

Contribuciones de Giere a la reflexión sobre la educación científica

Giere's Contributions to Reflecting on Science Education

Mercè IZQUIERDO AYMERICH*; Agustín ADÚRIZ-BRAVO**

* Universitat Autònoma de Barcelona, España
merce.izquierdo@uab.cat
 <https://orcid.org/0000-0002-1638-6978>

** CONICET/Universidad de Buenos Aires, Argentina
aadurizbravo@cefiec.fcen.uba.ar
 <https://orcid.org/0000-0002-8200-777X>

Recibido: 24/12/2021. Revisado: 11/01/2021. Aceptado: 30/03/2021

Resumen

Ronald N. Giere, en su larga carrera como filósofo, se interesó por reflexionar sobre la enseñanza de las disciplinas con el auxilio de ideas tales como: reconstrucción modeloteórica, realismo perspectivo, modelos como mapas, hipótesis teóricas y didáctica basada en el agente (cognitivo). Esas reflexiones, en conjunto con su muy influyente “explicación de la ciencia” estructurada en torno a los modelos teóricos y la modelización, nos sirven a didactas y profesorado para diseñar una enseñanza de las ciencias en los distintos niveles educativos que procure pensamiento autónomo y crítico en el estudiantado. Para nosotros, la principal aportación de Giere para pensar la educación científica tiene que ver con darnos insumos para construir un modelo de enseñanza que considera a los estudiantes agentes capaces de pensar con rigor sobre el mundo porque aceptan compartir teorías a las que encuentran significado auténtico en lo que ellos pueden hacer en ese mundo de acuerdo con su propia perspectiva de intervención. El análisis naturalista de Giere, que pretende mostrarnos el trabajo de los científicos tal como se lleva adelante, puede ser transpuesto para caracterizar la ciencia escolar como una forma justificada y autocorrectiva de entender que implica apropiarse de modelos teóricos que son patrimonio colectivo.

Palabras clave: didáctica de las ciencias; modelo cognitivo de ciencia; realismo perspectivo; ciencia escolar; modelos teóricos escolares.

Abstract

Ronald N. Giere, in his long career as a philosopher, was interested in reflecting on the teaching of disciplines with the aid of ideas such as: model-theoretical reconstruction, perspectivism, models as maps, theoretical hypotheses and (cognitive-)agent-based didactics. Such reflections, together with his very influential “explanation of science” structured around theoretical models and modelling, are useful for teachers and researchers in science education in order to design science teaching in the different educational levels that fosters autonomous and critical thinking among students. For us, Giere’s main contribution to think about science education is related with providing input to construct a teaching model that considers students as agents capable of rigorously thinking on the world because they accept incorporating theories to which they give authentic meaning in what they can do in that world in accordance with their own perspective of intervention. Giere’s naturalistic analysis, which intends to show us the work of scientists as it is executed, may be transposed in order to characterise school science as a justified and self-correcting way of understanding that involves the appropriation of theoretical models that are collective heritage.

Keywords: didactics of science; cognitive model of science; perspectivism; school science; school theoretical models.

1. Introducción

Ron Giere se formó, como es bien sabido, en el área de las ciencias experimentales o naturales (se graduó como físico) y de allí —merced a su interés por abordar los temas de probabilidad e inducción en una tesis dedicada a “los fundamentos de la probabilidad y la inferencia estadística” (Gieryn, 1992, 15)— se pasó rápidamente a la filosofía de la ciencia (o epistemología). Tras dos décadas de desempeño en ese campo, e influenciado por una variedad de disciplinas cuyos aportes incorporó con avidez y consistencia, sintió la necesidad de ampliar el marco “modelo-didáctico” de sus dos materias (la de formación y la de desarrollo académico) para reflexionar sobre ellas de modo de poder enseñarlas mejor. En efecto, una parte no desdeñable de la obra de Giere está dirigida a comprender y caracterizar cómo se produce el largo y complejo proceso de aprendizaje que culmina cuando la maestra o el maestro consigue transformar a su discípulo en un colega con el que finalmente comparte conocimiento: maneras de pensar, de hacer y de hablar. En esta constatación descansa la afinidad que por él sentimos muchos de quienes nos dedicamos a la investigación en didáctica de las ciencias.

