

DOI: <https://doi.org/10.22201/iifs.18704905e.2022.1389>

LAS PRÁCTICAS QUÍMICAS A TRAVÉS DE SUS TRANSFORMACIONES

JOSÉ ANTONIO CHAMIZO GUERRERO
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Química-Instituto de Investigaciones Filosóficas
jchamizo@unam.mx

RESUMEN: A partir de los “ejemplares” kuhnianos, lo que significa incorporar los instrumentos en los procesos de cambio, y sustituir el concepto de revolución por el de transformación, se describe la construcción y el desarrollo de la química identificando su método particular: análisis y síntesis. Todo ello acompañado por el surgimiento de nuevas subdisciplinas y de nuevas entidades u objetos epistémicos, que acumuladas, se fueron integrando en los robustos ejemplares de sus cambiantes prácticas, al mismo tiempo que se introdujeron importantes modificaciones industriales.

PALABRAS CLAVE: química, método, tecnociencia, ejemplares, entidades

SUMMARY: Starting from the Kuhnian “exemplars”, which means incorporating the instruments in the processes of change, and substituting the concept of revolution for that of transformation, the construction and development of chemistry is described, identifying its particular method: analysis and synthesis. All of this accompanied by the emergence of new subdisciplines and new entities, or epistemic objects, which accumulated, became integrated into the robust exemplars of their changing practices. Together with important industrial modifications.

KEY WORDS: chemistry, method, technoscience, exemplars, entities

En trabajos anteriores, continuando la propuesta de Jensen (1998), informé inicialmente sobre una interpretación de la historia de la química a partir de revoluciones en las que los instrumentos desempeñaron un papel fundamental y posteriormente sobre una interpretación más adecuada a través de revoluciones tipo Hacking en lugar de revoluciones tipo Kuhn (Chamizo 2014, 2017, 2019). Lo anterior requiere, en los procesos de cambio, la identificación del sustrato que permanece. En el presente trabajo se precisa que ese sustrato no fue el resultado de una revolución científica. Lo que hoy conocemos como química, fue establecida como ciencia y técnica independiente a mediados del siglo XVIII y principios del XIX. Desde entonces la química tecnocientífica ha cambiado a través de cuatro grandes transformaciones de las que aquí sólo se discutirá la primera, caracterizadas, entre otros indicadores, por la aparición de múltiples y nuevas

subdisciplinas y la adopción y acumulación de nuevos “ejemplares” que incorporen nuevas entidades u objetos epistémicos, relacionadas con el método propio de las prácticas químicas: análisis y síntesis.

Las prácticas químicas

Un avance repentino en la práctica química es más a menudo causado por una innovación radical en el método del análisis, que por una nueva teoría.

(Kim 2014, p. 118)

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, entre los siglos XVIII y XIX, 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 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, o ciencia pura y aplicada.

Hay diferentes maneras de interpretar las relaciones entre la ciencia y la tecnología. Una reconoce que son dos caras de la misma moneda, es decir, tecnociencia¹ (Gibbons 1994; Echeverría 2003; Nordmann *et al.* 2011; Chamizo 2013). Otras asumen la diferencia entre ambas sosteniendo que la investigación científica puede ser básica y aplicada (Niiniluoto 1993; Roll-Hansen 2017), o que en un eje de coordenadas un eje apela al conocimiento fundamental y el otro al uso del conocimiento, dando lugar a cuatro cuadrantes (Stokes 1997).

Por otro lado, el historiador inglés J. Pickstone abordó la historia de la ciencia y la tecnología desde una aproximación epistemológica particular que caracterizó a través de cuatro formas de conocer (WoK, Ways of Knowing), vinculadas con cuatro formas de trabajar (WoW, Ways of Working). Conocer no es sólo una operación mental, es también un modo de hacer. Pickstone afirmó: “la historia de la

¹ Sobre este tema hay también diversas opiniones. Por ejemplo, Latour considera que la tecnología matiza la pureza del conocimiento científico: “para describir todos los elementos vinculados a contenidos científicos sin que importe lo sucios, inesperados, o extraños que parezcan” (1992, p. 168).

ciencia y la tecnología no es una cuestión de sucesiones, o el reemplazo de un tipo de conocimiento por otro; más bien es una cuestión de acumulación compleja y de variedad simultánea, disputada a lo largo del tiempo” (2000 p. 9).² Dividió las cuatro formas de conocer-trabajar en dos grupos. El primer grupo incluía sólo una forma de conocer-trabajar, “leer el mundo”, es decir, la hermenéutica y la retórica relacionada con la religión y las verdades eternas. El segundo grupo por su parte consideraba tres formas de conocer: “la historia natural – los oficios”; “el análisis – la racionalización” y “la síntesis – invención”. Esta última forma de conocer también la identifica con la tecnociencia.

El valor de los instrumentos en el desarrollo de las ciencias y las tecnologías está ya fuera de discusión.³ En su documentado texto sobre los instrumentos utilizados en las prácticas científicas Bud y Warner indicaron: “Los instrumentos científicos son fundamentales para la práctica de la ciencia. Con demasiada frecuencia esto se ha dado por sentado” (1998, p. ix). Esto se hace notar debido a que la química, o mejor dicho su antecesora la alquimia, fue la primera práctica que dedicó un espacio aislado en el que reunió los instrumentos necesarios para llevar a cabo sus actividades.

La instalación básica requerida para la química práctica era una fuente de calor. En los laboratorios alquímicos, habría uno o más hornos, idealmente junto con un depósito de combustible, un suministro de agua, preferiblemente complementado con un fregadero, matraces, retortas y otros aparatos, y una variedad de reactivos químicos etiquetados. Como hemos indicado anteriormente, era habitual que los laboratorios alquímicos dispusieran de diferentes tipos de hornos, que proporcionaban grados de calor ascendentes, que iban quizás desde un fuego suave con baño de agua hasta un horno de reverbero. La destilación normalmente se llevaría a cabo a una temperatura intermedia, aunque, por supuesto, el concepto de temperatura realmente tuvo que esperar hasta el siglo XVIII (Crosland 2005, pp. 238–239).

La intervención (Hacking 1983), la experimentación y la creación, son centrales en las prácticas de la química (Llored 2013) aunque no son exclusivas de esta disciplina. Actualmente se reconoce que las comunidades científicas y tecnológicas son comunidades de prácticas (Pickering 1995; Soler *et al.* 2014), entendiendo por práctica la serie de actividades coordinadas y compartidas (procedimientos,

² En los casos en que no hay una versión en castellano, la traducción es mía.

³ Particularmente en química, véanse Holmes y Levere 2000, y Baird 2004.

propósitos, creencias) que se disciplinan mediante el cambio de normas o procedimientos “correctos” en una determinada comunidad, que es la que identifica y corrige los “errores” (Martínez y Huang 2015). Así, una práctica tiene una estructura estable con capacidad de reproducirse a través de diferentes procesos de aprendizaje. Más aún, se han construido diferentes aproximaciones para caracterizar en su complejidad las prácticas experimentales, especialmente para explicar el descubrimiento y el progreso de las ciencias (Chang 2004; Rheinberger 2014; Tobin y Ambrosio 2016).⁴ Finalmente 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).

Las prácticas de la química son generalmente diferentes de las prácticas de la física.⁵ Tienen su propio método: análisis y síntesis, muchas veces en una combinación dialéctica (Bachelard 1976; Kim 2014; Ruthenberg y Mets 2020).

Desde el principio, el análisis de las sustancias, asociado permanentemente al concepto de pureza, ha sido una obsesión para los químicos (Bensaude-Vincent y Simon 2008). 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. Hoy queda claro que no hay tal cosa como sustancias puras. 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.⁶ Diferentes técnicas indican diferentes niveles de pureza.

⁴ En este libro dedicado a la historia de las prácticas químicas se indica: “Un vistazo a la historia muestra que las teorías, como sea que se definan desde un punto de vista filosófico, se utilizaron ante todo en el contexto de prácticas particulares e históricamente contingentes llevadas a cabo por comunidades específicas y actores históricos” (Tobin y Ambrosio 2016, p. 2).

