

ENSAYOS

Bases modeloteóricas para la ciencia escolar: la noción de “comparabilidad empírica”

Model-theoretical bases for school science:
the notion of “empirical comparability”

Yefrin Ariza^a, Pablo Lorenzano^b, Agustín Adúriz-Bravo^c

^a Universidad Católica del Maule (UCM). Chile.
aariza@ucm.cl

^b Universidad Nacional de Quilmes (UNQ). CONICET. Argentina.
pablo@unq.edu.ar

^c Universidad de Buenos Aires (UBA). CONICET. Argentina.
aadurizbravo@cefiec.fcen.uba.ar

RESUMEN

En este trabajo se intenta explorar algunos de los aportes que la filosofía de la ciencia puede ofrecer a la didáctica de las ciencias empíricas. Inicialmente se brinda una breve caracterización de la llamada “ciencia escolar” basada en modelos teóricos. Luego se revisan desarrollos metateóricos en torno a la noción kuhniana de “comparabilidad empírica” con el objetivo de identificar posibles contribuciones a la fundamentación metateórica de esa ciencia escolar y, de manera más general, a la enseñanza de las ciencias apoyada en la modelización. Al final del trabajo se propone como ejemplo una actividad para la enseñanza de la estequiometría daltoniana construida a partir de estas reflexiones.

Palabras claves: Didáctica de las ciencias, Filosofía de la ciencia, formación de profesores, comparabilidad empírica, modelos.

ABSTRACT

This paper attempts to explore some of the contributions that philosophy of science can offer to the didactics of the empirical sciences. Initially, a brief characterization of the so-called “school science” based on theoretical models is provided. Then, we review the meta-theoretical developments around the Kuhnian notion of “empirical comparability” with the aim of identifying possible contributions to the meta-theoretical foundation of this school science and, more generally, to science teaching based on modeling. At the end of the paper, an activity for the teaching of Daltonian stoichiometry built on these reflections is proposed as an example.

Key words: Didactics of Science, Philosophy of Science, teacher training, empirical comparability, models.

1. INTRODUCCIÓN

En los inicios de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma, las vinculaciones con las disciplinas *metateóricas* eran poco reconocidas. Es apenas en la década de los ochentas en que las propuestas constructivistas permitieron reconocer una fuerte influencia de los contenidos provenientes de la filosofía de la ciencia –especialmente desde la propuesta de Thomas S. Kuhn–. Esto constituyó uno de los primeros acercamientos explícitos hacia la fundamentación de la didáctica de las ciencias emergente (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2002).

En la actualidad, el consenso respecto de la necesidad de incluir a la filosofía de la ciencia en las líneas de investigación de la didáctica de las ciencias y el hecho evidente de que esta vinculación conlleva al fortalecimiento de las referencias fundamentales en las estructuras teóricas y prácticas que dirigen la enseñanza de las ciencias y la formación de profesores de ciencias (Matthews, 2020) se han convertido en el principal cimiento que dirige 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).

1. La filosofía de la ciencia es la metaciencia de mayor inclusión en la didáctica de las ciencias, muchas veces acompañada por la *historia de la ciencia* y con cada vez mayor participación de la *sociología de la ciencia*. Al respecto, en los últimos 15 años estamos asistiendo a un movimiento en la didáctica de las ciencias desde una concepción lingüística (enunciativa y axiomática) de la ciencia hacia una concepción semántica. Esta perspectiva emergente, conocida como didáctica modeloteórica de las ciencias (Adúriz-Bravo, 2013, 2009; Halloun, 2020), acude a las discusiones metateóricas actuales sobre los modelos científicos.
2. En este trabajo establecemos algunas relaciones entre las actuales nociones de “enseñanza” de la didáctica modeloteórica de las ciencias y la noción kuhniana de *comparabilidad*, tal cual ella es reconstruida por el enfoque semanticista conocido como estructuralismo metateórico (Balzer, Moulines & Sneed, 1987; Falguera & de Donato-Rodríguez, 2016; Lorenzano, 2012). Nuestro análisis parte de la consideración de que las actuales nociones de “enseñanza” podrían verse enriquecidas, refinadas y fundamentadas con filosofías de la ciencia recientes (Adúriz-Bravo, 2019; Ariza, Lorenzano & Adúriz-Bravo, 2016a).

2. LA CIENCIA ESCOLAR Y SUS BASES MODELOTEÓRICAS

En la actualidad la enseñanza de las ciencias tiende a distanciarse de los programas tradicionales en los que prima la memorización de conceptos, ecuaciones, fórmulas, etc., que son base de una imagen rígida y dogmática de la ciencia. Los esfuerzos se han volcado en promover la intervención y la reflexión sobre los fenómenos, pero no exclusivamente aquellos que se presentan de forma tradicional en los laboratorios o como *ejemplos paradigmáticos* de las ciencias (usualmente provenientes de la física), sino también aquellos fenómenos que sean relevantes en la actualidad científica de cada sociedad.

El conocimiento científico es muy complejo y la construcción de teorías, entendidas ahora como clases, familias, conjuntos, colecciones o poblaciones de modelos (*cf.* Balzer;

Moulines & Sneed, [1987]2012; Giere, 1985, 1988; Lorenzano, 2018, 2013, 2003; Lorenzano & Díaz, 2020; Moulines, 1982, 2002; Suppe, 1974, 1989, 1998; Thompson-Jones, 2006; Stegmüller, 1979; van Fraassen, 1980, 2008), puede abordarse desde puntos de vista metateóricos que también varían en cuanto a la sofisticación de sus análisis. Si esta variedad de análisis se traslada a las aulas de clase, el resultado será una diversidad de formas de entender las teorías y también de enseñarlas por parte de los profesores de ciencias.

La introducción de la noción de “modelo” en la enseñanza de las ciencias (cf. Adúriz-Bravo, 2019, 2013; Chamizo, 2010, 2013; Develaki, 2007; Erduran & Duschl, 2004; Gilbert & Boulter, 2000; Gouvea & Passmore, 2017; Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003; Justi, 2006; Khine & Saleh, 2011; Koponen, 2007; Oh & Oh, 2011; Passmore, Gouvea & Giere, 2014; Sensevy *et al.*, 2008; Upmeier zu Belzen, van Driel & Krüger, 2019) surge de aceptar que el papel esencial de los modelos en la ciencia puede ser trasladado a la escuela para configurar la llamada “ciencia escolar” (Izquierdo-Aymerich *et al.*, 1999, Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003; Izquierdo-Aymerich, 2017). La actividad científica escolar consiste en la construcción de modelos a través de la representación, la acción y el discurso aplicados a algunos fenómenos elegidos por su potencial como ejemplares de las ideas a enseñar (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003). Bajo este proceso de enseñanza, el *modelo teórico* se considera como “la unidad fundamental de la ciencia de los científicos y de la ciencia en la escuela” (Adúriz-Bravo *et al.*, 2005, p. 1).

Desde la didáctica de las ciencias algunos autores han sostenido esta importancia de los modelos y de la modelación para enseñar ciencias (p.e. Boulter & Gilbert, 2000; Clement & Ramirez, 2008; Erduran, 2001; Gilbert & Boulter, 2000; Greca & Moreira, 2002; Gouvea & Passmore, 2017; Halloun, 2004; Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003; Schwartz, 2019; Upmeier zu Belzen, van Driel & Krüger, 2019), enfatizando que esta visión requiere que los estudiantes “(i) clasifiquen y construyan explicaciones de los fenómenos científicos en lugar de limitarse a la memorización de hechos y definiciones; (ii) definan y revisen los problemas a través del tiempo; (iii) busquen fuentes de información y de datos” (Justi, 2009, p. 32, la traducción es nuestra). Este proceso no solo contribuye al aprendizaje de modelos teóricos, sino también al conocimiento acerca de la actividad científica:

[i]n general, our results showed that most of the students developed a comprehensive understanding not only about the themes (chemical equilibrium and ionic bond, respectively), but also about the nature of models and their role in the elaboration of scientific knowledge (Justi, 2009, p. 33, las llaves son nuestras).

Sin embargo, el proceso de modelización en las ciencias difiere del proceso de modelización en las clases de ciencias. Este último se considera más complejo debido principalmente al desconocimiento por parte del estudiantado de los lenguajes y “aplicaciones” de las teorías (de sus modelos) o al desconocimiento de los *lenguajes en uso* con función epistémica (cf. Izquierdo-Aymerich, 2004). Estas dificultades se superan acudiendo a nociones flexibles de “modelo teórico” y de “mediadores”. Los modelos teóricos sirven como base en la construcción de *mediadores*¹ que funcionan como modelos

¹ Esta caracterización de “modelo mediador” proviene de la perspectiva sostenida por Morrison y Morgan (1999), seguida por Greca y Moreira (2000) y Lombardi (2010).

de segundo orden que posibilitan intervenir en la realidad y pueden ser expresados con una diversidad de recursos simbólicos.