En el prólogo de *Explaining science: A cognitive approach* (su segundo libro, publicado en Chicago en 1988 y traducido al español en México en 1992), Giere nos explica brevemente el variopinto y enriquecedor derrotero académico que lo

lleva a elaborar en los años 80 sus ideas de madurez sobre los modelos científicos. La preocupación inicial de Giere en el período de elaboración de su tesis en los años 60 era que las discusiones filosóficas en torno a la inducción (problema clave de la historia de esa disciplina) le parecían absolutamente alejadas de la práctica científica real, que él bien conocía. Es así que comienza a salirse de las fronteras del “lenguaje filosófico derivado de la matemática” (Giere, 1992, 15), la herramienta canónica de análisis filosófico de la época, heredada del positivismo lógico, y a ampliar horizontes hacia los “lenguajes naturales enriquecidos por la matemática” (Giere, 1992, 15), propios de los colegas de ciencias con los que se había formado. En el camino, y tras múltiples influencias teóricas —entre las que destaca especialmente el a la sazón recientemente aparecido libro de Thomas Kuhn *La estructura de las revoluciones científicas*—, Giere llegó a convencerse de que “no existen fundamentos filosóficos especiales para ninguna ciencia” (Giere, 1992, 16), adhiriendo así de manera definitiva a un enfoque abiertamente *naturalizado*, en el que se usan “los métodos de las ciencias mismas” (Giere, 1992, 15) para “indagar las profundidades teóricas” (Giere, 1992, 15) de la actividad científica.

Como ocurriría poco después con muchos de los y las didactas de las ciencias de las primeras generaciones, el libro de Kuhn dirigió el pensamiento de Giere hacia un estudio de la naturaleza de la ciencia con base en las reflexiones de los propios científicos y en conexión fuerte con los aportes de la historia y la sociología de la ciencia, que estaban experimentando un importante despegue por ese entonces. Tras más de veinte años de trabajo filosófico, Giere se encuentra (a su decir, fortuitamente) con las ciencias cognitivas y eso le permite terminar de armar el rompecabezas; a partir de ese momento desarrolla una concepción “cognitiva” de la ciencia, según la cual los científicos son considerados “agentes cognitivos” que piensan con representaciones (los modelos científicos), establecen juicios y toman decisiones como lo hacen todas las personas. Tal reconstrucción naturalizada de la actividad científica ya no va a requerir de un tipo especial de racionalidad normativa y apriorista, pero sí de claridad en torno a los propósitos y metas de la empresa científica (se adopta entonces una racionalidad medios-fines, o hipotética).

Giere adhiere a la idea de una racionalidad moderada y constructiva (a la que luego llamará “perspectiva”: Giere 1999a; 2006) que genera explicaciones en contexto, de acuerdo con una nueva concepción de la “búsqueda de la verdad” (Giere, 1992, 17) en el funcionamiento del mundo que reconoce el desarrollo científico como un proceso “natural” y “evolutivo”. Adherir a esta caracterización de la ciencia nos permite a didactas y profesorado rechazar tanto el dogmatismo como el escepticismo e, inspirados en su concepción de una emergente “ciencia de la ciencia” (Giere, 1992, 17), hablar de una “ciencia de la enseñanza de las ciencias” que parte de la consideración de que las y los estudiantes son agentes cognitivos también capaces (y deseosos) de pensar el mundo con ciencia. La

“explicación de la ciencia” que Giere nos proporciona permite diseñar una genuina *ciencia escolar* cuyos agentes activos sean nuestros alumnos. Veremos esto en las tres secciones siguientes.

2. “Explicar” la ciencia para enseñarla

Como señalamos, a lo largo de su carrera Giere enseñó física y filosofía de la ciencia —ver al respecto su notable texto de curso universitario *Understanding scientific reasoning* (Giere, 1979)—; sabe pensar por tanto como un profesor y reconoce la importancia de la función docente, uno de cuyos aspectos es escribir textos para la formación de futuros “disciplinólogos”. Por ello, sus ideas nos resultan extremadamente útiles a todos los docentes, que ineludiblemente debemos preguntarnos acerca de *qué es eso que enseñamos*.

Para construir su “explicación de la ciencia”, Giere acerca la ciencia a su docencia: analiza las producciones reales de los científicos tal cual ellas cristalizan en los libros de texto universitarios. Son esos textos, y no el mundo del que nos hablan, lo que en clase se presenta como ciencia y los estudiantes aprenden como tal: las teorías, leyes e hipótesis (ahora vistas desde la categoría teórica semantista de “modelo”) que la comunidad científica desarrolla para “comprimir” y comunicar los resultados de su intervención sobre el mundo. Así, Giere se interesa por lo que hacen los científicos visto a través de lo que dicen que hacen, dejando de lado lo que se supone que deberían hacer (el aspecto normativo).

