



La noción de “modelo teórico” en la enseñanza de la química: representación y función del sistema periódico

The notion of “theoretical model” in chemistry education: representation and role of the periodic system

Yeferin Ariza¹

Recepción: 27/12/21
Aceptación: 02/08/22

Resumen

Este trabajo aborda desde el punto de vista semanticista uno de los temas estructurantes de la química: la tabla periódica. El anclaje a temáticas estructurantes de la química mediante un abordaje actual de la filosofía de la ciencia, podría introducir, en la enseñanza de la química y la formación de profesores de química, reflexiones metateóricas actuales, renovadas y potentes para comprender la naturaleza de la química (como actividad) y de sus teorías.

Palabras clave

Modelo científico, tabla periódica, sistema periódico, enseñanza de la química, concepción semántica.

Abstract

This paper approaches from a semanticist point of view one of the structuring themes of chemistry: the periodic table. The anchoring to the structuring themes of chemistry through a current approach to the philosophy of science could introduce, in the teaching of chemistry and the training of chemistry teachers, current, renewed and powerful metatheoretical reflections to understand the nature of chemistry (as an activity) and its theories.

Keywords

Scientific model, periodic table, periodic system, chemistry teaching, semantic conception.

¹ Departamento de Biología y Química, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Católica del Maule, Chile.

Introducción

En la didáctica de las ciencias contemporánea se suele reconocer que, para la enseñanza de las disciplinas empíricas o experimentales, no solo hace falta conocer dichas ciencias (conocimiento disciplinar); se hace necesario saber cómo enseñarlas (conocimiento didáctico), cómo es su estructura, su naturaleza y cómo se han construido a través del tiempo (conocimiento metateórico [p.e., historia de la ciencia, filosofía de la ciencia y sociología de la ciencia]).

Éste reconocimiento de la necesidad de incluir (principalmente) a la filosofía de la ciencia en las líneas de investigación de la didáctica de las ciencias debido el hecho de que esta vinculación fortalece la enseñanza de las ciencias y la formación de profesores de ciencias (Matthews, 2020), se ha convertido en el fundamento de los estudios de una de las áreas de trabajo de mayor producción en esta disciplina: el área HPS —de *History and Philosophy of Science and Science Teaching*— (Matthews, 2020, 2018, 1994).

En este trabajo se presentan algunas reflexiones en torno a la necesidad de incluir tópicos de la filosofía de la ciencia a la didáctica de la ciencia. En particular, se propone que la didáctica de la química se verá enriquecida al establecer vínculos con la concepción semántica de las teorías científicas (en consonancia con Adúriz-Bravo, 2013, 2019; Ariza et al., 2016) y la filosofía de la química (en consonancia con e.g. Labarca y Lombardi, 2007; Erduran, 2001; Erduran et al., 2003). La puesta en escena de dichos referentes de carácter “meta” se realiza mediante un abordaje modelo-teórico de uno de los temas estructurantes de la química: la tabla periódica. El anclaje a temáticas estructurantes de la química mediante una combinación sinérgica metateórica como ésta, podría introducir, en la enseñanza de la química y la formación de profesores de química, reflexiones metateóricas actuales, renovadas y potentes para comprender la naturaleza de la química (como actividad) y de sus teorías.

Modelos en la enseñanza de la química

En la enseñanza de las ciencias en general, así como en la enseñanza de la química en particular, es fundamental incluir (de manera explícita o implícita) una componente metacientífica, sea para una presentación adecuada de las construcciones científicas (p.e., las teorías) como para el fomento de imágenes de la ciencia adecuadas. Sin embargo, la decisión acerca de qué fundamentos serían adecuados para el desarrollo de dichas competencias, aún está en discusión. Al respecto, hoy en día algunas perspectivas sobre la ciencia se han venido vinculando tímidamente, y vienen ganando espacios de análisis y promoviendo reflexiones cada vez más acentuadas alrededor del uso y reflexión sobre los modelos y la modelización en ciencias y el modo en el que se vinculan (dichos constructos) con la formación de profesores de ciencias, la educación científica y el currículo de ciencias naturales (Adúriz-Bravo, 2013, 2020; Ariza et al., 2011; Ariza et al., 2016; Gilbert et al., 2016a, 2016b; Gouvea et al., 2017; Izquierdo-Aymerich et al., 2003), dando lugar a una didáctica de las ciencias conocida más recientemente como *didáctica modelo-teórica de las ciencias* (Adúriz-Bravo, 2009, 2013, 2020; Ariza et al., 2016). Sería posible afirmar que dentro de los acuerdos existentes algunos autores (Adúriz-Bravo, 2020; Chamizo, 2010, 2013; Chiu et al., 2019; Gilbert et al., 2016a, 2016b; Izquierdo-Aymerich et al., 2003; Justi, 2006) han preferido una conceptualización modelo-teórica tomada de la epistemología¹ semántica actual.

