

LA NOCIÓN ESTRUCTURALISTA DE “COMPARABILIDAD EMPÍRICA” Y LA ENSEÑANZA MODELO-TEÓRICA DE LAS CIENCIAS

Yefrin Ariza*

Pablo Lorenzano**

Agustín Adúriz Bravo***

Ariza, Y., Lorenzano, P., & Adúriz-Bravo, A. (2016). La noción estructuralista de “comparabilidad empírica” y la enseñanza modelo-teórica de las ciencias. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 12(1), 11-38.

RESUMEN

Desde la *metateoría estructuralista* es posible suministrar elementos metateóricos que guíen y fundamenten las actuales líneas de trabajo de la didáctica de las ciencias, aquellas sobre su estatus disciplinar, sobre los análisis de sus objetos de estudio y sobre la introducción de contenidos de filosofía de la ciencia a la enseñanza y la formación de profesores de ciencias. Este trabajo intenta explorar algunos de los aportes posibles que la metateoría estructuralista puede ofrecer a la enseñanza de las ciencias, estableciendo algunas relaciones entre las actuales propuestas de la enseñanza basada en modelos y las consideraciones acerca de las nociones kuhnianas de *incommensurabilidad* y *comparabilidad* ofrecidas por la metateoría estructuralista.

* Doctor en Epistemología e Historia de la Ciencia, Universidad Nacional de Tres de Febrero. Investigador del Centro de Estudios de Filosofía e Historia de la Ciencia (CEFHC), Universidad Nacional de Quilmes y del Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales (GEHyD), Instituto de Investigaciones Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CeFIEC), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Becario Posdoctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. Correo electrónico: angelyefrin@hotmail.com.

** Doctor en Filosofía, Universidad Libre de Berlín. Director del Centro de Estudios de Filosofía e Historia de la Ciencia (CEFHC), Universidad Nacional de Quilmes. Investigador Principal del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

*** Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universitat Autònoma de Barcelona. Director del Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales (GEHyD), Instituto de Investigaciones Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CeFIEC), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Investigador Independiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

Recibido: abril 21 de 2016. Aceptado: junio 22 de 2016

PALABRAS CLAVE: modelos, didáctica modeloteórica de las ciencias, ciencia escolar, comparabilidad empírica.

STRUCTURALIST NOTION OF “EMPIRICAL COMPARABILITY” AND THE MODEL-THEORETICAL TEACHING OF SCIENCE

ABSTRACT

From the structuralist metatheory is possible to supply metatheoretical elements to guide and substantiate the current lines of work of science teaching, those on their disciplinary status, about the analysis of their object of study and on the introduction of philosophy of science contents in science and training of science teachers. This work attempts to explore some of the possible contributions that the structuralist metatheory can offer to Science teaching, establishing some relationships between current model-based teaching proposals and the considerations about Kuhn's notions of *incommensurability* and *comparability* offered by structuralist metatheory.

KEY WORDS: models, model-theoretical teaching of Science , school Science, empirical comparability.

INTRODUCCIÓN

Desde hace aproximadamente treinta años con los trabajos principales de Duschl (1985) o Matthews (1994) se viene reconociendo de manera explícita la *bondad* de las vinculaciones entre filosofía, historia y didáctica de las ciencias. Es evidente que desde la intersección de estas disciplinas se ha logrado arribar al fortalecimiento de las referencias metateóricas fundamentales que soportan las estructuras teóricas y prácticas que dirigen la enseñanza de las ciencias y la formación de profesores de ciencias. Desde la didáctica de las ciencias, principalmente, los estudios que abordan estos vínculos han proliferado y conforman áreas de investigación que pueden verse ‘establecidas’ en la agenda de investigación de los didactas (cf. Adúriz-Bravo, 2009; Gallego y Gallego, 2007; Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003; Matthews, 1994) como el área HPS (por *History and Philosophy of Science for Science Teaching*) o la línea NOS (de *Nature of Science*).

La filosofía de la ciencia es probablemente la metaciencia de mayor inclusión en las diversas líneas de investigación de la didáctica de las ciencias,¹ muchas veces acompañada por la *historia de la ciencia* y con cada vez mayor participación de los contenidos de la *sociología de la ciencia*. Aunque la inclusión de contenidos metacientíficos en la didáctica de las ciencias está en aumento, existen diferencias sustantivas en cuanto a cómo es o cómo debería realizarse este acercamiento.

Estos acercamientos, tanto desde la didáctica hacia la filosofía de la ciencia como (en menor medida) desde la filosofía de la ciencia a la didáctica, han permitido reconocer la importancia de la enseñanza en el contexto general de la dinámica científica y a su vez, dotar a la didáctica de las ciencias de bases metateóricas ricas y diversas, constituyendo a la filosofía de la ciencia, una referencia insoslayable para la educación científica y para la formación del profesorado de ciencias.

En los últimos 15 años estamos asistiendo a un movimiento, en la didáctica de las ciencias, desde una concepción lingüística (axiomática) de la ciencia hacia una concepción semántica. Esta perspectiva emergente conocida como didáctica modelo-teórica de las ciencias (Adúriz-Bravo, 2009), acude a las discusiones metateóricas actuales (de corte semanticista) sobre los modelos científicos.

En este trabajo establecemos algunas relaciones entre las actuales nociones de “enseñanza” de basamento modelo-teórico que se despliegan en el ámbito de la *didáctica modeloteórica de las ciencias* (Adúriz-Bravo, 2009; Ariza, 2015; Ariza, Lorenzano y Adúriz-Bravo, 2016) y las nociones kuhnianas de *inconmensurabilidad* y *comparabilidad* ofrecidas por la filosofía de la ciencia más reciente, en particular, por el *enfoque semanticista* conocido como *estructuralismo metateórico* (Balzer, Moulines y Sneed, 1987; Lorenzano, 2012). Nuestro análisis parte de la