Giere constata que en los libros de texto de ciencias se presentan sistemas altamente idealizados (en física, el oscilador armónico o el péndulo, por ejemplo) a modo de ejemplos paradigmáticos de los principios teóricos que se pretende enseñar; Giere llama a esos objetos “modelos teóricos” (Figura 1). En sus propias palabras, los modelos teóricos son:

objetos abstractos contruidos en conformidad con principios generales apropiados y condiciones específicas. Se puede pensar en ellos como especificaciones ingeniosas de los modelos muy abstractos definidos por los principios. Lo que es especial de estos modelos es que se los diseña de manera tal que algunos elementos del modelo pueden ser identificados (o coordinados) con rasgos del mundo real. Es esto lo que hace posible usar los modelos para *representar* aspectos del mundo. (Giere, 2006, 63; subrayado en el original, la traducción es nuestra)

Así, un modelo teórico queda caracterizado y “definido” mediante ecuaciones u otro tipo de enunciados (siempre trivialmente verdaderos para tal modelo, claro está), que son los portadores de los principios.

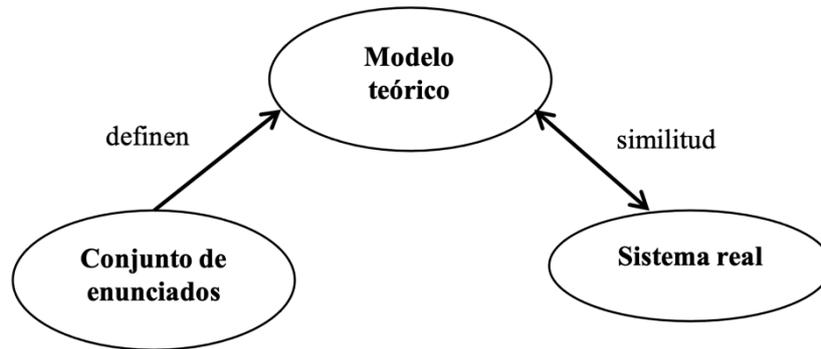


Figura 1. Representación esquemática de la noción de modelo teórico en los escritos clásicos de Giere. Adaptada de: Giere, 1992, 108.

De acuerdo con el trecho de Giere citado más arriba, los científicos (se) representan el mundo y lo presentan a los demás mediante modelos que de alguna manera surgen de y desembocan en sistemas paradigmáticos, cercanos a la noción de “ejemplar” kuhniano: a los péndulos que ya mencionamos para la física podemos agregar los planetas, los compuestos químicos, las especies biológicas o los sismos, en otras ciencias naturales.

Como que los científicos se representan el mundo mediante gran diversidad de modelos de distinto grado de concreción, en los libros estos aparecen formando “familias”, dentro de las cuales se articulan entre sí porque comparten los principios rectores (que podemos llamar “reglas de juego”). Además, los “racimos” de modelos también se vinculan con los sistemas reales de los cuales “pretenden hablar” por medio de relaciones de *coordinación* por parecido de familia, que Giere llama “similitud” (*similarity*) (Giere, 1999d).

La relación de similitud, restringida a algunos grados y aspectos, se expresa mediante unas hipótesis teóricas que conectan cada modelo con aquello de lo que él es modelo. Se trata de enunciados que pueden ser considerados “aserciones empíricas” en el sentido semanticista del término: afirman un tipo concreto de relación de semejanza entre el modelo y el sistema real modelizado y son ciertas o falsas según se dé o no se dé esa relación *a juicio de los científicos*. Una hipótesis teórica “verdadera” indica simplemente que la comunidad científica acepta como provisionalmente válido algún tipo e intensidad de semejanza entre modelo y mundo. Giere propone así considerar que una teoría científica es una familia de modelos, el aparato simbólico que los define y las hipótesis teóricas que los relacionan con los sistemas bajo estudio.

El análisis naturalista de Giere pretende mostrarnos cómo de hecho trabajan los científicos. Para él, la actividad científica consiste en reconstruir determinados fenómenos (de la naturaleza o del laboratorio) en un marco conceptual nuevo, surgido de la observación, experimentación, analogía o simulación controladoras y cuantitativas, ejecutadas desde la simplicidad que se deriva del tratamiento formal de los datos que se obtienen y que interesan. Tanto ese proceso de recons-

trucción teórica como sus resultados, capturados en los modelos, se presentan como ejemplo de unas formas de pensar que se quieren lógicas, pero no en tanto siguen un canon de objetividad infalible, sino en cuanto representan una manera humana de conocer colectiva, vigilada y autocorrectiva, en donde las inferencias se muestran *justificadas*. Se desdibuja entonces esa idea positivista de verdad inmutable “descubierta”, debido a que en la modelización se suman ahora las motivaciones, intereses y emociones que acompañan de manera intrínseca la actividad de intervención y de producción de discurso que permite conocer el mundo *para moverse en él* (Izquierdo-Aymerich, 2014).