¹ En este documento se tomará el término “epistemología” como sinónimo de “filosofía de la ciencia”, en el

La introducción de la noción de "modelo" en la enseñanza de las ciencias (cf. Ariza et al., 2016; Adúriz-Bravo, 2013, 2020; Chamizo, 2010, 2013; Chiu et al., 2019; Develaki, 2007; Boulter et al., 2000; Izquierdo-Aymerich et al., 2003; Justi, 2006; Khine et al., 2011; Koponen, 2007; Oh; Oh, 2011; Passmore et al., 2014; Sensevy *et al.*, 2008) emerge de la aceptación de que el papel primordial de los modelos científicos, puede ser trasladado y articulado al ámbito educativo para ser el fundamento de la llamada "ciencia escolar" (Izquierdo-Aymerich *et al.*, 1999). En este sentido, las competencias epitome de la actividad científica en las aulas de clase, estarían relacionadas con construir modelos y a través de ellos explicar, aplicar, predecir y ejemplificar fenómenos: serían ellas, actividades implícitas del proceso de modelización (Develaki, 2017) que representan de manera aproximada *lo que se hace* en la actividad científica (Justi, 2006; Meng-Fei et al., 2015).

Al interior de la didáctica de las ciencias, sea han recuperados análisis de diversos enfoques semanticistas (algunos mencionados más arriba), pero es, sin duda, la propuesta de Ronald Giere (1988) a la que se le ha prestado mayor atención (Izquierdo-Aymerich et al., 2021). Una de las posibles razones se debe a la sencillez de su propuesta y a que su noción de "modelo" permite un tratamiento de mayor "maleabilidad" en contextos didácticos. Si bien se han venido generando acercamientos desde otros enfoques semanticistas como el *estructuralismo metateórico* (cf. Ariza et al., 2020; Ariza, 2021), la propuesta de Ronald Giere se mantiene como "la predilecta" por la investigación didáctica contemporánea (Izquierdo-Aymerich et al., 2021).

En las siguientes secciones se revisan algunas de las nociones de modelos y modelización semanticista (siguiendo de cerca los trabajos de Agustín Adúriz-Bravo, 2012 y 2013), y luego contextualizo dichas nociones en un análisis sobre el modelo de periodicidad química.

Modelos en la concepción semántica actual

Los análisis *metacientíficos* más recientes desarrollados desde hace aproximadamente cinco décadas han llevado a entender "la ciencia" de formas cada vez más aproximadas a la práctica científica real (Adúriz-Bravo et al., 2014). Una de las razones principales de esta "buena aproximación" es la actual preferencia en la filosofía de la ciencia por los análisis *semanticistas* o *modeloteóricos*, por sobre el abordaje axiomático o basado en leyes (Lorenzano, 2003, 2011; Díez y Moulines, 2008), promulgado en las escuelas clásicas de énfasis lógico-positivista. La unidad de análisis semántico sobre las teorías es, por tanto, el concepto de "modelo", el cual hoy en día se considera primordial para entender *la ciencia*, principalmente porque el razonamiento a través de los modelos es la base de casi todas las prácticas científicas (Develaki, 2017).

Si bien es posible encontrar una variedad de análisis metateóricos alrededor de los modelos y la modelización, es la concepción semanticista de las teorías (Ariza et al., 2016, Lorenzano, 2011; Moulines, 2008; Chakravartty, 2001) la que ha estudiado extensamente el constructo de "modelo" generando análisis sofisticados (French et al., 1999; Frigg 2006), y suficientemente flexibles para su inserción en las investigaciones didácticas contemporáneas (Adúriz-Bravo, 2013, Gouvea et al., 2017; Gutierrez, 2014; Oh et al., 2011; Passmore et al., 2014). Los enfoques semanticistas (cf. Ariza et al., 2016; Diederich, 1996)

sentido de una reflexión filosófica sobre el conocimiento y la actividad científica.

de Ronald Giere (1979, 1988, 1985)², Frederick Suppe (1974, 1989, 1998), Bas C. van Fraassen (1976, 1980, 1987, 1989) o el estructuralismo metateórico (cf. Balzer, Moulines et al., 1987; Sneed, 1971; Stegmüller, 1973), han desarrollado análisis pormenorizados sobre los modelos científicos (Chakravartty 2001) principalmente porque, desde dicha concepción semántica, la identificación y elucidación de las teorías se realiza de forma más precisa y eficiente al estudiar sus modelos.

Aunque estos enfoques han llegado a construir marcos metateóricos con (algunas veces) radicales discordancias entre ellos (cf. Ariza et al., 2016; Díez y Moulines, 2008), coinciden en que no hay una relación directa (p.e., de correspondencia) entre lo que expresamos del mundo (afirmaciones legaliformes) y sus fenómenos; los modelos se encontrarían en el medio de esa relación. Por esta “dualidad” que hace a los modelos parcialmente dependientes de enunciados lingüísticos o de resultados experimentales (Koponen, 2007) y no reducibles ni a teoría ni a empiria (Justi, 2006), es que pueden trabajar entre el “qué se explica” y el “cómo se lo explica”.³

Por tanto, para la concepción semántica de las teorías, los usos de los conceptos relativos a los modelos son más fructíferos para el análisis filosófico de las teorías científicas y su naturaleza y función, que los conceptos relativos a las afirmaciones o proposiciones (Ariza et al., 2016). El hecho de que esta “familia semanticista” se centre en los análisis sobre los modelos, por encima del análisis sobre las formulaciones lingüísticas, es lo que les confiere el carácter de “semántico” asociado al significado, sentido y referencia, en contraste con el carácter “sintáctico”, asociado a las reglas de organización o relaciones entre signos, de la llamada concepción heredada, en la cual, las teorías científicas se entendían como un conjunto de frases u oraciones (o axiomas) y sus consecuencias lógicas. Es la clase (conjunto, población, colección o familia) de modelos el componente fundamental para la identidad de las teorías: presentar/identificar una teoría científica es presentar/identificar la clase, conjunto, familia o población de sus modelos característicos.