¹ Un ejemplo de ello es el tratamiento didáctico sobre el *cambio conceptual* en el cual la noción de “revolución científica” kuhniana se traslada a las explicaciones sobre el proceso de aprendizaje y en particular el tratamiento sobre las ideas previas del estudiantado. El *cambio conceptual* retoma la noción general de “revolución científica” para explicar el paso de una *idea previa* al *concepto científico mismo*. Esta transición resultaría coincidente –para los adeptos al *modelo de cambio conceptual*– con la idea de que en el desarrollo *diacrónico* de las teorías *científicas* ha habido cambios radicales denominados ‘revoluciones científicas’. Estos cambios implicarían que un paradigma –en uno de sus sentidos, el de paradigma como *teoría*– entraría en *crisis* por su incapacidad de explicar cierto tipo de fenómenos que lo contradicen –*anomalías*–, por lo que es sustituido –*revolución*– por otro que además de resolverlos se convierte en la base para su nuevo desarrollo –*nuevo paradigma*–. Este *proceso* de cambio de teorías es entonces entendido como ‘análogo’ al desarrollo conceptual de los estudiantes (cf. Carey y Spelke, 1996), y los términos usados dentro de la didáctica para explicitarlo son, en algún sentido, coincidentes con los términos usados por Kuhn: *insatisfacción*, *inteligibilidad*, *plausibilidad* y *fructificidad*. Estos términos serían las condiciones *necesarias* para que pueda darse el cambio conceptual (Strike y Posner, 1985).

consideración de que las actuales nociones de enseñanza modeloteórica podrían verse enriquecidas, refinadas y fundamentadas con filosofías de la ciencia recientes, y en especial con el estructuralismo metateórico. A su vez, esperamos contribuir a uno de los objetivos actuales del área HPS, el de una actualización filosófica de sus principales líneas de trabajo.

NOCIONES DE “ENSEÑANZA” DESDE LA PERSPECTIVA MODELOTEÓRICA

Actualmente, resulta ser claro que la enseñanza de las ciencias ya no se corresponde con 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 estrategias que inciten a la intervención y a la reflexión sobre los fenómenos, pero no exclusivamente aquellos (fenómenos) que se presentan de forma tradicional en los laboratorios o como *ejemplos paradigmáticos* de las ciencias (del tipo de la física), sino también aquellos fenómenos que sean relevantes para comprender e intervenir en la actualidad científica de cada sociedad.

La introducción de la noción de “modelo” en la enseñanza de las ciencias (Adúriz-Bravo, 2013; Chamizo, 2010, 2013; Develaki, 2007; Erduran y Duschl, 2004; Gilbert y Boulter, 2000; Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003, 2013; Justi, 2006; Khine y Saleh, 2011; Koponen, 2007; Oh y Oh, 2011; Passmore, Gouvea y Giere, 2014; Sensevy *et al.*, 2008), surge de aceptar que una parte del papel esencial de los modelos teóricos en la ciencia puede ser trasladada a la escuela para configurar la llamada *ciencia escolar* (Izquierdo-Aymerich *et al.*, 1999). Para esta noción de “enseñanza” el *modelo teórico* se considera como “la unidad fundamental de la ciencia de los científicos [tal como lo señala la *concepción semántica de las teorías*] y de la ciencia en la escuela” (Adúriz-Bravo *et al.*, 2005: 1, las llaves son nuestras).

Desde la didáctica de las ciencias algunos autores han sostenido esta importancia de los modelos y de la modelación para la enseñanza de las ciencias (p.e., Boulter y Gilbert, 2000; Clement y Ramírez, 2008; Erduran, 2001; Gilbert y Boulter, 2000; Greca y Moreira, 2002; Halloun, 2004; Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003) enfatizando en que esta visión modelista 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) definir y revisar los problemas a través

del tiempo; (iii) la búsqueda de fuentes de información y de datos” (Justi, 2009, p. 32; la traducción es nuestra). Este proceso no solo contribuye al aprendizaje de *modelos teóricos* científicos sino también al conocimiento acerca de la actividad científica: “[e]n general, nuestros resultados mostraron que la mayoría de los estudiantes desarrollaron una comprensión global no sólo sobre los temas (equilibrio químico y enlace iónico, respectivamente), sino también sobre la naturaleza de los modelos y su papel en la elaboración del conocimiento científico (Justi, 2009, p. 33, traducción y llaves nuestras).

Sin embargo, como señala Gobert & Buckley (2000):

Con la importancia reconocida de los modelos en la didáctica de las ciencias viene la necesidad de una teoría del aprendizaje y la enseñanza basada en modelos. Sin embargo, no hay, hasta la fecha, ninguna teoría coherente que describa los procesos cognitivos implicados en el aprendizaje basado en modelos, ni existen teorías coherentes de cómo debe ser abordada la enseñanza basada en modelos. (Gobert & Buckley, 2000, 891, la traducción es nuestra)

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 y Sneed [1987]2012; Giere, 1979, 1985, 1988; Lorenzano, 2013, 2003; Moulines, 1982, 2002; Suppe, 1974, 1989, 1998; Thompson-Jones, 2006; Stegmüller, 1979; van Fraassen, 1970, 1980, 2008), puede abordarse desde puntos de vista metateóricos que también varían en cuanto a su complejidad de análisis. Si esta variedad de análisis sobre las teorías se traslada a las aulas de clase, el resultado será una variedad de formas de entender las teorías y también de enseñarlas por parte de los profesores de ciencias. A pesar de la falta de consenso respecto de las formas diversas de sentar las bases de la enseñanza basada en modelos, podemos brindar algunos lineamientos generales respecto de las características de este tipo de enseñanza, relativamente nuevo en cuanto a sus fundamentos metateóricos y las estrategias que se derivan de ellos (cf. Adúriz-Bravo, 2005).

En la didáctica de las ciencias se reconoce que 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* o las *aplicaciones* de las teorías (de sus modelos) o al desconocimiento de los *lenguajes* al ser *aplicados* (cf. Izquierdo-Aymerich, 2004). Desde este punto de vista, estas dificultades se superan acudiendo a las nociones de “modelo teórico” y de “mediadores”. Los modelos teóricos sirven como base en la construcción de *mediadores*² que funcionan como modelos teóricos de segundo orden que permiten intervenir, hasta cierto punto, con la realidad para la cual son mediadores, y se expresan en una diversidad de recursos simbólicos. Los modelos escolares (aquellos constituyentes de 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 (Gilbert, Boulter y Rutherford, 1998) para dar sentido al proceso de modelización.