Los *modelos científicos escolares* (aquellos en uso en la ciencia escolar), así como los modelos científicos, se construyen con un objetivo específico que debe ser conocido por aquellas personas a quienes se les presentan (Izquierdo-Aymerich, 2017; Gilbert, Boulter & Rutherford, 1998). Bajo esta perspectiva de fuerte influencia giereana,

[s]e llama “modelización” al proceso mediante el cual determinados fenómenos se convierten en “ejemplos” de [modelos teóricos como el modelo de] *cambio químico* [...] que permit[en] representarse lo que está ocurriendo al intervenir e interpretar los datos que se obtienen (Izquierdo-Aymerich, 2004, p. 130, las llaves son nuestras).

La modelización requiere que se identifiquen tales modelos “de segundo orden”, que tienen mayor sentido para los/as estudiantes respecto de las experiencias que ya poseen; el requerimiento es, entonces, que los fenómenos bajo estudio *sean significativos para los estudiantes* (Berland *et al.*, 2015). Las experiencias previas “pueden existir en forma de observaciones empíricas o de informaciones previamente existentes (en la estructura cognitiva del individuo [...]) acerca de la entidad modelada y del contexto en el cual está inmersa” (Justi, 2006, p. 177, las llaves son nuestras). Varios autores han sugerido que esta labor mediadora de los modelos cumple con la función principal de *dar sentido* al mundo (Giere, 1988) bajo una realidad más cercana para los estudiantes (Schwarz *et al.*, 2009; Schwartz, 2019). El “mediador” corresponde entonces a un modelo analógico del modelo científico escolar que satisface una función heurística en las clases de ciencias, al ayudar a pensar, decir y hacer sobre la realidad del estudiantado (Adúriz-Bravo, 2019, 2001; Adúriz-Bravo *et al.*, 2005).

Se espera que los estudiantes puedan llegar a nutrir los *mediadores* no solo de sus conocimientos previos sino también de regularidades, entidades y restricciones impuestas por el modelo teórico². “Así, un péndulo que cumpla la ley del péndulo es un modelo teórico que muestra cómo pensar y actuar en el conjunto de sistemas reales que se muevan a la manera de un péndulo, porque es “similar” a estos “péndulos” que los lectores pueden identificar” (Izquierdo-Aymerich, 2004, p. 127).

La construcción de modelos en la escuela se efectúa en *contextos científicos* reconocibles (Justi, 2006; Meng-Fei & Jang-Long, 2015) y se acerca a un intento de representar los modos de pensar de los científicos (Koponen, 2007). Los modelos han de permitir *interpretar* fenómenos aparentemente alejados entre sí, unos presentados en la escuela y los otros provenientes de la realidad de cada estudiante. Se espera que las relaciones entre los fenómenos interpretados sean cada vez más explícitas, de modo que el *ejemplo paradigmático* usado en clase sea análogo a los hechos que provienen de las experiencias de cada estudiante. Este proceso se conjuga mediante el planteamiento de *buenas preguntas* en la resolución de problemas, el trabajo experimental, la lectura de textos y la argumentación durante la interpretación (Izquierdo-Aymerich, 2004).

² Ejemplos de actividad científica escolar que usa “mediadores” que luego son enriquecidos usando conocimientos previos y el modelo teórico pueden encontrarse en Márquez, Izquierdo-Aymerich y Espinet (2003) y Gómez (2005). Otra actividad sobre el ciclo del agua, en el mismo sentido de Gómez (2005), puede hallarse en Vo *et al.* (2015).

Parece evidente ahora que una de las prioridades cuando se acude a los modelos teóricos es acercar las experiencias de cada estudiante a los fenómenos, aplicaciones y ejemplos que los profesores presentan en clase y que se explican cuando esos modelos se tornan “reconocibles” (Izquierdo-Aymerich, 2017). La identificación de las relaciones entre los fenómenos a través de los “mediadores” constituye un paso fundamental para el proceso de modelización. La efectividad atribuida a los mediadores radica en la cercanía que puede establecerse entre el lenguaje cotidiano y la “simbología del mediador” (Lozano, Adúriz-Bravo y Bahamonde, 2020). Es sugerente entonces que el profesorado de ciencias convierta el discurso en una experiencia reconocible por el estudiante:

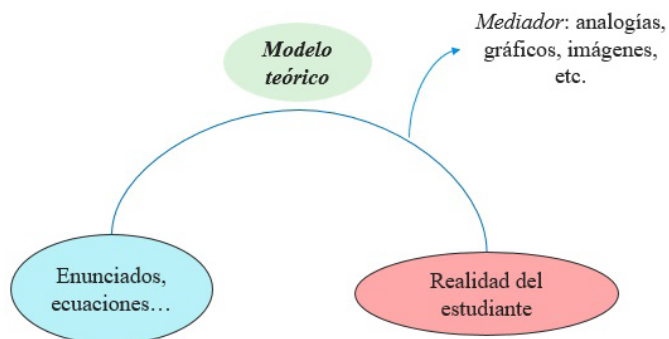
El profesorado “tiene” el término que aparece en los libros de texto; pero el alumnado no tiene aún la idea científica. Entiende mejor “el agua disuelve la cal” (porque sabe de qué se está hablando) que “la disolución acuosa de dióxido de carbono está en equilibrio con ácido carbónico, por esto reacciona con el carbono de calcio y forma una sal ácida, el hidrogenocarbonato de calcio, que es soluble en agua” (Izquierdo-Aymerich, 2005, p. 116).

La necesidad de la identificación de las diferencias y similitudes entre afirmaciones de mayor contenido científico y aquellas provenientes de lenguaje cotidiano pone en evidencia que el tipo de representaciones que se gestan en clases están construidas por el lenguaje. El uso adecuado del lenguaje (tanto del característico del modelo teórico, como del usado cotidianamente por los estudiantes y aquel que se use como recurso simbólico en el mediador) resulta ser una característica clave en las formas de modelizar (Izquierdo-Aymerich, 2017).

Dependiendo del tipo de contexto y audiencia, el lenguaje puede llegar a modificar las representaciones que los estudiantes se hacen de los fenómenos (Adúriz-Bravo & Revel Chion, 2017). El *juego de la ciencia* (Izquierdo-Aymerich, 2005) en clase parece enfocarse entonces en los lenguajes compartidos: podemos afirmar que, cuando se es capaz de hablar el lenguaje de la ciencia, las representaciones internas del mundo se corresponden con aquellas de la ciencia erudita (Lemke, 1997).

El uso adecuado del lenguaje posibilita que se dé sentido y se genere intervención. Esta es la base de la *actividad científica escolar*: que el estudiantado lleve a cabo intervenciones con una intencionalidad específica bajo cierto(s) modelo(s) teórico(s), y que se posibilite una transformación en la *forma de mirar el mundo* (Izquierdo-Aymerich, 2005). La ciencia reconstruida en la escuela se hace ciencia escolar al permitir que los estudiantes ingresen en su propia “historia de la ciencia” (Izquierdo-Aymerich, 2005).

Figura 1. Modelos y mediadores en la ciencia escolar.
Modificado de Giere (1988).



3. APUNTES SOBRE LA INCONMENSURABILIDAD Y LA COMPARABILIDAD

La comunicación entre científicos/as o entre profesores/as y estudiantes es configurada por el lenguaje que media entre ellos para “acercar” las representaciones que construyen (Adúriz-Bravo & Revel Chion, 2017). Los diversos componentes del lenguaje son esenciales en el proceso de enseñanza. Kuhn no desconoce esta importancia en los momentos en los cuales los científicos *comparan* sus teorías:

[A]ntes de que puedan aspirar a comunicarse plenamente, uno u otro de los grupos ha de experimentar la conversión que hemos estado determinando como cambio paradigmático. Precisamente porque se trata de una transición entre inconmensurables, el paso de un paradigma a otro no se puede hacer paso a paso (Kuhn, [2013]1962, p. 311).

Los practicantes de uno y otro paradigma *ven* cosas distintas y las interpretan bajo su propio paradigma: al estar frente a determinado fenómeno el científico *ve* que “[u]no contiene cuerpos entorpecidos que caen lentamente, mientras que otro contiene péndulos que repiten sus movimientos una y otra vez. En uno, las soluciones son compuestas, mientras que en otro son mezclas” (Kuhn, 1962[2013], p. 311). El paso de un paradigma a otro requiere de un proceso de aprendizaje que no se corresponde con solo reinterpretar un mismo fenómeno bajo otro paradigma, sino como un *cambio de visión*:

Lavoisier [...] vio oxígeno allí donde Prestley había visto aire desflogistizado y donde otros no habían visto nada en absoluto. Con todo, al aprender a ver oxígeno, Lavoisier tenía que cambiar también su visión de muchas otras sustancias más familiares (Kuhn, 1962[2013], p. 266).