Con lo cual, para los integrantes de la *familia semanticista* (Ariza et al., 2016; Diederich, 1996; Lorenzano, 2003, 2011) los modelos se formulan para constituir estructuras que son *similares o análogos* (Giere, 1988) a aquello de lo que pretende ser modelo. Así, la *clase de modelos* de una teoría “pretende dar cuenta o representar, de manera más o menos idealizada o aproximada, ciertos datos, fenómenos o experiencias correspondientes a determinado ámbito de la realidad” (Lorenzano, 2013, p. 148). Esta intención de “representar adecuadamente la realidad” se hace explícita mediante un acto lingüístico: la llamada “afirmación empírica” (Balzer, Moulines et al., 1987). Este acto lingüístico afirma que entre los sistemas empíricos o trozos de la realidad que queremos dar cuenta y los modelos existe una relación que puede evaluarse empíricamente. Es, sobre dichas afirmaciones que recae el peso de la contrastación. En este sentido, las teorías se evalúan derivativamente mediante la relación (establecida usando dichas afirmaciones empíricas) explicitada entre los modelos y los sistemas empíricos.

Por lo tanto, en la concepción semántica, tenemos tres componentes que son básicos para la identificación de una teoría científica (aunque en cada enfoque semántico podrían

² Aun cuando es usual que el enfoque de Ronald Giere se incluya dentro de la concepción semántica de las teorías, algunos autores excluyen dicha propuesta al especificar a la noción más general de “modelo” como una estructura de un tipo específico (Frigg y Hartmann, 2020; Frigg y Nguyen, 2020).

³ Otra forma de explicitar esta relación es viendo a los modelos como mediadores entre esos dos campos: la teoría y la empírica (cf. Greca y Moreira, 2000; Lombardi, 2010; Morrison y Morgan, 1999).

ser algunos más relevantes que otros [cf., Ariza et al., 2016]): 1. la clase, conjunto, población, colección o familia de modelos; 2. los sistemas empíricos, datos, fenómenos, experiencias o partes del “mundo real” que las teorías pretenden dar cuenta, interpretar, explicar y predecir; y 3. la relación que se pretende mantener entre los sistemas y modelos empíricos.

Así, aplicar, explicar, ejemplificar y construir modelos son actividades implícitas del proceso de modelización que representan de manera aproximada *lo que se hace* en la actividad científica. Es decir, el proceso de modelización incluye la creación original de modelos científicos, la argumentación y explicación de fenómenos mediante la relación de subsunción (Balzer, Moulines et al., 1987) o similaridad (Giere, 1988) entre un fenómeno y un modelo teórico disponible, la refinación y ajuste de los modelos disponibles por la aparición de nueva evidencia (Giere, 1985) o desarrollos tecnológicos novedosos, la identificación de analogías entre fenómenos ya explicados modeloteóricamente, con otros fenómenos emergentes/nuevos y, “el ‘ejercicio’ intelectual de aplicar modelos ya existentes para explicar hechos ya estudiados en un entorno de enseñanza y formación” (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009, p. 46).

Las funciones de los modelos científicos: los sentidos “de” y “para”

Los modelos científicos cumplen una variedad de funciones, apegarse a sólo una de ellas trae consigo problemas de comunicación en cuanto a su alcance y función dentro de la práctica científica. Los modelos científicos son, por tanto, modelos “de algo” como modelos “para algo”. Los distintos sentidos que adquieren estas preposiciones darían indicios acerca del rol central que tienen los modelos científicos en la actividad científica, en los procesos de creación, evaluación y dinámica de modelos científicos o escolares (Adúriz-Bravo et al., 2014).

Los modelos científicos pueden funcionar a modo de fuente o materia prima para la construcción de otros tipos de representación. Cuando así lo son (fuente o materia prima), los modelos pueden brindar guías de trabajo u orientaciones para la construcción de nuevas representaciones. Pero a su vez, los modelos científicos pueden funcionar a modo de representación de ciertas parcelas de la realidad: una representación simbólica “del mundo” (Adúriz-Bravo, 2012).

Un modelo científico es (algo) más que un *modelo-de*, es un *modelo-a-partir-de* (Adúriz-Bravo et al., 2014).⁴ Estas características que también son identificables en el uso cotidiano del término “modelo” se hayan más o menos implícitas en la actividad científica tanto erudita como la escolar. Por otro lado, los modelos sirven para cumplir un objetivo, exigencia o pretensión. Es decir, son modelos “para algo”. La preposición “para” puede adquirir más de un sentido (Adúriz-Bravo, 2012, 2013):

- “Para” en el sentido *funcional*. Surge debido a que mediante los modelos los científicos intentan responder a una serie de pretensiones epistémicas que hacen a su actividad, por ejemplo: describir, explicar, entender, predecir, intervenir, transformar o comunicar la realidad que les es objeto de estudio (cf. Oh et al., 2011; Knuuttila, 2011; Boon et al., 2009).