Como que, según dijimos, tanto los científicos como los estudiantes son agentes cognitivos guiados por esta pretensión de “entender”, este modelo cognitivo de ciencia resulta de enorme interés para construir una *didáctica de las ciencias basada en el agente* (Gieryn, 1999b), que es la creemos que hace posible *educar* a las personas que están aprendiendo ciencias en la escuela al reconocer que tales disciplinas son solo una humilde contribución al fomento del pensamiento teórico.

Decíamos que Gieryn nos “da letra” a las profesoras y profesores de ciencias en las escuelas para liberarnos del corsé de la verdad positivista; añadiremos que también nos libera del relativismo científico cada vez más presente en esta época de la posverdad. Ni la una ni el otro son fácilmente compatibles con los objetivos que nos planteamos para una ciencia escolar que contribuya a la formación humana de nuestros estudiantes.

Gieryn nos habla de un realismo “según la perspectiva” con las conocidas metáforas de las lentes y del mapa, por él ampliadas y utilizadas (Gieryn, 2006). Hay muchos mapas posibles de un terreno, pues dependen de la perspectiva intencionada —y por tanto cargada de valores— desde la cual se lo cartografía. Pero Gieryn también presupone que existe un único mundo “objetivo” que se está mapeando, y que por ello todas las perspectivas han de procurarse en última instancia compatibles hasta cierto punto, por más que, en el camino, su diversidad y complejidad haga que algunas de ellas sean por momentos difíciles de combinar.

Con su teorización, Gieryn nos enseña, además, que las tan temidas leyes científicas —entendidas como fórmulas de interpretación harto compleja, portadoras de verdad universal— se pueden hacer más “amables” en las aulas, puesto que, en su actividad real, los científicos las usan de manera aproximada y ajustable, sabiendo muy bien que ellas no son estrictamente ciertas (Gieryn, 1999c; 2006). Ningún fenómeno real cumple completamente con las leyes que, en el lenguaje positivista, decíamos que lo “governaban”, como ningún mapa dice todo lo que se puede decir de un territorio. Ningún objeto real que pendula sigue exactamente la ley del péndulo: lo que importa a los científicos es que la aproximación entre el uno y la otra sea suficientemente buena para los propósitos que persiguen colectivamente... y la búsqueda de este ajuste pragmático se puede trasladar a la ciencia escolar.

Así pues, Giere nos proporciona un modelo de ciencia *basado en modelos* riguroso y a la vez dúctil, que puede habilitar el diseño de una ciencia escolar que ha de emerger como el resultado de la actividad cognitiva intencionada y coordinada de sus agentes, los estudiantes. Hemos logrado entonces una explicación de la ciencia que se nos muestra extremadamente sugerente para enseñarla.

3. Enseñanza de las ciencias modeloteórica

No somos pocos los miembros de la comunidad de la didáctica de las ciencias que hemos hecho de *Explaining science* un libro de referencia, dejándonos inspirar por Giere para “transponer” algunas de sus ideas al contexto de la ciencia escolar (por ejemplo: Develaki, 2007; Koponen, 2007; Oh y Oh, 2011; Chamizo, 2013; Passmore, 2015). Probablemente algunas veces hemos dicho, en su nombre, más de lo que él dijo, pero estamos seguros de que sabría disculparnos, pues sin esas ideas “híbridas” algunos avances interesantes no habrían ocurrido en nuestro campo. La didáctica de las ciencias ha ido creciendo con el nuevo siglo, y el marco teórico de Giere ha sido una pieza clave para que la enseñanza de las ciencias dejara atrás la imposición de una supuesta verdad científica autodemosttrativa (que solo puede comunicarse con un lenguaje de fórmulas que ha de ser transmitido fielmente a los estudiantes) y se abocara a lograr que ellos piensen el mundo con ideas abstractas que son patrimonio de todos.