Este proceso de cambio no es sencillo, y Kuhn se esforzaría en identificar las razones por las cuales los científicos llegan a ver el mundo de manera diferente. Para ello llevó la discusión al plano de la *inconmensurabilidad entre paradigmas o teorías*³.

³ El tratamiento del término “paradigma” que Kuhn realiza luego de la primera publicación de *La estructura* lo lleva insistir

El concepto matemático de “inconmensurabilidad” (ausencia de un patrón de medida común que permita medir ambos términos directa y exactamente) fue trasladado por Kuhn y Feyerabend a la filosofía de la ciencia. Los dos filósofos de la ciencia ampliaron y aplicaron el concepto a la *comparación* de teorías en las que se comparte un dominio, pero no se tiene un lenguaje en común, aceptando que “[l]a comunicación a través de la frontera marcada por la revolución es inevitablemente parcial” (Kuhn, 1962[2013], p. 310). Si bien el concepto de inconmensurabilidad de Kuhn fue influenciado por el holismo semántico de Quine, admite la “comprensión por interpretación” mediante la apropiación (o aprendizaje) de un lenguaje perteneciente a la teoría rival (Lorenzano, 2012).

Al pasar de un lenguaje a otro, los términos usados podrían cambiar de significado o referencia. Cada cambio de referencia causa una dificultad en la traducción del lenguaje y consecuentemente hace del aprendizaje de los nuevos conceptos asociados a cada término que se traduce una tarea nada fácil de realizar por parte de los/as científicos/as. Ello suscita incluso la necesidad de habilidades de persuasión:

Dos personas que perciben de forma distinta la misma situación, aunque a pesar de todo usen el mismo vocabulario, cuando discuten han de emplear las palabras de manera diferente. Esto es, hablan desde lo que he dado en llamar puntos de vista inconmensurables. ¿Cómo habrían de aspirar a entenderse, por no hablar de persuadirse? (Kuhn, 1962[2013], p. 383)

Aunque este proceso sea complicado, es admisible. “Que la traducción a nuestro lenguaje no sea posible no implica que no podamos llegar a comprender un lenguaje inconmensurable con el nuestro a través de un proceso de aprendizaje y/o interpretación de aquel” (Lorenzano & Nudler, 2012, pp. 13-14).

La parcialidad de comunicación se da principalmente porque, aun cuando en el lenguaje usado en una y otra teoría, o en su vocabulario, se impone cierta estructura o taxonomía sobre el mundo que no coincide en algunos puntos para una y otra, en otros sí (Lorenzano & Nudler, 2012). Kuhn introduce el concepto de “inconmensurabilidad local” (Lorenzano & Nudler, 2012, p. 12) para aplicarlo sobre aquellos puntos en la estructura (del mundo) impuesta por el vocabulario de la teoría en los cuales no hay coincidencia. Es a través de los puntos coincidentes que los/as científicos/as aíslan la dificultad de comunicación y se convierten en “aprendices” de nuevos modelos teóricos;

[P]ueden luego [los/as científicos/as] recurrir a sus vocabularios compartidos en la vida diaria en un esfuerzo para elucidar aún más sus problemas. Esto es, cada uno de ellos puede intentar descubrir qué vería y qué diría el otro al presentarle un estímulo al que su propia respuesta verbal sería distinta. [...] Cada uno de ellos habrá aprendido a traducir la teoría del otro y sus consecuencias a su propio lenguaje (Kuhn, 1962[2013], pp. 385-386).

El recurso a vocabularios compartidos de la praxis diaria es una parte de la posible solución para iniciar un proceso de traducción o interpretación de los conceptos y significados no compartidos, y esto vale para el aula de ciencias.

en que “muchas de las cosas que aquí digo acerca de los paradigmas aplican solamente al sentido original del término”, el cual se refiere en particular a la idea de *ejemplo paradigmático* (o *ejemplar* o *ejemplo compartido*) (cf. Kuhn, 1977: xx).

3.1. LA COMPARABILIDAD EMPÍRICA EN EL ENFOQUE SEMÁNTICO ESTRUCTURALISTA

Cuando se usa la noción de inconmensurabilidad en filosofía de la ciencia, se aplica a varias divergencias entre teorías. De estas divergencias toman relevancia las variaciones lingüístico-conceptuales y la diversidad de formas de percibir, siendo las divergencias relativas a las *Gestalten* (formas de ver) manifestaciones de las divergencias lingüístico-conceptuales (Lorenzano, 2012) de dos teorías sucesivas, o alternativas, o rivales. Sin embargo, de la noción de “inconmensurabilidad” kuhniana de los trabajos posteriores a *La estructura* no se desprende la posibilidad de que, al pasar de una teoría **T** a otra **T'**, los significados de los términos pertenecientes a **T** cambien (todos) en **T'**⁴. Este es el sentido de la noción de *inconmensurabilidad local*, cuyo dominio lo constituye un subgrupo de términos del vocabulario de ambas teorías.

Estas consideraciones fueron enriquecidas con los análisis estructuralistas (Falguera & de Donato-Rodríguez, 2016), y en particular con el tratamiento sobre los *términos teóricos*⁵ efectuado por Joseph Sneed y Wolfgang Stegmüller, seguidores en buena medida del trabajo iniciado por Patrick Suppes sobre el análisis de teorías físicas. El tratamiento estructuralista de Sneed y Stegmüller rechaza por su ambigüedad la distinción clásica teórico/observacional, que dominó la filosofía de la ciencia en el siglo XX (incluso algunas corrientes contemporáneas la conservan). En una formulación más precisa, dicha distinción esconde dos distinciones: observacional/no-observacional y teórico/no-teórico (Bar-Hillel, 1970); la segunda de ellas resulta relevante para el análisis local de las teorías (Lorenzano, 2012). De acuerdo con dicha distinción, en (casi) cualquier teoría analizada es posible establecer dos tipos de términos o conceptos: los términos que son específicos o distintivos de la teoría en cuestión y que son introducidos por ella, llamados términos o conceptos **T-teóricos**, y aquellos que están precedentemente disponibles⁶ y que constituyen su “base empírica”, llamados términos o conceptos **T-no-teóricos**, que suelen ser *teóricos* para otras teorías presupuestas.

Dentro de la familia semanticista de las teorías, el enfoque estructuralista⁷ ve a las teorías como *clases de modelos* y entiende estos como estructuras conjuntistas⁸. El lenguaje o marco conceptual de una teoría está caracterizado por una clase de modelos llamados *modelos potenciales* **M_p**. Los **M_p** contienen los individuos (u objetos) de los que habla (o explica o describe) la teoría, su ontología o dominio, y las relaciones y funciones que la teoría predica sobre dichos individuos. Aquellos **M_p** que cumplen o satisfacen las restricciones de las leyes de la teoría⁹ son llamados *modelos actuales* o simplemente

⁴ Esta idea puede denominarse “holismo semántico moderado” (Moulines, 1991).

⁵ Kuhn reconoce en dos notas a pie de página que una extensión adecuada de sus análisis fue realizada por Sneed y Stegmüller (cf. Kuhn, 1989, pp. 17-18, n. 15 y Kuhn, 1990, pp. 316, n. 13).

⁶ Una versión intuitiva y temporal es desarrollada por Hempel (1966). El criterio de *teoricidad* desarrollado por la concepción estructuralista no depende necesariamente de la introducción o disponibilidad histórica de los términos/conceptos (ver Balzer, Moulines & Sneed, 1987) sino de [la dependencia/independencia de] sus métodos de determinación.

⁷ Una presentación completa de la concepción estructuralista de las teorías se encuentra en Balzer, Moulines y Sneed (1987). Para una presentación más resumida, pero no por ello menos precisa, ver Díez y Lorenzano (2002) o Díez y Moulines (2008).

⁸ Una representación esquemática y con fines didácticos tanto de la concepción estructuralista como de los enfoques semanticistas de Suppe, van Fraassen y Giere se encuentra en Ariza (2015) y Ariza, Lorenzano & Adúriz-Bravo (2016a).

⁹ Esta es una presunción básica de los enfoques semanticistas en general. La determinación de los modelos se realiza mediante una serie de principios o leyes. Por tanto, las leyes se deben entender como definiendo una clase de modelos (Lorenzano, 2003, 2013).

modelos M. Para caracterizar la base empírica de la teoría se acude a la ya mencionada distinción **T-teórico/T-no-teórico** relativa a una teoría. Recortamos del aparato conceptual (o lenguaje) de la teoría (de los M_p) aquellos términos **T-no-teóricos** de la teoría en cuestión. Ellos (los términos **T-no-teóricos**) constituyen la *clase de modelos parciales* M_{pp} .