⁴En la concepción semántica de las teorías, la noción de *modelos-output* podría ser sintetizada, por ejemplo, en la noción de “modelo de datos” (*data models*): estructuras matemáticas que representan los fenómenos (van Fraassen 2008: 240).

- “Para” en el sentido *pragmático*. En el proceso de construcción de modelos se capturan *ciertos* aspectos de la realidad que se estudia, aquellos (aspectos) que los científicos tienen interés en estudiar. Las formulaciones de las preguntas que buscan responder los modelos, la elección de dichos aspectos (eso y no otros) de la realidad e incluso las decisiones metodológicas que siguen a la búsqueda de “respuestas posibles” a dichas preguntas iniciales, están insertas en un momento histórico y espacio cultural particular, y, por tanto, atravesadas por ideas, valores, intenciones, visiones de mundo, compromisos éticos y políticos, etc. Este sentido es recuperado en la escuela semanticista actual, por ejemplo, con la noción de *aplicación intencional* (cf. Balzer, Moulines et al., 1987).
- “Para” en el sentido *paradigmático* hace referencia a la caracterización del modelo como “ejemplar” (una entidad a ser imitada) o como *diseño* (un esquema simbólico para ser efectuado) (Adúriz-Bravo, 2012, 2013). La escuela semanticista recupera también esta caracterización de modelo paradigmático de la llamada “nueva filosofía de la ciencia” de la segunda mitad del siglo XX (principalmente, de Thomas Kuhn [1970]), acudiendo a la noción de *aplicación paradigmática* (cf. Balzer, Moulines et al., 1987).

El sistema periódico y su representación modelista

La representación clásica del sistema periódico

La tabla periódica de los elementos puede considerarse como el mayor ícono de la química (Scerri, 2019). Propuesta por Dimitriv Mendeléiev en 1869, la cual presentaba ocho grupos, 12 filas y 66 elementos, incluía en su formulación incluso la predicción de varios elementos hasta ese momento no identificados (p.e., Germanio, Galio y Escandio). La tabla periódica muestra que ciertas propiedades de las sustancias químicas se repiten después de intervalos regulares. En la tabla moderna de los elementos, cada uno está ubicado de acuerdo con dos ejes, uno horizontal cuyo criterio lo constituye la configuración electrónica, y uno vertical cuyo criterio lo constituye el número atómico. En una versión inicial la ley periódica podría enunciarse de la siguiente manera: “Las propiedades físicas y químicas de los elementos varían periódicamente al aumentar la masa atómica”

Algunos de los precursores de la representación *mendeleeviana* fueron William Prout (1815) y su hipótesis de que los elementos están compuestos por múltiplos de hidrógeno, y Johann Döbereiner (1817) mediante su noción de “triadas atómicas”. Estas primeras aproximaciones permitían asociar ciertas propiedades químicas con datos numéricos y la pregunta que vendría a resolver Mendeléiev: ¿Existe un orden numérico subyacente?

En la actualidad, dicha pregunta se responde explicitando, en las aulas de clases, la ley periódica, refinada por Moseley en 1913 usando valores experimentales de la carga nuclear mediante rayos x: “Las propiedades físicas y químicas de los elementos son una función periódica de su número atómico”. Este enunciado podría entenderse como la enunciación lingüística o legaliforme que describe la relación entre los elementos químicos y a la cual los profesores le otorgan un papel fundamental a la hora de explicar las relaciones entre los elementos químicos (Brito et al., 2006).

Lo mencionado hasta aquí, incluyendo la presentación de la tabla periódica, es lo que usualmente suele aparecer en las clases de ciencias, reduciendo el “Modelo de periodicidad química” a la enunciación lingüística y la presentación gráfica. En lo que sigue se incorporan algunos de los aspectos mencionados anteriormente relacionados con la naturaleza y función de los modelos científicos desde el punto de vista semanticista, al análisis del modelo científico “sistema periódico” y su naturaleza y función.

La representación modeloteórica del sistema periódico

De manera general, el modelo “sistema periódico” intenta dar cuenta de ciertos aspectos de la realidad, en particular la relación entre los elementos químicos. La identificación de dicho trozo de la realidad, es parte también de la identificación de la teoría de Mendeléyev (Lorenzano, 2013; Ariza et al., 2016), es decir, busca o pretende dar cuenta de datos o fenómenos químicos, p.e., propiedades químicas de los elementos, y no de otros datos o fenómenos. Es decir (y siguiendo lo sostenido en líneas anteriores acerca de la concepción semántica de las teorías), identificar a la teoría de Mendeléyev es identificar (también) los fenómenos de los que quiere dar cuenta: fenómenos químicos, tales como las propiedades químicas de los elementos.