A la didáctica de las ciencias le interesa desmarcarse de una enseñanza elitista, en la que solo tienen éxito aquellos pocos niños, niñas y adolescentes “destinados” a ser científicos. Lo que buscamos ahora, como comunidad de investigación, innovación y docencia, es que todos nuestros estudiantes puedan “saborear” el enorme placer intelectual de que poco a poco emerja en la clase una manera *teórica* de conocer el mundo gracias a la actividad científica escolar llevada adelante por ellos mismos con osadía y autonomía de pensamiento, acción y discurso.

En principio, podría parecer que la ciencia que se enseña en las aulas universitarias, a la que Giere se dedica en *Explaining science*, es tan diferente de la que se explica en las aulas escolares que las reflexiones sobre una no sirven para la otra. Creemos que esto no es así, y que el modelo cognitivo de ciencia —convenientemente ampliado y enriquecido con otras voces (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003; Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009; Izquierdo-Aymerich, 2014)— nos permite fundamentar seriamente innovaciones didácticas basadas en expandir la idea de modelo teórico a la ciencia escolar, y con ello dar vuelo conceptual a perspectivas de trabajo que solo recientemente se han comenzado a explorar.

La actividad docente, tanto en las aulas universitarias como en las escuelas, se basa en el valor irrenunciable de acompañar al estudiantado para lograr que razoné autónomamente sobre el mundo a partir de “indicios” a los que se puede dar sentido al interior de un marco teórico compartido. Lo que se pretende en ambos

casos es desarrollar pensamiento crítico para gestionar adecuadamente nuestras intervenciones en la naturaleza o en el laboratorio, según *modos* consensuados por una comunidad de referencia, sea esta las academias científicas o los currículos escolares. Es decir, el objetivo de aprender ciencias pasa a ser *desarrollar competencias de pensamiento científico* que habiliten para la acción fundamentada, de distinto propósito y alcance en cada caso.

Las ciencias cognitivas nos dicen que las competencias que tienen que ver con pensar científicamente no son como “montar en bicicleta” (en el sentido de que cuando hemos aprendido a montar en una podemos hacerlo más o menos en cualquiera). Estas competencias cognitivas no se aplican tan fácilmente a cada compleja situación de la que se ocupan los textos científicos (que son portadores de las ciencias de referencia), y mucho menos a asuntos propios del mundo del estudiantado, a menudo multidisciplinares y “sociocientíficos”. Los procesos de *modelización teórica* (Merino e Izquierdo-Aymerich, 2011; 2013) están fuertemente incrustados en el saber propio del área; un pensamiento razonado y crítico basado en ellos no puede utilizarse sin más en cualquier contexto. Se ha de poner a prueba (en definitiva, aprender) en el propio dominio de conocimiento en el cual se gestaron los modelos que se emplearán. Por ello, es fundamental decidir qué actividad científica concreta, cognitiva, colectiva, transparentemente fundada en datos y en principios teóricos se va a desarrollar en cada nivel escolar.

Llegados a este punto, debemos reconocer que la competencia que exhibe un científico profesional no es la que vamos a pedir de un estudiante de ciencias en la etapa educativa que es obligatoria para toda la población. Con todo, algunas importantísimas ideas de Giere, provechosamente transpuestas, nos permiten fundamentar y desarrollar el diseño de una auténtica ciencia que se hace en la escuela. El modelo cognitivo de ciencia que él nos propone, que reconstruye *modeloteóricamente* las teorías, leyes e hipótesis que dirigen la manera de trabajar de los científicos, se nos muestra adecuado también para (re)construir sus contrapartes escolares.

4. ¿Cómo se diseñan las clases de ciencias bajo esta perspectiva?

Para reconstruir la ciencia escolar con base en modelos, lo primero (y quizás lo único, en realidad) es diferenciar lo que es el mundo (cualquier sistema real estudiado por las ciencias) de lo que de él dicen (ordenándolo) los libros de ciencias y, a la vez, conectar ambas cosas. En la ciencia escolar nos concentramos en el mundo de las y los estudiantes (el conjunto de contextos que tienen impacto en su vida) y también buscamos orden, pero un orden que ha de ser el adecuado a la acción competente de los agentes cognitivos a quienes estamos enseñando. Necesitamos por tanto unos libros propios de nuestra ciencia escolar, con su contenido estructurado alrededor de *sus* modelos teóricos. Estos libros tomarán algunos casos paradigmáticos, de alto valor educativo, con los cuales ahondaremos

en la manera histórica en que científicos y científicas “cocinaron” las evidencias empíricas, para poder hacer lo mismo con otras evidencias y para otros destinatarios —nuestros estudiantes—.