⁵ Cerruti indicó: “los fenómenos son generalmente aceptados y discutidos filosóficamente como los objetivos y el resultado de la experimentación en física; en general, las sustancias son los objetivos y los resultados de las prácticas experimentales más importantes de la química” (1998).

⁶ “El realismo en química es una verdad de primera aproximación; pero en segunda aproximación, es una ilusión. En forma simétrica, la pureza es un concepto justificado en primera aproximación; pero en segunda aproximación, se trata de un concepto injustificable, por el hecho mismo de que la operación de purificación se vuelve en el límite esencialmente ambigua. Por eso se da la paradoja de que el concepto de pureza es válido cuando se trata de sustancias que sabemos impuras” (Bachelard 1993, p. 60).

Por ello, generalmente, cuando se indica la pureza se menciona la técnica de análisis a través de la cual se ha reconocido.

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. No hay sustancias nuevas, o artefactos, sin acción y sin diseño. No son sólo 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. Las sustancias⁷ son la ontología de las prácticas químicas (van Brakel 2012).⁸ 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, y día tras día, se añaden más de 15 000 sustancias nuevas al mundo, lo cual plantea un importante problema ético (Schummer 2001).

Las prácticas químicas utilizan principalmente modelos en lugar de teorías (Suckling 1978; Schummer 2010). Porque en química, los modelos también son mediadores entre el mundo real y nosotros, lo que significa que funcionan no sólo como representaciones, sino también como medios de intervención. Porque diferentes modelos para el mismo campo de aplicación pueden coexistir y complementarse de manera útil, por ejemplo en la diversa y compleja cantidad de reacciones ácido-base actuales (Jensen 1980). Porque los modelos también se utilizan en la química industrial y tecnológica (Suckling *et al.* 1978). Todo lo anterior hay que situarlo en oposición a las teorías que se caracterizan principalmente como objetos conceptuales abstractos con una estructura lógica.

Las prácticas químicas son realistas. Es decir, como se asume con otras ciencias básicas, su tarea es cognitiva, lo que les permite explicar y comprender la realidad, asumiendo para ello la existencia

⁷ Ante la dificultad de precisar el concepto de sustancia, el filósofo belga J. Van Brakel indicó: “quizás debemos limitar la noción de sustancia a lo que puede existir independientemente en botellas” (van Brakel 2012, p. 222).

⁸ Contrariamente a la interpretación de las clases naturales estables y estáticas, el filósofo inglés R. Hendry ha defendido recientemente que las sustancias químicas son emergentes “no se puede decir que las sustancias químicas y otros materiales tengan una estructura única, sino que exhiben una variedad de ellas, cada una de las cuales emerge en las escalas de longitud, tiempo y energía que son apropiadas para los procesos mediante los cuales interactúan con la materia y la radiación” (2019, p. 345). En esa dirección coinciden también Martínez y Córdoba (2016).

de diversas entidades.⁹ Específicamente respecto a las entidades, el filósofo griego T. Arabatzis (2008) escoge el término “entidades ocultas” para eliminar las dificultades que presentan otras taxonomías, 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. Estrechamente relacionadas con las entidades físicas, las entidades químicas tienen una existencia autónoma (Lombardi 2015, y Lombardi y Labarca 2011).

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, las prácticas químicas asumen un tipo de conocimiento tácito (Polanyi 1966), pragmático (Schummer 2010) y plural (Ruthenberg y Mets 2020) que comparten la mayoría de las ciencias de laboratorio experimentales. Una práctica no es mejor que otra, como tampoco la química se reduce a la física.

En 1929, P.A.M. Dirac enunció la famosa frase: “Las leyes físicas fundamentales, necesarias para la teoría matemática de una gran parte de la física y la totalidad de la química, se conocen completamente a partir de la mecánica cuántica.” Muchos textos de física y química han eliminado una parte fundamental de ese enunciado en el que Dirac añadió: “la única dificultad [de derivar la química de la física] es que la aplicación exacta de las leyes de la mecánica cuántica da lugar a ecuaciones prácticamente imposibles de resolver” (1929).

Casi medio siglo después, con las potentes computadoras omnipresentes, otro premio Nobel de física, como el mismo Dirac, precisó:

⁹ Como indica la filósofa de la química francesa Bernadette Bensaude-Vincent: “los químicos son realistas. Creen en la realidad de sus entidades, lo que les permite operar en el mundo exterior o verse afectados por él” (Bensaude-Vincent y Simon 2008, p. 52).

Es inútil tratar de resolver el problema de la química cuántica aplicando las leyes fundamentales de la mecánica cuántica [...] La explosión combinatoria es tan drástica y tan abrumadora que se pueden dar argumentos teóricos de que, no sólo ahora sino en el futuro, será imposible reducir el problema de la química cuántica a problemas de mecánica cuántica ordinaria. (Weinberg 1976, p. 28)

Si por ejemplo la mecánica cuántica se reconociera equivocada y se desechara lo que declaró Dirac en la primera parte de su frase, los químicos con sus propias prácticas científicas y tecnológicas seguirían sintetizando nuevas sustancias, en pequeñas o muy grandes cantidades, como ya lo hacían antes del surgimiento de la mecánica cuántica.

De revoluciones a transformaciones en las prácticas químicas

La creación de instituciones docentes y de investigación de nuevo tipo garantiza el estatuto y el reconocimiento social de la disciplina, permite la difusión de los conocimientos y la formación de un ejército de químicos [...] El que la química, dentro del proceso global de profesionalización de las ciencias que durante la primera mitad del siglo XIX afecta a todos los campos del saber, estuviera a menudo en la vanguardia, se debe también a que este proceso se alimentaba de una transformación “efectiva” y no solamente formal de las prácticas químicas.

(Bensaude-Vincent y Stengers 1997, p. 83)

T. Kuhn es, con S. Toulmin, uno de los iniciadores del giro historicista en la filosofía de las ciencias ocurrido durante la segunda mitad del siglo pasado. De acuerdo con Kuhn, el desarrollo de la ciencia no es un proceso acumulativo, sino más bien uno de ruptura y reconstrucción. A los periodos de ruptura los llamó “revoluciones científicas” y a los de reconstrucción “ciencia normal”. Los de reconstrucción se organizan alrededor de lo que originalmente Toulmin llamó paradigma. El paradigma como un todo determina qué problemas se investigan, qué datos se consideran pertinentes y qué técnicas de investigación se utilizan: “el paradigma es un criterio para seleccionar problemas que, mientras se dé por sentado el paradigma, puede suponerse que tienen soluciones” (Kuhn 1971, p. 71).

Cuando hay una revolución científica la comunidad cambia su paradigma, modificando las actividades relacionadas con la ciencia nor-

mal y de manera muy importante su enseñanza, ya que después de la revolución se escriben de nuevo los libros de texto¹⁰ que constituyen los vehículos pedagógicos para la consolidación de la ciencia normal.

En la posdata de la edición inglesa de 1970 de *The Structure of Scientific Revolutions*, Kuhn indicó que había fusionado dos connotaciones conceptualmente distintas de paradigmas: “ejemplares” y “matrices disciplinarias”. Así, el término “ejemplar”¹¹ representa una colección de problemas resueltos para una comunidad histórica específica, que generalmente se encuentran en su literatura profesional y especialmente en sus libros de texto. Es más estrecho que el paradigma y evita algunas de las ambigüedades que este último había adquirido. Hacer explícito el papel de los instrumentos en la ciencia normal reduce la brecha entre la ciencia normal y la revolucionaria. A ello habría que sumarle en el caso de la química la consideración de su aspecto tecnológico e industrial, generalmente olvidado por Kuhn.¹²

Por tanto, las comunidades que asumen diferentes paradigmas encuentran importantes dificultades para comunicarse entre sí. Los paradigmas en competencia carecen de una medida común porque utilizan diferentes conceptos y métodos para abordar diferentes problemas; en la terminología de Kuhn, son inconmensurables. Al final de su carrera Kuhn reconsideró el concepto de inconmensurabilidad

¹⁰ “Después de todo, los libros de texto se escriben tiempo después de los descubrimientos y los procedimientos de confirmación cuyos resultados registran. Además se escriben con propósitos pedagógicos. El objetivo de un libro de texto es el de darle al lector, de la manera más económica y fácil de asimilar, un enunciado de los que la comunidad científica contemporánea cree que sabe, así como de los usos principales que puede dársele a ese conocimiento” (Kuhn 1982, p. 210).