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 permita 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 dichos ‘modelos de segundo orden’ que tienen mayor sentido para los estudiantes respecto de las experiencias que ya tienen; esto es, *que sean significativos para los estudiantes* (Berland *et al.*, 2015). “Esas 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 de segundo orden* cumple con la función sugerida por Giere (1988) para los modelos teóricos de *dar sentido* al mundo bajo una realidad más cercana y significativa para los estudiantes (Schwarz *et al.*, 2009).

Se espera que con la utilización de los *mediadores* los estudiantes puedan llegar a nutrirlos (dichos modelos de segundo orden) no solo de sus conocimientos previos sino también de regularidades, entidades y restricciones impuestas por el modelo

² La noción de “modelo mediador” prevaleciente en esta perspectiva acude a la sostenida por autores como Morrison & Morgan (1999), Greca & Moreira (2000) y Lombardi (2010), donde se entienden como “mediadores” entre el campo teórico y el campo empírico.

teórico,³ situándolos así en un proceso de modelización. “Así, un péndulo que cumpla la ley del péndulo es un ‘modelo teórico’ que muestra como 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 presenta como la forma en la cual, así como en contextos científicos, se construyen modelos (Justi, 2006; Meng-Fei y Jang-Long, 2015), es decir, como *intentos* de representar los modos de pensar de los científicos (Koponen, 2007). Bajo esta perspectiva “[e]s necesario [...] introducir al ‘discípulo’ en el programa de trabajo de la disciplina [...] enseñarle a utilizar los modelos que pueden iluminar su práctica [...] y evaluarle según sea su actividad científica” (Izquierdo-Aymerich, 2004, p. 128, las llaves son nuestras). Los modelos que se enseñan han de permitir *interpretar* fenómenos que puedan parecer 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 en la argumentación durante la interpretación (bajo *algún* modelo teórico) de cada fenómeno (Izquierdo-Aymerich, 2004).

Parece evidente ahora que una de las prioridades a la hora de acudir a los modelos teóricos es acercar las experiencias de cada estudiante con aquello (fenómenos, aplicaciones, ejemplos) que los profesores presentan en clase y que se explican mediante los *modelos teóricos*. La identificación de las relaciones que pueden establecerse entre los fenómenos recae en los llamados “mediadores”. Parte de su efectividad podría deberse a la cercanía que puede establecerse entre el “lenguaje cotidiano” y la “simbología del mediador”. Es sugerente entonces que el profesorado convierta el discurso en una experiencia reconocible por el estudiante, y una de las maneras de hacerlo es a través de la utilización de los *mediadores* y su representación mediante una variedad de recursos simbólicos:

³ Un ejemplo de una actividad que usa “mediadores” para luego enriquecerlos usando tanto conocimientos previos de los/as estudiantes como de las regularidades del *modelo teórico* puede encontrarse, por ejemplo, en Márquez, Izquierdo-Aymerich & Espinet (2003) y Gómez (2005). Una investigación más reciente sobre el ciclo del agua desde un tratamiento modeloteórico, en el sentido de Gómez (2005), puede hallarse en Vo *et al.* (2015).

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)

En la segunda afirmación de la cita anterior se evidencia un enriquecimiento teórico brindado por algún *modelo teórico* reconocible por el profesor y algunas veces difícilmente reconocible por el estudiante, quién *comprende* más fácilmente la afirmación "el agua disuelve la cal". Pero además de ello, pone en evidencia que el tipo de representaciones que se gestan en clases están influenciadas por un 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 de los estudiantes.

Dependiendo del tipo de contexto y audiencia, el lenguaje puede llegar a modificar las representaciones que los estudiantes se hacen de los fenómenos modelizados. El *juego de la ciencia en clases* parece enfocarse entonces en los lenguajes compartidos y, sobre todo, en evitar que aquellos lenguajes que no se comparten proliferen en los procesos de enseñanza: podemos afirmar que, cuando se es capaz de hablar el lenguaje de la ciencia, las representaciones internas del mundo se corresponden con aquéllas que da la ciencia erudita (Lemke, 1997).

Su uso adecuado 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 y bajo cierto(s) modelo(s) teórico(s) y se posibilite una transformación en la *forma de mirar* el mundo (Izquierdo-Aymerich, 2005). Aprender ciencias se constituirá entonces como un proceso en el cual se 'reinterpretan' los fenómenos del mundo. Reconstruida en la escuela, la ciencia se *hace* ciencia escolar al permitir que los estudiantes ingresen en *su* propia 'historia de la ciencia', o como diría Mercè Izquierdo-Aymerich (2005, p. 118): "que jueguen el *juego de la ciencia*".

INCONMENSURABILIDAD Y COMPARABILIDAD

En la ciencia como en la escuela, la comunicación entre científicos o entre profesorado y alumnado es atravesada de forma esencial por el ‘lenguaje’, que media entre ellos para moldear las representaciones que construyen. Los componentes del lenguaje son componentes esenciales del proceso de enseñanza. No son los únicos, pero sí son esenciales. 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 1962[2013], p. 311)

Esta comunicación no es del todo sencilla. Los practicantes de uno y otro paradigma *ven* cosas distintas y lo interpretan bajo su propio paradigma: al estar frente a determinado fenómeno el científico o científica *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 compuestos, mientras que en otro son mezclas” (Kuhn 1962[2013], p. 311). El paso de un paradigma a otro requiere de un proceso de enseñanza/aprendizaje que no se corresponde con reinterpretar un mismo fenómeno bajo otro paradigma, sino como un *cambio de visión*. Veamos algunos pasajes en la obra de Kuhn:

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

[N]o sé cómo han logrado el éxito los que proponen ese nuevo punto de vista, pero tengo que aprenderlo; sea lo que sea lo que hagan, es obvio que está bien. Esta reacción se da fácilmente en personas que acaban de llegar a la profesión. (Kuhn 1962[2013], p. 387)

Por el contrario, en algún punto del proceso de aprender a traducir, se encuentra con que se ha producido el cambio con que se ha pasado al nuevo lenguaje sin haber tomado decisión alguna. (Kuhn 1962[2013], p. 389)

¿Qué tan fácil se da este proceso de cambio? No es sencillo y Kuhn se esforzaría en intentar explicar las razones por las cuales los científicos pertenecientes a paradigmas rivales pueden llegar a *ver* el mundo de la forma en la cual lo plantean aquellos científicos del nuevo paradigma. Para ello llevó la discusión al plano de la *inconmensurabilidad entre paradigmas o teorías*⁴.