En el proceso de llevar adelante genuina actividad científica escolar, ellos podrán “saborear” una ciencia (diseñada bajo una mirada realista y racionalista moderada) que trabaja con su propia perspectiva teórica, deudora de su contraparte académica, pero parcialmente autónoma, y podrán comunicarla al tiempo que emergen y se estructuran las nuevas ideas que se van aprendiendo. Creemos que esa perspectiva teórica debería estar formada por las ideas básicas de cada disciplina, que todas las personas deberían manejar tras su escolarización, concretadas en un conjunto pequeño, bien seleccionado, de *modelos teóricos escolares*. Tales modelos se han de vincular mediante lo que llamamos más arriba reglas de juego a “hechos ejemplares” (Izquierdo-Aymerich, 2014) que sean representativos de lo que se puede hacer, decir y pensar sobre el mundo natural en el marco de la educación científica.

Para concretar, tomemos como ejemplo el diseño del currículo de ciencias en la etapa secundaria obligatoria (12 a 16 años en España, 12 a 18 años en Argentina). Recordemos que nos distanciamos necesariamente de la ciencia de las comunidades disciplinares: el estudiantado no puede introducirse a fondo en la manera de pensar propia (y extremadamente diversa) de todas las disciplinas del currículo, que se expresan con lenguajes diferentes porque se refieren a diferentes maneras históricamente constituidas de intervenir en el mundo. Así,

[h]ay una contradicción entre la necesidad de una ciencia escolar que sea genuina, (competencial, que requiere capacidad de inventar y de formular preguntas) y un currículo que proporciona respuestas a preguntas que difícilmente podrán plantearse los alumnos. (Izquierdo-Aymerich, 2014, 70)

A sabiendas de esta contradicción, nos proponemos enseñar a nuestras alumnas y nuestros alumnos lo más básico y esencial de la aportación de cada una de las disciplinas científicas *a la cultura*. Para ello se requiere un riguroso *diseño*, que no tiene nada de espontáneo ni de improvisado.

Convencidos de que hemos de despojarnos tanto del absolutismo como del relativismo al pensar la ciencia, los profesores y profesoras de ciencias podemos ser “realistas según la perspectiva” y escoger la más adecuada en cada contexto para provocar interés sobre el mundo real y su funcionamiento. Se trata de que nuestros estudiantes, como agentes cognitivos y decisores que son, puedan *desplegar* actividad científica y no replicar ciencia “sabia”. Así, los “sistemas reales” en el sentido de Giere que presentemos en clase han de estar, por economía teórica, relacionados entre sí y han de poder llegar a ser ejemplares de los modelos teóricos que se prescriben desde el currículo. Esos modelos deberían ser pocos (:partículas, movimiento, cambio químico, Tierra, ser vivo, evolución...?) y bien

“poblados” de hechos reconstruidos, porque los principios teóricos se nos manifiestan al irse reconociendo el parecido de familia entre las distintas reconstrucciones, expresado a través de los *conceptos* científicos.

A lo largo de su actividad científica, alumnas y alumnos *no van a descubrir las leyes de las disciplinas*, como ingenua o maliciosamente pretenden algunas propuestas didácticas circulantes que se agazapan bajo el rótulo tan socorrido de la “indagación”, propuestas con las que, hemos de dejar claro, no conectamos para nada. Antes bien, lo que interesa es compartirles en clase la existencia de unas “líneas rojas” que la ciencia nos enseña no se han de saltar en el trabajo de intervención transformadora sobre el mundo natural, y enseñarles a pensar “dibujando” esos límites. La propuesta sería mostrar al estudiantado que las científicas y los científicos están convencidos, con muchos y buenos fundamentos, de que el mundo es de una determinada manera, e invitarlos a ver hasta dónde podemos llegar a partir de aceptar y ensayar tal convencimiento. Ejemplos de esas líneas rojas que no podrán faltar en la educación obligatoria serán la conservación de la energía en los cambios, la conservación de la masa en las reacciones químicas, la participación del calor y del trabajo en los procesos, la no generación espontánea de los seres vivos, la no herencia de caracteres adquiridos, el funcionamiento de la Tierra como una máquina térmica, etc.