Siguiendo la propuesta de Ernest Adams (1955, 1959), Joseph Sneed incluye una componente de carácter pragmático en la elucidación del concepto de teoría empírica: las *aplicaciones intencionales I*. La identificación de **I** es plenamente intencional y pragmática. Lo que hace “intencional” a una aplicación es que sea un objeto o fenómeno que los usuarios de la teoría pretenden explicar. Estos sistemas empíricos intencionales constituyen los fenómenos a los que los/las científicos/as pretenden aplicar sus teorías y que son descritos usando el vocabulario de los M_{pp} ; por tanto, las aplicaciones intencionales “que conforman la base empírica de la teoría, los “datos” de la teoría, ciertamente están cargados de teoría, pero no de la teoría para la que son datos, sino de otra previa o antecedente” (Lorenzano 2012, p. 306). Todos estos componentes constituyen el tipo más simple de estructura que se puede identificar con una teoría en un sentido informal, intuitivo¹⁰.

Si asumimos los análisis desarrollados por Kuhn después de *La estructura* sobre la noción de “incommensurabilidad” y el análisis estructuralista, expuesto aquí brevemente, sobre la noción de “teoría”, “podemos decir que las categorías taxonómicas y los demás términos mencionados por Kuhn [en torno al lenguaje de la teoría] se corresponden con los [...] dominios de objetos [...] y con las relaciones y funciones de la teoría” (Lorenzano, 2012, p. 307, las llaves son nuestras). Luego, relacionando los comentarios de Kuhn (expuestos en líneas anteriores) con la distinción teórico/no-teórico relativizada a una teoría y la noción modeloteórica de teoría que sostiene el estructuralismo, es posible reformular la tesis kuhniana de incommensurabilidad de la siguiente manera:

Dos teorías sucesivas (alternativas, rivales) son *teóricamente incommensurables* cuando los conceptos teóricos, y los correspondientes modelos potenciales, de ambas teorías son diferentes. [Y d]os teorías son *empíricamente comparables* cuando los conceptos no-teóricos, y los correspondientes modelos parciales, de ambas teorías son iguales (Lorenzano, 2012, p. 308, las llaves son nuestras).

Figura 2. Ejemplificación esquemática de la *comparabilidad empírica*, en donde $T \neq T'$ y $M_{pp} = M'_{pp}$



¹⁰ Ciertamente el núcleo **K** está compuesto por otros componentes. Se incluyen también las llamadas *condiciones de ligadura C* y los *vínculos interteóricos L*. Estos últimos apenas los mencionaremos aquí por razones de simplicidad, aun cuando estos componentes también contribuyen a la identidad de la teoría.

4. APROXIMANDO LA NOCIÓN DE “COMPARABILIDAD” A LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Partiendo de los análisis anteriores, es posible identificar varias características coincidentes con los procesos de comprensión de los lenguajes y significados de los modelos teóricos en las aulas de clases. Cuando dos teorías difieren en su vocabulario, pero particularmente en su aparato conceptual teórico, es posible realizar comparaciones cuando se acude a su aparato conceptual *no-teórico*, recogido en los *modelos parciales*, con los que se describen las aplicaciones intencionales.

Cuando se comparan teorías, “el acceso interpretativo a una teoría inconmensurable se hace a partir del lenguaje compartido. Cualquier posibilidad de conexión ontosemántica no arbitraria exige disponer de un lenguaje de fondo compartido” (Falguera, 2012, p. 149). Sin embargo, aunque puede darse el caso de que al comparar dos teorías se presente divergencia total entre el vocabulario de una y de otra, podría establecerse la conexión acudiendo a “escenas observacionales” (Díez, 2012), la cuales corresponden a:

[un] ámbito [...] en la base de nuestro sistema cognitivo, cuyo acceso a su contenido no dependa de su relación con otros contenidos o módulos superiores... cosas tales como puntos luminosos en movimiento relativo en el cielo, trazos claros rectilíneos en una cámara de niebla, aguja desplazándose angularmente a la derecha en un galvanómetro, forma anillada en la pantalla de un ordenador o formas claras creciendo en una lente (Díez, 2012, p. 111).

Estas escenas observacionales se pueden entender como ámbitos de observación que son neutrales, en el sentido de no ser susceptibles de grandes desacuerdos racionales. Con ellas es posible llegar a puntos de acuerdo entre dos ámbitos que a primera vista parecen distantes. También es posible acudir a los “términos descriptivos no-característicos” (Falguera, 2012). En la formulación de sus teorías, los científicos,

pueden recurrir a los términos descriptivos no-característicos para fijar las parcelas del mundo sobre las que tratan con recursos ajenos al vocabulario característico. [Es] una manera de designar que no está comprometida con la ontología característica de la teoría, una manera de designar que es accesible al usuario común de una lengua aun siendo desconocedor de la teoría en cuestión (Falguera, 2012, pp. 150-151, las llaves son nuestras).

Aparece aquí, entonces, un refinamiento estructuralista de la idea kuhniana de que los científicos “pueden luego recurrir a sus vocabularios compartidos en la vida diaria en un esfuerzo para elucidar aún más sus problemas” (Kuhn, 1962[2013], p. 385). Los científicos comparan sus teorías y efectivizan la comunicación mediante lenguajes comparables usando vocabulario de su base empírica (el de los M_{pp} que se usan para describir las aplicaciones intencionales) o usando términos descriptivos no-característicos, y enriqueciéndolos con las precisiones brindadas por los M_p y M , lo que constituye la base de la modelización científica en periodos de revolución.

Entonces, cuando los científicos pretenden comprender una teoría rival o sucesiva, es notable la relevancia que adquieren las aplicaciones intencionales (y los términos **T**-no-

teóricos con los que se describen). En la didáctica de las ciencias, la absoluta centralidad de las aplicaciones intencionales ha sido descrita en varios pasajes de la literatura especializada:

Si enseñar química consiste solo en enseñar ideas teóricas sin explicar suficientemente a qué tipo de intervención se refiere, se convierte en un ejercicio de irracionalidad que es rechazado por el estudiantado actual. Las ideas fuera de contexto no son aceptadas por ellos, no están dispuestos a memorizar conocimientos o lenguajes que no llegan a comprender ni a serles útiles (Izquierdo-Aymerich, 2004, p. 130).

Esta formulación es muy cercana a las que se hacen desde la propia filosofía de la ciencia:

Una teoría novedosa se anuncia siempre junto con sus aplicaciones a algún abanico concreto de fenómenos naturales, sin los cuales ni siquiera podría ser un candidato a la aceptación [...]. No aparecen allí tan sólo como adornos o siquiera como documentación [...]. Los procesos de aprender una teoría dependen del estudio de sus aplicaciones (Kuhn, 1962[2013], p. 166).

Pretendemos recuperar esa importancia y enriquecerla para brindar otra perspectiva de análisis acerca de la enseñanza de las ciencias modeloteórica.

4.1. LA COMPARABILIDAD EMPÍRICA COMO ELEMENTO DE LA BASE METATEÓRICA DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Aunque hay diferencias claras que nos impiden hacer una convergencia completa entre las formas de entender la enseñanza de las ciencias bajo la mirada modeloteórica en la didáctica actual y los análisis sobre la comparabilidad empírica realizados por Kuhn y precisados por el estructuralismo metateórico, nos interesa destacar las similitudes entre ambos cuerpos teóricos, porque brindan una perspectiva particular para arquitecturar procesos de enseñanza (Ariza, Lorenzano & Adúriz-Bravo, 2016b).

Bajo la perspectiva teórica expuesta en este artículo, la explicitación de los lenguajes compartidos constituye un paso inicial (y necesario) para la modelización en clases de ciencias. Nuestra propuesta consiste entonces en sostener que el inicio de las actividades escolares está en lo que el estudiante *ya sabe* y, adherido a esto, en lo que le interesa y lo motiva. Nos apoyamos en la suposición de que los estudiantes asumen ciertas teorías (no del todo explícitas, no del todo estructuradas, no del todo sistemáticas, con lenguajes comunes o no expertos o no-característicos) y, en las clases de ciencias, enfrentan teorías nuevas (o rivales), con sus lenguajes o vocabularios expertos, técnicos o característicos.

Existen numerosos ejemplos en el uso de mediadores en los que se acude a lo que aquí denominamos “vocabulario no-característico” o “escenas observacionales” de las teorías. En Garófalo & Galagovsky (2005), para citar solo uno, se propone una analogía entre el funcionamiento de una fábrica y el modelo teórico de “célula”, y se rescata de forma explícita el uso de lenguaje cotidiano. Los ejemplos de uso de mediadores analógicos son compatibles con las presunciones generales que hace la concepción semántica de las teorías acerca del tratamiento de los modelos.