¹¹ Como los reconoció la filósofa estadounidense A. Woody: “Los ejemplares presentes en los libros de texto tienen como objetivo cultivar habilidades y técnicas comunitarias mediante una forma de comunicación más directa, y sí, implícita. Las habilidades se introducen por demostración directa. Las aplicaciones correctas de la teoría se cultivan a través de la mímica y la experiencia. El desafío original presentado por la brecha interpretativa no se elimina, pero dado que los ejemplares son, por decreto, ejemplos de aplicación correcta, el desafío ahora se limita a casos nuevos” (2003, p. 27). Posteriormente T. Nickles agregó: “Para que algo obtenga el estatus de un ejemplar, muchos científicos tienen que juzgarlo como una guía valiosa para la planificación de su trabajo futuro. Al ser modelos para emular, los ejemplares poseen un componente normativo con visión de futuro” (2012, p. 129).

¹² “De hecho, la tecnología es casi única entre las disciplinas por haber sido objeto de un análisis kuhniano ocasional. Hay, creo, tres razones por las que esto ha sido así: primero, la suposición de que el conocimiento tecnológico es esencialmente tácito; segundo, la identificación del conocimiento tecnológico con la ciencia aplicada; y tercero, la selección de unidades analíticas para la historia y la estructura actual de la tecnología que, por útiles que sean, para algunos propósitos, hacen poco para destacar el aspecto cognitivo de la tecnología” (Laudan 1984, p. 6).

ubicándolo como fuente de la generación de subdisciplinas dentro de una misma práctica:

Primero, los episodios que una vez describí como revoluciones científicas están íntimamente asociados con los que he comparado aquí con la especiación. Es en este punto donde entra la desanalogía antes mencionada, ya que las revoluciones desplazan directamente algunos de los conceptos básicos en un campo a favor de otros, un elemento destructivo que no está tan directamente presente en la especiación biológica. Pero además del elemento destructivo en las revoluciones, también hay una reducción del enfoque. El modo de práctica permitido por los nuevos conceptos nunca cubre todo el campo del que se hizo responsable el anterior. Siempre queda un residuo (a veces muy grande) cuya búsqueda continúa como una especialidad cada vez más diferenciada. Aunque el proceso de proliferación es a menudo más complejo de lo que sugiere mi referencia a la especiación, normalmente hay más especialidades después de un cambio revolucionario que antes [...] El segundo componente del regreso a mi pasado es la especificación de lo que hace que estas especialidades distintas, lo que las mantiene separadas y deja el suelo entre ellas como un espacio aparentemente vacío. A eso la respuesta es la incommensurabilidad, una creciente disparidad conceptual entre las herramientas desplegadas en las dos especialidades. (Kuhn 1992, pp. 19–20)

Ya años antes S. Toulmin había indicado que hay momentos históricos en los que cambian las prácticas científicas sin abandonar necesariamente todas las teorías o tareas disciplinarias anteriores, particularmente las relacionadas con el uso de instrumentos:

Debemos enfrentar el hecho de que los cambios de paradigma nunca son tan completos como implica la definición completa; que los paradigmas rivales nunca equivalen realmente a visiones del mundo alternativas completas; y que las discontinuidades intelectuales en el nivel teórico de la ciencia ocultan continuidades subyacentes en un nivel metodológico más profundo. (1972, pp. 105–106)

Esto sugiere que los cambios revolucionarios no son absolutos, siempre queda un proceder metodológico que se conserva.¹³ No se aban-

¹³ En la misma dirección P. Galison (1997) en su estudio sobre la física del siglo XX, diferenciaba tres capas, o niveles, de esta ciencia: teoría, experimentación e instrumentación. Discutiendo la estabilidad a largo plazo de la física, reconoció que había rupturas, ya sea en los dominios instrumentales, experimentales o teóricos. Las capas están intercaladas y cada una tiene diferentes lapsos de tiempo. Mientras que uno de ellos se ha roto, las estructuras de las otras capas permanecen prácticamente intactas.

donan todos los conceptos anteriores, sino que se transforman desde adentro, cambiando las preguntas que se hacen y los criterios de respuestas aceptables, modificando así las prácticas químicas. Esto concuerda además con la idea del filósofo coreano H. Chang (2011) de que las épocas históricas están marcadas por objetos epistémicos,¹⁴ así como por personas, instituciones o modelos, que persisten con el cambio. Además, como las entidades (aquí ocultas) pueden incorporarse tanto desde la teoría como desde la práctica, es en los “ejemplares” donde se condensa gran parte del saber disciplinar en un determinado momento histórico. Y al hacerlo, la comunidad química estabiliza esas entidades ocultas. Es decir, una forma de reconocer un proceso de cambio es identificar el surgimiento de nuevas subdisciplinas y la incorporación de nuevas entidades ocultas.

El filósofo canadiense I. Hacking, uno de los más importantes defensores de las prácticas experimentales y estudioso profundo de la obra de Kuhn (Hacking 1985), sostiene que el cambio en las ciencias es mucho menos abrupto¹⁵ que lo propuesto originalmente por Kuhn y coincide con un estilo de razonamiento particular. Estos cambios han sido identificados como revoluciones científicas tipo Hacking. Así:

Las revoluciones científicas tipo Hacking (HT) amalgaman preocupaciones puras y aplicadas. Transforman una amplia gama de prácticas científicas y son multidisciplinarias, con la formación de nuevas instituciones que indican las nuevas direcciones. Sin embargo, estas “nuevas” instituciones pueden ser “viejas” que se han reestructurado [...] hay una sensación diferente en el mundo [...] las revoluciones científicas HT [...] hacen uso de un lenguaje característico para formular, corroborar, auto-autenticar y auto-estabilizar el estilo de razonamiento que ellas mismas introdujeron. (Schweber 2016, pp. 342–343)

¹⁴ “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” (Chang 2011, p. 424).

¹⁵ Lo que ha llevado también al filósofo P. Humphreys a separar las revoluciones científicas en dos tipos: de reemplazamiento y de emplazamiento: “Las revoluciones de reemplazo son del tipo familiar en el que se derroca una forma establecida de hacer ciencia y se impone un conjunto diferente de métodos. Las revoluciones de emplazamiento ocurren cuando se introduce una nueva forma de hacer ciencia que en gran medida deja en su lugar los métodos existentes. La introducción de la experimentación de laboratorio fue una revolución de emplazamiento en el sentido de que no condujo a la desaparición de la teoría o de la observación” (2011, p. 132).

En esa línea de pensamiento, P. Galison primero (1997) y posteriormente J. Elwick (2012) utilizaron la metáfora de las capas, como condición de posibilidad, para interpretar la dinámica entre continuidad y ruptura en el interior de las ciencias. Galison identificó la dificultad de compartir el mismo lenguaje entre las diferentes culturas que integran una disciplina a través de lo que denominó “zonas de intercambio”.¹⁶

Una manera de reunir todo lo anterior es sustituir la palabra revolución por 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. Las transformaciones no son cambios absolutos. Después de una transformación se cambian las preguntas y los criterios para las respuestas aceptables; sus practicantes trabajan en campos separados. Después de una transformación se introducen diferentes “ejemplares” que incorporan nuevas entidades, que sus practicantes comparten, cambiando así la forma en que se practica la química. Además las transformaciones son acumulativas, cada una de ellas va agregando esas nuevas entidades al terreno común, lo que permite construir modelos más detallados sobre las reacciones químicas.