En nuestra propuesta de ciencia escolar a la Giere, las hipótesis teóricas se formularán a partir de unas “buenas preguntas” planteadas por el profesorado, que orientará la mirada de los estudiantes para que den significado operativo a nuestra imagen de las líneas rojas en cada problema particular bajo estudio. Decimos que preguntas y reglas de juego hipotéticas “destraban” o “desatan” un intrínquilis, pues permiten pensar sobre algo que antes se nos aparecía como opaco *por medio del establecimiento de relaciones caso-regla*; así, la operativización de las líneas rojas de la que hablamos procede estableciendo progresivamente, mediante un trabajo didáctico muy cuidadoso, la similitud entre los sistemas reales en los que los estudiantes están interviniendo (casos) y el modelo teórico escolar que se ha puesto a su consideración (sistema de reglas). Por ejemplo, la idea de que “no hay generación espontánea de los seres vivos” nos va a permitir generar una explicación satisfactoria para los gusanos que vemos en *esta* manzana, o la idea de que “la masa se conserva en el cambio químico” nos va a permitir dar sentido a la aparente contradicción de que ha aumentado la masa de *esta* lana de hierro al quemarla.

Como adelantamos, estamos concibiendo el proceso de aprender ciencias como una modelización teórica (Merino e Izquierdo-Aymerich, 2011; 2013) mediante la cual determinados fenómenos en los que se interviene (no siempre experimentalmente) se llegan a ver desde la perspectiva de un modelo que los estudiantes han de considerar *válido*, como siempre ha sido en la enseñanza tradicional, pero a la vez *valioso*. Decimos entonces que las y los estudiantes aprenden cuando pasan a *poder y querer* hablar de esos fenómenos mediante los enuncia-

dos del modelo y relacionarlos con otros fenómenos similares entre sí porque se vuelven capaces de reconocer que todos son, a su vez, similares de alguna manera profunda, no trivial, a aquel modelo.

La Figura 2 aterriza nuestras ideas para cuando estamos enseñando a las y los estudiantes a ver las transformaciones de los materiales bajo la “lente” de la química (ver Merino e Izquierdo-Aymerich, 2013). En ella representamos el modelo teórico escolar de cambio químico (Merino e Izquierdo-Aymerich, 2011) siguiendo la propuesta del “triángulo de Giere”. A la izquierda, las “leyes” que se enseñan tradicionalmente en clase de química funcionan como los principios rectores y “definen” el modelo. A la derecha, una serie de “campos estructurantes de la química escolar” (Adúriz-Bravo et al., 2012) sugieren los hechos paradigmáticos que el modelo va a venir a representar.

Lo que emerge trabajando así es sin dudas muy diferente (y creemos también que mucho mejor) de lo que ha resultado tradicionalmente de enfocar la enseñanza de la química a partir de fórmulas y experimentos alejados de la experiencia del estudiantado, enseñanza que no vemos que se ajuste al objetivo de hacerlos pensar con teorías de manera autónoma y crítica.

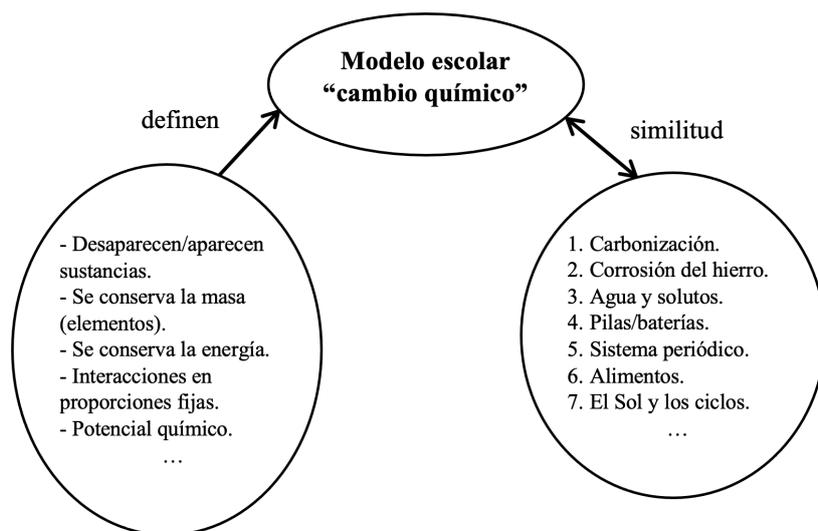


Figura 2. Aplicación de las ideas de Giere al diseño de un programa de química escolar (adaptado de Adúriz-Bravo et al., 2012, 43).