La semejanza del modelo con la realidad (i.e., los fenómenos que quiere dar cuenta) se hace explícita mediante actos lingüísticos del tipo: “*tal elemento se comporta de acuerdo al sistema periódico en tales aspectos con tales grados de similaridad*”. Esta expresión sería la concreción de la llamada “hipótesis teórica” propuesta por Ronald Giere (Giere, 1988) o la mencionada “aserción empírica”. Evaluar, por tanto, a la teoría de Mendeléyev, es evaluar la adecuación de dicha aserción, al mundo.

Si bien en el uso cotidiano los términos “sistema periódico” y “tabla periódica” se ocupan de manera indistinta, de un modo más preciso es importante su distinción. El Modelo de periodicidad química puede ser representado mediante una variedad de recursos simbólicos. Es, justamente, la tabla periódica, una representación de dicho modelo. Actualmente puede identificarse más de 1000 tablas periódicas (Scerri, 2011), o, de manera más precisa, más de 1000 representaciones del Modelo de periodicidad química. La forma representacional del sistema sigue siendo un tema de debate en la filosofía de la química contemporánea, en la que aún se proponen tablas periódicas novedosas como modos alternativos de representación del sistema (Labarca et al., 2013) que buscan constituirse en formas de representación cada vez más aproximadas de la realidad.

Los distintos sentidos de las preposiciones “de” y “para” en el Modelo de periodicidad química y su representación (la tabla periódica) pueden ejemplificarse de la siguiente manera:

- La *tabla periódica* es una representación *del* sistema periódico (sistema periódico como fuente o materia prima).
- La *tabla periódica* es un punto *de* partida para la construcción de otras representaciones de ordenamiento periódico (La tabla periódica como fuente materia prima para otras representaciones)
- El Modelo de periodicidad química se construyó *para* (o permite) describir, explicar, entender, predecir, intervenir o comunicar (sentido funcional).

- La representación del Modelo de periodicidad química, la *tabla periódica*, se construyó *para* organizar la información existente sobre pesos relativos y propiedades de los elementos (sentido pragmático).
- La representación del Modelo de periodicidad química, la *tabla periódica*, es un *ejemplar para* elaborar otras “tablas periódicas” (sentido paradigmático que se solapa al uso de la preposición “de”).

Tal como lo sostiene la concepción semántica de las teorías, la conexión entre el modelo y los sistemas empíricos se realiza mediante un acto lingüístico: la hipótesis teórica (Giere) o aserción empírica (Metateoría estructuralista) que afirma la aproximación (similaridad o subsunción) entre el sistema empírico y el modelo. Dicha conexión y su posterior contrastación permite ajustes en el modelo en torno a la evidencia, de manera que el Modelo de periodicidad química puede tener modificaciones y grados de ajuste: con la identificación de los elementos ‘predichos’ por Mendeléiev (Galio) y la corrección de los pesos atómicos (Yodo-Telurio) su grado de similaridad se ajustó. Luego, con la determinación del número atómico, las analogías entre las ‘triadas’ y la hipótesis de Prout respecto ‘del mundo’ fueron más reconocidas.

Por otro lado, en la concepción semántica contemporánea, las leyes científicas son entendidas no como la unidad fundamental de las teorías, sino como enunciaciones lingüísticas (nomológicas o legaliformes) mediante las cuales se pueden identificar a los modelos científicos. En este sentido, las diversas formas de representación del Modelo de periodicidad química, serían representaciones de los modelos de la teoría *mendeleeviana*, en tanto estén en consonancia con la ley periódica. Nótese aquí, que la concepción clásica de ley, la vinculaba de manera directa con la realidad. En la concepción semántica, su papel, el de las leyes, es el de identificar los modelos, y éstos últimos, son aquellos que se relacionan con la realidad mediante la relación de similaridad o isomorfismo (Ariza et al., 2016). Por tanto:

- La representación del sistema periódico, la *tabla periódica*, es determinada (identificada) por la *ley periódica* con la intención de que tengan ‘parecido’ con los comportamientos ‘reales’ de los elementos. Es decir, guarda una relación de ‘parecido’ con el mundo, y de ‘dependencia parcial’ con las leyes.
- La representación del sistema periódico, la *tabla periódica*, se encuentra a medio camino entre la realidad y la teoría.

Finalmente, la tabla periódica podría entenderse como la representación del “Modelo de periodicidad química”:

- A partir *de* teoría y empíria: producto de la conexión entre una relación teórica “las relaciones periódicas de los elementos” y la forma en la cual el comportamiento de los elementos, de sus propiedades, se subsumen o “son similares” al modelo de periodicidad química.
- *Para* unas determinadas finalidades y valores: construido para dar respuesta a interrogantes que emergen en un contexto histórico y social asociado al comportamiento de los elementos y la identificación de nuevos elementos químicos.

- Teórico *análogo* respecto de la realidad, ya que permite “ver el mundo” a través del modelo y, con él, intervenir y predecir el comportamiento de los elementos químicos. Es *análogo* en el sentido de que el modelo de periodicidad química puede funcionar a modo de “mundo idealizado”.
- *Mediador* entre la teoría y la empíria o a medio camino entre las presuposiciones teóricas y los trozos del mundo que se pretenden dar cuenta. Es el modelo teórico un trozo de la realidad enriquecido teóricamente.