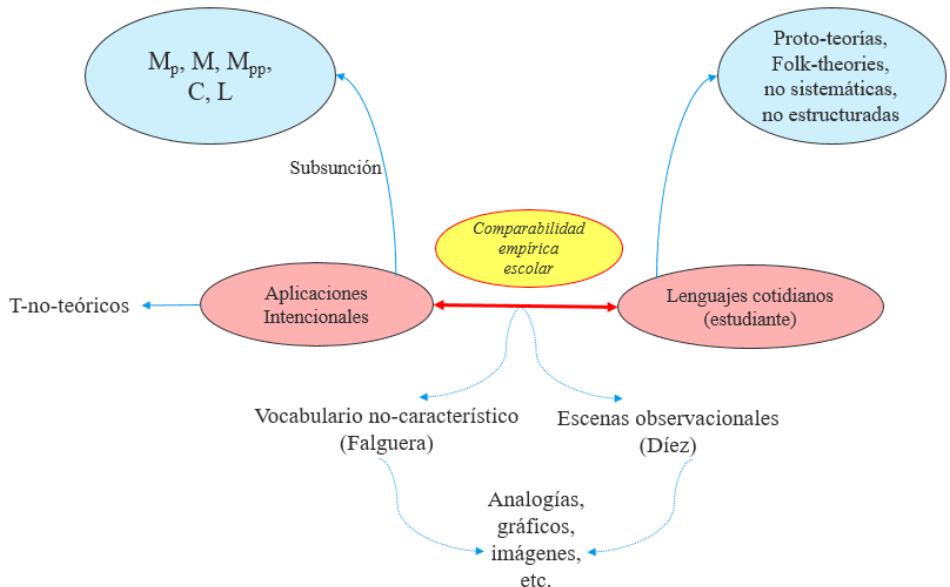
De las reflexiones que anteceden se puede pensar la actividad científica escolar formulada a partir de las siguientes presunciones teóricas:

- Una necesidad esencial en el proceso de modelización científica escolar recae en las exigencias al profesorado, quienes debieran tener un conocimiento adecuado de la disciplina que enseñan, de cómo se construye y de cómo se enseña. Es decir, debieran tener una formación disciplinar, metateórica y didáctica. Los profesores debieran ser conocedores de algunos aspectos de la epistemología y la historia de las teorías que enseñan, de modo de ser capaces de identificar su base empírica y sus aplicaciones intencionales. Por supuesto que aquí también se exhibe la necesidad específica de un instrumental metateórico básico que permita elucidar la estructura específica de las teorías a enseñar y hacer un tratamiento de su vocabulario.
- La identificación de los conceptos previos de los estudiantes es un paso crucial en el proceso de enseñanza. En ella es posible detectar intenciones y motivaciones sobre acontecimientos o situaciones específicas que puedan despertar el interés. Este es un paso relevante para la identificación de vocabulario no-característico que pueda funcionar de intermediario entre el vocabulario más cercano a los conocimientos previos de los/as estudiantes y el vocabulario ofrecido por los modelos parciales de **T**, el de la base empírica. Ello coincide con la conveniencia de usar mediadores de tipo analógico, que permiten transitar entre “vocabularios”. Las relaciones que se pueden establecer entre los diversos lenguajes al momento de la analogía variarán por supuesto de acuerdo al grado de sofisticación de los temas a tratar, la experiencia del docente y el contexto que se usa para modelizar (Ferry & Paula, 2017). La cuestión es identificar la función mediadora entre lenguajes característicos y no-característicos de las teorías.
- La *comparabilidad empírica escolar*, entendida como una vinculación (o reconceptualización) del lenguaje cotidiano del estudiante, mediante el paso desde el lenguaje no-característico al lenguaje característico (el de los *modelos parciales*), no tiene un momento específico/fijo en el proceso. Más bien, los profesores lo promueven teniendo en cuenta procesos de aprendizaje individuales y siendo explícitos en el pasaje lingüístico. En ese pasaje es posible la introducción de otros discursos metateóricos (por ejemplo, la historia o sociología de la ciencia) a fin de ambientar las condiciones que llevaron a la determinación de las aplicaciones intencionales de **T**. Esto, sin duda, es un espacio interesante para las líneas de trabajo de la didáctica de las ciencias que se preguntan sobre cómo vincular aspectos históricos, sociales, culturales, pragmáticos o valóricos en los procesos de enseñanza.
- El enriquecimiento *teórico* del vocabulario para hablar de los fenómenos constituye entonces un paso necesario para la modelización. En términos estructuralistas, consiste en la introducción de los términos teóricos en el conjunto de los modelos parciales para constituir una clase de modelos “potenciales” sobre los cuales se ensayarán enunciados “legaliformes” (los que se exponen en los libros de texto).
- La modelización consistirá entonces en el proceso en que el docente acompaña al estudiantado para subsumir las aplicaciones intencionales de **T** en los modelos “actuales” de **T**. Es indispensable una aclaración en este punto. Como se mencionó, en el ámbito de la didáctica de las ciencias basada en modelos se asume que los estudiantes llevan a cabo una actividad científica comparable hasta cierto punto con la de los científicos y que, en consecuencia, los procesos de modelización en la ciencia erudita pueden ser trasladados (adecuadamente) a la escuela para configurar la ciencia escolar. Por tanto, es esperable que la precisión con la que se

identifique y exprese el vocabulario de **T** y la manera en la que se realice el proceso de modelización pueda *modularse* de acuerdo con los niveles de escolarización y los objetivos específicos en cada clase de ciencias. Con ello, la forma en la que se nos presentan las teorías y sus modelos en la escuela es, al menos de manera muy básica, coincidente con la forma en la que se nos presentan las teorías y sus modelos en la ciencia erudita, aunque ambos procesos no coincidan necesariamente en todos sus aspectos¹¹.

- Con las aplicaciones intencionales bien identificadas y ya subsumidas bajo **M**, es posible realizar analogías o correlaciones con otros fenómenos que pueden caer en el dominio de la misma **T**. El objetivo en este caso sería la identificación ya no solo de las aplicaciones intencionales paradigmáticas (tal como a veces sucedía en la enseñanza tradicional), sino también de aplicaciones intencionales no paradigmáticas que puedan corresponder con otros fenómenos cercanos a la realidad de las/os estudiantes.
- Es importante hacer al estudiante un participante activo del proceso, permitiendo que identifique sus dificultades y avances. Esto constituye un espacio de metacognición y autorregulación en cada momento de la modelización científica escolar.

Figura 3. Actividad científica escolar en base estructuralista.



¹¹ Esta forma de entender las diferencias entre la ciencia de los científicos y la ciencia llevada adelante en la escuela puede ser un punto de partida para nuevas discusiones en torno a la llamada “transposición didáctica”.

5. EJEMPLO DE UNA ACTIVIDAD CIENTÍFICA ESCOLAR DE BASE MODELOTEÓRICA ESTRUCTURALISTA

La actividad que se presenta en esta sección está dirigida a estudiantes de secundaria superior (15-18 años). El objetivo específico es enseñar las nociones principales de la estequiometría daltoniana. Lo que buscamos es ejemplificar el modo en que los conceptos metateóricos expuestos en líneas anteriores se podrían poner en juego en la dinámica de las clases de química. En este sentido, la estructura de la actividad tiene similitudes con, por ejemplo, la presentada en Marín-Becerra y Moreno-Esparza (2010); sin embargo, el fundamento metateórico es nuestro, en coherencia con las páginas anteriores.

5.1. ESTEQUIOMETRÍA Y FERRETERÍA DALTONIANA

El paso inicial es pedirles a los estudiantes que se imaginen que trabajan en una ferretería en donde cuentan con una balanza de dos platos y varios objetos como clavos, tornillos, tuercas y arandelas. Todos ellos son componentes usuales de “ensambles” diferentes, pero la forma en la que se ensamblan y las cantidades que se usan para cada ensamble son distintas.

Podríamos entonces indicar que, así como los ensambles se configuran de diversas combinaciones entre arandelas, tuercas y tornillos, en la vida diaria se encuentran sustancias que están constituidas por diversos componentes y en cantidades diversas de combinación. Sustancias como la sal y el agua son ejemplo de dichas combinaciones. Nos podríamos preguntar entonces: ¿cómo se relacionan las cantidades de cada componente que se combina para formar un ensamble?