Aquí se entiende por transformación en las prácticas científicas de la química cuando hay:

- Cambios significativos en el énfasis de la investigación y la práctica científica, por ejemplo, a través del uso de nuevos instrumentos.
- Cambios significativos en la estructura de las organizaciones académicas y profesionales, incluyendo la fundación de nuevas cátedras, nuevos institutos de investigación, nuevas sociedades científicas y revistas nuevas; es decir, aparecen nuevas subdisciplinas.
- La incorporación de nuevos objetos epistémicos, es decir, “entidades ocultas” que identificamos como partes constitutivas de la realidad y que acumuladas son compartidas por las diferentes subdisciplinas.

¹⁶ “Los significados también pueden diferir: cuando los teóricos hablan de una partícula, digamos un electrón, pueden, a través del uso, desplegar un concepto bastante distinto del uso de ‘electrón’ enunciado por un experimentador” (Galison 1997, p. 670). Sobre este tema en particular puede revisarse Arabatzis 2006.

- Cambios explícitos y significativos en el contenido, el vocabulario y la organización de los libros de texto antes y después del periodo en cuestión, apareciendo nuevos “ejemplares” que incorporan los nuevos objetos epistémicos.

En la doble cara de la química tecnocientífica, las transformaciones científicas van acompañadas por el surgimiento y/o consolidación de nuevas prácticas tecnológicas.

Las prácticas químicas a través de sus transformaciones

¿Qué tipo de ciencia es la química? Una posible respuesta a esta pregunta es: la química es una ciencia que se ocupa de las sustancias materiales y las transformaciones químicas de las sustancias [...] La química nunca fue una ciencia pura [...] tenía fronteras permeables con la farmacia, la minería y la metalurgia, la fabricación de colorantes, la cerámica, el vidrio, la pólvora y muchas otras industrias.

(Klein 2012, p. 7)

La historia de la química se ha relatado de muchas maneras, particularmente después del texto fundacional de J.R. Partington, *A History of Chemistry*, publicado en 1964 (Ihde 1984; Knigh 1992; Bensaude-Vincent y Stengers 1997; Jensen 2003). A continuación, y separándose de las anteriores, se ejemplifica la historia de la química a partir de su invención¹⁷ o construcción,¹⁸ seguida de las transformaciones de sus prácticas (académicas e industriales), indicando la aparición de nuevas subdisciplinas, la importancia de los instrumentos, y la consolidación de nuevas y acumulativas “entidades ocultas”.

Diversas pruebas coinciden en que nuestros antepasados aprendieron a producir y controlar el fuego en África, Asia y Europa hace miles de años. El uso controlado del fuego proporcionó calor y luz, y con ello cambiaron su alimentación y sus actividades. Como indicó el antropólogo francés C. Lévi-Strauss: “Cocinar no sólo marca la transición de la naturaleza a la cultura, sino que a través de ello, y por medio de ello, se puede definir el estado humano con todos sus

¹⁷ Como lo sostiene el historiador J.C. Powers al momento de consolidar su enseñanza universitaria en 1732.

¹⁸ Véase el número especial de *Ambix* 2010, *Chemistry Courses and the Construction of Chemistry, 1750–1830*.

atributos.” El uso controlado del fuego permitió que las propiedades físicas y químicas de los materiales fueran manipuladas para la producción de cerámica y metales. El tratamiento térmico exige un conocimiento sofisticado del fuego y una capacidad cognitiva elevada, lo que permite suponer la aparición posterior del pensamiento simbólico y ético.

En la antigua Alejandría, primer núcleo urbano en el que surgió la alquimia (Priesner y Figala 2001), se unieron el pensamiento griego con los saberes prácticos egipcios. Los alquimistas, como los magos y curanderos, y a diferencia de los sacerdotes, intervenían en el mundo, y en eso se asemejaron y fueron semilla de los químicos actuales. Podemos identificar su actuación con la primera y segunda forma de conocer-trabajar de Pickstone. Muchos años después del inicio de la alquimia en Alejandría, donde se construyeron los primeros alambiques, este instrumento se perfeccionó, y en lo que hoy son Iraq e Irán se prepararon medicinas y surgieron las primeras farmacias. Las bebidas con alcohol fueron destiladas. En el siglo XI e.c. se publicaron en China, nación poseedora también de una antigua tradición alquímica, más tecnológica que la mediterránea (Li 1948), las primeras recetas para producir pólvora.

En particular, a partir de la Edad Media europea, la preparación de medicamentos, la fabricación de jabones, pigmentos, vidrio, materiales cerámicos, explosivos y la extracción de metales fueron actividades prácticas, alejadas de la reflexión filosófica y realizadas alrededor de mercados y en lugares públicos (Klein y Spary 2010). En los laboratorios alquímicos los aparatos y los “reactivos” allí utilizados eran productos artesanales, contruidos y preparados localmente. Respecto a los venenos, conocidos por la mayoría de las sociedades humanas desde la más remota antigüedad, destaca sobremanera la frase del médico y alquimista Paracelso, quien indicó a principios del siglo XVI: “todas las sustancias son venenosas. La dosis correcta diferencia el remedio del veneno.”

Entre la alquimia y lo que hoy conocemos como química hubo un periodo de transición conocido como protoquímica (1661–1718). En sus aspectos teóricos puede caracterizarse por la construcción de al menos tres modelos capaces de explicar lo que hoy conocemos como química: el modelo mecanicista de partículas desarrollado por R. Boyle; el modelo composicional, que consideraba que las reacciones químicas, en particular las de combustión, se realizaban a partir de la presencia de una sustancia llamada flogisto en todo lo que la contenía, desarrollado por G.E. Stahl; y el modelo de afinidades que

recogía la experiencia empírica por la que algunas sustancias eran más propensas a combinarse entre sí, desarrollado por E.F. Geoffroy. El valor del trabajo experimental rescatado en Inglaterra por la controversia que sostuvo R. Boyle con T. Hobbes (Shapin y Schaffer 2011) ayudó a gestar en esos años, en Londres, la primera sociedad científica de la historia. Todavía en este periodo de transición las incipientes

prácticas de la química universitaria/científica eran muy parecidas a las prácticas de los artesanos que desarrollaban actividades relacionadas con la química. Hubo fuertes relaciones prácticas entre los diferentes oficios químicos y la disciplina de química, pero no un intenso intercambio teórico. Cada oficio tenía sus propios conceptos y “teorías”. (Homburg 2009, p. 59)

En 1732, en Europa, la química surgió como ciencia independiente, con sólidas prácticas compartidas: didácticas, industriales y de laboratorio. Desde entonces, ha sufrido cuatro grandes transformaciones, caracterizadas por la apropiación de nuevos objetos epistémicos o “entidades ocultas” que siguen utilizándose, y por el surgimiento de nuevas subdisciplinas como la química orgánica, la físicoquímica, la química instrumental y la química organometálica, entre otras.

En su libro *The Chemical Revolution* publicado originalmente en 1952, años antes de que Kuhn hiciera lo propio con su *Estructura de las revoluciones científicas*, sus autores cuestionan la imagen generalizada de la llamada Revolución Industrial, construida sin considerar la química.

La evolución de la industria química debe ser considerada como una importante concomitancia de la Revolución Industrial, pero en una mayor medida para lo que sería la invención mecánica de la época acerca de la cual nuestro libro trata. Una evaluación satisfactoria del nexo tecnológico de la fabricación química durante el mismo periodo presupone una comprensión íntima de la naturaleza de los procesos técnicos involucrados [...] Nuestro punto de partida es aproximadamente 1750: el momento en el que la gran masa de los materiales que se manipulaban obligó a una parada, aproximadamente en 1830. (Clow y Clow 1992, pp. xvii–xix)

En el periodo mencionado la producción industrial de ácido sulfúrico mediante el proceso de las cámaras de plomo fue patentada por J. Roebuck y S. Garbett. El aceite de vitriolo, conocido hoy como ácido sulfúrico, se convirtió en un producto químico muy importante, y su producción nacional se utilizó posteriormente como un buen

indicador de la fuerza industrial de cada país. Además, N. LeBlanc patentó el método para la producción a gran escala de carbonato de sodio, utilizando ácido sulfúrico y cloruro de sodio entre otros reactivos. 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.