Conclusiones

En este trabajo se acudió a los análisis semanticistas sobre el concepto de “modelo teórico” para el abordaje de una temática central en la enseñanza de la química: el sistema periódico. Se sostiene, por tanto, que la didáctica de la química se vería enriquecida al establecer vínculos con la concepción semántica de las teorías científicas al abordar una temática central de la química: la tabla periódica. Se buscó, consecuentemente, que mediante un análisis contemporáneo semanticista alrededor de un núcleo estructurante de la química como lo es el sistema periódico y su representación mediante la tabla periódica, fundamentar sus funciones, naturaleza y características modeloteóricas, ofreciendo una imagen científica filosóficamente fundamentada con valor para la educación científica.

Se sostiene, por tanto, que el anclaje a temáticas estructurantes de la química mediante una fundamentación metateórica actual como la brindada por la concepción semántica de las teorías, podría introducir, en la enseñanza de la química y la formación de profesores de química, reflexiones metateóricas actuales, renovadas y potentes para comprender la naturaleza de la química (como actividad) y de sus teorías, y en particular, las relacionadas con la tabla periódica como representación del modelo de sistema periódico y los diversos usos y caracterizaciones de la noción del modelo de sistema periódico, el papel de los modelos en la identidad de la teoría de Mendeléiev, su “función” representacional, analógica y mediadora entre la teoría y el mundo químico, su estructura particular y el lugar que ocupa tanto la tabla periódica como el modelo del sistema periódico dentro de la teoría de Mendeléiev, y la pertinencia de identificar diversas funciones de los modelos y la relación de los modelos científicos con las teorías, las leyes, los sistemas y los fenómenos químicos. Estas pretensiones buscan responder a demandas actuales de la investigación en didáctica de las ciencias asociadas a la fundamentación filosófica contemporánea de la ciencia que se enseña (Adúriz-Bravo, 2009), así como a la importancia de una educación científica de calidad para todos y todas epistemológicamente orientada desde los modelos y la modelización (Boulter et al., 2000).

Bibliografía

Adúriz Bravo, A. (2013). Revisiting school scientific argumentation from the perspective of the history and philosophy of science. En Matthews, M. (Ed.). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*. Dordrecht: Springer.

Adúriz-Bravo, A. (2009). Hacia un consenso metateórico en torno a la noción de modelo con valor para la educación científica. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VIII: 2616-2620.

- Adúriz-Bravo, A. (2013). A Semantic View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education*, 22(7), 1593-1611
- Adúriz-Bravo, A. (2020). Contributions to the nature of science. Scientific investigation as inquiry, modeling, and argumentation. En El-Hani, C., Pietrocola, M., Mortimer, E. y Otero, M. (Eds.). *Science Education Research in Latin America (Cultural and Historical Perspectives on Science Education)* (pp. 394–425). Netherlands: Brill | Sense.
- Adúriz-Bravo, A. y Ariza, Y. (2014). Una caracterización semanticista de los modelos científicos para la ciencia escolar. *Revista Bio-grafia: Escritos sobre la biología y su enseñanza* 7(13), 25-34.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, Número extra, 4(1): 40-49.
- Ariza, Y. y Adúriz-Bravo, A. (2011). La 'nueva filosofía de la ciencia' y la 'concepción semántica de las teorías científicas' en la didáctica de las ciencias naturales. *Educación en Ciencias Matemáticas y Experimentales*, 2, 55-66.
- Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación química*, 23(Supl. 2), 248-256
- Adúriz-Bravo, A. (2019). Semantic Views on Models: An Appraisal for Science Education. En Upmeyer zu Belzen, A., Krüger, D. y van Driel, J. (Eds.). *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education* (pp. 21-49). Dordrecht: Springer.
- Ariza, Y. (2021). Aproximaciones entre filosofía de la ciencia y didáctica de las ciencias: filosofía de la ciencia escolar y enseñanza en el nivel científico. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences*. 43(1), e58445.
- Ariza, Y., Lorenzano, P. y Adúriz-Bravo, A. (2016). Meta-theoretical contributions to the constitution of a model-based didactics of science. *Science & Education*, 25(7): 747-773.
- Ariza, Y., Lorenzano, P. y Adúriz-Bravo, A. (2020). Bases modeloteóricas para la 'ciencia escolar': La noción de comparabilidad empírica, *Estudios Pedagógicos*, 46(2), 447-469.
- Balzer, W., Moulines, C.U. y Sneed, J.D. (1987). *An Architectonic for Science. The Structuralist Program*, Dordrecht: Reidel. (Versión castellana de P. Lorenzano: *Una arquitectónica para la ciencia. El programa estructuralista*, Bernal: Universidad Nacional de Quilmes, 2012.)
- Boon, M. & Knuuttila, T. (2009). Models as Epistemic Tools in Engineering Sciences: A Pragmatic Approach. En A. Meijers (Ed.), *Philosophy of Technology and Engineering Sciences* (pp. 693-726). (Handbook of the Philosophy of Technological Sciences; Vol. 9, No. IX). Amsterdam: Elsevier Science.
- Boulter, C.J. y Gilbert, J.K. (2000). Challenges and opportunities of developing models in science education. En J.K. Gilbert y C.J. Boulter (Eds.). *Developing Models in Science Education* (pp. 343-362). Dordrecht: Kluwer