Tanto Kuhn como Feyerabend trasladaron el concepto de “inconmensurabilidad” de las matemáticas a la filosofía de la ciencia. En matemáticas “inconmensurabilidad” significa la ausencia de una medida en común. Los dos filósofos de la ciencia ampliaron y aplicaron el concepto a la comparación de teorías rivales en las que se comparte un dominio pero no tienen un lenguaje en común, lo que dificulta su comparación, 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, el de Kuhn admite la comprensión por interpretación o aprendizaje de un lenguaje perteneciente a la teoría rival (Lorenzano, 2012).

En pocas palabras, lo que pueden hacer los que se ven envueltos en una ruptura de comunicación es reconocerse mutuamente como miembros de diferentes comunidades lingüísticas y hacerse entonces traductores. Al tomar como tema propio las diferencias entre sus discursos dentro del grupo y entre los grupos, en primer lugar pueden tratar de descubrir los términos y las locuciones que, aunque se usen sin problema dentro de cada comunidad, con todo constituyen focos de problemas para las discusiones entre grupos. Las locuciones que no presenten tales dificultades se pueden traducir de manera homofónica. (Kuhn 1962[2013], p. 385-386)

Al pasar de un lenguaje (de una teoría) a otro (de una teoría rival o nueva) los términos usados podrían cambiar de significado, cambiar de 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 científicos y suscita incluso la necesidad de habilidades de persuasión.

⁴ El tratamiento del término “paradigma” que Kuhn realiza luego de la primera publicación de *La estructura* lo lleva insistir 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 al de *teoría* (cf. Kuhn 1977: xx).

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? Incluso una respuesta preliminar a dicha pregunta exige que se especifique aún más la naturaleza de la dificultad. (Kuhn 1962[2013], p. 383)

Esto no significa que no pueda darse este proceso, solo que es complicado:

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. Este proceso debe permitir convertirnos eventualmente en bilingües y, provistos de esa nueva capacidad, apreciar el carácter inconmensurable de ambos lenguajes. (Lorenzano y Nudler, 2012, pp. 13-14)

Cuando se comparan teorías rivales, la comunicación entre científicos/as es parcial. Esta “parcialidad” 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). Para aquellos puntos en la estructura (del mundo) impuesta por el vocabulario de la teoría en los cuales no hay coincidencia, es sobre los cuales Kuhn introduce el concepto de “inconmensurabilidad local” (Lorenzano & Nudler, 2012, p. 12). Pero, y para nuestros fines, es de gran importancia notar que es a través de los puntos coincidentes que los científicos 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. Si son capaces de refrenar lo bastante su tendencia a explicar la conducta anómala como consecuencia de un mero error o locura, con el tiempo podrán llegar a predecir muy bien la conducta del otro. Cada uno de ellos habrá aprendido a traducir la teoría del otro y sus consecuencias a su propio lenguaje y, a la vez, a

describir en su lenguaje el mundo al que se aplica esa teoría. (Kuhn 1962[2013], pp. 385-386)

La recursión a vocabularios compartidos de la vida diaria es, entonces, una parte de la posible solución para iniciar un proceso de traducción o interpretación de los conceptos y significados no compartidos.

Hemos de avanzar un poco más en lo que respecta a este tipo de temáticas, y en particular a lo que podríamos identificar que posibilita la comunicación entre científicos/as: aquellos puntos de coincidencia en el vocabulario de dos teorías, aparentemente rivales, que permiten ampliar la discusión de la inconmensurabilidad *no trivial* (Díez, 2012) abordando ahora la de la *comparabilidad empírica* usando análisis del estructuralismo metateórico.

¿Qué es la comparabilidad empírica?

Aunque la inconmensurabilidad se aplica a numerosas divergencias entre teorías, aquellas entre las variaciones lingüístico-conceptuales y a las formas de percibir toman una importancia particular, 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'**, el significado de los *términos* pertenecientes a **T** cambien (todos) en **T'**. Este es el sentido de la noción de *inconmensurabilidad local*, cuyo dominio lo constituye un subgrupo de términos del vocabulario de ambas teorías. El tratamiento que sigue a estas consideraciones fue enriquecido con los análisis estructuralistas, y en particular 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 la distinción clásica *teórico/observacional* que dominó la filosofía de la ciencia en el siglo XX (incluso algunas corrientes contemporáneas la conservan) por su ambigüedad. En su lugar, sostienen que en una formulación más precisa, dicha distinción esconde dos

⁵ Kuhn reconoce en dos notas al 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).

distinciones: *observacional/no-observacional* y *teórico/no-teórico* (Bar-Hillel, 1970), la segunda de ellas, la distinción *teórico/no-teórico* resulta relevante para el análisis local de las teorías (Lorenzano, 2012). De acuerdo con la segunda distinción, es posible establecer, en (casi) cualquier teoría analizada, dos tipos de términos o conceptos: los términos que son específicos o distintivos de la teoría en cuestión y que son introducidos por la teoría (cuyo significado depende de la teoría, o, en una semántica extensional, su extensión sólo puede ser determinada mediante la utilización de la teoría) llamados términos o conceptos **T-teóricos**, y aquellos que están precedentemente disponibles⁶ (cuyo significado no depende de la teoría) y que constituyen su “base empírica” llamados términos o conceptos **T-no-teóricos**, que suelen ser *teóricos* para otras teorías presupuestas **T's**.