Además de su impetuosa manifestación industrial, la química como hoy la conocemos¹⁹ es el resultado del trabajo de un grupo de individuos que terminaron compartiendo prácticas experimentales, lenguaje, modelos y una entidad característica: el átomo (McEvoy 2010; Chalmers 2009). Se puede identificar su inicio cuando el holandés H. Boerhaave publicó el libro *Elementa Chemiae*,²⁰ en 1732, y con ello consolidó, por primera vez, la enseñanza de la química en la Universidad de Leiden. Como ya se ha indicado, antes de la invención o construcción de la química, ésta consistía en una serie de prácticas artesanales cuyos practicantes seguían recetas (que era lo que publicaban) con muy limitado, si lo tenían, contenido teórico.²¹

Sin embargo, el mayor impacto de la química didáctica fue su capacidad para transmitir el conocimiento químico más allá del círculo de los químicos artesanales. Los mismos principios pedagógicos que hicieron que la química didáctica fuera atractiva para los químicos novatos consiguieron hacerla accesible a los no químicos. A mediados del siglo XVII, la audiencia de la química didáctica se había expandido para incluir médicos, filósofos naturales, escritores, artistas, mecánicos y sabios caballeros. (Powers 2016, p. 43)

¹⁹ El nombre con la que la reconocieron los practicantes de la época fue Nueva Química para separarse de la alquimia o también *chymica*.

²⁰ *Elementa Chemiae* tuvo más de cuarenta ediciones, además de las traducciones al latín, inglés, francés, alemán y ruso. Dejó de imprimirse en 1791.

²¹ Había libros sobre técnicas experimentales como el *Arte de la destilación* de H. Brunschweig, y diferentes farmacopeas utilizados por los boticarios, así como los propiamente de origen alquimista, que con posterioridad a Paracelso, estaban dirigidos a la preparación de medicamentos. *Elementa Chemiae* introdujo una didáctica específica para la química incorporando las ideas mecanicistas de Boyle. El mismo Kuhn hace notar la importancia de Boerhaave en el surgimiento de la química: “sugiero que desacuerdos fundamentales similares caracterizaron, por ejemplo, al estudio del movimiento antes de Aristóteles, de la estática antes de Arquímedes, del calor antes de Black, de la química antes de Boyle y Boerhaave [...]” (1971, p. 40).

Desde luego no se enseñaba química en las universidades²² y menos en un laboratorio específicamente dedicado para ello. Con Boerhaave la química se volvió una actividad académica respetable y transmisible a través de libros de texto. Uno de los lectores de *Elementa Chemiae*, médico como Boerhaave, fue el escocés J. Black quien perfeccionó la balanza analítica, estudió el calor y aisló, en 1754, el dióxido de carbono a partir del carbonato de magnesio en la que pudo reconocerse como la primera reacción química cuantitativa. Con ello el aire, uno de los cuatro elementos presocráticos, dejó de considerarse elemental. En 1766, el inglés H. Cavendish perfeccionó la cuba hidroneumática y aisló el hidrógeno, un gas (palabra acuñada por el flamenco alumno de Paracelso, J.P. van Helmont, para referirse al caos) no presente en el aire natural. A. Lavoisier²³ enfrentó la explicación, entonces prevaleciente, de la combustión a partir del flogisto,²⁴ reconociendo que allí donde éste se perdía se agregaba un nuevo gas que llamó oxígeno. A pesar de que muchas de las actividades experimentales poco cambiaron, la incorporación de instrumentos utilizados ampliamente por Lavoisier, como la balanza y el calorímetro, su enunciación de la ley de conservación de la materia, acompañada del empeño en establecer un nuevo lenguaje para la química (Crosland 1978) y su propuesta de poco más de una treintena de elementos, marcaron el inicio de una nueva época. Tal como indicó el historiador escocés J. McEvoy:

Si bien generaciones de historiadores de la química se han unido en la creencia de que el nacimiento de la química moderna implicó una

²² “Boerhaave creó una química, adaptada a la facultad de medicina, que consistía en conocer cosas —las propiedades químicas de la materia, los tipos de entidades que existían en el mundo, los mecanismos del cambio natural—, además de crearlas” (Powers 2016, p. 91).

²³ Sobre la figura de Lavoisier se ha escrito mucho, tanto a favor, asumiendo su “paternidad” de la química defendida por el mismo Kuhn, como en contra, ponderando las inconsistencias de sus aportaciones así como la escasa influencia que su trabajo tuvo fuera del campo estrictamente académico, como en la farmacia. Vale la pena rescatar un comentario: “Lavoisier fue el más inquisitivo, el más sistemático y el teórico más crítico que había ingresado hasta ese momento en el campo de la química [...] impartió a la química una estructura teórica más inclusiva, más coherente y más duradera que la que había tenido anteriormente” (Holmes 1989, p. 111).

²⁴ “Aparte del objetivo compartido de explicar la propiedad de la inflamabilidad en términos sustantivos, las diversas teorías del flogisto que se promulgaron durante este tiempo carecen de la estabilidad y continuidad en los presupuestos metafísicos y metodológicos que son esenciales para la formación de una tradición de investigación” (McEvoy 1988, p. 198).

ruptura fundamental con la teoría y las prácticas químicas anteriores, no lograron llegar a ningún consenso sobre la identidad de la descendencia y la naturaleza de su gestación. Este acto de parto, que dio lugar a la química moderna, ¿dependió de un descubrimiento experimental, de una intuición teórica, de una reforma metodológica, de una reorientación epistemológica o de una purificación ontológica? ¿O implicó la llegada de la razón a un rincón arcano del conocimiento experimental, o simplemente la maquinación de las fuerzas sociológicas locales? (2010, p. 1)

A través de la integración de prácticas experimentales robustas, utilizando instrumentos comunes, adoptando objetos epistémicos o “entidades ocultas” estables, es decir, a partir de “ejemplares” presentes en los nuevos libros de texto,²⁵ es posible construir una respuesta. Todo ello fue acompañado, en el caso de la química, de un inequívoco desarrollo industrial basado en patentes. Se incorporó en el vocabulario de las prácticas químicas la palabra *responsabilité/responsibility*. Poco a poco, a la par que muchas de las ideas y formas de ver el mundo, fue adueñándose de las sociedades europeas la convicción de que debíamos asumir, sin excusa ni remedio posible, nuestros propios horrores como algo de lo que debemos dar cuenta. Desde entonces, lentamente, las prácticas químicas lo empezaron a advertir (Schummer 2021).

La invención de A. Volta de la pila eléctrica fue seguida de una multitud de experimentos en los que diversos investigadores pasaban electricidad por diversidad de objetos y sustancias. Destacan los ingleses H. Davy, W. Nicholson y A. Carlisle; el primero, por el aislamiento de diversos elementos (entre ellos, Na, Mg, Ca, Sr) y los otros dos, por la electrólisis del agua.²⁶ Fue importante el nacimiento de la electroquímica, pero lo que marcó de manera fundamental la consolidación de la química como disciplina independiente fue la propuesta de J. Dalton de la estructura atómica²⁷ de las sustancias.

²⁵ Los libros de texto son: A. Lavoisier 1789, *Tratado elemental de química* y J. Dalton 1808, *Nuevo sistema de filosofía química*.

²⁶ “Antes de que se publicara, se repitió el experimento —parte normal del proceso de arbitraje que se remonta al siglo XVII— y W. Nicholson y A. Carlisle ampliaron el trabajo de Volta sumergiendo en agua cables conectados a los extremos de la pila. Descubrieron que se acumulaban burbujas de oxígeno e hidrógeno alrededor de los cables; el agua se estaba descomponiendo en sus elementos. Se estableció el hecho de que el agua era un compuesto” (Knight 1992, p. 61). Con ello el agua, otro de los cuatro elementos presocráticos, dejó de considerarse elemental.