La primera suposición que podemos hacer sería que todos los elementos dentro de cada uno de estos grupos de objetos se asumirán como iguales entre sí, incluso con la misma masa, pero diferente de la de los elementos de otro grupo. Esto significa que todos los clavos son iguales entre sí, pero diferentes respecto de los tornillos, arandelas o tuercas. Usando la balanza de dos platos, es posible establecer la masa relativa de los objetos en la ferretería con el siguiente procedimiento:

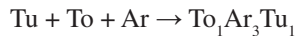
- Primero debemos decidir cuál de los objetos habremos de emplear como estándar. Una sugerencia es usar el objeto de menor masa como nuestra unidad de medida.
- Esta actividad requiere que en uno de los platos de la balanza se coloque un puñado de tuercas mientras que en el otro se coloquen tantos clavos como sean necesarios para equilibrar la balanza. Dado que la masa de una tuerca es diferente de la de un clavo, el número de objetos en cada plato de la balanza necesariamente es distinto.
- Luego se pide a los estudiantes que sugieran el número de objetos que hay en cada plato de la balanza. Propondrán números como: 38 tuercas se equilibran con 175 clavos, 60 tornillos se equilibran con 1530 clavos, etc.
- Una vez establecidos estos números, se podrán calcular las masas relativas de todos los objetos del taller, por ejemplo: $175 \text{ clavos} / 38 \text{ tuercas} = 4.6 \text{ clavos} / 1 \text{ tuerca}$; es decir, que la masa de una tuerca equivale a la de 4.6 clavos, donde esta unidad de masa (el clavo) la abreviamos como “c”. Un ejemplo de resultados se ilustra en la tabla 1.

Tabla 1. Ejemplo de resultados de masas relativas

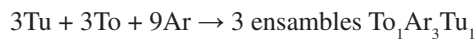
	Balanza de 2 platos		Relación clavo/objeto	Masa relativa
	N° de objetos	N° de clavos		
Tuercas	38	175	175/38 = 4.6	4.6c
Rondanas	52	455	455/52 = 8.75	8.75c
Tornillos	60	1530	1530/60 = 25.5	25.5c
Clavos	53	53	53/53 = 1	1c

Fuente. Marín-Becerra y Moreno-Esparza (2010, p. 288).

- Les pedimos ahora que combinen un determinado número de piezas y formen un ensamble (por ejemplo: un tornillo, tres arandelas y una tuerca). En este punto sugerimos que, para simplificar, asignen una denominación a cada elemento (por ejemplo, tuerca [Tu], Arandela [Ar] y Tornillo [To]) para que posteriormente escriban la “fórmula del ensamble” formado, indicando el número de cada una de las piezas constituyentes mediante subíndices: $To_1Ar_3Tu_1$. Se podría en este punto determinar la composición porcentual de cada una de las piezas de un ensamble a partir de una fórmula y viceversa, es decir, determinar la fórmula de un ensamble a partir de la composición porcentual de cada una de las piezas del ensamble.
- Sería posible entonces pedir que escriban el proceso de armado de los ensambles a partir de los componentes iniciales:



- De acuerdo con la manera en la que se escribe el proceso (la reacción), se pide que se determine las cantidades mínimas necesarias para armar tres ensambles y que completen la ecuación:



La cual puede simplificarse y determinar las proporciones con las cuales se combinan los elementos para formar *un* ensamble:



- Ahora sería posible hacer algunas cuentas pensando en las cantidades de componentes disponibles en nuestra ferretería, sugiriendo, por ejemplo, cuántos ensambles son posibles a partir de cierta cantidad de tuercas, tornillos y arandelas. Sería posible notar que las proporciones de los componentes antes y después de la combinación (reacción) se mantienen constantes.
- Con el “clavo” como unidad de masa podemos calcular ahora la masa que tendría el ensamble: $25.5c + 3(8.75) + 4.6c = 56.35c$. Con ello es posible identificar que

una fórmula del tipo “ $ToAr_3Tu$ ” tiene un peso general que consiste en la suma de los pesos relativos de los componentes que la forman.

- La actividad continúa con el paso explícito del vocabulario no-característico al vocabulario característico de **T**. Por ejemplo, en esta analogía puede identificarse con facilidad aquello que ya se encuentra previo a la forma en la que se pueden explicar las relaciones entre lo que se combina. En este sentido, lo que tenemos inicialmente (la base empírica) son algunos datos acerca de las sustancias que participan en la reacción y acerca de sus pesos de combinación (la cantidad en peso de combinación de tuercas o tornillos que participan). Es posible introducir un vocabulario con términos cotidianos como “sal”, “agua”, “oxígeno” que resultan ser de uso frecuente para los estudiantes. En el vocabulario no-teórico de la estequiometría daltoniana (Balzer, Moulines & Sneed, 1987[2012], pp. 163-182) encontramos justamente términos como “sustancias”, “pesos de combinación” (aquellos determinados por balanzas) y un tiempo particular (antes o después de la reacción). Podemos hacer énfasis en que este mismo principio se puede aplicar a la masa de los átomos y que, una vez que se determina su masa relativa –esto es, sus unidades de masa atómica (uma); p.e. $H = 1$ uma, $C = 12.01$ uma y $Cl = 35.45$ uma–, podemos determinar que las relaciones de peso entre los átomos que reaccionan para formar un producto son constantes, tal como se observa al determinar la cantidad de tornillos, arandelas y tuercas que se necesitan para formar el ensamble. También es posible determinar el peso molecular relativo de la fórmula y la preservación de las cantidades de los elementos de la reacción, con los pesos relativos y las proporciones, sin necesidad de identificar un peso real.

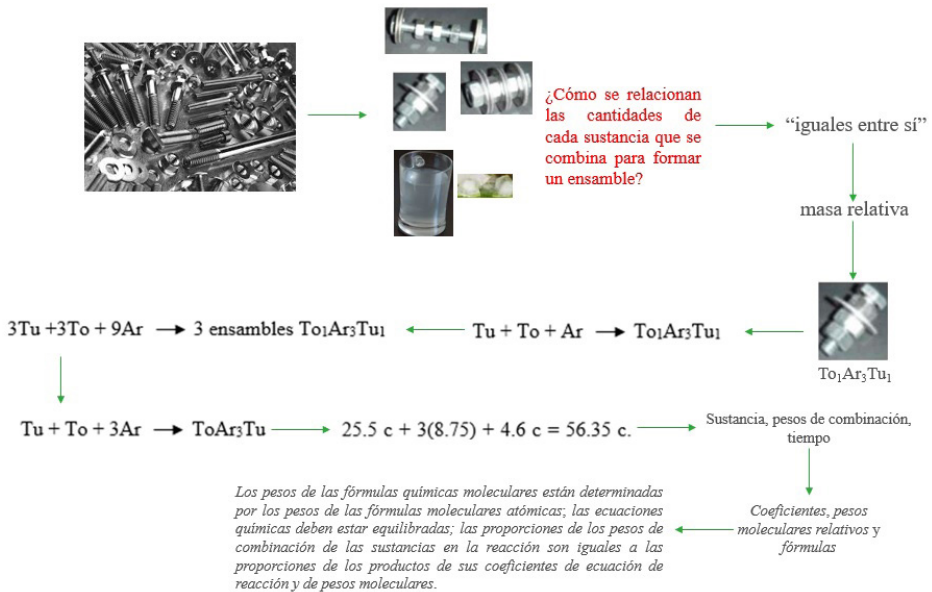
La extensión del conjunto de términos (que hemos llamado antes “enriquecimiento”) se realiza mediante la introducción de términos teóricos como *coeficientes*, *pesos moleculares relativos* y *fórmulas*. De esta manera, se constituirán como modelos actuales de la teoría las estructuras que contienen tanto los términos no-teóricos como los teóricos y además satisfacen las leyes de la estequiometría daltoniana:

1. Los pesos de las fórmulas químicas moleculares están determinados por los pesos de las fórmulas atómicas.
2. Las ecuaciones químicas deben estar equilibradas.
3. Las proporciones de los pesos de combinación de las sustancias en la reacción son iguales a las proporciones de los productos de sus coeficientes de ecuación de reacción por sus pesos moleculares.

En términos generales, la correlación entre la combinación de elementos de ferretería –en la vida cotidiana– y la combinación de sustancias –en la química–, hecha bajo la *mediación* ofrecida por una explicación “puente” que introduce coeficientes, pesos moleculares relativos y fórmulas, constituiría el caso de modelización en la ciencia escolar que estamos exponiendo y justificando¹².

¹² En términos estructuralistas, la modelización consistiría en que cada estructura real “no-teórica” puede ser extendida a un modelo teórico con unas “funciones teóricas” adecuadas (Balzer, Moulines & Sneed, 1987[2012], p. 173).

Figura 4. Esquema general de la actividad, modificada de Marín-Becerra & Moreno-Esparza (2010).



6. CONCLUSIONES

En este trabajo se acude a una transposición del modelo de cambio científico *interteórico* como un modo interesante de ver una enseñanza de basamento modeloteórico estructuralista, y aunque no se está situando a los científicos y científicas en el mismo contexto de construcción de conocimientos que el de los estudiantes, ni viceversa, en las aulas podrían estar funcionando el mismo tipo de operaciones de comunicación científica (p.e., las relacionadas con la construcción intersubjetiva de Situaciones Experienciales Intersubjetivamente Controladas o “SEIC’s”, [Moulines, 2005, 2007, 2012]). En este sentido, la discusión se torna interesante cuando se ponen de relieve las similitudes que pueden establecerse entre las discusiones actuales acerca de la actividad científica con teorías y los abordajes modeloteóricos en la didáctica de las ciencias.