Siguiendo el análisis semanticista sobre las teorías científicas, el enfoque de la concepción estructuralista⁷ ve a las teorías científicas como *clases de modelos*, éstos (los modelos) entendidos 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 individuos⁹. Aquellos **M_p** que, además de tener el lenguaje de la teoría (es decir, ser **M_p** de la teoría) cumplen o satisfacen

⁶ Una versión intuitiva y temporal es desarrollada por Hempel (1966) en la que los términos T-teóricos son aquellos introducidos por la teoría T, y los términos/conceptos T-no-teóricos son aquellos disponibles previamente (i.e., anteriores temporalmente) a la teoría T para la cual son *no-teóricos*. El criterio de *teoricidad* desarrollado por la concepción estructuralista de las teorías (Balzer, Moulines y Sneed, 1987) no depende necesariamente de la introducción o disponibilidad histórica de los términos/conceptos. En una versión más sistemática, un término o concepto utilizado por **T** es *T-teórico* si y sólo si su extensión no se puede determinar sin presuponer las leyes de **T**, es decir, si y sólo si todos los métodos de determinación de la extensión del concepto utiliza alguna ley de la **T**, de lo contrario, el término o concepto utilizado por **T** es *T-no-teórico*.

⁷ Una presentación completa de la concepción estructuralista de las teorías se encuentra en Balzer, Moulines y Sneed (1987), libro traducido recientemente al castellano por Pablo Lorenzano (Balzer, Moulines y Sneed, 1987 [2012]). Para una presentación más resumida pero no por ello menos precisa, ver Díez y Lorenzano (2002) y 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 y Adúriz-Bravo (2016).

⁹ En los **M_p** también se encuentran los términos o conceptos básicos auxiliares, aquellos como los números reales, o naturales, etc., cuya interpretación es meramente matemática.

las restricciones de las leyes de la teoría¹⁰, son llamados *modelos actuales* o simplemente *modelos M*.

Hemos visto como en el lenguaje de la teoría se encuentran los términos o conceptos de los que habla la teoría y relaciones y funciones sobre dichos conceptos. Todos ellos componen los M_p . 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 potenciales parciales* o simplemente *modelos parciales M_{pp}*.

Joseph Sneed aceptó la propuesta de Ernst Adams (1955, 1959) de incluir una componente de carácter pragmático en la elucidación del concepto de teoría empírica, a saber: las *aplicaciones intencionales I*. La identificación de *I* es plenamente intencional y pragmática. Lo que la hace “intencional” es que sea un objeto o fenómeno que los usuarios de la teoría, la comunidad científica, pretende explicar. Estos sistemas empíricos intencionales constituyen entonces los fenómenos a los que los científicos pretenden aplicar sus teorías y 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 (o puede ser considerada como una explicación formal o reconstrucción de) una teoría en un sentido informal, intuitivo. Esta estructura conjuntista es denominada “elemento teórico”¹¹ y puede ser identificado, en una primera aproximación, con un par ordenado que consiste en el “núcleo (formal)” *K* (de la denominación en alemán “kern”) –compuesto por las clases ordenadas de

¹⁰ 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. Que las leyes “definan” los modelos no significa que una teoría sea una definición, o que sea verdadera por definición, o cosas parecidas. Que las leyes definan una serie de modelos significa solo que las leyes determinan qué entidades son las que se comportan de acuerdo con la teoría; p.e., cierta entidad, cierto “trozo del mundo”, es *por definición* un sistema (modelo) de la teoría *si y solo si* cumple tales y cuales principios (Lorenzano, 2003, 2013).

¹¹ El concepto de *elemento teórico* puede ser visto como una precisión y elaboración de una idea kuhniana: “una teoría consiste, entre otras cosas, de generalizaciones verbales y simbólicas junto con ejemplos de su función en el uso” (Kuhn, 1969, p. 501).

modelos potenciales parciales, i.e., $\mathbf{K} = \acute{\alpha}\mathbf{M}_p, \mathbf{M}, \mathbf{M}_{pp}$ ¹² y el dominio de *aplicaciones intencionales* de la teoría \mathbf{I} : $\mathbf{T} = \acute{\alpha}\mathbf{K}, \mathbf{I}\grave{\alpha}$.

Siguiendo de cerca el análisis hecho por Lorenzano (2012), si asumimos los análisis más desarrollados (los realizados después de *La estructura*) hechos por Kuhn sobre la noción de “incomensurabilidad” y el análisis estructuralista (brevemente) expuesto acerca de la noción modeloteórica de “teoría”, “podemos decir que las categorías taxonómicas y los demás términos mencionados por Kuhn [el 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, mediante una relación entre los comentarios de Kuhn acerca de las dificultades de comunicación entre científicos debido a los términos o conceptos que presentan problemas de traducción y sobre aquellos términos o conceptos que mantienen una continuidad entre dos teorías sucesivas o rivales-, 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 *incomensurabilidad* preservando las características de invariabilidad y ruptura en los cambios característicos de los periodos de crisis y revolución, de la siguiente manera:

Dos teorías sucesivas (alternativas, rivales) son *teóricamente incomensurables* 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)

ENSEÑANZA Y COMPARABILIDAD

De los análisis de Kuhn y el estructuralismo metateórico acerca de las dificultades de comunicación y la noción de incomensurabilidad local, en la que toma relevancia la noción de *comparabilidad empírica*, podríamos postular a la noción de *comparabilidad* entre teorías rivales (i.e., que se ocupan del mismo ámbito de fenómenos) y al proceso de comprensión de los lenguajes y significados de los

¹² Ciertamente el núcleo K está compuesto por otros componentes, además de \mathbf{M}, \mathbf{M}_p y \mathbf{M}_{pp} , se incluyen también las llamadas *condiciones de ligadura C* y los *vínculos interteóricos L*. Estos últimos apenas los mencionaremos aquí, solo por razones de simplicidad y no de importancia, ya que cada una de las clases de estas estructuras contribuye a la identidad de la teoría (incluyendo a las aplicaciones intencionales \mathbf{I}).

nuevos modelos teóricos que se adhieren a dicho concepto, como un proceso coincidente en varias características con un proceso de enseñanza genuino.

Vemos entonces que cuando dos teorías tienen diferencias en su vocabulario, pero particularmente en su aparato conceptual teórico, es posible realizar comparaciones cuando se acude a su aparato conceptual *no-teórico*, que, descrito en términos/conceptos de los *modelos parciales* compondrían las *aplicaciones intencionales*: i.e., puede “darse la situación [de] que también puedan compartir ciertas aplicaciones intencionales del conjunto I, [...] el conjunto de *aplicaciones paradigmáticas*, [...] el dominio *firme* [aplicaciones exitosas] y el dominio supuesto [aplicaciones supuestas, aún no completamente confirmadas]” (Lorenzano, 2012, p. 308, las llaves son nuestras).