²⁷ “la química moderna no se basa en los preceptos de la química antiflogística de A. Lavoisier, sino en la teoría atómica de J. Dalton. La composición es la propiedad química fundamental que la teoría atómica simboliza con mucha fuerza a través

“Como observó Thomas S. Kuhn, el atomismo químico requería ‘una creencia en la resistencia de los elementos en sus compuestos’ y el reconocimiento del ‘análisis y la síntesis como herramientas fundamentales del practicante de la química’” (Kim 2014, p. 118). En 1818 la naturaleza atómica de las sustancias fue respaldada, extendida y parcialmente consolidada por el químico sueco J.J. Berzelius (Jorpes 1966), experimentador extraordinario que reunió 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. Berzelius descubrió varios elementos, impulsó el modelo electroquímico²⁸ del enlace y la nomenclatura de los elementos que usamos en la actualidad. A partir de aquel momento la química fue reconocida en Europa como una disciplina científica, cuantitativa e independiente, con los átomos como su entidad distintiva.²⁹ A finales del siglo XVIII y a principios del XIX se publicaron libros y revistas dedicados a la química, anunciando algunos de los contenidos de los cursos que se imparten actualmente. La nomenclatura química, el principio de conservación de la materia, la electroquímica y el modelo atómico de las sustancias ocuparon un lugar en las bibliotecas. También aparecieron sociedades “informales” de química, generalmente de corta vida, integradas por practicantes o por expertos provenientes de otras profesiones, dos en Escocia en 1785 y 1786, otra en Filadelfia tres años después, una más en Londres al final del siglo. Se puede identificar en este periodo la segunda y tercera forma de conocer-trabajar de Pickstone.

Las prácticas experimentales de la química, robustas, estabilizadas y compartidas, ocuparon un lugar propio.

A finales del siglo XVIII, la química se convirtió en una profesión totalmente reconocible, distinta de la del alquimista, metalúrgico, médico

de sus símbolos y fórmulas ubicuos, y el trabajo de Dalton constituye su primera representación exitosa” (Siegfried 1988, p. 34).

“Los químicos, durante más de un siglo, han pensado únicamente en términos de átomos” (Good 1999, p. 86).

²⁸ El modelo electroquímico del enlace asume que los átomos tenían cargas eléctricas diferentes. Berzelius ordenó los elementos conocidos en una serie electroquímica, desde el más electropositivo (el potasio) hasta el más electronegativo (el oxígeno, entonces), pasando por el hidrógeno. La combinación de dos elementos se daría debido a su diferente carga eléctrica.

²⁹ La estequiometría y el modelo de equivalentes desarrollado por J.B. Richter permitió durante muchos años, particularmente en Francia, explicar las reacciones químicas (principalmente las de neutralización entre ácidos y álcalis) sin necesidad de aceptar el modelo atómico (Bensaude-Vincent 1999).

o farmacéutico tradicional. Aunque todavía no era posible obtener un título universitario explícito en química, y la medicina y la farmacia continuaron siendo las rutas dominantes en el campo, quienes lo tomaron como un curso de servicio en las escuelas de medicina y academias de minería a menudo tenían un sentido explícito de su propia especialización. (Jensen 2003, pp. 65–66)

Con la separación entre átomos y moléculas, y la identificación de estas últimas como la entidad química por excelencia (una vez que están compuestas por átomos enlazados), el surgimiento de la química orgánica como una subdisciplina con prácticas propias y el crecimiento extraordinario de la industria química sostenida en una estrecha relación entre la investigación “pura” y la “aplicada”, se llevó a cabo la primera transformación de la química, identificada por otros historiadores como la “Revolución silenciosa”: “Uso este término aquí (‘Revolución silenciosa’) para significar una serie de cambios durante la década de 1850 que se centraron tanto en las reformas de los pesos atómicos y las fórmulas moleculares, como en la subdisciplina de la química orgánica” (Rocke 1993, p. 90).

La síntesis de la urea, realizada por F. Wöhler en 1828, marca el inicio de esta transformación, acompañada posteriormente por el modelo de los tipos de C.F. Gerhardt (que a diferencia del electroquímico permitía explicar las reacciones entre los diferentes compuestos del carbono), y la distinción entre átomos y moléculas, convocaron a la comunidad de practicantes de la química a reunirse en Karlsruhe en septiembre de 1860, en el Primer Congreso Internacional de Químicos. El encuentro fue citado por algunas personalidades de renombre de la época que anhelaban reformar y potenciar el lenguaje de la química. El propósito no se logró,³⁰ pero después de la reunión algunos participantes compartieron diferentes “ejemplares” que se materializaron en libros de texto. Además, dos de esos “ejemplares” estaban relacionados con instrumentos analíticos: el kaliapparat, desarrollado por J. Liebig para la determinación de las fórmulas mínimas de las sustancias orgánicas, y el polarímetro, utilizado por L. Pasteur³¹ para caracterizar la actividad óptica hasta entonces únicamente identificada en isómeros moleculares orgánicos. Se desarrollaron diferentes modelos para explicar nuevas reacciones y nuevas propiedades químicas como la aromaticidad o la valencia.

³⁰ Lo que sucedió hasta la Segunda Transformación Química, en 1919, cuando químicos industriales y académicos fundaron en París, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada que acaba de cumplir su centenario.

³¹ Stokes (1997) identifica su cuadrante de investigación básica y aplicada con el trabajo de Pasteur.

D.I. Mendeleev, otro asistente a Karlsruhe, utilizando el modelo de valencia y pesos atómicos, construyó su famosa tabla periódica.³² Por su parte, M. Berthelot enunció su también famosa frase, “la química crea su objeto”. Ese objeto es la sustancia química creada a través de las reacciones de síntesis. Mientras tanto, los avances industriales, a partir del descubrimiento del colorante malva por W.H. Perkin, se aceleraban particularmente en Alemania. Por otra parte, en Inglaterra se publicó la *Alkali Act* para frenar las descargas del ácido clorhídrico en la atmósfera y en Basilea se promulgó la ley de fabricación de anilina que, ante la contaminación de las fuentes de agua de la ciudad, reglamentaba su producción. La responsabilidad empezaba a concretarse.

El modelo universitario alemán, que relacionaba estrechamente la investigación “pura” con la “aplicada”, fue copiado por otros países de Europa (Meyer-Thurow 1982). Se producía todo lo que podía ser sintetizado y comercializado. En Suecia, A. Nobel inventó la dinamita cuyas controladas explosiones cambiaron la faz de la Tierra.

Como lo indicó Pickstone:

La tecnociencia es una forma de saber y una forma de hacer [...] La tecnociencia sintética aparece cuando académicos e industriales trabajan en sistemas modelo que son filosófica y comercialmente interesantes, y cuando se desarrollan experimentos/invencciones sintéticos en redes de universidades, instituciones de investigación y laboratorios de investigación industrial. (2000, pp.163–164)

En 1874, el químico holandés J.H. Vant’t Hoff y el francés J. Le Bel explicaron la isomería óptica de las moléculas, a partir de la asimetría del átomo de carbono en dichas moléculas orgánicas.³³ Así, al finalizar la primera transformación química se reconoció a las moléculas como un conglomerado espacial atómico específico con propiedades particulares y el final del químico *amateur*, para dar paso al profesional.

Hacia finales del siglo XIX, las sociedades europeas primero, posteriormente las del resto del mundo, fueron inundadas con nuevos

³² Conocida internacionalmente como un “ejemplar” a través de su libro de texto *Principios de Química* publicado en 1869.