Son claras las diferencias entre el proceso de enseñanza que se da en las aulas de ciencias y el proceso de comparación de teorías en el ámbito académico. Pero de esto no se sigue una disimilitud completa; en nuestra opinión, no cabe sostener que se trate de dos cosas disjuntas, y que nada tiene que ver la enseñanza de nuevas ideas en el contexto de educación con la aceptación de nuevas ideas en el contexto de innovación. Por tanto, sostenemos que algunos de los procesos llevados a cabo en la “ciencia de los científicos” pueden ser trasladados (habiendo sido interpretados y adecuados bajos objetivos, metodologías y contextos específicos) a la enseñanza de las ciencias en los distintos niveles educativos. Creemos que “la reflexión metateórica sobre ambos tipos de ciencia [la erudita y la escolar] es capaz de iluminar las semejanzas y diferencias entre ellas, ayudando a articularlas en el contexto de educación científica, con el fin de conseguir una enseñanza de las ciencias más

rica y valiosa” (Adúriz-Bravo, 2001, p. 404). Los dos procesos de modelización resultantes tienen diferencias en algunos aspectos “pero coinciden en otros[,] la comparación entre ambos permite una reflexión interesante” (Izquierdo-Aymerich, 2004, p. 130).

Como mencionamos, el inicio de la actividad científica escolar tiene como punto de referencia lo que el estudiante ya sabe, es decir, ciertas teorías que ellos asumen, no del todo explícitas, no del todo estructuradas, no del todo sistemáticas, con lenguajes comunes o no expertos o no-característicos. En clase, ellos enfrentan teorías novedosas, que aparecen como “rivales”. En este artículo, nuestro objetivo ha sido contribuir a la caracterización de este proceso de enfrentamiento y posterior compatibilización desde el estructuralismo metateórico, a través de la identificación de las similitudes entre la noción de comparabilidad empírica y las aproximaciones modeloteóricas de la ciencia escolar. Mencionamos aquí algunos puntos que habría que tener en cuenta para regular nuestra propuesta:

- La importancia del acercamiento de los lenguajes de los estudiantes y los lenguajes de los profesores partiendo del vocabulario común de las aplicaciones intencionales (vocabulario no-teórico) y acudiendo a mediadores con vocabulario no-característico.
- La importancia de la identificación de las aplicaciones intencionales paradigmáticas junto con las aplicaciones intencionales exitosas, para, mediante ciertos procesos de subsunción y analogía, relacionar con las “aplicaciones intencionales supuestas” que podrían constituir los fenómenos cotidianos del estudiantado.
- La importancia del papel de las analogías referido al establecimiento de conexiones entre lenguajes cotidianos y lenguajes característicos de los modelos de las teorías que se están enseñando.

Nos adherimos en general al riquísimo campo de investigación e innovación ofrecido por la noción teórica de ciencia escolar, y pretendemos complementarlo con una dimensión de exploración metateórica, en la que buscamos correspondencia alta entre nuestra reconstrucción de los objetos de enseñanza, nuestra identificación de los fundamentos modeloteóricos de tales objetos y las actividades que podamos diseñar con todo ello. Esta propuesta, por tanto, aparece como un camino posible a seguir a fin de contribuir con la constitución de una “didáctica de las ciencias modeloteórica”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, E. W. (1955). *Axiomatic Foundations of Rigid Body Mechanics*. Tesis Doctoral. Stanford: Stanford University.
- _____. (1959). The Foundations of Rigid Body Mechanics and the Derivation of Its Laws from Those of Particle Mechanics. En Henkin, L., Suppes, P. & Tarski, A. (Eds.). *The Axiomatic Method* (pp. 250-265). Amsterdam: North Holland.
- Adúriz-Bravo, A. & Revel Chion, A. (2017). Language, Discourse, Argumentation, and Science Education. En Taber, K. S. & Akpan, B. (Eds). *Science Education. New Directions in Mathematics and Science Education* (pp. 157-166). Rotterdam: SensePublishers.
- Adúriz-Bravo, A. (2001). *Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias* (Tesis Doctoral). Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

- _____. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: la epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- _____. (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.
- _____. (2013). A Semantic View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education*, 22(7), 1593-1611.
- _____. (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.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(3), 130-140.
- Adúriz-Bravo, A., Gómez, A., Márquez, C. & Sanmartí, N. (2005). La mediación analógica en la ciencia escolar. Propuesta de la función modelo teórico. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VII, 1-5.
- Ariza, Y. (2015). *Introducción de la metateoría estructuralista en la didáctica de las ciencias: didáctica modeloteórica de las ciencias* (Tesis Doctoral). Buenos Aires: Universidad Nacional de Tres de Febrero.
- Ariza, Y., Lorenzano, P. & Adúriz-Bravo, A. (2016a). Meta-Theoretical Contributions to the Constitution of a Model-Based Didactics of Science. *Science & Education*, 25, 747-773.
- _____. (2016b). Una perspectiva estructuralista de la enseñanza modelo-teórica de las ciencias. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 12(1), 11-38.
- Balzer, W., Moulines, C.U. & Sneed J. D. (1987). *An Architectonic for Science. The Structuralist Program*. Dordrecht: Reidel. (Versión castellana de P. Lorenzano (Trd.) (2012). *Una arquitectónica para la ciencia. El programa estructuralista*. Bernal: Universidad Nacional de Quilmes.)
- Bar-Hillel, Y. (1970). Neorealism vs. Neopositivism. A Neo-Pseudo Issue. En Y. Bar-Hillel. *Aspects of Language* (pp. 263-272). Jerusalem: The Magnes Press, The Hebrew University.
- Berland, L., Schwarz, C., Krist, C., Kenyon, L., Lo, A. & Reiser, B. (2015). Epistemologies in Practice: Making Scientific Practices Meaningful for Students. *Journal of Research in Science Teaching*. doi: 10.1002/tea.21257.
- Boulter, C. J. & Gilbert, J. K. (2000). Challenges and Opportunities of Developing Models in Science Education. En J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.). *Developing Models in Science Education* (pp. 343-362). Dordrecht: Kluwer.
- Carey, S. & Spelke, E. (1996). Science and Core Knowledge. *Philosophy of Science*, 63(4), 515-533.
- 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.
- _____. (2013). A New Definition of Models and Modeling in Chemistry's Teaching. *Science & Education*, 22(7), 1613-1632.
- Clement, J. J. & Rea-Ramirez, M. A. (2008). *Model Based Learning and Instruction in Science*. Dordrecht: Springer.
- Develaki, M. (2007). The Model-Based View of Scientific Theories and the Structuring of School Science Programmes. *Science & Education*, 16(7), 725-749.
- Díez, J. A. & Lorenzano, P. (Eds.) (2002). *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones*. Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes/ Universidad Autónoma de Zacatecas/ Universitat Rovira i Virgili.
- Díez, J. A. & Moulines, C. U. (2008). *Fundamentos de filosofía de la ciencia*. 3ª edición revisada. Barcelona: Ariel.
- Díez, J. A. (2012). Inconmensurabilidad, comparabilidad empírica y escenas observacionales. En P. Lorenzano & O. Nudler (Eds.). *El camino desde Kuhn: la inconmensurabilidad hoy* (pp. 67-118). Madrid: Biblioteca Nueva.