Es notable la relevancia entonces que adquieren las *aplicaciones intencionales* (y los M_{pp} que las componen) cuando los científicos pretenden comprender una teoría rival o sucesiva. En la didáctica de las ciencias la importancia de las aplicaciones intencionales ha sido descrita en varios pasajes de la literatura especializada. Lo que hemos intentado aquí ha sido vincular esta relevancia, ahora con nociones metateóricas contemporáneas que podrían darnos otra perspectiva de análisis acerca de la enseñanza modeloteórica:

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)

Y retomando los presupuestos kuhnianos:

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, incluyendo la resolución práctica de problemas, tanto con lápiz y papel como con instrumentos en el laboratorio. (Kuhn, 1962[2013], p. 166)

Podemos ver que si bien esta descripción que nos da Kuhn sobre la importancia de las aplicaciones en el proceso de aprendizaje, la enuncia sobre el papel que juegan dichas aplicaciones en la formación de los futuros científicos, es posible ahora hacer una interpretación para los procesos de rivalidad entre teorías. Esta nueva interpretación elevaría la importancia de las aplicaciones, ahora entendidas como *aplicaciones intencionales* descritas en *términos T-no-teóricos* en los procesos de comparabilidad empírica y el consecuente aprendizaje de nuevas teorías científicas. En este sentido, el análisis estructuralista nos brinda bases metateóricas interesantes no solo para entender las teorías, sino también para acercarnos de forma más precisa a la práctica de los/as científicos/as.

La concepción estructural de las teorías científicas, a partir de la obra inicial de Sneed (1971), y con más fuerza en el *Architectonics of Science* de Balzer, Moulines y Sneed (1987), incluyó las aplicaciones propuestas en la estructura de las teorías científicas. Se daba con ello un paso hacia la aproximación entre la filosofía de la ciencia y la práctica científica real. (Echeverría, 1995, p. 58)

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 (tanto de referencia como de significado), podría establecerse la conexión entre dichas teorías acudiendo a los “términos descriptivos no característicos” (Falguera, 2012):

Términos teóricos y no-teóricos de una teoría constituyen el vocabulario característico de la misma. Pero además encontramos que en las formulaciones de una teoría 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. [...] Los no iniciados en una teoría conectan sus designaciones no-características sobre ciertas parcelas del mundo con la peculiar manera de concebir esas parcelas conforme a la teoría. (Falguera, 2012, p. 150-151, las llaves son nuestras)

Este sería el sentido en el cuál Kuhn señala 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 realizan un proceso de enseñanza/aprendizaje de teorías al comparar sus teorías y efectivizar la comunicación mediante lenguajes comparables, usando vocabulario de su base empírica (el de los M_{pp}) mediante sus aplicaciones intencionales o recurriendo al vocabulario compartido con el uso de términos descriptivos no característicos, y enriqueciéndolos con las precisiones brindadas por los M y M_p , lo que constituye la base de la ‘modelización’ científica en periodos de revolución. Los cambios de conceptos y sus referencias son la base de los cambios de las *formas de ver* el mundo al ‘aprender’ un nuevo paradigma y la forma de elucidar dichos cambios es mediante la identificación del lenguaje característico y no característico de T y de las variaciones en T' .

ENSEÑANZA MODELOTEÓRICA DE LAS CIENCIAS EN CLAVE ESTRUCTURALISTA

Aunque hay diferencias claras que evitan una convergencia completa de las formas de entender la enseñanza de las ciencias bajo la mirada modeloteórica en la didáctica actual y los análisis sobre la *incomensurabilidad teórica* y *comparabilidad empírica* realizados por Kuhn y precisados por el estructuralismo metateórico, es posible señalar ciertas similitudes que podría brindar una perspectiva diferente para comprender los procesos de enseñanza que acuden a las nociones de ‘modelo’ más recientes. Esta nueva perspectiva coincide con algunos objetivos actuales del área HPS acerca de acudir a reflexiones metateóricas actualizadas para abordar las principales líneas de investigación de la didáctica de las ciencias.

28

Siguiendo de cerca el trabajo de Mercè Izquierdo-Aymerich (2005)¹³, respecto de la enseñanza de las ciencias y los análisis realizados por el estructuralismo metateórico, se presentan a continuación algunas de las características de la enseñanza basada en modelos equiparables, hasta cierto punto y aún con la ausencia de más precisiones, con las características de la *comparabilidad de las teorías*.

¹³ En el trabajo de Mercè Izquierdo-Aymerich (2005) la lista corresponde a las dimensiones de los contenidos que pueden ser desarrollados a partir de las aportaciones de la didáctica de las ciencias actual.

Cuadro 1. Comparación entre la enseñanza basada en modelos y la noción de *comparabilidad empírica*

