstas eran alquímicas. Una buena parte de la historia de la química se centra en el estudio de las

técnicas de separación y purificación. El filósofo y profesor de química francés G. Bachelard lo dice 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» (Bachelard, 1976: 103).

Hoy queda claro que no hay tal cosa como sustancias puras. Lo que hay es un modelo de sustancia pura (Chamizo, 2013; Fernández, 2013) que se ha venido construyendo en la interfase de la tecnocímica a lo largo de los años. 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 posibilidad técnica de identificar impurezas. Por ello la IUPAC, el máximo organismo internacional para establecer las reglas del lenguaje químico, define el límite de detección como

aquel que indica la concentración c_L o la cantidad q_L obtenida por la medición más pequeña X_L que puede ser detectada con una razonable certidumbre por una técnica analítica particular. Diferentes técnicas indican diferentes niveles de pureza. Por ello, generalmente cuando se indica la pureza se menciona la técnica de análisis a través de la cual se ha reconocido. Los avances experimentales particulares de determinada práctica van redefiniendo la pureza y con ello el propio conocimiento químico, asunto que tiene particular importancia cuando nos referimos a sustancias potencialmente tóxicas, por ellas mismas o por los productos de su descomposición.

Respecto a la síntesis 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 aumentado la complejidad del mundo. Mediante el funcionamiento de sistemas que hoy

identificaríamos como tecnoquímicos, los seres humanos, conforme agentes voluntarios, obtienen objetos que no estaban en el mundo, como la dinamita, la aspirina, el nylon, los freones y los millones de sustancias artificiales que constituyen una sobrenaturalidad, y que filosóficamente son llamados artefactos. No hay sustancias nuevas, o artefactos, sin acción y sin diseño. No son solo el resultado de una acción humana intencional, también tienen un significado incrustado en un contexto histórico específico. Los profesionales de la química (unos pocos millones de personas en todo el mundo) fundamentalmente fabrican sustancias nuevas. A través de 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 se comercializan. Y cada día se

añaden más de 15.000 sustancias nuevas, es decir, una cada seis segundos. Como ha indicado el filósofo alemán J. Schummer (1999), la síntesis de nuevas sustancias hace de la química la ciencia más productiva. El *Chemical Abstracts*, la base de datos que informa sobre la mayoría de las publicaciones de nuestra disciplina, reportó hace pocos años que hay prácticamente el mismo número de publicaciones en química que en todas las demás ciencias en conjunto.

Las prácticas químicas funcionan mejor con *modelos que con teorías*. Los modelos son representaciones, basadas generalmente en analogías, que se construyen contextualizando cierta porción del mundo con un objetivo específico (Chamizo, 2013). Los modelos se construyen para explicar y predecir una determinada porción del mundo, relacionado

con una determinada práctica química, como aquella que aborda las reacciones de sustitución. Porque en química, los modelos también son mediadores entre el mundo real y nosotros, lo que significa que funcionan no solo como representaciones, sino también como medios de intervención (tabla 1), por ejemplo, las fórmulas berzelianas como herramientas de papel en la práctica de la química orgánica del siglo XIX. Porque diferentes modelos para el mismo campo de aplicación pueden coexistir y complementarse de manera útil, por ejemplo, en reacciones ácido-base actuales. Todo lo anterior en oposición a las teorías que se caracterizan principalmente como objetos conceptuales abstractos con una estructura lógica.

Las prácticas químicas son realistas y asumen la existencia de diversas entidades. Específicamente



Laboratorio de Química de J. von Liebig en Gissen, Alemania, durante la primera mitad del siglo XIX.