5. Consideraciones finales

Reconocemos en Ron Giere a un profesor de ciencias que, con sus excepcionales aportaciones teóricas, nos muestra la importancia de la dimensión docente de los científicos y de la dimensión científica de los docentes. El profesor de ciencias ordena los conocimientos para comunicarlos de tal manera que alcancen a tener significado organizador en el mundo concreto en el que se va a intervenir

en la clase. *Al estructurar, comunica y al comunicar, estructura*. Por ello, lo fundamental de una ciencia escolar modeloteórica cuidadosamente diseñada por el profesorado con inspiración en las ideas giereanas es que su discurso, al definir eficazmente modelos, llegue a generar en el estudiantado conocimiento *funcional* sobre el mundo real. Los estudiantes sacan provecho de esta esmerada labor de simplificar y de dar sentido que han hecho sus maestras y maestros, y quedan preparados para entender y ordenar. Pero ello se hace de una manera muy distinta a la de los científicos, una manera que está dirigida a ejercer ciudadanía, convivir en sociedades democráticas y llevar una vida realizada.

Para nosotros, el mayor legado teórico de Giere a la didáctica de las ciencias (experimentales o naturales) tiene que ver con habernos dado insumos para la construcción de un modelo de enseñanza de nuestras asignaturas que considera que el estudiante es un agente capaz de pensar rigurosamente sobre el mundo porque ha aceptado *compartir* un cuerpo teórico al que le ha encontrado auténtico significado en lo que él o ella puede hacer y decir *en acuerdo con la perspectiva que da a cada una de sus intervenciones en ese mundo*. La actividad de los científicos, objeto de la elaborada explicación metateórica construida por Giere, y la de profesores y estudiantes, también discutida críticamente por él en algunos de sus escritos, se desarrollan con el mismo tipo de “agencia” y en un mismo mundo amplio y diverso; por ello, unos y otros, a pesar de sus grandes diferencias *y de sus distintos sistemas de valores* (Izquierdo-Aymerich, 2014), tienen en común la capacidad —y la satisfacción asociada a ella— de conocer y de “dar a conocer lo que conocen”.

Referencias bibliográficas

- Adúriz-Bravo, Agustín e Izquierdo-Aymerich, Mercè (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(No. Especial 1), 40-49.
- Adúriz-Bravo, Agustín, Merino Rubilar, Cristian e Izquierdo-Aymerich, Mercè (2012). An approach to the construction of chemistry curricula on the basis of structuring theoretical fields. *Journal of Science Education/Revista de Educación en Ciencias*, 13(SUPPL.), 42-45.
- Chamizo, José Antonio (2013). A new definition of models and modeling in chemistry's teaching. *Science & Education*, 22(7), 1613-1632.
- Develaki, Maria (2007). The model-based view of scientific theories and the structuring of school science programmes. *Science & Education*, 16(7), 725-749.
- Giere, Ronald N. (1979). *Understanding scientific reasoning*. Nueva York: Holt, Rinehart & Winston.
- Giere, Ronald N. (1992). *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (Original en inglés de 1988.)

- Giere, Ronald N. (1999a). Del realismo constructivo al realismo perspectivo. *Enseñanza de las Ciencias*, No. Extra, 9-14.
- Giere, Ronald N. (1999b). Didáctica de las ciencias basada en el agente: Roles para la filosofía de la ciencia y las ciencias cognitivas. *Enseñanza de las Ciencias*, No. Extra, 5-8.
- Giere, Ronald N. (1999c). *Science without laws*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Giere, Ronald N. (1999d.) Using models to represent reality. En Lorenzo Magnani, Nancy J. Nersessian y Paul Thagard (eds.), *Model-based reasoning in scientific discovery* (pp. 41-57). Nueva York: Kluwer/Plenum.
- Giere, Ronald N. (2006). *Scientific perspectivism*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Izquierdo-Aymerich, Mercè (2014). Los modelos teóricos en la enseñanza de las “ciencias para todos” (ESO, nivel secundario). *Bio-grafía: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, 7(13), 69-85.
- Izquierdo-Aymerich, Mercè y Adúriz-Bravo, Agustín (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- Koponen, Ismo T. (2007). Models and modelling in physics education: A critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. *Science & Education*, 16(7), 751-773.
- Merino, Cristian e Izquierdo-Aymerich, Mercè (2011). Aportes a la modelización según el cambio químico. *Educación Química*, 22(3), 212-223.
- Merino, Cristian e Izquierdo-Aymerich, Mercè (2013). Los modelos teóricos en el diseño de una “química para todos”. *Enseñanza de las Ciencias*, No. Extra IX Congreso Internacional, 1784-1788.
- Oh, Phil S. y Oh, Sung J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.
- Passmore, Cynthia (2015). Models. En Richard Gunstone (ed.), *Encyclopedia of science education* (pp. 659-663). Dordrecht: Springer.