- Brito, A., Rodríguez, M. y Níaz, M. (2005). A reconstruction of development of the periodic table based on history and philosophy of science and its implications for general chemistry textbooks. [Versión electrónica] *Journal of research in science teaching* 42(1), 84-111.
- Chakravartty, A. (2001), "The semantic or model-theoretic view of theories and scientific realism". *Synthese*, 127(3): 325-345.
- Chamizo, J. A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1): 26-41.
- Chamizo, J. A. (2013). A new definition of models and modeling in chemistry's teaching. *Science & Education*, 22(7): 1613-1632.
- Chiu, M. & Lin, J. (2019). Modeling competence in science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(12). DOI: 10.1186/s43031-019-0012-y
- Develaki, M. (2007). The model-based view of scientific theories and the structuring of school science programmes. *Science & Education*, 16(7): 725-749.
- Develaki, M. (2017). Using computer simulations for promoting model-based reasoning. *Science & Education*, 26(7-9): 1001-1027.
- Diederich, W. (1996). Structuralism as developed within the model-theoretical approach in the philosophy of science. En W. Balzer y Moulines, C.U. (Eds.). *Structuralist Theory of Science: Focal Issues, New Results* (pp. 15-22). Berlin: De Gruyter.
- Díez, J.A. & Moulines, C.U. (2008). *Fundamentos de filosofía de la ciencia*. Barcelona: Ariel.
- Döbereiner, J. W. (1917). *Ann. Phys.*, 26, 331.
- Erduran, S. & Scerri, E. (2003). The nature of chemical knowledge and chemical education. En J.K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D.F. Treagust & J.H. van Driel (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-Based Practice* (pp. 7-28). Netherlands: Kluwer Academic Publishers
- Erduran, S. (2001). Philosophy of chemistry: An emerging field with implications for chemistry education. *Science & Education*, 10(6), 581-593.
- French, S. & Ladyman, J. (1999). "Reinflating the semantic approach", *International Studies in the Philosophy of Science*, 13(2): 103-121.
- Frigg, R. (2006). Scientific representation and the semantic view of theories. *Theoria*, 55: 37-53.
- Frigg, R. y Hartmann, S. (2020) Models in Science. In Edward N. Zalta (Ed.). *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*.
- Frigg, R. y Nguyen, J. (2020). *Modelling Nature: An Opinionated Introduction to Scientific Representation*. Cham: Springer
- Giere, R. (1979). *Understanding scientific reasoning*. New York: Holt, Reinhart and Winston.

- Giere, R. (1988). *Explaining science. A cognitive approach*. Chicago: The University of Chicago Press. (Versión castellana de 1992. *La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología)
- Giere, R. N. (1985). Constructive realism. En Churchland, P. M. y Hooker, C. (Eds.). *Images of science. Essays on realism and empiricism with a reply from Bas C. van Fraassen* (pp. 75-98). Chicago: University of Chicago Press.
- Gilbert, J. & Justi, R. (2016a). Models of modelling. En J. Gilbert, R. Justi (Eds.) *Modelling-based teaching in science education* (pp. 17-40). Suiza: Springer.
- Gilbert, J. & Justi, R. (2016b). Learning about science through modelling-based teaching. En J. Gilbert, R. Justi (Eds.) *Modelling-based teaching in science education* (pp. 171-191). Suiza: Springer.
- Gouvea, J. & Passmore, C. (2017). Models of' versus 'models for': Toward an agent-based conception of modeling in the science classroom. *Science & Education*, 26(1-2): 49-63.
- Greca, I. M. & Moreira, M. A. (2000). Mental Models, Conceptual Models, and Modelling, *International Journal of Science Education*, 22(1): 1-11.
- Gutierrez, R. (2014). Lo que los profesores de ciencia conocen y necesitan conocer acerca de los modelos: Aproximaciones y alternativas. *Bio-Grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza*, 7(13): 37-66.
- Izquierdo Aymerich, M., & Adúriz-Bravo, A. (2021). Contribuciones de Giere a la reflexión sobre la educación científica. *ArtefaCToS. Revista De Estudios Sobre La Ciencia Y La tecnología*, 10(1), 75-87. <https://doi.org/10.14201/art20211017587>
- Izquierdo-Aymerich, M. & Adúriz-Bravo, A. (2003). "Epistemological foundations of school science". *Science & Education*, 12(1): 27-43.
- Izquierdo-Aymerich, M., Espinet, M., García Rovira, M.P., Pujol, R.M. y Sanmartí, N. (1999). "Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar". *Enseñanza de las ciencias*, número extra: 79-92.
- Justi, R. (2006). "La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos". *Enseñanza de las Ciencias* 24(2): 173-184.
- Khine, M.S. y Saleh, I.M. (2011). *Models and modeling: Cognitive tools for scientific enquiry*. Dordrecht: Springer.
- Knuuttila, Tarja (2011). "Modeling and Representing: An Artefactual Approach", *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 42, pp. 262-271.
- Koponen, I. (2007), "Models and modelling in physics education: A critical reanalysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions". *Science & Education*, 16(7-8): 751-773.
- Labarca, M. & Lombardi, O. (2007). The Philosophy of Chemistry as a New Resource for Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 84, 1, 187.