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS BASADA EN MODELOS	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA ENSEÑANZA Y LA COMPARABILIDAD EMPÍRICA
<ul style="list-style-type: none"> · Relevancia de las <i>ideas previas</i> o <i>experiencias previas</i> de los estudiantes. 	<ul style="list-style-type: none"> · Relevancia de los <i>conocimientos previos</i> (base empírica, aplicaciones intencionales [descritas en términos o conceptos T-no-teóricos] de las teorías de los científicos.
<ul style="list-style-type: none"> · Prioridad a la comunicación mediante el lenguaje cotidiano antes de introducir conceptos propios de los <i>modelos teóricos</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> · Prioridad a la comunicación mediante el lenguaje común (vocabulario de los M_{pp}) como base en la comprensión de los demás conceptos o términos (o vocabulario del marco conceptual [T-teórico]) de la teoría.
<ul style="list-style-type: none"> · Proceso de enseñanza organizado a partir de los modelos teóricos. 	<ul style="list-style-type: none"> · Proceso de enseñanza organizado a partir de <i>clases de modelos</i> (M, M_p y M_{pp}).
<ul style="list-style-type: none"> · Uso de <i>mediadores</i> para el acercamiento de los lenguajes y conceptos ‘cotidianos’ a los lenguajes y conceptos de los modelos teóricos. 	<ul style="list-style-type: none"> · Uso de <i>vocabulario no característico</i> para la comparación de teorías aparentemente no comparables.
<ul style="list-style-type: none"> · Importancia de la modelización como forma de identificación de fenómenos que son ejemplo de modelos teóricos y que permite representar el fenómeno desde la perspectiva de dicho modelo. 	<ul style="list-style-type: none"> · Importancia de los factores pragmáticos en la identificación de las <i>aplicaciones intencionales</i> compartidas.
<ul style="list-style-type: none"> · Identificación y estructuración de las ideas básicas e irreducibles que son objeto de enseñanza. 	<ul style="list-style-type: none"> · Identificación y estructuración del vocabulario característico de la teoría (términos o conceptos <i>teóricos</i> y <i>no-teóricos</i>).
<ul style="list-style-type: none"> · Desarrollo de la argumentación científica en el aula para sustentar el proceso de modelización científica. 	<ul style="list-style-type: none"> · Modelizar un fenómeno consiste en la subsunción de fenómenos (aplicaciones intencionales descritas con vocabulario T-no-teórico) bajo al marco conceptual (M, M_p y M_{pp}) de la teoría.
<ul style="list-style-type: none"> · Proceso llevado a cabo en las aulas de clases, laboratorios, salidas de campo, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> · Proceso llevado a cabo en los contextos de comunicación científica: congresos, reuniones, informes de laboratorio, <i>papers</i>, etc.
<ul style="list-style-type: none"> · Fuerte influencia de las acciones del profesor o profesora en todo el proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> · Importancia de las características de persuasión en la comunicación entre científicos (preferencia por comunicación con científicos jóvenes menos comprometidos con los paradigmas establecidos).
<ul style="list-style-type: none"> · Importancia de las motivaciones del estudiantado para explicar o interpretar los fenómenos. 	<ul style="list-style-type: none"> · Importancia de las características de persuasión en la comunicación entre científicos (preferencia por comunicación con científicos jóvenes menos comprometidos con los paradigmas establecidos).
<ul style="list-style-type: none"> · Importancia de la finalidad educativa consensuada. 	<ul style="list-style-type: none"> · Importancia de las características de persuasión en la comunicación entre científicos (preferencia por comunicación con científicos jóvenes menos comprometidos con los paradigmas establecidos).

CONCLUSIONES

La enseñanza de las ciencias basada en modelos, promulgada durante los últimos años, acude a nociones semanticistas contemporáneas para forjar una noción de enseñanza específica que toma cada vez mayor fuerza (Sensevy *et al.*, 2008). Se acude así a la filosofía de la ciencia contemporánea para que, por medio de sus herramientas o conceptos metateóricos, dar cuenta de la *enseñanza de las ciencias* en la escuela como desarrollando una *actividad científica escolar* (Izquierdo-Aymerich, 2004). Nuestra intención fue la de caracterizar un proceso de enseñanza auténtico en la educación científica general, usando el instrumental provisto por la filosofía de la ciencia contemporánea, didácticamente adecuado.

Es importante hacer énfasis en que el hecho de que en esta propuesta se defienda la transposición del modelo de cambio científico *interteórico* como formas interesantes para ver una forma de enseñanza de basamento modeloteórico, tanto en la dinámica científica como en las aulas, no se está situando a los científicos y en el mismo contexto de construcción de conocimientos que al de los estudiantes, ni viceversa. Son claras las diferencias. Sin embargo, la discusión se torna interesante cuando se pone de relieve las similitudes que pueden establecerse entre las discusiones actuales alrededor de las teorías científicas y el abordaje modeloteórico de la didáctica de las ciencias.

Seguiremos la siguiente expresión kuhniana: “[n]o es necesario insistir en tal paralelismo pleno, y tenemos mucho que ganar relajando nuestras exigencias” (Kuhn, 1962[2013], p. 265). Son (muchas veces) claras las diferencias entre el proceso de enseñanza que se da en las aulas de clases y el proceso de comparación de teorías. Pero de que haya diferencias, no se sigue una disimilitud completa, o sostener que se ‘trate’ de otra cosa que nada tiene que ver con la enseñanza y el aprendizaje de nuevos paradigmas por parte de los científicos con los procesos llevados a cabo en la *ciencia escolar*. Insistir en una ruptura completa no coincide con uno de los pilares de esta *ciencia de la escuela*: que los procesos llevados a cabo en la ciencia pueden ser trasladados (habiendo sido adecuados e interpretados bajos objetivos, metodologías y contextos específicos) a la escuela para que los estudiantes lleven a cabo (en palabras de Mercè Izquierdo-Aymerich) su propia *historia de la ciencia*.

Bajo esta perspectiva de trabajo, el paso a seguir lo constituiría la continuación de estas reflexiones para:

1. Esbozar los análisis que se desprenden de la identificación de las similitudes y diferencias entre ambos procesos, a fin de enriquecer los procesos de enseñanza de las ciencias de todos los niveles de enseñanza.
2. Explicitar todo el aparato conceptual y meta-conceptual de esta propuesta mediante desarrollos metodológicos que permitan evaluar la pertinencia o no de una perspectiva como la desarrollada aquí.

Respecto de 1., 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, el de *la ciencia* y el de *la ciencia escolar* “son muy diferentes en algunos aspectos, pero coinciden en otros [...] la comparación entre ambos permite una reflexión interesante” (Izquierdo-Aymerich, 2004, p. 130).