³³ En la actualidad aún no hay explicación de la quiralidad molecular a partir de la mecánica cuántica. Pero, como lo indican Lombardi y Pérez Ransanz: “El pluralismo ontológico que aquí proponemos permite dejar atrás este tipo de prejuicios. Las entidades, propiedades y relaciones químicas —como orbital o molécula, o como quiralidad, enlace químico o estructura molecular— no necesitan remitir a ningún ítem de la física para adquirir legitimidad ontológica” (2012, p. 205).

colorantes, materiales y medicamentos provenientes de las poderosas industrias químicas alemanas (Meyer-Thurrow 1982; Aftalion 2001). En Alemania el número de universidades con institutos y departamentos de química, con sus respectivos profesores, investigadores y alumnos, creció de manera considerable. La química “se convirtió en la ciencia más prominente en el siglo XIX y en el prototipo de una ‘profesión científica’ al servicio de la medicina, la industria y la agricultura, y académicamente independiente de ellas” (Pickstone 2000, p. 127).

Es posible interpretar el resto de la historia de la química a través de otras tres transformaciones, como se muestra en la siguiente tabla.

<i>Transformación</i>	<i>Nuevas subdisciplinas</i>	<i>Nuevas entidades</i>	<i>Nombre alternativo</i>	<i>Referencia</i>
Primera	Química orgánica	Molécula	Revolución silenciosa	Rocke 1993
Segunda	Físico química/ Químico física	Electrón, núcleo atómico, isótopo, ión, radical libre	Revolución del número atómico	Wray 2018
Tercera	Química instrumental, Química cuántica, Biología molecular	Espín	Revolución instrumental	Morris 2002
Cuarta	Química organometálica, química verde, química supramolecular, nanoquímica, femtoquímica	Nano-partícula	Regímen histórico organometálico	Llanos <i>et al.</i> 2019

Tabla. Transformaciones de la química a través del surgimiento de sus subdisciplinas e incorporaciones acumulativas de nuevas entidades generalmente explícitas en los renovados y robustos “ejemplares”.

Conclusión

A partir de prácticas artesanales milenarias basadas en el análisis y la síntesis, la química se consolidó como disciplina universitaria independiente utilizando prácticas industriales bajo patente, entre 1732 y 1818. Su entidad característica fue el átomo, que desde entonces forma parte de los diferentes “ejemplares” presentes en sus libros de texto. Posteriormente, la química, agregó y acumuló diversas y nuevas entidades a sus prácticas, lo que permitió una continuidad ontológica. Desde entonces han tenido lugar cuatro transformaciones identificadas por la forma de conocer-trabajar denominada tecnociencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Aftalion, F., 2001, *A History of the International Chemical Industry*, Chemical Heritage Press, Filadelfia.
- Arabatzis, T., 2008, “Experimenting on (and with) Hidden Entities: The Inextricability of Representation and Intervention”, en U. Feest, H-J. Rheinberger, J. Schickore y F. Steinle (eds.), *Generating Experimental Knowledge*, Max Plank Institute for the History of Science, Berlín, pp. 7–17.
- Arabatzis, T., 2006, *Representing Electrons. A Biographical Approach to Theoretical Entities*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Bachelard, G., 1993, *La filosofía del no: ensayo de una filosofía del nuevo espíritu científico*, Amorrortu, Buenos Aires.
- Bachelard, G., 1976, *Materialismo racional*, Paidós, Buenos Aires.
- Baird, D., 2004, *Thing Knowledge. A Philosophy of Scientific Instruments*, University of California Press, Berkeley.
- Bensaude-Vincent B., 1999, “Atomism and Positivism: A Legend about French Chemistry”, *Annals of Science*, vol. 56, no. 1, pp. 81–94.
- Bensaude-Vincent B. y J. Simon, 2008, *Chemistry. The Impure Science*, Imperial College Press, Londres.
- Bensaude-Vincent, B. e I. Stengers, 1997, *Historia de la química*, Addison-Wesley/UAM, Madrid.
- Bud, R. y D.J. Warner, 1998, *Instruments of Science. An Historical Encyclopedia*, The Science Museum, Londres y The National Museum of American History, Smithsonian Institution, Londres y Nueva York.
- Cerruti, L., 1998, “Chemicals as Instruments. A Language Game”, *HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry*, vol. 4, pp. 1–18.
- Chalmers, A., 2009, *The Scientist's Atom and the Philosopher's Stone. How Science Succeeded and Philosophy Failed to Gain Knowledge of Atoms*, Springer, Dordrecht.

- Chamizo, J.A., 2019, "About Continuity and Rupture in the History of Chemistry: The Fourth Chemical Revolution (1945–1966)", *Foundations of Chemistry*, vol. 21, pp. 11–29.
- Chamizo J.A., 2017, "The Fifth Chemical Revolution: 1973–1999", *Foundations of Chemistry*, vol. 19, pp. 157–179.
- Chamizo J.A., 2014, "The Role of Instruments in Three Chemical' Revolutions", *Science & Education*, vol. 23, pp. 955–982.
- Chamizo, J.A., 2013, "Technochemistry: One of the Chemist' Way of Knowing", *Foundations of Chemistry*, vol. 15, pp. 157–170.
- Chang, H., 2011, "The Persistence of Epistemic Objects through Scientific Change", *Erkenntnis*, vol. 75, pp. 413–429.
- Chang, H., 2004, *Inventing Temperature. Measurement and Scientific Progress*, Oxford University Press, Oxford.
- Clow, A. y N.L. Clow, 1992, *The Chemical Revolution. A Contribution to Social Technology*, Gordon and Breach Science Publishers, Filadelfia.
- Crosland, M.P., 2005, "Early Laboratories c. 1600–c. 1800 and the Location of Experimental Science", *Annals of Science*, vol. 62, pp. 233–253.
- Crosland, M.P., 1978, *Historical Studies in the Language of Chemistry*, Dover, Nueva York.
- Dirac, P.A.M., 1929, "Quantum Mechanics of Many Electron Systems", *Proceedings of the Royal Society of London A*123, pp. 714–733.
- Echeverría, J., 2003, *Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX*, Cátedra, Madrid.
- Elwick, J., 2012, "Layered History: Styles of Reasoning as Stratified Conditions of Possibility", *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 43, pp. 619–627.
- Galison, P.L., 1997, "Material Culture, Theoretical Culture and Delocalization", en J. Krige y D. Pestre (eds.), *Science in the Twentieth Century*, Harwood Academic Publishers, Singapur.
- Gibbons, M., C. Limoges, H. Nowotny, S. Schwartzmann, P. Scott y M. Trow, 1994, *The New Production of Knowledge. The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*, Sage, Londres.
- Good, R.J., 1999, "Why are Chemists 'Turned off' by Philosophy of Science?", *Foundations of Chemistry*, vol. 1, pp. 65–95.
- Hacking, I., 2013, *Revoluciones científicas*, FCE, México.
- Hacking, I. (comp.), 1985, *Revoluciones científicas*, FCE, México.
- Hacking, I., 1983, *Representing and Intervening. Introductory Topics in the Philosophy of Natural Sciences*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Hendry, R., 2019, "Emergence in Chemistry: Substance and Structure", en S. Gibb, R. Hendry y T. Lancaster (eds.), *Routledge Handbook on Emergence*, Routledge, Londres, pp. 339–351.
- Holmes, F., 1989, *Eighteenth-Century Chemistry as an Investigative Enterprise*, University of California Press, Berkeley.