Aquí se desarrolló la enseñanza experimental de la química al estructurar Liebig el siguiente patrón de trabajo que finalmente es el que se utiliza hoy, prácticamente en todo el mundo: sugería al estudiante un problema menor de un tema importante sobre el que él mismo trabajaba y que debería resolverse utilizando métodos y procedimientos experimentales que Liebig ya había desarrollado, es decir, el alumno se incorporaba a una práctica específica. El alumno que aparece en el extremo izquierdo de la imagen fue Vicente de Ortigosa, el primer doctor en química del continente americano. A este mexicano, Liebig le propuso el tema de la determinación de la fórmula mínima de la nicotina, asunto que resolvió con éxito y publicó en una revista de química (una práctica que entonces ya empezaba a ser internacional).

respecto a las entidades, el filósofo griego T. Arabatzis (2008) escoge el término *entidades ocultas* para eliminar las dificultades que presentan otras taxonomías, como *entidades teóricas*, *entidades inobservables* o *entidades hipotéticas*, y decide considerar más de un criterio epistemológico para establecer su estatus ontológico, es decir su existencia. Así, la primera característica de las entidades ocultas es que puedan ser manipuladas experimentalmente en el denominado realismo de las entidades. Una segunda característica es que sean objeto de un conjunto de prácticas desarrollado históricamente. Esto tiene que ver con su estabilidad social en el desarrollo histórico de determinada práctica ya que se les puede asociar a una constelación de efectos capaces de ser explicados por esa única entidad oculta. Más aún, la repetida determinación de las propiedades de una entidad oculta, en diferentes entornos experimentales, es una razón importante a favor de su existencia, de su reconocimiento ontológico. Tal fue el caso en la química de los átomos, las moléculas, los electrones, los isótopos, los

iones, los radicales libres, el espín o las nanopartículas. Todas ellas entidades ocultas que caracterizan las cinco diferentes revoluciones químicas (Chamizo, 2014; 2017; 2019).

Las comunidades químicas asumen y defienden la realidad de sus entidades a pesar de que contrastadas con las comunidades físicas no siempre coinciden. Ambas comunidades tienen prácticas y ambiciones diferentes. A diferencia del ideal del universalismo y la búsqueda de una única verdad (defendida por los físicos), la metodología de la química proporciona un tipo de conocimiento tácito y pragmático, que comparten la mayoría de las ciencias de laboratorio experimentales. Una práctica no es mejor que otra. Si por ejemplo la mecánica cuántica se reconociera equivocada, los químicos seguirían sintetizando nuevas sustancias, como ya lo hacían antes de su surgimiento.

Las prácticas químicas pueden reconocerse como un ejemplo de la denominada cultura material (Preston, 2013). El objetivo de los estudios de la cultura material es investigar la relación entre las

cosas y las personas. Las cosas pueden ser una piedra, una lata con comida, una botella de plástico con agua, un cerillo, un medicamento o una casa. Las cosas se reconocen en el pasado o en el presente, en grandes sociedades urbanas e industriales o en pequeñas sociedades rurales. La cultura material sitúa a las personas, su vida y su identidad a través de las cosas que les rodean. En una oficina, en un laboratorio, en una escuela, en una ciudad, en una granja. Para la cultura material nuestra identidad no es algo ya totalmente formado cuando nacemos, sino que también es construida a medida que vivimos en el mundo, mundo cambiante por las cosas que nos rodean. Para la cultura material las sustancias químicas, puras y mezcladas, también son cosas.

La relación entre las cosas y las personas cambió fundamentalmente cuando éstas aprendieron a controlar y producir fuego. Desde entonces las personas hacen y usan cosas, y las cosas hacen personas. Desde entonces, hace decenas de miles de años, esas personas están fuera de la naturaleza. Desde entonces, somos personas artificiales.

La enseñanza de la química a partir de su práctica

Desde hace siglos, las actividades realizadas en los laboratorios, espacios dedicados al trabajo práctico y no a la investigación teórica, han sido consideradas de menor nivel intelectual. En latín, *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. El filósofo inglés del siglo XVII T. Hobbes, indicaba la inferioridad social de aquellos que se dedicaban al trabajo manual: drogueros, jardineros, herreros, mecánicos..., es decir, aquellos que suponían que



Liebig además de investigar sobre agroquímica patentó un proceso para obtener «extractos de carne», un ejemplo de práctica tecnocientífica. Las enormes e importantes instalaciones industriales que se construyeron en Fray Bentos (Uruguay) a principios del siglo XX, con la operación de la licencia de dicha patente, llevaron a la UNESCO a declarar Patrimonio Mundial el Paisaje Industrial de Fray Bentos.

con dinero (con el cual comprar mejores materiales y equipamiento) podían obtener conocimiento estaban equivocados. Para Hobbes y para otros muchos académicos de su tiempo e incluso de hoy, una biblioteca era mucho mejor que un laboratorio. Esta idea caló fuertemente en la mentalidad y en las universidades iberoamericanas, particularmente en lo referente a la investigación y enseñanza de la química, en la que se privilegió el hablar al hacer, el repetir al crear.