- Labarca, M. y Zambón, A. (2013). Una reconceptualización del concepto de elemento como base para una nueva representación del sistema periódico. *Educación Química* 24(1), 63-70.
- Lombardi, Olimpia (2010). “Los modelos como mediadores entre teoría y realidad”. En L. Galagovsky (coord.), *Didáctica de las Ciencias Naturales. El Caso de los Modelos Científicos*, pp. 83-94. Buenos Aires: Editorial Lugar.
- Lorenzano, P. (2003). “¿Debe ser excluida la concepción estructuralista de las teorías de la familia semanticista?: una crítica a la posición de Frederick Suppe”. *Filosofía de la Ciencia e Historia de la Ciencia*, 9(9): 282-290.
- Lorenzano, P. (2011). “La teorización filosófica sobre la ciencia en el siglo XX (y lo que va del XXI)”. *Discusiones Filosóficas*, 12(19): 131-154.
- Lorenzano, P. (2013). The Semantic Conception and the Structuralist View of Theories: A Critique of Suppe’s Criticisms. *Studies in History and Philosophy of Science*, 44, 600-607.
- Matthews, M. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. Nueva York: Routledge.
- Matthews, M. (2020). The Contribution of Philosophy to Science Teacher Education. En Colgan A.D. & Maxwell, B. (Ed.). *The Importance of Philosophical Thinking in Teacher Education* (pp. 121-142). New York: Routledge.
- Matthews, M. (Ed.) (2018). *History, Philosophy and Science Teaching: New Perspectives*. Dordrecht: Springer.
- Mendeléiev, D.I. (1869). “Über die Beziehungen der Eigenschaften zu Atomgewichten der Elemente”. *Zeitschrift für Chemie* 12, 405-406.
- Meng-Fei, C. y Jang-Long L. (2015). “Investigating the relationship between students’ views of scientific models and their development of models”. *International Journal of Science Education*, 37(15), 2453-2475. DOI: 10.1080/09500693.2015.1082671.
- Morrison, Margaret y Morgan, Mary (1999). “Models as Mediating Instruments”. En Morgan, M.S. y Morrison, M. (eds.), *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*, pp. 10-37. Cambridge: Cambridge University Press.
- Moulines, C.U. (2008). *Die Entwicklung der modernen Wissenschaftstheorie (1890-2000). Eine historische Einführung*, Lit: Hamburg. (Versión castellana de X. de Donato: *El desarrollo moderno de la filosofía de la ciencia (1890-2000)*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2011).
- Oh, P. S. y Oh, S.J. (2011). “What teachers of science need to know about models: An overview”: *International Journal of Science Education*, 33(8): 1109-1130.
- Passmore, C., Gouvea, J. S. y Giere, R. (2014). “Models in science and in learning science: Focusing scientific practice on sense-making”. En Matthews, M. (Ed.). *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1171-1202). Dordrecht: Springer.

- Prout W.: On the relation between the specific gravities of bodies in their gaseous state and the weights of their atoms. *Ann. Philos.* 6, 321–330 (1815)
- Scerri, E. (2019), Can quantum ideas explain chemistry's greatest icon? *Nature* 565, 557-559 (2019).
- Sensevy, G., Tiberghien, A., Santini, J., Laubé, S. y Griggs, P. (2008). "An epistemological approach to modeling: Cases studies and implications for science teaching". *Science Education*, 92(3): 424-446.
- Sneed, J. D. (1971). *The logical structure of mathematical physics*. Dordrecht: Reidel.
- Scerri, E. (2011). *The Periodic Table: A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press.
- Stegmüller, W. (1973). *Theorienstrukturen und Theoriendynamik*. Heidelberg: Springer. (Versión castellana de C. U. Moulines: *Estructura y dinámica de teorías*, Barcelona: Ariel, 1983.)
- Suppe, F. (1974). *The structure of scientific theories*. Urbana: University of Illinois Press.
- Suppe, F. (1989). *The semantic conception of theories and scientific realism*. Urbana: University of Illinois Press.
- Suppe, F. (1998). "Theories, scientific". En Craig, E. (Ed.). *Routledge Encyclopedia of Philosophy*. London: Routledge.
- van Fraassen, B. (1976). "To save the phenomena". *The Journal of Philosophy*, 73(18): 623-632.
- van Fraassen, B. (1980). *The scientific image*. Oxford: Clarendon press.
- van Fraassen, B. (1987). "The semantic approach to scientific theories". En Nersessian, N. (Ed.). *The process of science* (pp. 105-124). Dordrecht: Nijhoff.
- van Fraassen, B. (1989), *Laws and symmetry*. Oxford: Clarendon Press/Oxford University Press.
- van Fraassen, Bas (2008). *Scientific representation: Paradoxes of perspectives*. Oxford: Oxford University Press.