Todo aporte de la filosofía de la ciencia contemporánea que pueda verse como “enriquecedor” para el mejoramiento de la comprensión de las prácticas de enseñanza, y de la comprensión de la enseñanza misma, podría eventualmente constituir una base sólida para los desarrollos actuales de la didáctica modeloteórica de las ciencias. Aunque algunos investigadores han abocado por una enseñanza mediante la construcción de modelos, esta es un área todavía muy poco comprendida. En ese sentido, un trabajo que se desprende de este análisis correspondería a los aportes que podría tener la noción presentada de enseñanza modeloteórica, vista ahora bajo la ‘lente’ estructuralista. Bajo una suposición apenas intuitiva en la cual 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 característico) y en clases enfrentan teorías nuevas (o rivales), sería interesante ver la relevancia de algunas características que ya vienen siendo aceptadas en la *didáctica modeloteórica de las ciencias* pero ahora abordadas desde el estructuralismo metateórico, entre ellas:

- 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*) o acudiendo a *mediadores* y 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 *aplicaciones intencionales supuestas* que podrían constituir fenómenos cotidianos del estudiantado. Esto último está en íntima relación con la idea de que los estudiantes puedan comprender fenómenos, pero no únicamente los que usualmente se presentan en clase, sino también aquellos que ‘ven’ en su vida diaria, de esta manera, “[s]i los hechos y los modelos de una teoría se adaptan mutuamente, los hechos pueden ser explicados mediante las entidades que caracterizan al modelo teórico. Pero esto no ocurre si los hechos no corresponden con el modelo o si los hechos relevantes se desconocen” (Izquierdo-Aymerich, 2004, p. 127).
- Otra discusión relevante sería sobre la noción de “interpretación” presente usualmente en la enseñanza de las ciencias y en los periodos de ciencia normal. Se trataría de que los estudiantes ‘aprendan’ mediante la interpretación de un fenómeno bajo un *modelo teórico* particular. El caso no parece ser el mismo cuando se ‘pasa’ de un paradigma a otro. Nos preguntamos ahora si bastará una interpretación del nuevo fenómeno o ¿qué agregaría un cambio de visión acerca del fenómeno? Lograr que los estudiantes vean esa misma parcela del mundo, pero con ‘otros ojos’, es un tanto más que un proceso de interpretación, es un cambio de *Gestalt*. En otras palabras, la enseñanza modeloteórica podría pasar de la noción de interpretación bajo un modelo (como en la ciencia normal), a la noción de *cambio de visión* de un fenómeno con formación o construcción de un modelo científico, pero ahora escolar.

Ahora, sobre 2., consideramos que las propuestas que se gestan en las reflexiones teóricas, se convierten en “útiles” siempre que puedan verse reflejadas en el mejoramiento de la enseñanza, como práctica o como reflexión. La forma de hacerlo es necesariamente a través de recursos metodológicos que puedan reflejar la viabilidad (o no) de toda reflexión.

[E]n este mismo sentido sería importante que tales propuestas estuviesen también constituidas por algunos elementos metodológicos –no en el sentido de ofrecer recetas para que los profesores puedan enseñar un determinado tema, sino en el de orientar a estos mismos

acerca de aquellos aspectos en los que deben centrar la atención durante el proceso de enseñanza. (Justi, 2006, p. 175)

Creemos que esta propuesta, al hacer parte de un campo de reflexión teórica pero que en la actualidad también consiste en exploración metateórica sobre sus objetos de estudio, se transforma en un aporte a la didáctica modeloteórica de las ciencias que pretende nutrir y reforzar su marco teórico específico. Las actividades, si bien no constituyen el objetivo inicial de este trabajo, sí constituyen un objetivo más general de la propuesta completa para la constitución de la didáctica modeloteórica de las ciencias.

Por supuesto que lo presentado aquí no es ni la única manera de entender lo que sucede en el aula, ni la única manera de entender conceptos tan debatidos como “incomensurabilidad”, “comparabilidad”, “paradigma”, “enseñanza” o incluso la noción de “modelo”. La discusión está abierta para nuevas perspectivas cada vez más enriquecidas con los aportes de los discursos metateóricos, lo presentado es solo uno de los posibles caminos para seguir.

BIBLIOGRAFÍA

Adams, E.W. (1955). *Axiomatic Foundations of Rigid Body Mechanics*. Tesis Doctoral. Stanford: Stanford University.

Adams, E.W. (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. (2001). *Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias* (Tesis Doctoral). Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: la epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.

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., 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. (2016). Meta-Theoretical Contributions to the Constitution of a Model-Based Didactics of Science. *Science & Education*, 25(7), 747-773. DOI: 10.1007/s11191-016-9845-3.

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.

Chamizo, J.A. (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. (2012). Incomensurabilidad, comparabilidad empírica y escenas observacionales. En P. Lorenzano & O. Nudler (Eds.). *El camino desde Kuhn: la incomensurabilidad hoy* (pp. 67-118). Madrid: Biblioteca Nueva.

Díez, J.A. & Moulines, C.U. (2008). *Fundamentos de filosofía de la ciencia*. 3ª edición revisada. Barcelona: Ariel.

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. (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.

Gallego, P. & Gallego, R. (2007). Historia, epistemología y didáctica de las ciencias: unas relaciones necesarias. *Ciência & Educação*, 13(1), 85-98.

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 C.E. Gidi (Trd.) (1992). *La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.)

Giere, R. N. (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.

Greca, I.M. & Moreira, M.A. (2000). Mental Models, Conceptual Models, and Modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.

Greca, I.M. & Moreira, M.A. (2002). Mental, Physical, and Mathematical Models in the Teaching and Learning of Physics. *Science Education*, 1, 106-121.

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: contextualizar y modelizar. *The Journal of The Argentine Chemical Society*, 92(4/6), 115-136.

Izquierdo-Aymerich, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 111-122.

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.

Justi, R. (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). *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. Solís (Trd.) (2013). *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. México: Fondo de Cultura Económica. Posdata de 1969).

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.)

Kuhn, T.S. (1977). *The Essential Tension. Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. Chicago: University of Chicago Press.

Kuhn, T.S. (1989). Possible Worlds in History of Science. En S. Allén (Ed.). *Possible Worlds in Humanities, Arts, and Sciences* (pp. 9-32). Berlin: de Gruyter.

Kuhn, T.S. (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. (1977). *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. & Nudler, O. (2012). Introducción. En P. Lorenzano & O. Nudler (Eds.). *El camino desde Kuhn: la inconmensurabilidad 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.

Lorenzano, P. (2012). Estructuras y aplicaciones intencionales. Inconmensurabilidad teórica y comparabilidad empírica en la historia de la genética clásica. En P. Lorenzano & O. Nudler (Eds.). *El camino desde Kuhn: la inconmensurabilidad hoy* (pp. 289-350). Madrid: Biblioteca Nueva.

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.

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.

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.

Moulines, C.U. (2002). Introduction: Structuralism as a Program for Modelling Theoretical Science. *Synthese*, 130, 1-11.

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.

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.

Sensevy, 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.