En las prácticas de la química, el laboratorio escolar, académico o industrial, es el lugar central donde se lleva a cabo el experimento químico. Los experimentos químicos involucran sustancias químicas, es decir, una enorme cantidad de entidades ocultas, moléculas o iones. En las reacciones químicas las sustancias se miden en moles. Hay una ontología para las sustancias y otra para las entidades ocultas. Hay modelos para ellas, así como para las reacciones químicas. Por eso hay que enseñar a modelar.

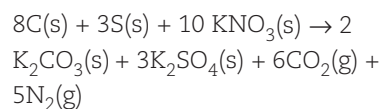
Como bien saben los docentes, al participar en una práctica experimental se sabe qué hacer y qué decir, aunque una parte del conocimiento de la misma sea conocimiento tácito. Las prácticas químicas pueden ser también tecnocientíficas y eso hay que enseñarlo.

Muchas veces las modificaciones más importantes en las prácticas químicas son causadas por innovaciones experimentales, asociadas a la incorporación de nuevos instrumentos, más que por la aceptación de una nueva teoría.

A lo largo de su historia las comunidades químicas, ferozmente realistas, fueron integrando entidades que les permitían explicar pragmáticamente sus propias prácticas. Ajenas a las discusiones metafísicas asumieron que la realidad subyace en sus propias entidades. Así fue, y es, con los átomos (Chamizo & Garritz, 2014) o con los orbitales moleculares. Hay que reconocer que la química no se reduce a la física, que ambas

disciplinas tienen ambiciones diferentes y que la historia y la filosofía permiten identificarlas.

Las prácticas químicas se ocupan de las relaciones establecidas entre las sustancias a medida que experimentan un cambio radical. Por lo tanto, *las propiedades químicas son relacionales*; caracterizan las relaciones entre unas sustancias específicas y otras sustancias con las que interactúan y se transforman. Por otro lado, las relaciones químicas son notoriamente selectivas. Por ejemplo, si colocamos juntas tres sustancias diferentes, carbón, azufre y salitre, obtenemos una mezcla conocida hace siglos como pólvora, que tiene la propiedad 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:



La intensidad de la explosión variará dependiendo de 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 la sal común, o agregamos una sustancia más, por ejemplo, agua, no hay reacción, no hay explosión.

Las sustancias químicas cambiaron y siguen cambiando el mundo, y nosotros cambiamos con ellas. Un mundo con una sobrenaturaleza construida técnicamente ha pasado desapercibido para los filósofos de la ciencia y para muchos educadores y practicantes de la química. Hay que conocerlo y enseñarlo explícitamente. Como también hay que enseñar el contexto químico en el que vivimos, del que venimos y hacia el que vamos. Más que



Liebig perfeccionó el «kaliapparat», instrumento que permitía determinar a sus alumnos la composición de algunos compuestos orgánicos. Dicha determinación es desde entonces una práctica indispensable en la caracterización de la estructura de cualquier sustancia química.

cubrir única y burocráticamente un programa basado en los principios de la física, reconozcamos y legitimemos nuestra propia tradición (Chamizo, 2018).

Conclusión

Es a través de las reacciones químicas que se generan multitud de nuevas sustancias. Esta peculiaridad tremendamente exitosa de las prácticas químicas, esta fabricación de artefactos utilizando modelos propios, muchos de ellos construidos *ad hoc*, ha provocado un debate ético que sigue siendo presente. Un debate característico de las tecnociencias. Por ello hay que enseñar las prácticas químicas: experimentando, modelando, decidiendo, asombrando. Como dijo el pensador francés M. Montaigne siglos atrás: «el niño más que un vaso por llenar es un fuego que encender». ¡Tomemos el riesgo de prenderlo!