- Holmes, F. y T.H. Levere (eds.), 2000, *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, The MIT Press, Cambridge.
- Homburg, E., 2009, “Química e industria, 1500–2000”, *Anales de Química*, vol. 105, pp. 58–66.
- Humphreys, P., 2011, “Computational Science and its Effects”, en M. Carrier y A. Nordmann (eds.), *Science in the Context of Application*, Springer, Dordrecht, pp. 131–142.
- Ihde, A.J., 1984, *The Development of Modern Chemistry*, Dover, Nueva York.
- Jensen, W.B., 2003, *Philosophers of Fire. An Illustrated Survey of 600 Years of Chemical History for Students of Chemistry*, University of Cincinnati, Cincinnati.
- Jensen, W.B., 1998, “One Chemical Revolution or Three?”, *Journal of Chemical Education*, vol. 75, pp. 961–969.
- Jensen, W.B., 1980, *The Lewis Acid Base Concepts. An Overview*, Wiley, Nueva York.
- Jorpes, J.E., 1966, *Jac. Berzelius. His life and Work*, Almqvist & Wiksell, Estocolmo.
- Kim, Mi Gyung, 2014, “Stabilizing Chemical Reality: The Analytic-Synthetic Ideal of Chemical Species”, *HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry*, vol. 20, pp. 117–139.
- Klein, U., 2012, “Objects of Inquiry in Classical Chemistry: Material Substances”, *Foundations of Chemistry*, vol. 14, pp. 7–23.
- Klein, U. y E.C. Spary, 2010, *Materials and Expertise in Early Modern Europe. Between Market and Laboratory*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Knight, D., 1992, *Ideas in Chemistry. A History of the Science*, Rutgers University Press, New Brunswick.
- 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, Cambridge.
- Kuhn, T., 1982, *La tensión esencial*, FCE, México.
- Kuhn, T., 1971, *La estructura de las revoluciones científicas*, FCE, México.
- Latour, B., 1992, *Ciencia en acción*, Labor, Barcelona.
- Laudan, R. (ed.), 1984, *The Nature of Technological Knowledge. Are Models of Scientific Change Relevant?*, Springer, Dordrecht.
- Li, C., 1948, *The Chemical Arts of Old China*, JCE Press, Easton.
- Llanos, E.J., W. Leal, D.H. Luu, J. Jost, P.F. Stadler y G. Restrepo, 2019, “Exploration of the Chemical Space and its Three Historical Regimes”, *PNAS*, vol. 116, pp. 12660–12665.
- Llored, J.-P., 2013, *The Philosophy of Chemistry. Practices, Methodologies, and Concepts*, Cambridge Scholars, Newcastle.
- Lombardi, O., 2015, “The Ontological Autonomy of the Chemical World: Facing the Criticisms”, en E. Scerri y L. McIntyre (eds.), *Philosophy of Chemistry*, Springer, Dordrecht, pp. 23–38.

- Lombardi O. y M. Labarca, 2011, “On the Autonomous Existence of Chemical Entities”, *Current Physical Chemistry*, vol. 1, pp. 69–75.
- Lombardi O. y A.R. Pérez Ransanz, 2012, *Los múltiples mundos de la ciencia*, UNAM-Siglo XXI, México.
- Martínez, S.F. y X. Huang, 2015, *Hacia una filosofía de la ciencia centrada en prácticas*, Bonilla Artigas/Instituto de Investigaciones Filosóficas-UNAM, México.
- Martínez, J.C. y M. Córdoba, 2016, “El problema de las clases naturales en química: algunas dificultades para el microestructuralismo”, *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía*, vol. 48, no. 144, pp. 89–117.
- McEvoy, J., 2010, *The Historiography of the Chemical Revolution: Patterns of Interpretation in the History of Science*, Pickering & Chatto, Londres.
- McEvoy, J., 1998, “Continuity and Discontinuity”, *Osiris 2nd series*, vol. 4, pp. 195–213.
- Meyer-Thurow, G., 1982, “The Industrialization of Invention: A Case Study from the German Chemical Industry”, *Isis*, vol. 73, pp. 363–381.
- Morris, P.J.T. (ed.), 2002, *From Classical to Modern Chemistry. The Instrumental Revolution*, RSC-Science Museum-CHF, Londres.
- Nickles, T., 2012, “Some Puzzles about Kuhn’s Exemplars”, en V. Kindi y T. Arabatzis (eds.), *Kuhn’s The Structure of Scientific Revolutions Revisited*, Routledge, Nueva York, pp. 112–133.
- Niiniluoto, I., 1993, “The Aim and Structure of Applied Research”, *Erkenntnis*, vol. 38, pp. 1–21.
- Nordmann, A., H. Radder y G. Schiemann, 2011, *Science Transformed? Debating on an Epochal Break*, Pittsburg University Press, Pittsburg.
- Olivé, L., 2008, *El bien, el mal y la razón. Facetas de la ciencia y la tecnología*, SPCF–UNAM/Paidós, México.
- Pickering, A., 1995, *The Mangle of Practices: Time, Agency and Science*, Chicago University Press, Chicago.
- Pickstone, J., 2000, *Ways of Knowing*, Manchester University Press, Manchester.
- Polanyi, M., 1966, *The Tacit Dimension*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Powers, J.C., 2012, *Inventing Chemistry. Herman Boerhaave and the Reform of the Chemical Arts*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Priesner, C. y K. Figala (eds.), 2001, *Alquimia. Enciclopedia de una ciencia hermética*, Herder, Barcelona.
- Rheinberger, H.J., 2014, “Partículas citoplásmicas. Trayectoria de un objeto científico”, en L. Daston (ed.), *Biografías de los objetos científicos*, La Cifra, México, pp. 182–199.
- Rocke A.J., 1993, “The Quiet Revolution of the 1850s: Social and Empirical Sources of Scientific Theory”, en S.H. Mauskopf (ed.), *Chemical Sciences in the Modern World*, University of Pennsylvania Press, Filadelfia, pp. 87–118.

- Roll-Hansen, N., 2017, "A Historical Perspective on the Distinction between Basic and Applied Science", *Journal for General Philosophy of Science*, vol. 48, pp. 535–551.
- Ruthenberg K. y A. Mets, 2020, "Chemistry is Pluralistic", *Foundations of Chemistry*, vol. 22, pp. 403–419.
- Schummer, J., 2021, *Ethics of Chemistry. From Poison Gas to Climate Change*, World Scientific Publishing, Singapur.
- Schummer, J., 2010, "The Philosophy of Chemistry", en F. Allhoff (ed.), *Philosophies of the Sciences*, Blackwell-Wiley, Chichester, pp. 163–183.
- Schummer, J., 2001, "Ethics of Chemical Synthesis", *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry*, vol. 7, pp. 103–124.
- Schweber, S.S., 2016, "On Kuhnian and Hacking-Type Revolutions", en A. Blum, K. Gavroglu, C. Joas y J. Renn (eds.), *Shifting Paradigms: Thomas S. Kuhn and the History of Science*, Max Planck Institute for the History of Science, Berlín, pp. 337–346.
- Shapin, S. y S. Schaffer, 2011, *Leviathan and the Air-Pump. Hobbes, Boyle and the Experimental Life*, Princeton University Press, Princeton.
- Siegfried, R., 1988, "The Chemical Revolution in the History of Chemistry", *Osiris*, vol. 4, pp. 34–50.
- Soler, L., S. Zwart, M. Lynch y V. Israel-Jost (eds.), 2014, *Science after the Practice Turn in the Philosophy, History, and Social Studies of Science*, Routledge, Nueva York.
- Stokes, D., 1997, *Pasteur's Quadrant. Basic Science and Technological Innovation*, Brooking Institution Press, Washington.
- Suckling, C.J., K.E. Suckling y C.W. Suckling, 1978, *Chemistry through Models. Concepts and Applications of Modelling in Chemical Science, Technology and Industry*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Tobin, A. y C. Ambrosio (eds.), 2016, *Theory Choice in the History of Chemical Practices*, Springer, Switzerland.
- Toulmin, S., 1972, *Human Understanding*, Princeton University Press, Princeton.
- Van Brakel, J., 2012, "Substances: The Ontology of Chemistry", en A.I. Woody, R.F. Hendry y P. Needham (eds.), *Philosophy of Chemistry*, Elsevier, Oxford, pp. 171–209.
- Weinberg, S., 1976, "The Forces of Nature", *Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences*, vol. 29, pp. 13–29.
- Woody, A.I., 2003, "On Explanatory Practice and Disciplinary Identity", en J.E. Earley Sr. (ed.), *Chemical Explanation: Characteristics, Development, Autonomy*, Nueva York Academy of Sciences, Nueva York, vol. 988, no. 1, pp. 22–29.
- Wray, K.W., 2018, "The Atomic Number Revolution in Chemistry: A Kuhnian Analysis", *Foundations of Chemistry*, vol. 20, pp. 209–217.

Recibido el 25 de septiembre de 2022; aceptado el 9 de enero de 2023.