- Duschl, R. (1985). Science Education and Philosophy of Science: Twenty-Five Years of Mutually Exclusive Development. *School Science and Mathematics*, 85(7), 541-555.
- Echeverría, J. (1995). *Filosofía de la ciencia*. Madrid: Akal.
- Erduran, S. & Duschl, R. (2004). Interdisciplinary Characterizations of Models and the Nature of Chemical Knowledge in the Classroom. *Studies in Science Education*, 40, 111-144.
- Erduran, S. (2001). Philosophy of Chemistry: An Emerging Field with Implications for Chemistry Education. *Science & Education*, 10(6), 581-593.
- Falguera, J. L. & de Donato-Rodríguez, X. (2016). Incommensurability, Comparability, and Non-reductive Ontological Relations. *Journal for General Philosophy of Science* 47, 37-58. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10838-014-9275-3>
- Falguera, J. L. (2012). Comparación epistémica de teorías inconmensurables, sin fundamentismo. En P. Lorenzano & O. Nudler. (Eds.). *El camino desde Kuhn: la inconmensurabilidad hoy* (pp. 119-170). Madrid: Biblioteca Nueva.
- Ferry, A. S. & Paula, H. F. (2017). Mapeamento estrutural de analogias enunciadas em uma aula sobre cinética química. *Ciência & Educação*, 23(1), 29-50.
- Gallego, P. & Gallego, R. (2007). Historia, epistemología y didáctica de las ciencias: unas relaciones necesarias. *Ciência & Educação*, 13(1), 85-98.
- Garófalo, J. & Galagovsky, L. (2005). Modelizar en biología: una aplicación del modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias, número extra*: 1-6.
- Giere, R. (1988). *Explaining Science. A Cognitive Approach*. Chicago: The University of Chicago Press. (Versión castellana de C.E. Gidi (Trd.) (1992). *La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.)
- _____. (1985). Constructive Realism. En P.M. Churchland & C. Hooker (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. K. & Boulter, C. J. (Eds.) (2000). *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. & Rutherford, M. (1998). Models in Explanations, Part 1: Horses for Courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97.
- Gobert, J. & Buckley, B. (2000). Introduction to Model-Based Teaching and Learning in Science Education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- Gómez, A. (2005). *Construcción del modelo ser vivo en la escuela primaria: una visión escalar* (Tesis doctoral). Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- 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.
- _____. (2002). Mental, Physical, and Mathematical Models in the Teaching and Learning of Physics. *Science Education*, 1, 106-121.
- Halloun, I. (2020). *Model-based convergence in science education in the framework of Systemic Cognition and Education*. Jounieh, LB: H Institute.
- Halloun, I. A. (2004). *Modeling Theory in Science Education*. Dordrecht: Kluwer.
- Hempel, C. (1966). *Philosophy of Natural Science*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Izquierdo-Aymerich, M. & Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: conextualizar y modelizar. *The Journal of the Argentine Chemical Society*, 92(4/6), 115-136.
- _____. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 111-122.
- _____. (2017). Linking context, competencies and modeling. Is it possible to teach science to

- all people? *Modelling in Science Education and Learning* 10(1), 309-326. DOI: 10.4995/msel.2017.6637.
- Izquierdo-Aymerich, M., Espinet, M., García Rovira, M. P., Pujol, R. M. & 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.
- _____. (2009). Learning how to Model in Science Classroom: Key Teacher's Role in Supporting the Development of Students' Modelling Skills. *Educación Química*, 20(1), 34-40.
- Khine, M. S. & Saleh, I. M. (2011) (eds.). *Models and Modeling: Cognitive Tools for Scientific Enquiry*. Dordrecht: Springer.
- 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.
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: Chicago University Press. (Versión castellana de C. Solis (Trd.) (2013). *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Kuhn, T. S. (1969). Second Thoughts on Paradigms. En F. Suppe (Ed.) (1974). *The Structure of Scientific Theories*. Urbana, Ill.: University of Illinois Press. 2ª ed. 1977, 459-482. (Versión castellana: “Segundas reflexiones acerca de los paradigmas”. En F. Suppe (Ed.) (1979). *La estructura de las teorías científicas* (pp. 509-533). Madrid: Editorial Nacional.)
- _____. (1977). *The Essential Tension. Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. Chicago: University of Chicago Press.
- _____. (1989). Possible Worlds in History of Science. En S. Allén (Ed.). *Possible Worlds in Humanities, Arts, and Sciences* (pp. 9-32). Berlin: de Gruyter.
- _____. (1990). Dubbing and Redubbing: The Vulnerability of Rigid Designation. En W. Savage (Ed.). *Scientific Theories* (pp. 289-318). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Lemke, J. L. (1997). *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós.
- Lombardi, O. (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. & Díaz, M. A. (2020). Laws, Models, and Theories in Biology: A Unifying Interpretation. En Baravalle L. & Zaterka L. (Eds.). *Life and Evolution. History, Philosophy and Theory of the Life Sciences* (pp 163-207). Cham: Springer.
- Lorenzano, P. & Nudler, O. (2012). Introducción. En P. Lorenzano & O. Nudler (Eds.). *El camino desde Kuhn: la incommensurabilidad hoy* (pp. 9-25). Madrid: Biblioteca Nueva.
- 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.
- _____. (2012). Estructuras y aplicaciones intencionales. Incommensurabilidad teórica y comparabilidad empírica en la historia de la genética clásica. En P. Lorenzano & O. Nudler (Eds.). *El camino desde Kuhn: la incommensurabilidad hoy* (pp. 289-350). Madrid: Biblioteca Nueva.
- _____. (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.
- _____. (2018). Leyes, modelos y teorías en biología. Una interpretación unificadora. *Perspectivas*, 2, 55-88.
- Lozano, E., Adúriz-Bravo, A. & Bahamonde, N. (2020). Un Proceso de Modelización de la Membrana Celular en la Formación del Profesorado en Biología en la Universidad. *Ciência & Educação*, 26. Doi: 10.1590/1516-731320200027

- Marín-Becerra, A. & Moreno-Esparza, R. (2010). Masas relativas y el mol: Una demostración simple de un concepto difícil. *Educación Química*, 21(4): 287-290.
- Márquez, C., Izquierdo, M. & Espinet, M. (2003). Comunicación multimodal en las clases de ciencias: el ciclo del agua. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 371-386.
- Matthews, M. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. Nueva York: Routledge.
- _____. (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.
- _____. (Ed.) (2018). *History, Philosophy and Science Teaching: New Perspectives*. Dordrecht: Springer.
- Meng-Fei, C. & 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, M. & Morgan, M. S. (1999). Models as Mediating Instruments. En M. S. Morgan & M. Morrison (Eds.). *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science* (pp. 10-37). Cambridge: Cambridge University Press.
- Moulines, C. U. (1982). *Exploraciones metacientíficas*. Madrid: Alianza.
- _____. (1991). *Pluralidad y recursión*. Madrid: Alianza.
- _____. (2002). Introduction: Structuralism as a Program for Modelling Theoretical Science. *Synthese*, 130, 1-11.
- _____. (2005). Models of Data, Theoretical Models, and Ontology. A Structuralist Perspective. En M. Hoffmann *et al.* (Comps.). *Activity and Sign* (pp. 325-333), Nueva York: Springer.
- _____. (2007). Model Construction, Idealization, and Scientific Ontology. En J. Brzeziński, A. Klawiter, T. A. F. Kuipers, K. Łastowski, K. Paprzycka, P. Przybysz (Eds.). *The Courage of Doing Philosophy: Essays Dedicated to Leszek Nowak* (pp. 257-271), Amsterdam/New York, NY: Rodopi.
- _____. (2012). Ontoepistemosemántica en perspectiva estructuralista. En L. M. Peris-Viñé (Comp.). *Filosofía de la ciencia en Iberoamérica: metateoría Estructural* (pp. 19-31), Madrid: Tecnos.
- Oh, P. S. & 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. & Giere, R. (2014). Models in Science and in Learning Science: Focusing Scientific Practice on Sense-making. En M. Matthews (Ed.). *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1171-1202), Dordrecht: Springer.
- Schwartz, R. (2019). Modeling Competence in the Light of Nature of Science. En Upmeyer zu Belzen, A., Krüger, D. & van Driel, J. (Eds.). *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education* (pp. 59-81). Dordrecht: Springer.
- Schwarz C. V., Reiser, B.J., Davis, E.A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. & Krajcik, J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learner. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Sensey, G., Tiberghien, A., Santini, J., Laubé, S. & 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.
- Stegmüller, W. (1979). *The Structuralist View of Theories*, Berlin: Springer. (Versión castellana de J. L. Zofío (Trd.) (1981). *La concepción estructuralista de las teorías*. Alianza: Madrid)
- Strike, K.A. & Posner, G.J. (1985). A Conceptual Change View of Learning and Understanding. En L. H. T. West & A. L. Pines (Eds.). *Cognitive Structure and Conceptual Change*. Orlando: Academic Press.

- Suppe, F. (1974). *The Structure of Scientific Theories*. Urbana: University of Illinois Press.
- _____. (1989). *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism*. Urbana: University of Illinois Press.
- _____. (1998). Theories, Scientific. En E. Craig (Ed.). *Routledge Encyclopedia of Philosophy*. London: Routledge.
- Thompson-Jones, M. (2006). Models and the Semantic View. *Philosophy of Science*, 73, 524-535.
- Upmeier zu Belzen, A., van Driel, J. & Krüger, D. (2019). Introducing a Framework for Modeling Competence. En Upmeier zu Belzen, A., Krüger, D. & van Driel, J. (Eds.). *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education* (pp. 3-21). Dordrecht: Springer.
- van Fraassen, B. (1980). *The Scientific Image*. Oxford: Clarendon press.
- _____. (2008). *Scientific Representation: Paradoxes of Perspectives*. Oxford: Oxford University Press.
- Vo, T., Forbes, C. T., Zangori, L. & Schwarz, C. (2015). Fostering Third-Grade Students' Use of Scientific Models with the Water Cycle: Elementary Teachers' Conceptions and Practices. *International Journal of Science Education*, 37(15), 2411-2432. DOI: 10.1080/09500693.2015.1080880.