Referencias

- ARABATZIS, T. (2008). «Experimenting on (and with) Hidden Entities: The Inextricability of Representation and Intervention». En: FEEST, U.; RHEINBERGER, H.-J.; SCHICKORE, J.; STEINLE, F. (ed.). *Generating Experimental Knowledge*. Berlín: Max Plank Institute for the History of Science.
- BACHELARD, G. (1976). *Materialismo racional*. Buenos Aires: Paidós.
- BAIRD, D. (2004). *Thing knowledge. A philosophy of scientific instruments*. Berkeley: University of California Press.
- CHAMIZO, J. A. (2013). «A new definition of models and modeling in chemistry' teaching». *Science & Education*, vol. 22, p. 1613-1632.
- (2014). «The role of instruments in three chemical "revolutions"». *Science & Education*, vol. 23, p. 955-982.
- (2017). «The Fifth Chemical Revolution: 1973-1999», *Foundations of Chemistry*, vol. 19, p. 157-179.
- (2018). *Química General. Una aproximación histórica*. México: Universidad Nacional Autónoma de México [en línea]. <http://www.joseantoniochamizo.com/pdf/quimica/libros/002_Quimica_general.pdf>
- (2019). «About continuity and rupture in the history of chemistry: the fourth chemical revolution (1945-1966)». *Foundations of Chemistry*, vol. 21, p. 11-29.
- CHAMIZO J. A.; GARRITZ, A. (2014). «Historical Teaching of Atomic and Molecular Structure». En: MATTHEWS, M. (ed.). *International Handbook of Research in History and Science Teaching*. Dordrecht: Springer.
- CHANG, H. (2012). *Is water H₂O? Evidence, realism and pluralism*. Londres: Springer.
- CHEVERRÍA J. (2003). *Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX*. Madrid: Cátedra.
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, M. (2013). «Idealization in Chemistry: Pure Substance and Laboratory Product». *Science & Education*, vol. 22, p. 1723-1740.
- HACKING, I. (1983). *Representing and intervening. Introductory topics in the philosophy of natural sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.
- LATOUR, B. (1992). *Ciencia en acción*. Barcelona: Labor.
- LLORED, J. P. (ed.). (2013). *The Philosophy of Chemistry: Practices, Methodologies, and Concepts*. Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars.
- MARTÍNEZ, S. F.; HUANG, X. (2015). *Hacia una filosofía de la ciencia centrada en prácticas*. México: Bonilla Artigas-IIF-UNAM.
- MORRIS, P. J. T. (2016). *The Matter Factory. A History of the Chemistry Laboratory*. Londres: Reaktion Books.
- NIETO-GALÁN, A. (2019). *The Politics of Chemistry. Science and Power in Twentieth-Century Spain*. Cambridge: Cambridge University Press.
- OLIVÉ, L. (2008). *El bien, el mal y la razón. Facetas de la ciencia y la tecnología*. México: Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos-UNAM-Paidós, 2008.
- PICKERING, A. (ed.). (1992). *Science as Practice and Culture*. Chicago: Chicago University Press.
- POLANYI, M. (1966). *The Tacit Dimension*. Chicago: Chicago University Press.
- PRESTON, B. (2013). *A Philosophy of Material Culture. Action, Function, and Mind*. Nueva York: Routledge.
- SCHUMMER, J. (1999). «Challenges for Chemistry Documentation. Education and Working Chemist». *Educación Química*, vol. 10, p. 92-101. También disponible en línea en: <<http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/66491/58373>>



José Antonio Chamizo

Doctor en química organometálica por la University of Sussex. Desde 1977 es profesor de la Facultad de Química y del Instituto de Investigaciones Filosóficas de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ha publicado más de 200 artículos, capítulos en libros y libros arbitrados, sobre química, educación, historia, filosofía y divulgación de las ciencias por los que ha recibido diferentes premios de instituciones nacionales e internacionales.
C. e.: jchamizo@unam.mx